



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

***“ Mejora Continua en la Operatividad de
la Planta de Agua Purificada y Destilada
del TESCO: Desarrollo del Manual de
Operaciones Integral y Diseño
Conceptual de la Estructura de
Información ”***

PROYECTO PRODUCTIVO

Que para obtener el título de
Ingeniera Ambiental

Con la Especialidad
Gestión y Tecnología del Agua

Presenta:

Valeria Aguilar Aguayo - 201620100

Asesora: Ing Claudia Orozco Moreno

Coacalco de Berriozábal, abril 2024

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco y a los profesores que me brindaron apoyo con el proyecto desde la definición y durante la ejecución de todas las actividades necesarias para culminar; asimismo, por facilitar mi acceso a las instalaciones de la planta purificadora; y, finalmente, por el conocimiento otorgado.

Jefe de Carrera IAM: Ing. Israel Zermeño Caballero

Ing. Claudia Orozco Moreno

Ing. Lilia Adriana Ríos Alducín

Dra. Raquel Eunice Hernández Ramírez

De igual forma, quiero agradecer especialmente a mi madre y mi esposo, por su apoyo incondicional durante mi trayectoria educativa, así como durante la realización de este proyecto.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un manual de operaciones integral para la planta purificadora de agua ubicada en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo). El propósito es establecer los fundamentos y lineamientos necesarios para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de esta instalación que provee de agua purificada a la comunidad del TESCo y sus alrededores.

El proyecto combina la creación del manual de operaciones con el desarrollo de una relación de tablas de vanguardia, según el nivel y la estructura necesarios para el almacenamiento en una base de datos que contiene todos los registros de información cuantitativa y cualitativa de valor. Se espera que las soluciones digitales impulsen el progreso y la mejora continua en la gestión de la planta purificadora de agua, debido a que la relación de las tablas que parte de los formatos que actualmente se registran y almacenan en papel sienta las bases para el desarrollo de futuros proyectos tecnológicos e interdisciplinarios, como la automatización de registros, análisis y visualización de datos, e impulsa el desarrollo de aplicaciones digitales que permiten el manejo y la gestión de la información que la planta purificadora genera a partir de las actividades que se llevan a cabo.

La relación de tablas para el almacenamiento en base de datos constituye la parte conceptual de un centro de información digital que, de implementarse, tiene el potencial para mejorar la eficiencia con la que se consultan, agrupan y visualizan los datos de operación de la planta (mediante la digitalización de los registros) y el acceso transparente a la información relevante para todos los usuarios de la comunidad. Esta innovadora herramienta podría optimizar la gestión y el monitoreo de la planta al brindar a los operadores la capacidad de registrar los datos necesarios de manera ágil y precisa, mientras permite que otros usuarios accedan a los informes y estadísticas generadas.

El diseño y el desarrollo de este manual de operaciones, junto con la herramienta relacional de tablas correspondiente, son el resultado de un proceso de investigación exhaustivo, consultas a expertos y un enfoque centrado tanto en las necesidades de los usuarios como en los estándares de calidad. El manual de operaciones establecerá procedimientos detallados, protocolos de seguridad, controles de calidad y lineamientos de mantenimiento para garantizar el funcionamiento correcto de la planta purificadora. Por otra parte, el diseño relacional de tablas proporcionará las bases para una interfaz intuitiva y amigable, al permitir una interacción fluida y transparente para todos los usuarios al implementarse en un futuro.

En resumen, este proyecto busca promover la excelencia en la operación de la planta purificadora de agua a través de un manual de operaciones detallado y una herramienta que faciliten la transición a un sistema digital en el registro de datos y el acceso a la información. Al adoptar la digitalización de los registros de la operación, se impulsa una transición hacia la era digital, con lo que se aprovechan las ventajas en términos de eficiencia, accesibilidad y sustentabilidad.

La digitalización de los registros de la planta representa una mejora significativa en comparación con los registros en papel, dado que al eliminar su uso se reducen la generación de residuos y el consumo de recursos naturales, lo que contribuye a la conservación del medioambiente. Además, permite almacenar, gestionar y analizar los datos de manera eficiente, a fin de asegurar la integridad y la disponibilidad de la información en tiempo real, lo cual facilitaría la toma de decisiones informadas y oportunas para optimizar la operación de la planta y garantizar la calidad del agua potable producida. Con la implementación de estas prácticas sostenibles, se establece un ejemplo inspirador para otras instituciones y se contribuye activamente al cuidado del medioambiente, y ello posiciona al TESCo como una institución vanguardista en el tema de tecnología y herramientas digitales.

ÍNDICE

1	CAPITULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	10
1.1	INTRODUCCIÓN	10
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	11
1.3	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO O ÁREA PRODUCTIVA	14
1.3.1	DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA DESTILADA.....	17
1.3.2	DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA PURIFICADA	18
1.4	NECESIDAD O REQUERIMIENTO DEL MERCADO.....	21
1.5	ANTECEDENTES	25
1.6	OBJETIVOS.....	34
1.6.1	OBJETIVOS GENERALES	34
1.6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	34
1.7	ALCANCES Y LIMITACIONES	34
1.7.1	ALCANCES	34
1.7.2	LIMITACIONES	35
2	CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	38
2.1	EL AGUA	38
2.1.1	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS.....	40
2.1.2	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS.....	41
2.1.3	AGUA MUNICIPAL (POTABLE)	43
2.1.4	AGUA CRUDA O DE PRIMER USO.....	44
2.1.5	AGUA DESTILADA Y BIDEDESTILADA	45
2.1.6	AGUA RESIDUAL	45
2.1.7	AGUA INDUSTRIAL	46
2.1.8	AGUA PURIFICADA.....	46
2.1.9	AGUA DE RECHAZO.....	47
2.2	MÉTODOS DE TRATAMIENTO	48
2.2.1	CLORACIÓN	48
2.2.2	FILTRACIÓN POR MEMBRANA	49
2.2.3	ÓSMOSIS INVERSA.....	51

2.2.4	FILTRACIÓN POR ADSORCIÓN.....	52
2.2.5	RAYOS ULTRAVIOLETA	58
2.2.6	OZONIFICACIÓN	60
2.3	NORMATIVIDAD APLICABLE Y ORGANISMOS PÚBLICOS.....	62
2.3.1	ORGANISMOS INTERNACIONALES.....	70
2.4	CONTEXTO DEL AGUA EN MÉXICO	72
2.5	DATOS E INFORMACIÓN.....	82
3	CAPÍTULO III. DESARROLLO.....	88
3.1	ESTUDIO DE MERCADO	88
3.2	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	94
3.3	ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN	98
3.3.1	PLANEACIÓN DE ACTIVIDADES.....	98
3.3.2	DOCUMENTACIÓN Y REGISTROS HISTÓRICOS	101
3.3.3	MARKETING Y COMUNICACIÓN	104
3.4	INGENIERÍA DE DISEÑO, MANUFACTURA Y PRODUCCIÓN	108
3.5	PLAN DE MONITOREO Y EVALUACIÓN.....	114
3.6	IMPACTO DEL PROYECTO	123
4	CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	129
4.1	ANÁLISIS DE LA OFERTA-DEMANDA, LOS PRECIOS Y LA COMERCIALIZACIÓN, EL PUNTO DE EQUILIBRIO, LOS INGRESOS Y LOS COSTOS TOTALES (OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, INSUMOS, ENTRE OTROS)	129
4.2	CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENTABILIDAD DE LA UNIDAD ECONÓMICA	146
	RESUMEN DE RESULTADOS	150
5	CONCLUSIONES.....	156
6	COMPETENCIAS DESARROLLADAS	159
7	REFERENCIAS.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo sobre la producción de agua destilada	18
Figura 2. Diagrama de flujo sobre la producción de agua purificada	19
Figura 3. Diagrama de flujo sobre la producción de agua purificada	20
Figura 4. Diagrama de flujo sobre la producción de agua purificada	21
Figura 5. Ubicación de embalses en Tikal	26
Figura 6. Esquema hipotético del sistema de purificación en Tikal	27
Figura 7. Ejemplos de vulnerabilidad actual de los recursos de agua dulce y de su gestión; al fondo, un mapa de estrés hídrico, basado en WaterGAP (Alcamo et al., 2003a).	29
Figura 8. Puente de hidrógeno en moléculas de agua.	38
Figura 9. Imagen modificada de "Agua: Figura 3", de OpenStax College, Biología.	39
Figura 10. Naclor (compuesto).	49
Figura 11. Espectro de filtración.....	52
Figura 12. Esquema de funcionamiento de filtros de lecho profundo	53
Figura 13. Estructura molecular de la zeolita. <i>Nota.</i> Tomado de Direct imaging of atomically dispersed molybdenum that enables location of aluminum in the framework of zeolite ZSM-5, por Liu, L. et l., 2020, <i>Angewandte Chemie (International Ed. in English)</i> , 59(2), 819–825. https://doi.org/10.1002/anie.201909834	54
Figura 14. Estructura atómica del carbón activado	56
Figura 15. Intercambio catiónico con resina.....	58
Figura 16. Espectro de luz UV	59
Figura 17. Interpretación de la lisis de la membrana celular en bacterias por ozono	62
Figura 18. Contraste de regiones hidrológico-administrativas	73
Figura 19. Volumen de agua protegido/asignado o concesionado al uso doméstico o público urbano	74
Figura 20. Densidad poblacional en México	79
Figura 21. Nivel de estrés hídrico en México a través de los años	80
Figura 22. Componentes de la arquitectura de la información	85
Figura 23. Ejemplo de mapa de sitio de una tienda de libros	86
Figura 24. Resultados de las pruebas del muestreo de marcas comerciales y agua purificada y destilada TESCo en ppm.....	91
Figura 25. Resultados de la prueba de colorimetría para identificación de sílice en agua	92
Figura 26. Diagrama de la metodología utilizada para el desarrollo del presente proyecto. <i>Nota:</i> Elaboración propia.	114
Figura 27. Modelo relacional de tablas	149

Figura 28. Cartel del proceso de purificación de agua en la planta purificadora.....	152
Figura 29. Cartel del proceso de seguimiento de la calidad del agua en la planta purificadora.	153
Figura 30. Cartel de estadísticas y datos de la planta purificadora.	154
Figura 31. Cartel sobre las actividades realizadas en la planta purificadora.	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones sanitarias físicas y químicas (NOM-127-SSA1-2021).	43
Tabla 2. Especificaciones sanitarias (PROYECTO de NOM-041-SSA1-1993).	47
Tabla 3. Declaratoria de disponibilidad media anual subterránea.	75
<i>Tabla 4. Tabla para planeación y seguimiento de mantenimientos.</i>	<i>99</i>
Tabla 5. Equipos con etiqueta de mantenimiento.	117
Tabla 6. Almacenamiento de residuos líquidos temporal.	122
Tabla 7. Resultados de la encuesta.	131
Tabla 8. Resultados del análisis de datos de los registros del primer año de operación de la planta purificadora.	139

CAPITULO 1.

GENERALIDADES DEL PROYECTO

CAPITULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la NOM-041-SSA1-1993 que establece los requisitos sanitarios con los cuales debe cumplir el agua purificada envasada, se utiliza como referencia para los lineamientos que debe cumplir la producción del agua en la planta purificadora del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco. Tomando los valores establecidos como límites máximos y mínimos permisibles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como parte de un seguimiento de control de calidad, se mantienen al mínimo los riesgos de transmisión de enfermedades gastrointestinales en la población del Tecnológico que hace uso y consumo del agua purificada distribuida.

La planta purificadora del Tecnológico comenzó su operación en marzo del 2023, la cual ha tenido que desarrollar procesos que se han ido modificando conforme los resultados que se presentan desde el inicio de su operación hasta la fecha. Estos procesos y la evaluación de la eficiencia de los mismos son indispensables para obtener un nivel operativo y de producción que no solamente cumpla con los estándares de sanidad y con eficiencia de operación de los equipos, sino también que contemplen la satisfacción de la demanda y el aprovechamiento sostenible de los recursos que son invertidos anualmente.

La extracción de agua y su distribución a la población en el Valle de México es un reto debido a la sobreexplotación insostenible de los acuíferos que no permiten la recarga de estos, sobre todo por parte de las empresas comerciales que son conocidas por la oferta de agua a precios bajos. Para el Tecnológico, el suministro de agua purificada y destilada a la comunidad de la institución se lleva a cabo con los estándares de calidad aceptables en el mercado de acuerdo con los análisis comparativos realizados, los cuáles muestran la competitividad del producto tanto en calidad como en accesibilidad.

El seguimiento de las actividades y el análisis de los resultados de la planta purificadora se lleva a cabo por medio de la recolección de los datos cualitativos y cuantitativos que son valiosos en contexto de un análisis de negocio. La recolección de datos es tan importante como lo es el tratamiento, agrupamiento y visualización de los datos significativos. En este contexto de información es importante conocer los procesos y las actividades de la planta purificadora a fondo para evaluar qué valores arroja la producción y son relevantes, así como establecer una configuración de almacenamiento oportuna para evaluar la eficiencia de la planta como tal, su evolución y crecimiento a través del tiempo por medio de parámetros de desempeño. Este análisis es clave para las aplicaciones en TICs relacionadas con el manejo, consulta y la toma de decisiones basadas en datos en la era digital actual en contexto de agua e ingeniería.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Se desarrollará un manual de operaciones integral para la planta purificadora de agua del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo) que establecerá e implementará procedimientos detallados, protocolos de seguridad, controles de calidad y lineamientos de mantenimiento dentro de la planta para la producción de agua destilada y purificada. Además, se diseñará una estructura de información conceptual que facilitará la transición de registros en papel a una herramienta digital, mejorando así la gestión de la información y la trazabilidad del agua purificada.

La implementación de un manual de operaciones integral y detallado en conjunto con un diseño conceptual de una estructura de información que contemple los datos y la información necesaria para una trazabilidad de agua, abren la puerta al crecimiento y escalamiento de la planta purificadora de agua del TESCo en el área de tecnologías de la información y en operatividad. Además, estos generan los lineamientos y procedimientos necesarios para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la planta. También son necesarios para conocer el detalle de las actividades que se realizan para el servicio y el mantenimiento requerido, con el fin de realizar una planeación eficiente y mantener la máxima calidad del agua producida, así como la de los datos recopilados que son fundamentales para la toma de decisiones informada.

En este proyecto, se desarrollará el manual de operaciones integral que servirá como una guía completa para los operadores, puesto que detalla las mejores prácticas, los protocolos de seguridad, los controles de calidad y los lineamientos de mantenimiento necesarios para las necesidades específicas de la planta. Además, funcionará como material para revisión de actividades por medio de *checklist* correspondientes a cada actividad, puesto que se requiere precisión en la operación y control de calidad. Al establecer estos procedimientos de manera clara y concisa, se fomentará la eficiencia en la operación y se minimizará el riesgo de posibles fallos o incidentes, con lo que se garantiza la calidad del agua que se provee. También se recolectarán datos de valor para el análisis y seguimiento de forma eficiente y estructurada, lo que abre las puertas a un proyecto interdisciplinario para la consulta y el registro de datos de la planta purificadora.

Este manual de operaciones integral se realizará a partir de las áreas de oportunidad encontradas en las actuales actividades y formas de llevar a cabo cada proceso que puede ser considerado como fundamental para la operación de la planta, donde se involucra la producción, mantenimiento de equipos, seguimiento de calidad y documentación. Se comenzará a partir de una exhaustiva evaluación de los procesos y de los resultados que se tienen hasta la fecha desde el inicio de la operación de la planta purificadora, contemplando el primer año de operación. Esta evaluación de áreas de oportunidad fungirá como el parteaguas para definir los procedimientos que contemplan una máxima eficiencia que sean requeridos en los procesos y actividades de la planta. Será llevado a cabo por medio del estudio de los procesos de forma empírica y presencial en la planta purificadora

En cuanto a los registros, se evaluará por medio del análisis de datos los resultados que hasta la fecha arroja la planta purificadora en materia de mantenimiento, producción, seguimiento de calidad y servicio. Esto se llevará a cabo por medio de los registros y formatos ya existentes, los cuales al encontrarse en papel requieren de un proceso manual de digitalización, el cual va a facilitar el almacenamiento, el tratamiento y manejo de los datos, así como el agrupamiento y visualización de ciertos parámetros que son necesarios para contestar preguntas clave relevantes en cuanto a la trazabilidad del agua, la eficiencia de uso del recurso para mantenimiento y los resultados del seguimiento de calidad. Todos estos parámetros pueden presentar patrones y debieran de presentar cierta consistencia lógica de acuerdo con el calendario escolar y las actividades mismas, por ello es que es necesario realizar este análisis de forma periódica y encontrar la forma de facilitar y sentar las bases para que la escalabilidad de la documentación apunte a la automatización tanto de registro como de consulta y visualización.

Para que los datos y los formatos puedan ser evaluados, se requiere el análisis de datos que contemple también las áreas de oportunidad en los registros existentes y, contemplar si se requerirá rediseñar los formatos de registro para obtener evaluaciones futuras que tengan mayor integridad y aporten una visión completa de la trazabilidad del agua, del monitoreo de la operación y producción de la planta purificadora. Esta cuestión sobre los datos e información bien evaluada y rediseñada, sientan las bases para el diseño conceptual de una estructura de información, la cuál es de suma importancia para realizar una transición de registros en papel a una herramienta digital que permita ejecutar análisis y consultas de datos, como un área de crecimiento o continuidad al término de este proyecto. Los registros en papel resultan difíciles de consultar y se consideran obsoletos debido a la tecnología actual de almacenamiento, procesamiento y visualización de datos que está disponible hoy en día. Al diseñar los formatos de registro y definir los valores necesarios para responder preguntas de interés para los *stakeholders*, se ahorra tiempo al utilizar herramientas digitales y se abre la posibilidad de utilizar ese tiempo en la verificación de equipos y actividades que conciernen al control de calidad.

El proceso de evaluación de los registros y digitalización va a requerir de múltiples conversiones de valores y datos, así como las operaciones con números y características de registros históricos, como el de la planta purificadora, y puede aumentar su complejidad al momento de manipular y transformar a medida que aumenta el número de entradas en los formatos. En ese sentido, cambiar las entradas manuales del registro en papel al formato de Excel no es la solución permanente ni a largo plazo, solamente temporal para la resolución de uno de los obstáculos del presente proyecto. Si se busca expandir la operación y escalar la capacidad de la planta purificadora para continuar con la operación y darle prioridad a los datos y registros, es preferible contar con un sistema que proporcione estadísticas confiables, accesibles para analizar el funcionamiento de la planta y responder a las preguntas de mayor interés para el personal administrativo a cargo del manejo, el financiamiento y la operación. Por esta razón es importante crear una estructura de datos conceptual como base y comprender cómo se relaciona con el proceso, del cual depende y debe

estar bien definido en el manual de operaciones integral. En este caso se relacionan los datos de diferentes formatos ya que tienen un valor común al provenir directamente de las actividades establecidas.

En resumen, la implementación de un manual de operaciones y el diseño de una estructura o arquitectura de la información conceptual para el registro de los datos que se generan a partir de la operación y el servicio de la planta purificadora de agua del TESCo se justifican por la necesidad de establecer lineamientos claros, promover la eficiencia operativa, mejorar la toma de decisiones, adoptar prácticas sostenibles y sentar las bases para futuras expansiones e interdisciplinariedad en soluciones ambientales. Además, se genera una base para el desarrollo futuro e implementación de una herramienta tecnológica para facilitar el registro, procesamiento, consulta y visualización de los datos generados. Este proyecto contribuirá a la mejora operacional de la planta, a fin de beneficiar tanto a la comunidad tecnológica como al medioambiente en general; mejorando la experiencia de una institución libre de plástico; reduciendo el uso de papel en los registros; promover una cultura de tecnología de la información creciente; y, finalmente, posicionar al TESCo como una institución educativa de primer nivel con proyectos interdisciplinarios y con aplicación en sustentabilidad y medio ambiente.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO O ÁREA PRODUCTIVA

La planta purificadora de agua ubicada en las instalaciones del TESCo lleva a cabo un riguroso proceso de purificación para garantizar la obtención de agua purificada y destilada de calidad, por lo que cumple con los estándares de seguridad establecidos por la normatividad aplicable en México, así como las medidas básicas de seguridad e higiene requeridas para el manejo del equipo y el servicio de llenado de garrafones y botellas para el consumo por parte del personal administrativo, profesores y la comunidad estudiantil. La infraestructura y el equipo de purificación son utilizados para llevar a cabo las diferentes etapas del proceso, de acuerdo con las necesidades del agua cruda o materia prima disponible. Además, se cuenta con las áreas necesarias para llevar a cabo las diversas actividades que deben realizarse para la operación.

Estas actividades incluyen análisis fisicoquímicos y microbiológicos para certificar la calidad del producto, identificar áreas de oportunidad y ejecutar las acciones necesarias, como mantenimientos preventivos y correctivos en los equipos del sistema de purificación y distribución. También se llevan a cabo procesos específicos para la producción de agua purificada y destilada, cada uno con condiciones operacionales específicas para su obtención y aseguramiento de calidad, y esto es posible gracias a los equipos instalados, al óptimo manejo de estos por parte del personal en cada lote, y al monitoreo del funcionamiento y la calidad del agua en cada paso del sistema de purificación.

Para la producción de ambos tipos de agua, se utiliza como materia prima agua cruda extraída de un pozo ubicado en las instalaciones del TESCo. Esta agua es transportada a un tanque inicial de 2500 L, donde se desinfecta por medio de cloración con hipoclorito de sodio al 10 % (Naclor) como primera medida de control biológico para asegurar la calidad del producto final y garantizar el funcionamiento adecuado de las etapas de filtración subsecuentes. La cantidad dependerá de lo relacionado con las pruebas de cloración expuestas en el manual, las cuales conllevan una prueba de cloración para asegurar que la cantidad correcta está siendo añadida en proporción a la cantidad de agua que hay en el tanque de almacenamiento de agua cruda. Posteriormente, el agua pasa por tres filtros de lecho profundo: el primero, contiene zeolita, un mineral encargado de eliminar contaminantes como sedimentos grandes. El segundo, de carbón activado, elimina la materia orgánica con propiedades organolépticas y retiene la alcalinidad, hidrocarburos y compuestos de cloro residual. Cabe mencionar que, en este filtro una parte del agua funge como agua de mezcla, con un contenido de sales entre 70 y 80 partes por millón (ppm), y se combina con el agua producida por ósmosis inversa para obtener el agua purificada. El tercer filtro, llamado suavizador, contiene resina catiónica para eliminar las sales de calcio y magnesio del agua (por intercambio iónico), con lo que se elimina la dureza y se reemplazan estos iones con sodio, que luego son removidos en la ósmosis inversa. Esta etapa de filtración compuesta por los primeros tres filtros se explica a detalle en el marco teórico en la sección correspondiente a filtración por adsorción, que explica a profundidad como se remueven las impurezas y residuos de cloro provenientes de la

cloración inicial. Esto es para mantener los equipos en un funcionamiento eficiente y sin daño químico por el excedente de cloro, o cloro residual. Es importante tener este tipo de consideraciones con el equipo para mantener la capacidad de filtración en su máxima eficiencia durante la operación, y así mantener la calidad del agua final dentro de los parámetros establecidos en la NOM-041-SSA1-1993.

Para cada lote de producción de agua purificada y destilada, se toman en cuenta ciertos estándares que son tomados de la normatividad aplicable. En el caso específico de la planta purificadora del TESCo, se toman en cuenta los parámetros de alcalinidad total, dureza total (compuesta por dureza de calcio y de magnesio), cloruros, pH, y sólidos totales disueltos (para agua purificada). Para realizar estas pruebas, se toman muestras de cada una de las válvulas o salidas ya establecidas, las cuales se mencionan en el manual de operaciones con detalle. Cada toma de muestra corresponde a una válvula que se encuentra ubicada en un punto clave del proceso de purificación, en el caso de agua purificada. A cada una de las muestras tomadas, se les somete a las pruebas pertinentes, las cuales se realizan por medio de titulación o determinación volumétrica. Estos resultados de las pruebas fisicoquímicas, para cada toma de muestra, son posteriormente registradas en un formato en físico (papel) destinado exclusivamente para guardar registro de la fecha de producción y los resultados de los parámetros en partes por millón (ppm) para ese lote.

Para el caso específico del agua destilada, siempre es producida después de haber producido agua purificada de acuerdo con los criterios establecidos en el manual, tomando en cuenta que ya se realizaron las pruebas fisicoquímicas correspondientes para ese tipo de agua, y en caso de ser necesario se han llevado a cabo los mantenimientos necesarios para mantener los valores dentro de los parámetros establecidos. Se menciona esto ya que el agua destilada es únicamente evaluada al final de su producción debido a la instalación, la cual no cuenta con un tanque de almacenamiento como lo tiene el agua purificada o producto final. Se toma la lectura únicamente de los sólidos disueltos a la salida del producto final de agua destilada.

De igual manera, los parámetros microbiológicos son registrados en un formato físico después de haber realizado el análisis. Esta determinación toma un mayor tiempo de realización que las fisicoquímicas, debido a que hay un periodo de incubación. Primeramente, se toman muestras del agua de las tomas de muestra establecidas, las cuales son resguardadas durante el tiempo que toma el montaje y preparación de los agares y cultivos, o bien, se tiene ya preparado el medio de cultivo antes de la toma de muestras de acuerdo con la planificación de actividades semanal, que va de la mano con la demanda y la temporada del año. Una vez los medios de cultivos listos y las muestras extraídas, se realiza el cultivo como tal en las cajas Petri pertinentes para cada punto de muestra, se deja un medio sin cultivo como referencia o ‘blanco’. La incubación toma de 24 hasta 72 hrs. Una vez cumplido el periodo, los cultivos son analizados y revisados para determinar su hubo crecimiento de algún tipo de microorganismo. Los resultados son registrados en el formato y si es necesario, hay acciones a tomar en caso de que haya contaminación, las cuales se encuentran detalladas en el manual de operaciones desarrollado en este proyecto.

Después de este proceso, se realiza una microfiltración con un filtro pulidor de polipropileno, seguido de la ósmosis inversa y la exposición a la luz ultravioleta. El filtro pulidor ayuda a eliminar impurezas como la ceniza y otras partículas finas que puedan dañar los equipos antes mencionados. Paralela a la ósmosis inversa, la lámpara de luz ultravioleta se encarga de destruir microorganismos al desactivar el ácido nucleico para evitar su reproducción y cualquier daño que estos puedan ocasionar en la salud de los consumidores. Además, la ósmosis inversa destila y purifica el agua gracias a una membrana semipermeable que elimina la salinidad. Esta última se mezcla con agua del filtro de carbón activado que contiene sales necesarias para el consumo humano, y se almacena en el tanque de producto final. Todo lo anterior es para mantener al mínimo posible el crecimiento de microorganismos que puedan representar un riesgo de transmisión de enfermedades gastrointestinales en la población del Tecnológico.

Hasta el momento, se han mencionado los tipos de agua producidos a través del sistema de purificación y destilado que toman lugar como subproductos de los procesos de producción. Es esencial cumplir los lineamientos operativos del manual, elaborado y desarrollado en este proyecto, para asegurar la calidad del tipo de agua que se desea obtener, así como su almacenamiento adecuado. El primer tipo de agua es la de rechazo, la cual es agua altamente salina y va dirigida directamente al desagüe, esta proviene principalmente de la filtración por membrana de ósmosis inversa. El segundo tipo, y el primer producto final que se almacena y distribuye, es el agua destilada, la cual está destinada para el uso en los laboratorios del TESCO. El tercer tipo es el agua purificada (mezcla) que se distribuye a la comunidad de TESCO por medio de los bebederos, los garrafones y las botellas de uso personal rellenables. Este producto final es el que se produce en mayor proporción por su alta demanda y naturaleza.

Ahora bien, a grandes rasgos, el proceso de producción y suministro de agua destilada y purificada puede explicarse de la siguiente forma. La planta cuenta con una infraestructura que permite que la tubería envíe el agua purificada al mostrador, donde se llenan garrafones y botellas. Para la distribución a bebederos se utiliza un hidrodifusor que cuenta con otro par de filtros pulidores (uno de carbón activado y uno de polipropileno) para garantizar la calidad y la seguridad del agua consumible. Luego, el agua pasa por una inyección del generador de ozono y una segunda lámpara de luz ultravioleta; aquí el ozono elimina microorganismos o olores que puedan haberse filtrado a través de una manguera tipo *bypass*. Pasado este proceso, se utiliza un filtro pulidor general antes de que la tubería salga de las instalaciones de la planta.

Se realizan actividades alrededor del proceso principal descrito, que consiste en actividades diarias, semanales o aquellas que se llevan a cabo en diferentes frecuencias específicas según sea el caso. Estas actividades son clave para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos, asegurar la calidad del agua, y mantener la eficiencia en la operación de forma general, por lo tanto, son registradas en papel y archivadas en una carpeta una vez se llena el formato, lo cual sucede de forma mensual o semanal. Estas actividades y sus respectivos formatos son: mantenimiento de equipos, producción, monitoreo de tanques (llenado), control de calidad

(resultados de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas), disposición de residuos, llenado de botellas, entrada y salida de garrafones (lavado y llenado), balance de planta (agua de rechazo), entre otras. Los datos son registrados posteriormente en un formato en Excel y de acuerdo con la necesidad o las preguntas a resolver, se realiza la manipulación de datos (cálculos y transposiciones) para los reportes solicitada, aproximadamente cada mes.

El mantenimiento en su caso registra todas las actividades de mantenimiento llevadas a cabo en una fecha determinada y a su vez tiene como objetivo mantener transparencia en cuanto a la trazabilidad del agua que ha sido utilizada o destinada para cada actividad de mantenimiento, puede ser por retrolavado o regeneración de filtros, lavado de tanques, lavado o reposición de los filtros pulidores y de cabrón activado, entre otros. Las cantidades deben ser medidas y registradas en el formato, así como la naturaleza del procedimiento. La producción tiene su propio formato en el que se registra el tipo de agua producida en cierta fecha, así como los niveles de agua en los tanques al inicio y final de la producción, y otros parámetros de trazabilidad. Cada formato tiene como objetivo mantener transparencia con respecto de las actividades realizadas en la planta purificadora y sobre todo mantener un control detallado y preciso sobre las cantidades de agua utilizadas, y los diversos usos o destinos (producción, rechazo, fugas, mantenimiento). Estos registros cuentan con una versión digital en un archivo de Microsoft Excel que debe ser actualizado manualmente conforme los registros en papel van siendo archivados en la carpeta con el fin de agilizar la digitalización y facilitar la consulta y agrupamiento de los datos en alguna herramienta digital que permita el análisis.

Dentro de este primer año de operación, se realizó el registro en papel y la digitalización a partir de los mismos, de tal forma que se generó un reporte sobre los parámetros y usos del agua de la planta purificadora, que se puede observar a detalle en la sección de resultados.

1.3.1 DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA DESTILADA

En este diagrama se encuentra el proceso detallado de la producción de agua destilada. Se considera desde el llenado del tanque inicial (agua cruda/materia prima), hasta el llenado de los bidones, porrones o contenedores que se requieren para satisfacer la demanda.

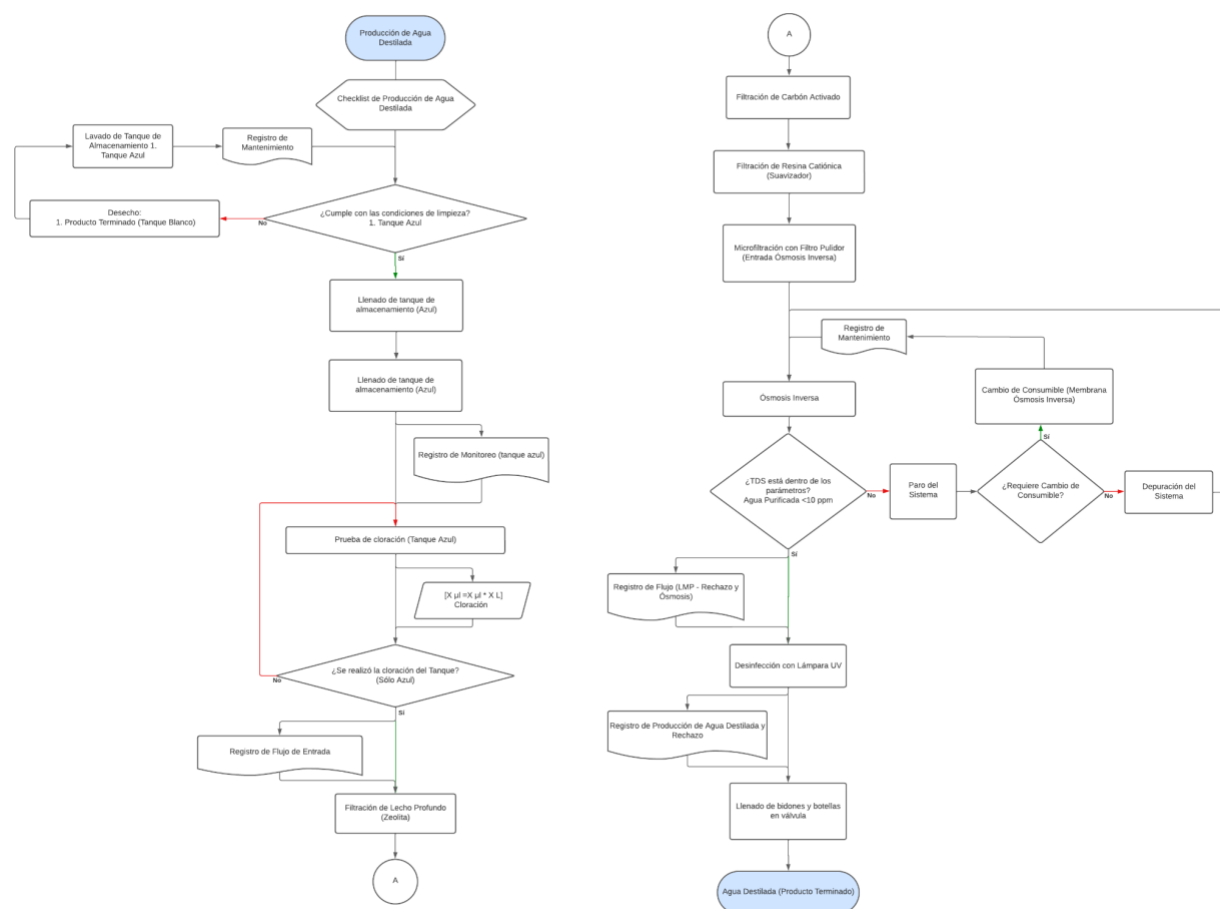


Figura 1. Diagrama de flujo sobre la producción de agua destilada

Nota. Elaboración propia.

1.3.2 DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA PURIFICADA

En las figuras 2, 3 y 4 se presenta el diagrama de flujo que corresponde al proceso de producción de agua purificada. A diferencia del proceso que ocurre con el agua destilada, en estos esquemas se puede observar que se llevan a cabo ciertos pasos en los mismos puntos de filtración que se solapan en los procesos que son diferentes según el tipo de agua. Esto se debe a que, para la producción del agua purificada, se considera la salud de las personas y es necesario realizar las pruebas fisicoquímicas en cada punto. Por otro lado, si se corrobora con la producción de agua purificada que los filtros y la depuración en cada etapa se realizan de forma adecuada (con base en los resultados de las pruebas), se pueden utilizar los resultados recientes para confirmar que el agua destilada que se está produciendo, y conforme a los requerimientos de sólidos totales disueltos, es de calidad y cumple con los parámetros necesarios.

Esta agua purificada es distribuida y abastece la demanda actual de agua para beber en la población del TESCO, mientras que, el agua destilada no es para consumo humano, sino para la utilización en laboratorios.

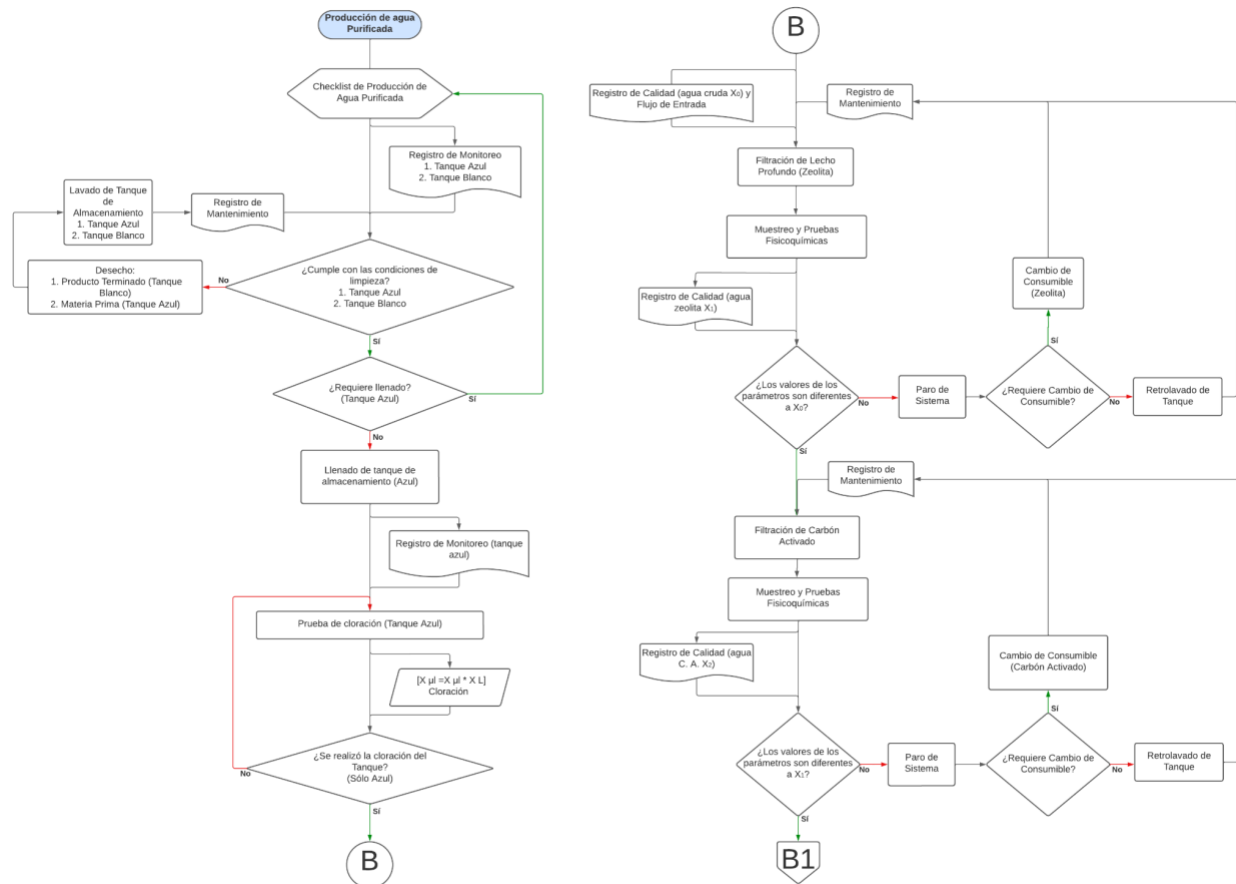


Figura 2. Diagrama de flujo sobre la producción de agua purificada

Nota. Elaboración propia.

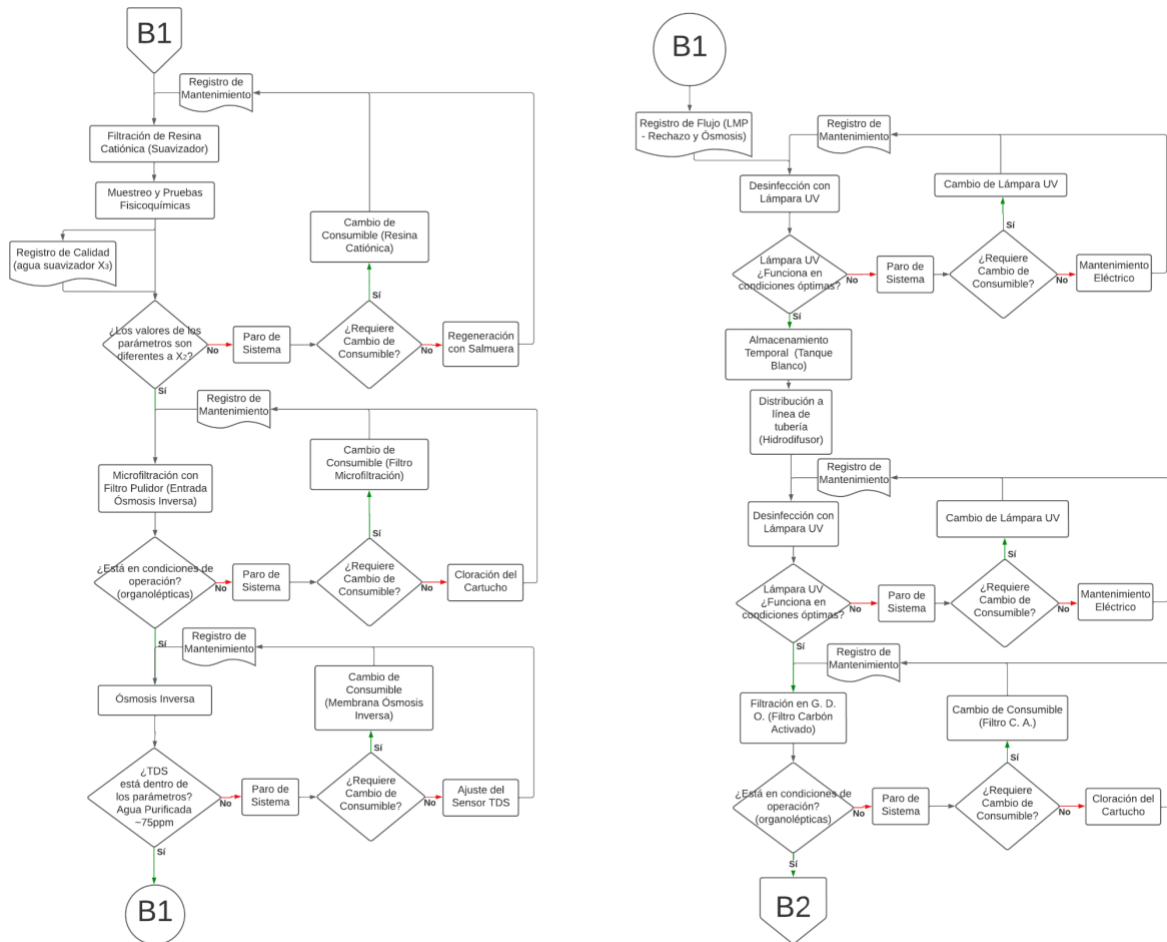


Figura 3. Diagrama de flujo sobre la producción de agua purificada

Nota. Elaboración propia.

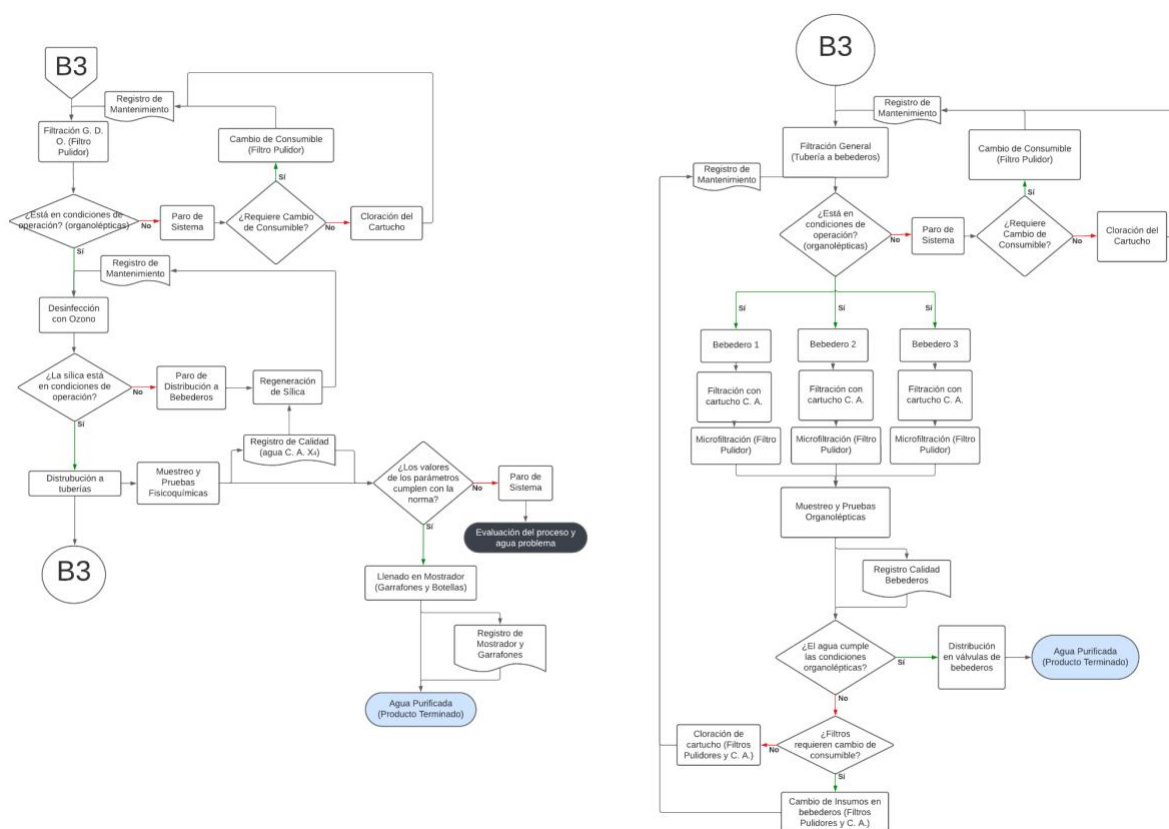


Figura 4. Diagrama de flujo sobre la producción de agua purificada

Nota. Elaboración propia.

1.4 NECESIDAD O REQUERIMIENTO DEL MERCADO

La planta purificadora del TESCo se encuentra en la necesidad de desarrollar un manual de operaciones integral para optimizar sus prácticas, estandarizar los procesos y registrar los datos de las actividades que se realizan para su funcionamiento. Desde el inicio de sus operaciones, tanto la planta como su personal han enfrentado desafíos operativos sin un manual definido y con limitaciones en los formatos de registro para recopilar información valiosa. Se espera que, con un manual de operaciones integral y un diseño conceptual de una estructura la información basada en los registros y las necesidades de operación y producción de la planta, se minimicen los errores humanos que puedan terminar en incidentes como la contaminación en los lotes de producción, daño en los equipos y materiales, o información incompleta y difícil de consultar. Además, se busca mantener una frecuencia de producción sostenible y garantizar la consistencia en los resultados de las evaluaciones de la calidad del agua purificada para asegurar de continuar proveyendo de agua purificada de calidad a la comunidad del Tecnológico. Esto, sumado a un registro de datos adecuado y diseñado con base en las necesidades específicas de la planta, forman parte de los elementos principales a desarrollar en el proyecto.

Estos elementos mencionados (manual de operaciones integral y diseño conceptual de estructura de la información), cubren las necesidades de la planta en cuanto a operatividad, producción y administración. Se requiere estandarizar los procesos y crear una herramienta (*checklists*, formatos de registro y manual de operaciones) para mantener un control sobre las actividades que son requeridas para cada proceso que tiene que ver con producción de agua purificada y destilada, mantenimiento y operación de equipo, control de calidad a través de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas, registro y documentación apropiado y para la consulta y visualización de información pertinente. La importancia del manual radica en ser un compilado del paso a paso de las actividades que deben ser realizadas en cada caso o situación que requiere la planta y referencias visuales sobre el equipo utilizado y parámetros de operación. Los formatos tienen la importancia de ser elementos clave en la bitácora de operaciones de la planta, estos contienen toda la información y los datos cualitativos y cuantitativos sobre las actividades y operaciones que se llevan a cabo en la planta en forma de resultados. Los resultados son las cantidades de agua utilizadas en cada mantenimiento, cuánta agua se fue a rechazo durante la producción, el estimado de agua perdida en fugas, los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, la cantidad de botellas y garrafones servidos, entre otros. El tomar la lectura de los flujos, el registro de producción y otros datos, es un paso clave en la mayor parte de las actividades, es por eso que este paso es mencionado en los *checklists* que mantienen un control de los pasos clave que hay que completar o llevar a cabo para cada proceso.

El mejorar la trazabilidad es una de las necesidades de la planta purificadora, esta necesidad es cuantitativa ya que requiere de tener un registro preciso del agua extraída, utilizada y destinada a cada función de la planta de agua purificadora y destilada. El tener los datos y valores correspondientes a las cantidades de agua de tal forma que sea posible rastrear o estimar cada litro o metro cúbico extraído con un rango cada vez menor, sienta las bases para llevar una idea clara sobre la eficiencia de la planta. Actualmente los datos disponibles presentan la dificultad de ser difíciles de consultar al estar solamente en papel y donde los valores presentan errores a gran escala debido a que no se están registrando ciertos valores que suman a la exactitud y precisión de las cantidades de agua registradas en ciertos formatos y campos. La necesidad de mejorar el registro y escalar la facilidad para consultar los datos y visualizar patrones en los mismos, así como estimar o calcular valores de valor en un contexto de análisis de negocio, se puede cubrir al generar nuevos registros y diseñar una herramienta conceptual de estructura de la información que abra la posibilidad a el diseño y desarrollo de una interfaz digital para el registro, manejo, consulta y visualización de datos enfocada a la planta purificadora pueda ser llevada a cabo en un proyecto futuro al término del presente.

El poder visualizar estos datos y tener facilidad a la consulta de los mismos, nos permite asegurar que el manejo de la planta purificadora tiene resultados aceptables, o si hay alguna área de oportunidad en cuanto a la operación y producción que requiera de atención. Con las herramientas digitales actuales disponibles, es posible encontrar patrones y entender de mejor manera los

resultados que se tienen. En la sección de resultados se verá a detalle un reporte sobre los registros disponibles de la planta, mientras que en los anexos, se encontrará un manual de operaciones integral, los respectivos *checklist*, nuevos formatos rediseñados para mejorar la trazabilidad, la estructura de información sugerida y un ejemplo de análisis de datos con una herramienta digital que permite manejar, agrupar y mostrar gráficos de datos relevantes sobre el desempeño de la planta de agua purificada y destilada del TESCo. Todo esto está pensado con la intención de asegurar una operación eficiente dentro de las instalaciones y ofrecer un producto de excelente calidad a la comunidad del Tecnológico con potencial competitivo en el mercado.

Uno de los objetivos a largo plazo en la planta, sería extender su servicio fuera de los estudiantes y la comunidad del TESCo que, actualmente tienen acceso gratuito al agua purificada. Esto proporcionaría ingresos para subsidiar o financiar los costos de operación de la planta, derivados de la compra de materiales e insumos necesarios para su funcionamiento.

Para lograr esto, es esencial obtener el permiso de funcionamiento necesario, dado al cumplir con los estándares y regulaciones establecidos. Así, la planta estará autorizada por las autoridades competentes para ofrecer agua purificada al público general. Además, se busca mejorar la gestión de los registros y la documentación a través de la digitalización y la creación de una estructura de información que contenga datos confiables y valiosos para el análisis. Esto facilitará la consulta de los datos para el análisis posterior y la toma de decisiones impacten en la operación de la planta.

En resumen, el objetivo principal es desarrollar un manual de operaciones integral que estandarice los procesos, ayude a mejorar y mantener consistente los resultados que derivan de la medición de la calidad del producto, promueva los valores en la comunidad al evitar el uso de botellas plásticas de un solo uso, y recolecte adecuadamente los registros generados por la operación. Se busca mejorar la gestión de los registros y la documentación referente a la operación a través de la digitalización y el diseño conceptual de una estructura de información accesible para operadores y otras personas o partes interesadas. Al lograr estos objetivos, la planta purificadora del TESCo puede ofrecer agua purificada de calidad a la comunidad del TESCo y, en el futuro, generar la confianza y la satisfacción con el servicio ofrecido por medio de protocolos internos, y facilitar la consulta y la visualización de datos confiables y de valor por medio de un sistema de registro completo y la estructura de datos resultante.

En el contexto actual, con la información y los datos obtenidos y registrados a partir de las actividades de la planta, es imperativo contar con registros adecuados que cumplan con una estructura definida, campos y valores consistentes para respaldar el análisis de negocios y la toma de decisiones informadas. La era digital ha transformado la forma en que se gestionó la información, por lo que, los registros en papel ya no son suficientes ni eficientes para satisfacer las demandas de un entorno empresarial en constante evolución. Los registros digitales ofrecen numerosas ventajas, como la capacidad de almacenamiento masivo, la facilidad de acceso y búsqueda, y la posibilidad de análisis avanzados para la toma de decisiones. Al tener registros

digitales bien estructurados, se facilitan la extracción y el procesamiento de datos, lo que proporciona una visión clara y detallada de los procesos y resultados. Estos registros digitales permiten una mayor precisión, consistencia y confiabilidad en la información, lo que a su vez promueve una toma de decisiones efectiva y estratégica.

La aplicación de la normatividad en materia de agua y la integración de un sistema de operación y producción que contenga el paso a paso y los elementos que lo componen, son requerimientos para obtener una certificación, un permiso de operación, e incluso el registro de una marca comercial para la venta de agua. Este proyecto también abre las puertas de la planta purificadora para múltiples proyectos interdisciplinarios y para continuar la mejora del desempeño por medio de indicadores (*KPIs*) que estén basados en los datos que arroja la operación de la planta como lo es: la producción de agua purificada y destilada, el mantenimiento de los equipos, el agua registrada como pérdida o merma, los resultados del control de calidad (análisis fisicoquímicos y microbiológicos), entre otros valores. Todo esto sirve para la toma de decisiones informadas basadas en datos y llevar a cabo las acciones necesarias para lograr ciertos objetivos y correcciones.

1.5 ANTECEDENTES

La calidad del agua superficial y subterránea que se encuentra en depósitos naturales corresponde a la calidad de las fuentes de agua que ha utilizado la humanidad. La necesidad de abastecimiento, la capacidad de distribución, la disponibilidad y la calidad de estas fuentes han cambiado a través del tiempo, según la región, el clima y las circunstancias antropogénicas o naturales. Estas circunstancias determinan la calidad y la seguridad del agua, y pueden originarse naturalmente, como en el caso de la filtración de agua salina, las erupciones volcánicas, la lixiviación, las inundaciones por tormentas, o por otros fenómenos naturales con desintegración radiactiva de isótopos que se encuentran de forma natural en las capas del suelo, como sucede con la descomposición de cadáveres animales. La contaminación del agua puede tener origen antropogénico, y este término se otorga a la contaminación que deriva de las actividades humanas y su funcionamiento en la sociedad, lo que involucra las actividades económicas y la complejidad del sistema financiero, educativo, industrial, comercial, etc.

Estas actividades generan sustancias y materiales que permanecen en la naturaleza a lo largo de su ciclo de vida, incluso después de ser desechados. Esta disposición hacia el ambiente ya sea directa o indirecta, está compuesta por actividades cotidianas como el uso de fertilizantes, la minería, la extracción excesiva en acuíferos para satisfacer las demandas crecientes, la descarga de residuos en suelos y cuerpos de agua, y el desarrollo urbano. La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas representa uno de los desafíos que amenazan el medioambiente y el desarrollo de la sociedad humana (Stefanakis et al., 2015).

La turbidez visible en el agua fue el motivo inicial por el cual las antiguas civilizaciones empezaron a realizar las primeras filtraciones y depuraciones al utilizar carbón y otros medios filtrantes, como minerales naturales extraídos de yacimientos regionales, y al exponerlos al sol o hervirlos para eliminar partículas que causaban olores, sabores desagradables y apariencias poco deseables. A lo largo de la historia, distintas civilizaciones han desarrollado sistemas de purificación y de suministro público de agua que han abastecido a la sociedad desde hace miles de años; ello, al adaptar tecnologías y conocimientos registrados sobre el proceso, así como los criterios y regulaciones que han surgido al respecto.

Un ejemplo de tecnología antigua es la antigua ciudad Maya de Tikal en Guatemala, donde recientes hallazgos arqueológicos revelan que la civilización contaba con un sistema de filtración de agua con zeolita, material que se pensó no era utilizado sino hasta comienzos del siglo XX. En la Figura 5 se evidencia el relieve de la ciudad de Tikal, así como la distribución de los embalses que se utilizaban para proveer de agua limpia a la población. En 1881 iniciaron las investigaciones arqueológicas en Tikal y, a pesar de que había evidencia sobre los complejos sistemas de gestión de agua en la ciudad con infraestructura de embalses y ductos para su transporte, no estaba claro cómo obtenían agua limpia en los depósitos centrales (Tankersley et al., 2020). En 2020, un estudio de la Universidad de Cincinnati reveló que, de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona

del Tikal, donde la civilización basaba sus actividades de agricultura y ceremonias alrededor de la lluvia, las estructuras de depósito podrían haber suministrado agua limpia durante las épocas de sequía, con un sistema de filtrado con zeolita y cuarzo, ubicadas en suelos fértiles y cerca de corredores comerciales importantes (Lucero et al., 2011).

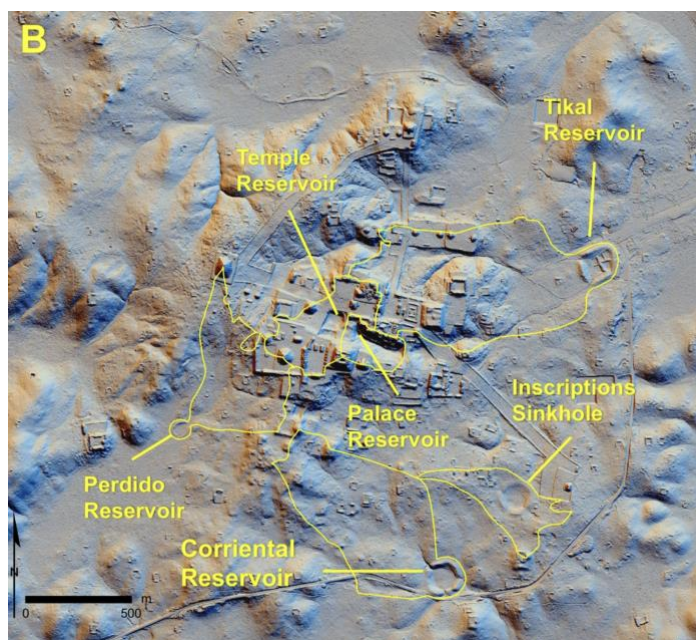


Figura 5. Ubicación de embalses en Tikal

Nota. Tomado de *Zeolite water purification at Tikal, an ancient Maya city in Guatemala*, por K.B. Tankersley et al., 2020, *Sci Rep.*, 10.

Uno de los depósitos de agua más grandes en la ciudad de Tikal que fue descubierto, de acuerdo con el estudio de la Universidad de Cincinnati, es el Corriental, el cual además de ser el único con zeolita, y siendo el más antiguo que los descubiertos en civilizaciones de Asia y Europa. De acuerdo con los estudios de datación por radiocarbono es uno de los más antiguos registrados, con alrededor de 2500 años junto con los otros depósitos encontrados Perdido y Templo. Los análisis de difracción por rayos X en los sedimentos de estos embalses datan del Preclásico Tardío y Clásico Tardío, con lo que se evidencia una variedad de materiales cristalinos como calcita, cuarzo, zeolita y esmectita en los sedimentos de Corriental.

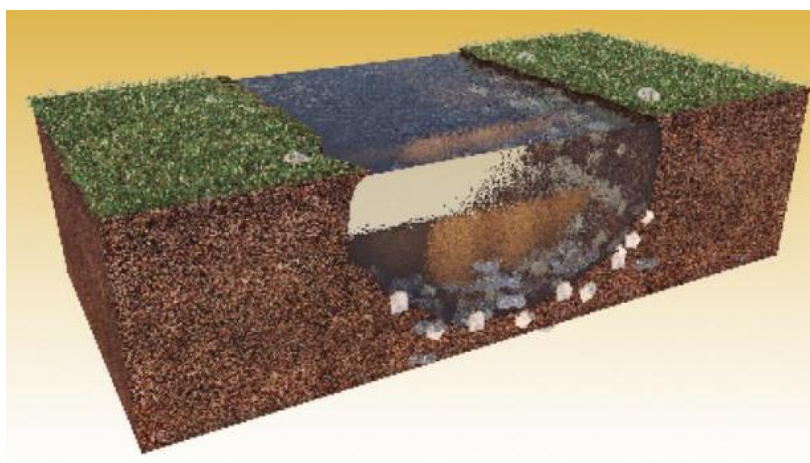


Figura 6. Esquema hipotético del sistema de purificación en Tikal

Nota. Tomado de *Los mayas purificaban el agua 2000 años antes que en Europa*, por La Razón de México, 2020, <https://www.razon.com.mx/cultura/mayas-purificaban-agua-2-000-anos-europa-410570>

De acuerdo con las investigaciones, se cree que en antiguas civilizaciones había canales con estructuras similares a la Figura 6, donde se ubicaba el canal de transmisión y el filtro de purificación en la entrada o corriente arriba del repertorio de agua. Estos canales estaban contruidos con una pared de piedra caliza, una capa de cuarzo cristalino y una de zeolita, que absorbían y filtraban los compuestos contaminantes como metales pesados, microbios y toxinas, estos materiales se contenían con petate. Era importante mantener el agua limpia, dado que este reservorio de agua cuenta con una capacidad de 58 millones L (uno de los más grandes registrados), este y otros depósitos abastecieron de agua limpia por más de mil años hasta el abandono de la ciudad por cuestiones políticas, sociales y ambientales. Se observa que los minerales utilizados eran recolectados de una zona a 30 metros del norte de la ciudad y que la necesidad de realizar este tipo de limpieza en el agua para consumo provenía de los eventos y fenómenos ambientales o naturales que podrían contaminar el agua como lo eran erupciones volcánicas, ciclones y tormentas.

Este ejemplo demuestra que, desde hace miles de años, las civilizaciones han necesitado de diversos tipos de tratamiento para suministrar agua segura y limpia para el consumo de la población. La disponibilidad y la calidad del suministro de agua dependen del clima y las precipitaciones, por lo que su correcto almacenamiento es fundamental durante las épocas de sequía, sobre todo si se desea mantener un suministro constante de agua. Los sistemas de tratamiento de agua han evolucionado de las técnicas rudimentarias hasta convertirse en los métodos sofisticados como los conocemos en la actualidad, y son con lo que se han sentado las bases para el desarrollo de tecnologías modernas en los sistemas ancestrales. Sin embargo, estos avances tecnológicos también han generado la necesidad de contar con registros precisos y actualizados que documenten la eficiencia y el rendimiento de los sistemas de filtración, donde se contemple también la demanda de la población para la toma de decisiones informadas.

De acuerdo con algunas observaciones y registros históricos, se puede entender que el ciclo hidrológico está estrechamente relacionado con los cambios de temperatura en la atmósfera, así como las diferencias de radiación entre la Tierra y el sol (Bates et. al., 2008). Esto se debe a que cualquier aumento o disminución de temperatura en la atmósfera puede alterar las fases del ciclo hidrológico. En este caso el calentamiento global observado por medio de los promedios de temperaturas registradas alrededor del mundo ha tenido una tendencia a aumentar en las últimas décadas, lo que hace posible el observar también como ciertas regiones del mundo han cambiado sus patrones de precipitación, provocando sequías en ciertas regiones y aumentando la humedad en otras. Existen proyecciones con datos de 1980 hasta 1999, que muestran un resultado potencial basado en la tendencia que ha sido registrada.

Esto tiene un efecto directo en la disponibilidad de agua y de alimentos en dichas regiones que han presentado cambios significativos desde los años 80 y que de acuerdo con los datos de las últimas dos décadas del siglo XX. Ciertas regiones están proyectadas con afectaciones en la disponibilidad de agua dulce superficial con menor escorrentía y precipitaciones menos frecuentes, provocando poca humedad en el suelo afectando las capas donde hay pozos y reservas acuíferas. El cambio de temperatura a la fecha y en los próximos años, representan también un impacto en los procesos químicos y biológicos de los cuerpos de agua, además de tener un impacto en los microclimas o en ciertas cuencas. En resumen, el cambio climático podría afectar el balance hídrico, la disponibilidad del agua embalsada (presas o sistemas hídricos), provocar sequías reduciendo la humedad del suelo, podría provocar la salinización de los acuíferos poco profundos, entre otros.

En la figura 7, se puede observar un mapa sobre el estrés hídrico alrededor del mundo, el cual fue elaborado con datos históricos desde 1980 hasta 1999. La disponibilidad de estos datos, la transformación y el análisis de estos mediante herramientas tecnológicas que permiten el manejo de datos y de bases de datos, permite que sea posible realizar estimaciones, proyecciones y visualizaciones creativas sobre las estadísticas que contiene un conjunto de datos. Cada país y cada territorio y localidad, cuenta con diversas herramientas que permiten la lectura de datos meteorológicos, y son registrados y almacenados automáticamente gracias a sensores y sistemas de control y automatización. Estos repositorios al ser analizados presentan patrones de comportamiento que pueden ir cambiando a través del tiempo, las herramientas tecnológicas de la actualidad como el aprendizaje automático generan proyecciones como la que se presenta a continuación (Alcama et al., 2003).

Esto es gracias a una estructura de la información creada específicamente para permitir la comparación de la disponibilidad y uso de agua dulce en diferentes regiones del mundo para cumplir con las necesidades de la sociedad y los ecosistemas acuáticos, y ofrecer una visión a largo plazo, de al menos varias décadas, sobre los cambios que se producen en los recursos hídricos a nivel global. Se utilizaron datos sobre uso de agua doméstica, industrial y agrícola en un aspecto social y datos sobre la disponibilidad como la recarga y escurrimiento en un aspecto hidrológico. El modelo estimó de acuerdo con los datos disponibles de cada región un índice de nivel de estrés

hídrico de acuerdo con las tendencias de consumo/extracción de agua y disponibilidad de agua a través del ciclo hidrológico.

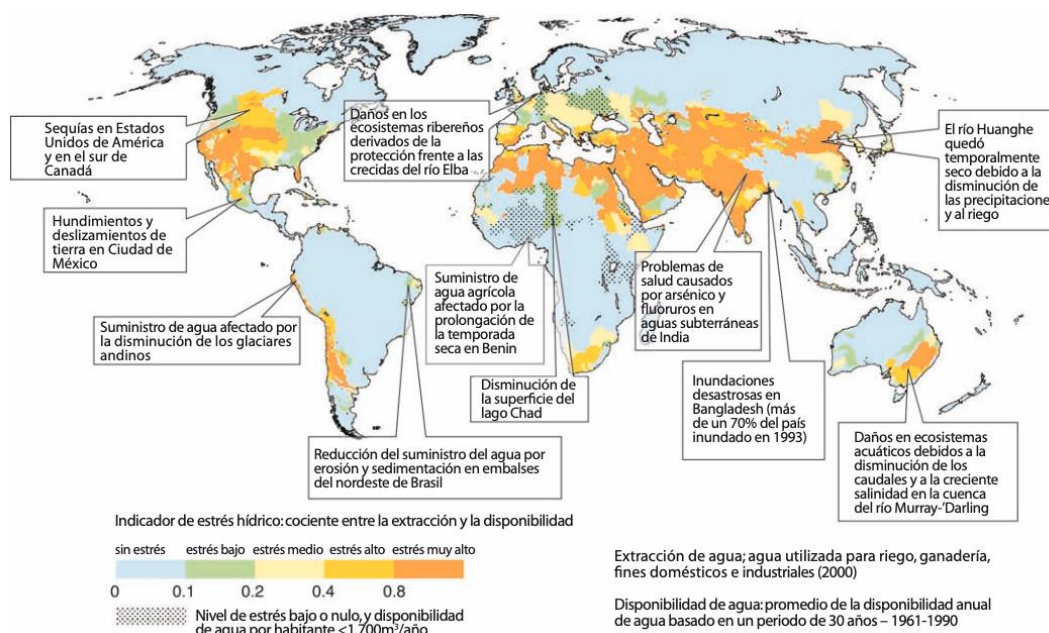


Figura 7. Ejemplos de vulnerabilidad actual de los recursos de agua dulce y de su gestión; al fondo, un mapa de estrés hídrico, basado en WaterGAP (Alcamo et al., 2003a).

Nota. Tomado de *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat por bates et al., 2008*, <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/climate-change-water-sp.pdf>

En México, el estrés hídrico es una preocupación creciente debido a varios factores, como el cambio climático, el crecimiento poblacional y la sobreexplotación de recursos hídricos. Según datos recientes, algunas regiones del país enfrentan niveles alarmantes de escasez de agua. En ciertas cuencas y áreas urbanas, la disponibilidad de agua por habitante ya se encuentra por debajo del umbral de 1.000 m³/año establecido internacionalmente para determinar el estrés hídrico. Además, el incremento en la demanda de agua para usos domésticos, industriales y agrícolas, junto con prácticas de gestión del agua poco sostenibles, ha llevado a un aumento en el cociente entre la extracción de agua y el promedio anual histórico de escorrentía. Esta situación pone de manifiesto la urgente necesidad de implementar políticas y prácticas de gestión del agua eficientes y sostenibles en México para garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua para todos los mexicanos. Se explicará a fondo el contexto del agua en México en el marco teórico del presente proyecto.

Todas estas estimaciones son posibles de calcular gracias al registro histórico de datos de todo el mundo sobre parámetros meteorológicos y sociales como el clima, precipitación, humedad, disponibilidad de agua, población, entre otros. Por ejemplo, en México existe un repositorio llamado 'Datos Abiertos de México' que de acuerdo con el Portal de Transparencia establece que

los datos de esta plataforma son de carácter público y accesibles, integrales, gratuitos, no discriminatorios, oportunos permanentes, primarios, legibles en máquinas en formatos abiertos y de libre uso. Se presentan en columnas y renglones en formatos que no son compatibles con PDF u otro tipo de documento gráfico/visual. De esta plataforma es posible descargar los archivos de datos (la mayoría en formato .csv o valores separados por coma). Estos son consultables y transformables en herramientas como Microsoft Excel.

Algunos de los datos consultables en la plataforma de Datos Abiertos de México son los de precipitación. Lo que se muestra es una tabla que contiene columnas y filas, que muestran cada estado de la república en el índice de la tabla o las filas de la primera columna, los meses como encabezado de las demás columnas y un valor medio en cada celda. Este tipo de información está disponible desde 1985 hasta el año 2023. Como este repositorio de datos, se tienen muchísimos otros sobre factores como lo son climáticos, atmosféricos, sociales, culturales, etc. Todos estos datos son de suma importancia para tomar decisiones a nivel nacional, estatal y municipal y otro tipo de divisiones políticas, geográficas y administrativas, ya que cada institución y cada parámetro registrado está disponible en cada nivel de cada tipo de división territorial.

Los repositorios de datos abiertos de México promueven la transparencia gubernamental y facilitan el acceso a la información para el público en general. De manera similar, un repositorio de datos de la planta purificadora, así como el análisis y visualización de estos datos, permitiría a los interesados acceder a información detallada sobre el funcionamiento, rendimiento y calidad del agua de la planta. Tener datos disponibles y accesibles facilita la toma de decisiones informadas tanto a nivel gubernamental como a nivel local. En el caso de la planta purificadora, un repositorio de datos bien estructurado podría ayudar a los administradores a identificar áreas de mejora, optimizar procesos y garantizar la calidad del agua purificada, así como indicar de qué forma implementar nuevas herramientas tecnológicas para facilitar los procesos que tengan que ver con el registro y almacenamiento de la información.

Los datos abiertos pueden ser utilizados por investigadores, académicos y desarrolladores para realizar análisis, estudios y proyectos que benefician a la sociedad y promuevan una cultura de sustentabilidad, sostenibilidad y comunidad. En el contexto de una planta purificadora como la del TESCo, estos datos podrían ser útiles para desarrollar nuevas tecnologías, mejorar la eficiencia operativa o realizar estudios sobre el consumo y calidad del agua. También, al tener acceso a la información, los ciudadanos pueden involucrarse activamente en la supervisión y mejora de los servicios públicos en el caso de los datos abiertos de México, mientras que, en el caso de la planta purificadora del Tecnológico, la disponibilidad de datos podría fomentar la participación ciudadana en la vigilancia de la calidad del agua, en la promoción de prácticas sostenibles. Alineando un método de almacenamiento o repositorio en la planta purificadora con los objetivos de tener acceso a la información, la comunidad del TESCo puede involucrarse activamente en la supervisión y mejora del servicio, así como este sistema de transparencia que se utiliza en México,

se está generando información valiosa que de estar bien estructurada puede aportar diferentes perspectivas sobre el caso de la planta purificadora.

Por otro lado, la necesidad de un monitoreo preciso y oportuno en cuanto a los litros abastecidos ha impulsado la adopción de registros digitales en la gestión del agua, similar al monitoreo del clima con la precipitación, temperatura, niveles de caudales y concentración de contaminantes. La disponibilidad de los datos necesarios para tomar estas decisiones puede marcar la diferencia entre decisiones tomadas con un análisis y criterio que esté a favor de la eficiencia y calidad en el agua. Para este efecto, los registros en papel presentan limitaciones significativas, como la dificultad de mantenerlos actualizados, el riesgo de pérdida o daño, falta de accesibilidad para aquellos que necesitan analizar y preparar los reportes en tiempos críticos y los resultados de las decisiones basadas en los datos.

En contraste, cuando los registros históricos se acumulan y requieren un mayor esfuerzo para organizar y analizar la información, los registros digitales permiten un acceso rápido y sencillo a los datos en tiempo real, lo que facilita el monitoreo continuo y la detección temprana de problemas o tendencias. La información recopilada en registros digitales puede ser analizada de una forma con mayor eficiencia a como se lleva a cabo actualmente, lo que permitiría una mayor comprensión de los patrones de calidad del agua y el rendimiento de los sistemas de filtración. Estos registros pueden ser compartidos fácilmente y actualizados, lo que promueve la transparencia y la colaboración entre diferentes actores involucrados en la gestión del agua.

Los avances en la sociedad, economía e industria han generado nuevas herramientas que han evolucionado con la tecnología para capturar información relevante, consultarla, visualizarla y analizarla, esto ha llevado al desarrollo de aplicaciones y sistemas que automatizan ciertos procesos de datos. Es posible evidenciarlo en las redes sociales y en marketing, en los registros de las aplicaciones del clima y/o tormentas, los sistemas de filtración y la necesidad de un monitoreo preciso y oportuno han llevado a dejar atrás los registros y bitácoras en papel en favor de los registros digitales. Estos últimos ofrecen una forma eficiente de recopilar, organizar, analizar y compartir información relevante para la gestión del agua. Al adoptar registros digitales, las entidades responsables de la gestión pueden mejorar la toma de decisiones, optimizar el rendimiento de los sistemas de filtración y garantizar un suministro calidad para las comunidades y el medioambiente.

La planta purificadora es ya un componente vital en la producción y suministro de agua, y esta asegura la calidad y la seguridad del agua purificada dentro de la comunidad del TESCo. Actualmente, la planta purificadora se enfrenta a desafíos relacionados con la estandarización en los procesos de producción, el registro adecuado de los valores y datos, así como el procesamiento y visualización de estos, que se tienen en cuenta desde el inicio de la operación de la planta a la fecha. Estos desafíos han llevado a ciertas inconsistencias en la calidad del producto final, registros, incidentes de contaminación y falta de información apropiada o necesaria que no se

encuentra directamente en los registros, como sucede con las cantidades de agua purificada que se generan al mes, los costos que se han suscitado en periodos de tiempo específicos, entre otros factores que no habían sido considerados.

En cuanto a la gestión de la información, relevante por la naturaleza del presente proyecto, se generan datos e información derivada de la operación de la planta. Se emplea el término “arquitectura de la información”, centrado en organización, etiquetado y jerarquía en el almacenamiento, además, se relaciona con el comportamiento del usuario respecto de su interacción con la información y la estructura de la información como tal (Resmini y Rosati, 2011). El término ha sido utilizado desde la década de los 70 y aplicado en diferentes ámbitos aparte del informático, que es hacia dónde se encamina el presente proyecto. Un ejemplo de su aplicación es el sistema de clasificación de libros en bibliotecas, organizados por género o área con etiquetas en los pasillos y estantes. Los antiguos sistemas de fichas han sido reemplazados por sistemas digitales porque estos facilitan el trabajo. Otro ejemplo es la disposición de productos en supermercados, donde cada pasillo tiene un grupo de productos similares. Sin embargo, un etiquetado o almacenamiento inadecuado dificulta encontrar ciertos productos para los usuarios. Estos conceptos han sentado las bases para el desarrollo de aplicaciones y bases de datos utilizadas en almacenamiento y gestión de datos a gran escala en la actualidad.

Podemos verlo aplicado en la plataforma de datos abiertos de México, que permite buscar cualquier tipo de repositorio y además permite a través de Data México, visualizar y descargar información en gráficos personalizables. Para la planta purificadora, de acuerdo con su trayectoria es importante comenzar a sentar las bases de un crecimiento integral, donde se requiere estandarizar los procesos y darles el mejor uso a los datos generados de la operación y la producción a través del uso de herramientas digitales.

Para el contexto interno del TESCO, la profesora Claudia Orozco que es actualmente la encargada de la planta purificadora y la planta piloto de tratamiento de aguas residuales, tiene una amplia trayectoria en materia de purificación de agua (28 años de experiencia en la industria), quien ha observado por más de una década la evolución de la planta purificadora y la planta piloto de tratamiento de aguas residuales. En el año 2011 se le asigna el laboratorio de ambiental y en seguida, la planta piloto. Al manejar la planta piloto, se dio cuenta de que el área de la planta purificadora estaba en abandono y no contaba con los insumos, el personal capacitado, ni la capacidad de operación para purificar el agua con estándares que pudieran cumplir con la normatividad aplicable, situación por la cual surgió su inquietud de arrancar esta otra área y manejarla con los estándares de calidad y servicio adecuados para proveer agua segura a la comunidad del Tecnológico.

En ese entonces, aproximadamente en 2017, la dirección de la institución en ese entonces le asignó la planta purificadora. A partir de este momento, se comenzó a generar proyectos con los estudiantes y otros profesores de residencias profesionales y de titulación, en conjunto con la

jefatura de ambiental para realizar el diseño de la planta, el diseño del sistema de purificación y destilación, el diagnóstico del agua utilizada como insumo en aquel entonces y la adaptación de las instalaciones de la planta a las necesidades de la comunidad. Como primer filtro de calidad durante los periodos de prueba, se le realizaba un análisis preliminar a cada pipa de agua que llegaba a distribuir el agua (materia prima), y aquellas que no cumplían con la normatividad (NOM-041-SSA1-1993) eran rechazadas y solamente aquellas que cumplían con el estándar de calidad, eran aceptadas para ingresar el agua al sistema. Los análisis que se le realizaban a el agua traída por las pipas eran los mismos análisis y estándares que se utilizan hoy en día para monitorear el agua cruda (agua de pozo) que es utilizada. Se realizaron análisis fisicoquímicos de dureza, alcalinidad, cloruros y sólidos totales disueltos, y microbiológicos (cultivos).

Anteriormente, el personal de mantenimiento era quien se encargaba de realizar la producción sin capacitación en normatividad o estándares de calidad, seguridad e higiene, etc. Se utilizaba material para la cloración que no era el indicado por la norma para los fines establecidos (hipoclorito sódico y cálcico) y el producto final era de muy mala calidad ya que no se tenía la capacidad para realizar el seguimiento pertinente. Esto provocó que la opinión de la comunidad del Tecnológico tuviera una mala percepción sobre las actividades realizadas en la planta purificadora y sobre el agua purificada producida.

Durante la pandemia en el 2020 fue cuando comenzó la instalación del sistema de purificación y destilación como lo conocemos ahora a través de diferentes proyectos. Se contactó a una empresa privada experta en este tipo de sistemas para realizar la instalación (Purimer). Una vez con el sistema instalado fue que comenzaron a llevarse a cabo los análisis para recibir agua externa por medio de pipas, agua que llegaba a presentar inconsistencias en resultados en los análisis fisicoquímicos y, por ende, era en ocasiones rechazada por la profesora encargada. El agua que era aceptada podía ser colocada directamente dentro del primer tanque de almacenamiento de agua cruda, pero en ocasiones era almacenada temporalmente en un tanque externo, el cual tuvo que ser remplazado en una ocasión debido a problemas de contaminación cruzada. Una vez que las vías de contaminación se identificaron y se estableció la consistencia en los resultados de los análisis del agua cruda, se comenzó a producir agua de forma regular y constante.

En el primer bimestre del 2023 es cuando la planta comenzó actividades de forma regular. Para la operación se tenían los primeros formatos de registro diseñados para cubrir las necesidades básicas del inicio de la producción y se contaba con un manual muy sencillo de operación para algunos de los equipos que hay en existencia en las instalaciones de la planta. Esta operación comenzó después de un par de años de generar proyectos y pruebas necesarias que permitieron acondicionar las instalaciones de la planta, adquirir los insumos adecuados para el tipo de proceso, generar controles internos para salvaguardar la salud de los consumidores finales y mantener registros históricos que permitieran auditar la planta, como en el presente proyecto.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVOS GENERALES

Desarrollar un manual de operaciones integral para la planta purificadora del TESCo que permita garantizar consistencia en la calidad del producto final, eficiencia en todas las actividades referentes al funcionamiento de la planta mediante la evaluación del proceso actual para identificar las áreas de oportunidad y definir los mejores procesos de acuerdo con las necesidades específicas de la planta; y diseñar un modelo relacional de tablas basado en las necesidades de registro y documentación que requiere la planta.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar un manual de operaciones integral basado en las áreas de oportunidad de los actuales procesos técnicos y operativos de la planta purificadora del TESCo en cuanto a la producción, mantenimiento, servicio y documentación a través de los resultados obtenidos desde el inicio de la operación (información y datos en registros existentes).
2. Extraer la información de valor recopilada durante el primer año de operación (registros existentes) de la planta mediante el uso de herramientas tecnológicas especializadas en el análisis de datos, un proceso de digitalización manual de los registros y el posterior procesamiento de estos con la ejecución de código para análisis y visualización de datos.
3. Evaluar y rediseñar los formatos de registros actuales a partir de la determinación del análisis de datos previo para mejorar la trazabilidad del agua, la calidad de los datos y la información recopilada.
4. Implementar las mejoras basadas a partir de las áreas de oportunidad de los procesos incluidos en el manual de operaciones integral y los formatos para el registro físico (papel) de las actividades que lo requieren.
5. Diseñar una estructura conceptual de arquitectura de la información intuitiva basada en los procesos de la planta para el registro, consulta y visualización de los datos a partir de la documentación generada.

1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.7.1 ALCANCES

1. El manual de planta potabilizadora abarcará todos los aspectos relacionados con los procesos técnicos, operativos, de seguridad e higiene involucrados en la producción de agua purificada y destilada en la planta potabilizadora del TESCo. Esto con el objetivo de

capacitar al personal de la planta y mantener estándares de calidad en los procedimientos. Incluirá un diagrama de proceso para la producción de agua purificada y destilada, *checklists*, sugerencias de indicadores claves de rendimiento (KPIs) como formas de llevar a cabo seguimientos para el control de calidad y eficiencia de uso.

2. Se desarrollarán nuevos formatos que sean amigables con el usuario, apropiados con la operación y los requerimientos que se necesitan para reemplazar los registros en papel, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la accesibilidad y la integridad de la información de forma digital. Esto se llevará a cabo a través del diseño de una estructura de información o modelo relacional de tablas que estarán conformadas con los datos de valor que se registran y derivan de las actividades y de la operación de la planta. Estos datos requieren ser consultados y visualizados para contestar a las preguntas del análisis de negocio, relevantes en la operación.
3. A partir de los nuevos formatos, se llevará a cabo a través del diseño de una estructura de información o modelo relacional de tablas que estarán conformadas con los datos de valor que se registran y derivan de las actividades y de la operación de la planta. Este modelo será la base conceptual para la implementación de futuros proyectos de escalación tecnológica.

1.7.2 LIMITACIONES

1. Para iniciar el proceso de digitalización de los documentos o registros, se realizará de forma manual, registrando los datos uno a uno en papel desde el inicio de las operaciones de la planta, en un sistema o herramienta digital que facilite el almacenamiento de datos. Se implementará un formato híbrido que combine registros en papel y digitales, generando el inicio o la transición hacia un sistema completamente digital. Esto conlleva tiempo de operación automatizable en pantalla que podría ser mejor aprovechado con alguna automatización. Se recomienda continuar con la digitalización frecuente de los registros en papel en Microsoft Excel como método de respaldo y para hacer pruebas con el material original en caso de expandir el proyecto.
2. La aplicación de lo elaborado en este proyecto hacia el desarrollo de una herramienta digital, su aplicación o interfaz de usuario diseñado para el personal de la planta y quienes lo administran, así como la comunidad del Tecnológico, dependerá de darle la continuidad al material elaborado y entregado en los anexos. Se recomienda continuar con la escalación de la automatización del registro de los datos de operación de la planta purificadora para mejorar los resultados y definir las acciones a llevar a cabo.
3. Se desarrollarán nuevos formatos que sean amigables con el usuario, apropiados con la operación y los requerimientos que se necesitan para reemplazar los registros en papel actuales, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la accesibilidad y la integridad de la

información de forma digital. Estos nuevos formatos serán diseñados para mejorar la eficiencia, la accesibilidad y la integridad de la información almacenada; contemplando que estos registros requieren de un proceso de digitalización para consultas de datos con visualización de estimaciones y otros patrones con mayor frecuencia cada vez para descubrir patrones.

4. Es necesario proporcionar adecuadas capacitaciones al personal en la recopilación y registro de datos en los formatos en papel una vez que se hayan creado las versiones actualizadas requeridas, para la mejor eficiencia operativa y la disponibilidad de información para los análisis específicos. Además, será necesario capacitar al personal operativo en el uso de las herramientas digitales, si la administración así lo desea, contemplar las medidas de seguridad y privacidad de la información requeridas para ello, y la inversión en tiempo y capital humano para completar el proyecto.

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

2 CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 EL AGUA

El estudio del agua inicia con el análisis de su molécula o estructura molecular, en tanto que cuenta con un diseño único con propiedades específicas. El ángulo en que los enlaces de los átomos de hidrógeno están con respecto al átomo de oxígeno es de 105° , lo que produce una molécula asimétrica que está cargada positivamente del hidrógeno y negativamente del lado del oxígeno. Por esta razón se dice que es una molécula dipolar. Esta formación de dipolos hace que las moléculas del agua cuando se aglomeran formen puentes de hidrógeno que evitan que el agua abandone la superficie de un cuerpo fácilmente. También da la característica de que su punto de ebullición sea mayor que la requerida para otros compuestos químicos. Las temperaturas en las que la molécula pasa a la fase de evaporación desde un estado líquido, son 100°C al nivel del mar y 92°C en el Valle de México. Esto genera que el agua tenga una capacidad calorífica, haciéndola útil en la industria para la transferencia de calor.

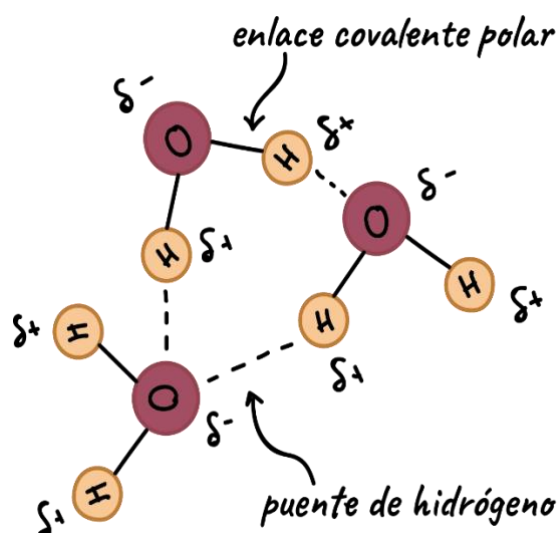


Figura 8. Puente de hidrógeno en moléculas de agua.

Nota. Tomado de Khan Academy, Los puentes de hidrógeno en el agua, <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/chemistry-of-life/structure-of-water-and-hydrogen-bonding/a/hydrogen-bonding-in-water>

El agua es también conocida como un disolvente natural o universal, lo que le permite disolver iones o moléculas polares, como el Sodio o el Magnesio. Esto se debe a que el agua forma interacciones electrostáticas con estos iones polares; en el ejemplo del cloruro de sodio (NaCl), al ser una sal que se disocia cuando entra en contacto con el agua, se aprecia que la sal se disuelve porque el agua forma una capa de hidratación que contiene los iones positivos del sodio y negativos

del cloro. Los iones positivos del Sodio se rodean de las cargas parciales negativas de la molécula de agua que corresponden a los átomos de oxígeno, mientras que los iones negativos de cloro, por las cargas parciales positivas de la molécula de agua que corresponde al átomo de hidrógeno. Comprender este proceso es fundamental, debido a que más adelante se menciona el mantenimiento de los equipos de filtración, donde se utiliza una solución de NaCl. Esto permite que el tanque encargado de la remoción de la dureza (suavizador) retenga los iones que la causan, como el calcio y el magnesio, entre otros.

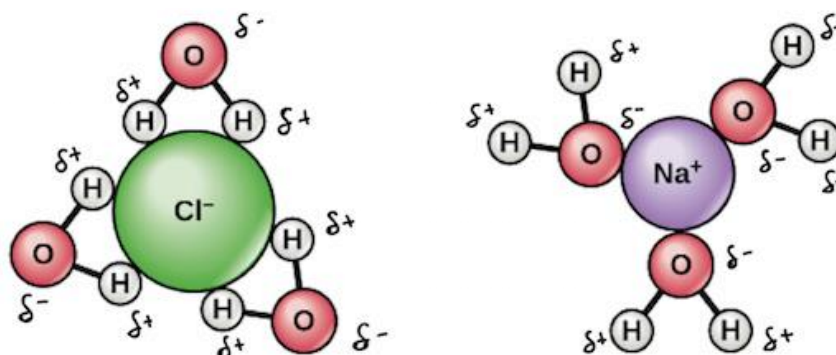


Figura 9. Imagen modificada de "Agua: Figura 3", de OpenStax College, Biología.

Nota. Tomado de Khan Academy, *Propiedades disolventes del agua*.

<https://es.khanacademy.org/science/biology/water-acids-and-bases/hydrogen-bonding-in-water/a/water-as-a-solvent>

Todo lo que se encuentra disuelto en el agua en ciertas concentraciones se considera contaminación. Hay ciertas aguas naturales que contienen cantidades variables de sustancias que fluctúan en algunos parámetros. Un ejemplo es la salinidad del agua de mar. Esta concentración de sal se debe a condiciones naturales, así, puede haber otras sustancias en otro tipo de aguas como ríos, lagos y depósitos subterráneos. Las aguas residuales son también un ejemplo de concentraciones y variedad de sustancias (impurezas) en el agua, que provienen de un proceso que genera desechos líquidos o sólidos, los cuales finalmente acaban en el drenaje y en cuerpos de agua. Esto se conoce como calidad del agua, es decir, qué tan apropiada es el agua para sustentar un proceso o uso específico (Bartram et al., 1996); se trata de un rango de características o variables específicas que define los diferentes usos del agua. Cada uso tendrá sus demandas e impactos en la calidad del agua.

Como se mencionó, existen distintos tipos de agua y estos se definen directamente por los valores que sus parámetros contengan. Los parámetros que se revisan para determinar su calidad son los microbiológicos, físicos y químicos, además, según la situación y el contexto de análisis se considera la radioactividad. Estos parámetros son de suma importancia para el análisis del agua, por cuanto a partir de estos se determina la calidad en el momento en el que se muestrea, se obtiene el resultado de los análisis y se diseña el tipo de tratamiento que el agua debe tener, así como el

uso destinado del agua tratada. Esto considera la satisfacción de la demanda tanto en la calidad como en la cantidad. Es necesario realizar las pruebas antes y después del tratamiento para asegurarse de que la calidad es la ideal y medir la eficiencia del tratamiento.

Es sabido que cualquier tipo de agua no puede usarse para una bebida, ni para desinfectar equipo médico o de laboratorio debido a las sustancias y compuestos que puede tener, haciéndola no segura para consumo humano. De igual manera, el agua que se utiliza como bebida y para la preparación de alimentos tiene ciertos parámetros de concentración de sales, materia orgánica y presencia de compuestos que la hacen apta para ese fin. El agua de los cuerpos superficiales o subterráneos debe pasar por un proceso antes de distribuirse y consumirse.

Ahora bien, la composición del agua superficial o subterránea de donde se extraiga se verá afectada por factores naturales y antropogénicos. Dentro de las influencias naturales que afectan la calidad del agua se encuentran fenómenos geológicos, hidrológicos, climáticos, biológicos, etc., mientras que las actividades humanas que alteren biológica y químicamente el líquido pueden ser descargas de aguas residuales, construcción de represas, excavaciones y aprovechamiento de minerales, etc.

Se entiende entonces que la calidad del agua varía según el origen, y que el tratamiento necesario para su aprovechamiento depende de dicha calidad. El propósito de analizar estos parámetros en relación con la calidad del agua surge de la necesidad de proveer un suministro líquido seguro a la población para distintos usos, a fin de evitar riesgos para la salud pública. Los enfoques de este trabajo son volumétricos, es decir, se depende de la medición de volúmenes de un reactivo líquido y de concentración conocida o valorada. Estos trabajan con sales indicadoras (de color) para brindar información del punto final de la reacción. También, son los que se emplean para determinar la acidez, alcalinidad y dureza del agua en la extracción y las distintas etapas del proceso de purificación que se realiza en la planta.

Este proyecto se centra en el agua subterránea extraída del pozo en las inmediaciones del TESCo. En este contexto, se encuentra un acuífero semiconfinado según los estudios regionales realizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La calidad del agua del acuífero depende de la composición del agua de recarga, las interacciones con el suelo, los gases involucrados, las propiedades de roca y los materiales permeables. El agua subterránea es influenciada por los efectos de las actividades humanas que pueden contaminar el suelo superficial, en tanto que la recarga sucede a través de la infiltración de agua desde la superficie.

2.1.1 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Dentro de los parámetros o características biológicas, la medición se hace con referencia a la cuantificación de la presencia de microorganismos que pueden representar un riesgo para la salud si ingresan al organismo, ya sea por la utilización del agua con el contenido microbiológico, por el uso doméstico en la preparación de alimentos y bebidas sin una previa esterilización, filtraciones, entre otros. De acuerdo con la normatividad mexicana e internacional, el indicador

para determinar la calidad del agua es la presencia de bacterias coliformes, dado que su consumo representa un riesgo para la salud. Su presencia es el indicador en sí de que existe la contaminación cruzada por alguna vía hacia el sistema (Swinstock, B., et al., 2022).

Algunas causas de contaminación microbiológica incluyen el contenido de materia fecal y otros contaminantes biológicos residuales que se vierten en el agua, convirtiéndose potencialmente en patógenos. Esto debido a las descargas de aguas residuales y contaminantes en cuerpos receptores de agua y otras áreas naturales, con o sin tratamiento previo por parte de empresas y comunidades generadoras de este tipo de residuos. Los contaminantes no tratados son transportados a través del subsuelo, y por eso contaminan cuerpos de agua cercanos a la zona de disposición. La presencia de bacterias y patógenos en el agua, como los coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, entre otros, pueden ocasionar diferentes enfermedades gastrointestinales en la población (Anduro et al., 2017).

De acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-186-SCFI-2021 sobre Análisis de Agua – Enumeración de *Escherichia coli*, Bacterias Coliformes Totales y Bacterias Coliformes Fecales, Método del Número Más Probable (NMP) “Enzima-Sustrato” –, las bacterias coliformes (y coliformes fecales) pertenecen a la familia Enterobacteriaceae y expresan la enzima β -D-galactosidasa, mientras que la *Escherichia coli* expresan la enzima β -D-glucuronidasa. Estas bacterias de gram negativo, se utilizan como indicadores de contaminación, dado que su presencia en el agua sugiere la posible existencia de bacterias patógenas. Su detección señala una ruta potencial de contaminación entre una fuente de bacterias (patógenos) y el suministro de agua.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

Las características físicas del agua influyen directamente en su calidad y su idoneidad para diferentes usos como lo es la turbidez, los sólidos solubles e insolubles, el color, el olor, el sabor, la temperatura y el pH. La turbiedad del agua se debe a las partículas en suspensión o coloides, como arcillas y limo, que reducen su transparencia. La medición de la turbiedad se realiza utilizando un turbidímetro y se expresa en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). La presencia de turbidez puede afectar tanto la calidad estética del agua como la eficiencia de los procesos de desinfección. Los sólidos totales en el agua representan el residuo remanente después de evaporar y secar una muestra, e incluyen tanto los sólidos suspendidos como los disueltos. Estos sólidos pueden tener origen orgánico o inorgánico y se determinan mediante análisis de laboratorio.

El color del agua puede estar relacionado con la turbiedad o ser independiente de ella. Se atribuye comúnmente a la presencia de sustancias como taninos, lignina y ácidos orgánicos y puede eliminarse mediante procesos de coagulación y filtración. Por otro lado, el olor y el sabor del agua están estrechamente relacionados y pueden estar influenciados por compuestos orgánicos, microorganismos y descargas industriales. La presencia de olores y sabores desagradables puede

ser motivo de rechazo por parte de los consumidores; su eliminación puede lograrse mediante técnicas como la aireación y la adición de carbón activado.

La temperatura del agua influye en diversos procesos biológicos y fisicoquímicos, como la actividad biológica (que varía según el tipo de microorganismo), la desinfección y la formación de depósitos. Esta puede variar debido a factores ambientales y afectar los procesos de tratamiento. El pH del agua, por otro lado, es un parámetro que influye en la corrosión, las incrustaciones y los procesos de tratamiento. Se considera que las aguas naturales tienen un pH en el rango de 5 a 9, y se pueden realizar ajustes de pH durante el tratamiento del agua para optimizar procesos como la coagulación.

Las características físicas del agua, como la turbidez, los sólidos, el color, el olor, el sabor, la temperatura y el pH, desempeñan un papel importante en la calidad del agua y su aceptabilidad, así como en la realización de los procesos de tratamiento que involucran la purificación. Estos parámetros son evaluados y controlados en los procesos de tratamiento y distribución del agua para garantizar su idoneidad para el consumo humano.

Las características químicas del agua también juegan un papel crucial en su calidad y su idoneidad para diferentes usos. Algunas de las analizadas en este proyecto son la dureza total y de calcio, la alcalinidad y los cloruros (compuestos de cloro). De otra parte, la dureza del agua se refiere a la concentración de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua. La dureza total se determina al medir la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes, generalmente expresada en términos equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3). Una alta dureza puede tener impactos negativos en los sistemas de tuberías y equipos industriales, puesto que puede causar incrustaciones y reducir la eficiencia de los procesos de calentamiento. Además, puede requerir un mayor consumo de detergentes y productos de limpieza.

Dentro de este contexto, la alcalinidad del agua se refiere a su capacidad para neutralizar ácidos. Está determinada por la concentración de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en el agua y es importante en la estabilidad del pH del agua, debido a que actúa como un amortiguador para mantener su nivel de acidez o alcalinidad. Un nivel adecuado de alcalinidad es esencial para prevenir cambios bruscos en el pH y conservar un ambiente favorable para los procesos biológicos en los sistemas acuáticos.

Los cloruros son sales compuestas por cloro (Cl^-) y otros elementos. Su presencia en el agua puede deberse a fuentes naturales o actividades humanas, como la salinización del agua marina o la aplicación excesiva de sales de deshielo en las carreteras (en los países en los que se utiliza el cloruro de sodio durante el invierno). Los cloruros en el agua purificada pueden afectar su sabor, especialmente en concentraciones elevadas. También pueden tener efectos corrosivos en las tuberías y equipos de distribución de agua.

Es importante tener en cuenta que estas características químicas del agua pueden variar según la fuente y el tratamiento al que se sometan. Para garantizar la calidad del agua (potable, purificada y destilada), se establecen límites y pautas en cuanto a la cantidad admisible de estas sustancias, según sea el caso de las regulaciones y estándares establecidos por las autoridades sanitarias. Estas características deben ser monitoreadas y controladas para certificar la calidad del agua en todas sus presentaciones y su idoneidad para los diversos usos a los que se destina. El control de estas características ayuda a prevenir problemas como la formación de incrustaciones, cambios bruscos de pH y efectos negativos en la salud y el sabor del agua.

2.1.3 AGUA MUNICIPAL (POTABLE)

Este tipo de agua, de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, es apta para uso y consumo humano, puesto que “no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano”. El agua potable, utilizada o desechada (a través del drenaje) por la comunidad, es suministrada por cada organismo municipal de México y el mundo a través de las redes de distribución de cada localidad, para ello se utilizan sistemas de saneamiento y alcantarillado. El agua potable que se suministra, antes de ser tratada para cumplir con las características que los organismos reguladores han establecido, proviene comúnmente de fuentes naturales como acuíferos superficiales, confinados y manantiales. De acuerdo con las normas oficiales mexicanas, el agua utilizada como materia prima convencional, en adelante agua cruda, debe cumplir con ciertos parámetros relacionados con sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas para que pueda ser finalmente distribuida a la ciudadanía.

La tabla 1, a continuación, contiene algunos límites permisibles de las especificaciones sanitarias físicas y químicas básicas. Estos valores se comparan con los resultados de las pruebas físicas y químicas que se realizan a las muestras tomadas. Cuando los valores de las pruebas se encuentran fuera de los rangos, o valores establecidos en la norma (que se muestran en la tabla), podría entrar en diferentes categorías según las concentraciones del agua.

Tabla 1. Especificaciones sanitarias físicas y químicas (NOM-127-SSA1-2021).

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables en ninguna muestra	En sistemas de abastecimiento de localidades con una población >50 000 hab. estos organismos deberán estar ausentes en 95 % de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución durante un periodo de 12 meses de un mismo año
E. coli, coliformes fecales y organismos termo-tolerantes	Ausencia o no detectables en ninguna muestra	
Turbiedad	3.0	UNT
pH	6.5 a 8.5	Unidades de pH

Color Verdadero	15	UC
Cianuros totales	0.07	mg/L
Dureza total como $CaCO_3$	500.00	mg/L
Fluoruros como F^-	1.50	mg/L
Nitrógeno amoniacal ($N - NH_3$)	0.50	mg/L
Nitrógeno de nitratos ($N - NO_3^-$)	11.00	mg/L
Nitrógeno de nitritos ($N - NO_2^-$)	0.90	mg/L
Sólidos disueltos totales	1000.00	mg/L
Sulfatos ($SO_4^{=}$)	400.00	mg/L
Sustancias activas al azul de metileno	0.50	mg/L

2.1.4 AGUA CRUDA O DE PRIMER USO

El agua cruda, también conocida como agua de primer uso, es aquella que se encuentra en su estado natural sin haber sido sometida a procesos de tratamiento o purificación. Puede provenir de diversas fuentes, como cuerpos de agua superficiales, ríos, lagos o embalses, así como de fuentes subterráneas, como pozos o acuíferos y es probable que contenga una variedad de elementos y contaminantes, como sedimentos, microorganismos, materia orgánica, minerales y otros compuestos químicos presentes en su entorno natural, que la hacen no apta para el consumo humano.

El proceso de tratamiento tiene como objetivo eliminar o reducir significativamente los contaminantes y microorganismos presentes en el agua de forma natural, a fin de garantizar su potabilidad y cumplir con los estándares de calidad establecidos por la normatividad aplicable. Los procesos de tratamiento del agua cruda pueden incluir la filtración para remover partículas y sedimentos, la desinfección para eliminar microorganismos patógenos, así como la aplicación de tecnologías específicas para eliminar sustancias químicas indeseables. Es importante destacar que el tratamiento del agua cruda puede variar según la calidad del agua natural y de los estándares establecidos por las autoridades sanitarias y ambientales. De esta manera, se asegura que el agua tratada cumpla con los requisitos necesarios para ser utilizada de forma segura en diversas aplicaciones, como el consumo humano, la agricultura, la industria y otros usos específicos.

Es de vital importancia para la planta purificadora monitorear la calidad del agua que se utiliza como materia prima, esto puede ser un indicador de estrés hídrico en la cuenca, cambio climático, y ayuda a señalar los problemas o necesidades específicas de esta agua para así planificar el sistema de purificación o destilación. La gestión del agua es fundamental ya que ésta es el vínculo crucial entre el sistema climático, la sociedad humana y el medio ambiente (López, A., 2017). Generar un registro es de suma importancia para evaluar y analizar cualquier cambio en las concentraciones y

rangos en los que se encuentran minerales y otros compuestos presentes. En la planta purificadora del TESCo, se lleva a cabo un seguimiento en cada fase del proceso de purificación, siendo el agua cruda el primer grupo de muestras en analizarse, seguido de los demás puntos de muestreo.

2.1.5 AGUA DESTILADA Y BIDESTILADA

El agua destilada se obtiene mediante un proceso en el que se eliminan las impurezas e iones presentes en el agua de origen. Está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, representado químicamente como H_2O . La destilación implica la evaporación y condensación del agua, por lo que se debe replicar el ciclo natural de evaporación y precipitación. Este proceso purifica el agua al eliminar sales minerales, electrolitos, microorganismos y otras sustancias dañinas. Aunque se utiliza ampliamente en industrias, hospitales, laboratorios y cosmética por su alta pureza, no se recomienda su ingesta debido a la falta de electrolitos y sales minerales necesarios para la hidratación del cuerpo humano. En laboratorios, es vital para disolver sustancias en diversas aplicaciones, y su calidad impacta en la fiabilidad de los resultados analíticos. Por ello, es crucial almacenarla adecuadamente y realizar análisis de control periódicos para garantizar que cumple con los estándares de calidad y pureza requeridos, para evitar el exceso o la insuficiencia en la calidad, lo que puede afectar la fiabilidad de los resultados.

En la planta purificadora del Tecnológico, se produce agua destilada y se mantiene siempre en los niveles máximos permisibles de sólidos totales disueltos para asegurar la calidad de la misma antes de su distribución a los laboratorios y áreas del TESCo que la utilizan.

2.1.6 AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales son el resultado de actividades humanas, se dividen en dos categorías: aguas residuales municipales y aguas residuales industriales. Las primeras provienen de hogares, escuelas y comercios en áreas urbanas y rurales, y se recogen a través de sistemas de alcantarillado sanitario. Las segundas, se generan en los procesos de producción industrial. El tratamiento de aguas residuales es esencial para prevenir la contaminación de los cuerpos de agua, realizado principalmente en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Estas emplean técnicas como tratamientos primarios, secundarios y terciarios para eliminar sólidos, grasas, microorganismos y nutrientes presentes en las aguas residuales, con lo que se asegura el cumplimiento de los estándares requeridos antes de ser vertidas nuevamente en los cuerpos de agua.

En las instalaciones del TESCo, se cuenta también con una planta experimental de tratamiento de aguas residuales, la cual tiene diversos proyectos en proceso de investigación y diseño para implementar una PTAR con mayor capacidad de tratamiento dentro de las instalaciones. En su momento, será de vital importancia generar un manual de operaciones integral, *checklists* y diseñar una estructura de información que satisfaga las necesidades específicas de la planta y pueda abarcar

la información necesaria y completa, en el formato correcto para el registro y recopilación de datos e información.

2.1.7 AGUA INDUSTRIAL

Las aguas industriales se generan como resultado de las actividades industriales, y abarcan diversos procesos como la fabricación, producción, transformación, limpieza y mantenimiento. Estas aguas requieren un tratamiento antes de ser devueltas al medioambiente, a la red de saneamiento, o para su reutilización. Su composición varía según el tipo de industria, lo que implica diferentes tipos de contaminantes. Es esencial caracterizarlas para determinar el tratamiento adecuado, que puede ser a partir de procesos físicos, químicos y biológicos. Una planta de tratamiento de aguas industriales permite la reutilización del agua o su vertido controlado sin causar impacto negativo, por lo que es fundamental contar con el asesoramiento de expertos para determinar cuál sería el tratamiento adecuado según las necesidades de cada industria y el tipo de agua a tratar.

2.1.8 AGUA PURIFICADA

El agua purificada es aquella que ha pasado por un proceso de eliminación de impurezas y contaminantes. Este proceso puede incluir métodos como la filtración, la destilación, la ósmosis inversa o desinfección y resulta en un agua que cumple con ciertos estándares de calidad establecidos por organismos reguladores, por lo que se considera apta para el consumo humano. Se caracteriza por ser incolora, inodora y libre de sustancias dañinas, microorganismos patógenos y sedimentos, motivo por el cual se utiliza en el consumo directo, la preparación de alimentos y bebidas, y el uso en procesos industriales y farmacéuticos. En México, la Norma Oficial Mexicana (NOM) 127 SSA1-1994 define el agua purificada y establece las siguientes características y estándares:

- Características físicas y organolépticas: incolora, inodora y de sabor agradable. No debe contener sedimentos visibles, turbidez o partículas suspendidas.
- Características químicas: debe cumplir con los límites establecidos para diferentes parámetros químicos, como pH, cloruros, sulfatos, nitratos, metales pesados y sustancias orgánicas.
- Características microbiológicas: debe estar libre de microorganismos patógenos, como bacterias coliformes, *Escherichia coli*, *Salmonella* y otros indicadores de contaminación fecal.
- Pureza: debe tener una pureza adecuada, lo que implica la eliminación de impurezas disueltas y sólidas.

Los estándares de calidad establecidos en el PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1993 detallan los límites aceptables para cada una de estas características y parámetros, con lo que se asegura que el agua purificada cumpla con los requisitos de calidad y seguridad para su consumo humano. Los que se utilizan en la planta purificadora para realizar el seguimiento de calidad y cumplimiento se muestran a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones sanitarias (PROYECTO de NOM-041-SSA1-1993).

Parámetro	Límite Máximo Permisible
pH	6.5 - 8.5
Alcalinidad total como $CaCO_3$	300.0 ppm
Cloruros como Cl^-	250.0 ppm
Dureza total como $CaCO_3$	200.0 ppm

Este es el tipo de agua principal que se produce en la planta purificadora de agua del TESCo. El manual de operaciones, *checklists* y materiales y formatos de registro están diseñados para gestionar la planta de forma integral de acuerdo con las capacidades y las necesidades actuales de la misma. Es importante desarrollar un repositorio como este para promover la transparencia como se mencionó en los antecedentes del presente proyecto, con el ejemplo de los datos abiertos de México que provee el gobierno de México.

2.1.9 AGUA DE RECHAZO

El agua de rechazo es el líquido residual del proceso de ósmosis inversa, que arrastra consigo los elementos eliminados del agua original. Este proceso utiliza membranas para eliminar minerales y reducir las sales presentes en el agua, y con ello estos elementos se reducen entre un 90 % y un 95 %. Esta agua tiene una calidad superior, sin cloro, pero su conductividad eléctrica (EC) puede ser entre un 15 % y un 20 % más alta que la del grifo. Es de suma importancia tener los registros la mayor precisión posibles en una planta purificadora de agua, ya que los datos cuantitativos forman parte fundamental de las estimaciones de agua utilizada y la trazabilidad del recurso. Esto se ve reflejado en la eficiencia de los equipos, que en el caso de la planta purificadora representa la eficiencia de la membrana de ósmosis inversa. Esta información puede estar relacionada con la necesidad de cambiar el insumo del filtro (la membrana), y es crucial para analizar qué tan diferente es este valor comparado con los litros de agua purificada en un periodo determinado de tiempo. Esta agua de rechazo y el agua en fugas pueden ser consideradas como pérdidas de agua. Pueden brindar información para la toma de decisiones si es utilizada y transformada para calcular estimaciones sobre escenarios futuros, así como para generar una idea del escenario presente o actual de la planta purificadora. Contar con un registro completo de este tipo de agua que se genera

en la planta purificadora, mientras mayor sea la capacidad y precisión, mejores serán las estimaciones sobre la misma y otros aspectos operativos de la planta.

2.2 MÉTODOS DE TRATAMIENTO

Los diversos métodos de tratamiento de agua son aquellos métodos físicos o químicos que remueven los contaminantes del agua para que sea apta en su uso previsto, lo que varía de acuerdo con la calidad del agua a nivel inicial y la calidad esperada. Estos se llevan a cabo en la planta purificadora del TESCo para garantizar que el agua que está siendo utilizada como materia prima, cuenta con el tratamiento adecuado a lo largo de las etapas de purificación y provee de agua con excelente calidad para consumo humano. A través de las diferentes etapas de purificación y al final de la etapa de destilación, se realiza una prueba o determinación volumétrica y analítica con indicadores y agentes titulantes, con la intención de mantener un seguimiento de calidad, así como una noción de la efectividad y eficiencia de cada etapa, así como del equipo e insumo utilizado en cada uno.

2.2.1 CLORACIÓN

Este tratamiento elimina los microorganismos que representan un riesgo para la salud. El cloro desempeña su función al oxidar la materia orgánica presente en el agua; como resultado de la reacción del cloro con el amoníaco, hierro, manganeso, sulfuro y otros compuestos orgánicos, se logra un beneficio adicional al mejorar la calidad del agua. Este es el producto utilizado con mayor frecuencia en el proceso de oxidación y desinfección del agua, y desempeña un papel fundamental, pues usualmente se utilizan el cloro, el gas o los compuestos de cloro porque son económicos y tienen un efecto que prevalece por un periodo de tiempo considerable. Para que sea efectiva la cloración se requiere que la aplicación del químico sea uniforme, proporcional e ininterrumpida para la calidad de agua que se va a utilizar en el tratamiento.

Sin embargo, en algunas ocasiones, no logra alcanzar el objetivo por la presencia de sustancias con las que no es efectivo. Además, su reacción con ciertos compuestos orgánicos puede dar lugar a la formación de compuestos clorados que suscitan preocupación por su potencial impacto negativo en la salud, como los trihalometanos. Estas circunstancias han impulsado el uso de otros productos, como el dióxido de cloro y el ozono, que complementan la acción del químico.

En el primer tanque de almacenamiento de la planta purificadora del TESCo se utiliza el desinfectante Naclor antes de comenzar la producción a través de los distintos filtros y membranas. Este es un compuesto biocida (NaClO) con propiedades que lo convierten en un poderoso desinfectante natural de amplio espectro, letal para los microorganismos en el agua, virus y bacterias gram positivas o gram negativas, esporas, algas y hongos. Se recomienda su uso para

desinfectar agua de proceso, tapas y equipos en las purificadoras de agua en tanto que desinfecta las superficies, y mantiene sus propiedades en temperaturas altas y bajas. Entre sus características fisicoquímicas tiene la apariencia de un líquido claro color amarillo, un pH de 10 y una densidad de 1.15 gr/cm^3 a 25°C .



Figura 10. Naclor (compuesto).

Nota. Tomado de ByJu's, Lewis Sctructure NaCl, <https://byjus.com/chemistry/lewis-structure-nacl/>

En presencia de agua, los compuestos clorados tienen la capacidad de disociarse y liberar cloro. De acuerdo con la normatividad NMX-AA-108-SCFI-2001 para determinación de cloro libre y cloro total - método de prueba, el cloro libre está presente en forma de ácido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito (OCl^-) y cloro molecular disuelto. Al aplicarlo al agua experimenta múltiples transformaciones que generan cloro libre, compuesto de cloro molecular en forma acuosa, ácido hipocloroso e ion hipoclorito. Este cloro libre tiene la capacidad de interactuar con el amoníaco y ciertos compuestos de nitrógeno, por lo que forma un cloro combinado y monocloraminas, dicloroaminas y tricloruro de nitrógeno, compuestos que pueden ser potencialmente cancerígenos. Cualquier residuo de cloro es eliminado en el proceso de la planta purificadora del TESCo a través de la filtración de lecho profundo con zeolita, carbón activado y resina catiónica.

Este procedimiento se realiza en la planta purificadora del Tecnológico inmediatamente después de que se realiza el llenado del tanque de almacenamiento de agua cruda. Se realiza una prueba de cloración y la cloración como tal del agua del tanque como primera fase de desinfección y control biológico para prevenir las enfermedades gastrointestinales de la población y la comunidad del TESCo como usuario final. Este exceso de cloro es posteriormente filtrado gracias a medios filtrantes de lecho profundo, proceso que se explica en la sección sobre filtración por adsorción.

2.2.2 FILTRACIÓN POR MEMBRANA

La filtración por membrana implica la separación de partículas de un tamaño inferior a 10 mm de un fluido, por lo que se utilizan membranas semipermeables para eliminar partículas suspendidas, quistes, oocitos y otros parásitos de mayor tamaño que los poros de las membranas. Esta es especialmente efectiva en la remoción de turbidez y desinfección, dado que reduce la necesidad de altas dosis de cloro o iones de sodio. También utiliza para tratar aguas con altos niveles de hierro, manganeso, color y carbono orgánico total. La microfiltración ofrece ventajas como bajo consumo de energía, efecto de barrera para microorganismos y reducción del uso de productos

químicos. Además, se pueden utilizar membranas de nanofiltración para remover moléculas de alto peso molecular.

Las membranas son utilizadas en diversas aplicaciones industriales, especialmente las de cerámica y metales. Sin embargo, ha aumentado el uso de las poliméricas en el tratamiento de agua potable y aplicaciones municipales en los últimos años. Estas requieren de presión transmembrana, generada mediante vacío, para separar el agua limpia de las partículas y sólidos, con lo que se deja atrás un concentrado. Existen diferentes métodos de filtración en las membranas, como la de extremo cerrado, donde el filtro se obstruye con una torta de filtrado; la de flujo cruzado, donde el filtrado se remueve de la membrana para evitar obstrucciones rápidas; y la ósmosis, donde el agua se filtra a través de una membrana semipermeable. Este trabajo se enfoca en las membranas de filtración con flujo cruzado.

La membrana no solo actúa con base en el tamaño de las partículas, sino como una barrera selectiva en la que algunas sustancias pueden o no pasar a través de ella. Al líquido que atraviesa la membrana se le llama "permeado" o "filtrado", mientras que la fracción que no pasa a través de la membrana se denomina "retenido" o "concentrado". El tamaño de los poros de la membrana es un factor crucial para determinar qué sólidos suspendidos o disueltos y qué microorganismos pueden pasar a través de ella y cuáles son retenidos. Las sustancias que tienen un tamaño mayor que los poros de la membrana son retenidas por completo y algunas de menor tamaño, pueden ser retenidas total o parcialmente, según la selectividad de la membrana.

El espectro de filtración es un rango de tamaño de partículas o moléculas que una membrana es capaz de retener o permitir el paso. Se utiliza para describir la capacidad de una membrana para separar y purificar diferentes sustancias en función de su tamaño. En un espectro de filtración típico, se establece un límite superior e inferior de tamaño de partícula o molécula que puede ser filtrado. El límite superior se conoce como el tamaño de corte o tamaño de poro nominal de la membrana, y representa el tamaño máximo de las partículas o moléculas que pueden ser retenidas por esta, mientras que, el límite inferior representa el tamaño mínimo de partículas o moléculas que pueden pasar.

El espectro de filtración puede variar según el tipo de membrana o sistema de filtración utilizado. Algunas membranas son selectivas y solo permiten el paso de moléculas de un tamaño específico, mientras que otras tienen una mayor capacidad de retención de partículas de diferentes tamaños. La filtración por membrana es un concepto amplio que se utiliza para describir diferentes procesos de separación que comparten el uso de una membrana semipermeable y la aplicación de presión como fuerza impulsora. Los procesos que se incluyen en la Tecnología de Membranas son: microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (OI).

En el sistema de purificación y destilación de agua que hay en la planta del Tecnológico, se trabaja con una membrana de ósmosis inversa y múltiples filtros de microfiltración o mejor conocidos como filtros pulidores, son filtros de polipropileno con un tamaño de partícula definido. Estos

reciben mantenimiento regular para garantizar que están cumpliendo su función o que han llegado a su capacidad y requieren de algún tipo de mantenimiento, proceso que está detallado con un paso a paso en el manual de operaciones integral que se encuentra en los anexos de este proyecto.

2.2.3 ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es un proceso que, como su nombre lo indica, se lleva a cabo en sentido contrario a la ósmosis natural. Mientras que en la ósmosis el solvente fluye a través de una membrana semipermeable desde una solución con baja concentración de sólidos disueltos hacia una solución con alta concentración, en la ósmosis inversa se aplica una presión mayor a la presión osmótica en el compartimiento con alta concentración de sólidos disueltos. Esto provoca que el agua atraviese la membrana en dirección contraria a la ósmosis natural, y ello hace que se eliminen las impurezas y se obtenga el agua purificada. En la ósmosis inversa, la permeabilidad de la membrana es tan baja que prácticamente todas las impurezas, moléculas de sal, bacterias y virus son separados del agua, con lo que se logra una mayor purificación en comparación con el proceso de ósmosis natural.

Este es un proceso de purificación del agua que ofrece numerosos beneficios, como la eliminación de hasta el 99 % de los sólidos disueltos en el agua, tanto inorgánicos como orgánicos. Además, también es efectivo para eliminar materiales suspendidos y microorganismos presentes en el agua. Algo destacado de este proceso es que se lleva a cabo de manera continua, lo que garantiza una constante purificación del agua si así se desea. Además, la tecnología utilizada en la ósmosis inversa requiere poco mantenimiento, lo que facilita su funcionamiento a largo plazo, y además es modular, lo que significa que se puede adaptar a diferentes caudales de agua y requiere un espacio físico reducido, lo que la hace conveniente para diversas aplicaciones.

Se trabaja en la planta purificadora con una membrana de este tipo, con el objetivo de garantizar la calidad del agua purificada que se ofrece a la comunidad del TESCo, en conjunto con los otros métodos descritos.

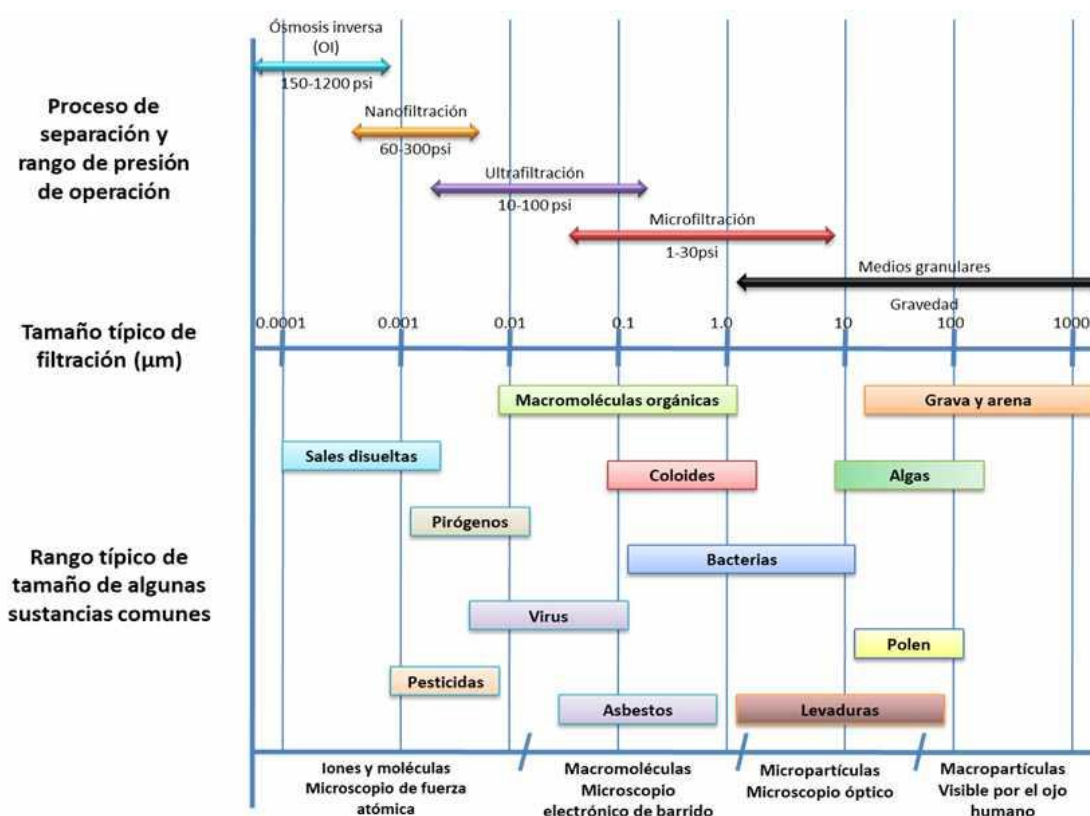


Figura 11. Espectro de filtración

Nota. Tomado de *Filtración de agua y de soluciones acuosas*, por Carbotecnia, s.f.a,
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtracion-liquidos/>

2.2.4 FILTRACIÓN POR ADSORCIÓN

En la planta del TESCo, se utilizan tres tipos de filtros de lecho profundo: zeolita y grava, carbón activado y resina catiónica. Estos filtros se emplean para purificar el agua mediante el proceso de adsorción, operación ampliamente utilizada para concentrar soluciones diluidas. En este proceso, las moléculas (contaminantes) de un soluto (agua de pozo) se concentran en la superficie de un sólido (zeolita, carbón activado, resina) debido a las fuerzas intermoleculares. Este material sólido actúa como un imán para las impurezas: las atrae y se adhieren a él.

El agua contaminada desciende desde la parte superior del filtro y pasa a través de un lecho de medios granulares con una superficie porosa que permite una mayor área de contacto para la adsorción de las impurezas. Durante este proceso, las partículas suspendidas y los contaminantes se adhieren a la superficie de los medios, por lo que estos quedan atrapados y separados del agua. La filtración en lecho profundo se basa en la capacidad de los medios filtrantes para retener las partículas y sustancias no deseadas, lo que permite que el agua pase con mayor claridad y pureza.

Posteriormente, el agua limpia desciende desde la base del filtro a través de un difusor que distribuye uniformemente el agua limpia por el lecho de medios, lo que asegura el contacto adecuado y la eficiente adsorción de los contaminantes. Es importante tener en cuenta que, se debe realizar un mantenimiento regular que incluye el retrolavado del lecho de medios, esto consiste en una limpieza a contracorriente que ayuda a eliminar las partículas y los contaminantes acumulados en los medios filtrantes, con lo que se restablece su capacidad de adsorción.

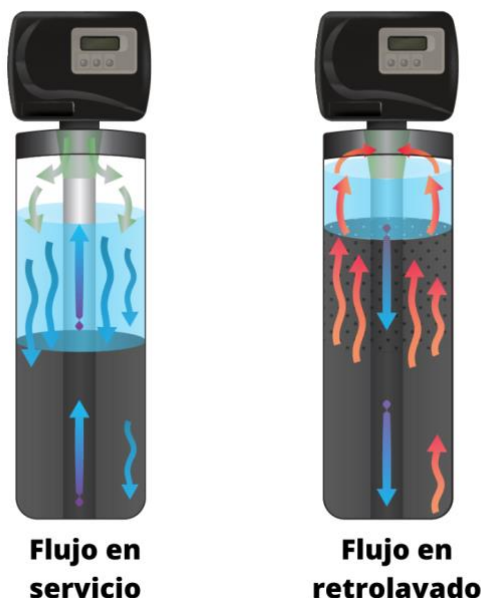


Figura 12. Esquema de funcionamiento de filtros de lecho profundo

Nota. Tomado de *Importancia de los retrolavados y ¿Cómo y cuándo realizarlos?* por Carbotecnia, s.f.b, <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/equipos-con-carbon-activado/retrolavados-o-limpieza-de-los-filtros-de-agua/>

El primer filtro como se mencionó es de zeolita con grava. Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados con capacidad reversible de absorber y liberar agua. Contienen cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos, lo que les permite intercambiar estos cationes. Los metales pesados como plomo, cadmio, cobre y mercurio representan una amenaza para la salud y el medioambiente y aunque no se eliminan naturalmente de los ecosistemas acuáticos, se han desarrollado métodos para su eliminación. Son utilizadas para eliminar los iones de metales pesados del agua y cumplir con los límites de descarga establecidos en las regulaciones ambientales, cuentan con una estructura porosa compuesta por átomos de aluminio, silicio y oxígeno. Fueron descubiertas en 1756 y se caracterizan por su capacidad de absorber y liberar agua de manera reversible. Existen más de 85 tipos de zeolitas naturales y cientos artificiales, sus canales microscópicos, llamados "tamices moleculares", permiten la separación de moléculas según su forma, tamaño y capacidad de adsorción.

Además, estas estructuras porosas pueden intercambiar cationes como sodio, potasio, calcio y magnesio. Las propiedades físicas y químicas de las zeolitas varían según su tamaño de poro, tamaño de cristal, capacidad de intercambio iónico y composición química. Su estructura está formada por cuadriláteros de átomos de oxígeno, silicio o aluminio, unidos por átomos de oxígeno para formar unidades estructurales secundarias. Estas propiedades las convierten en materiales versátiles con aplicaciones en adsorción, separación de moléculas y sustitución de cationes en diferentes procesos industriales (Kaviani, 2022).

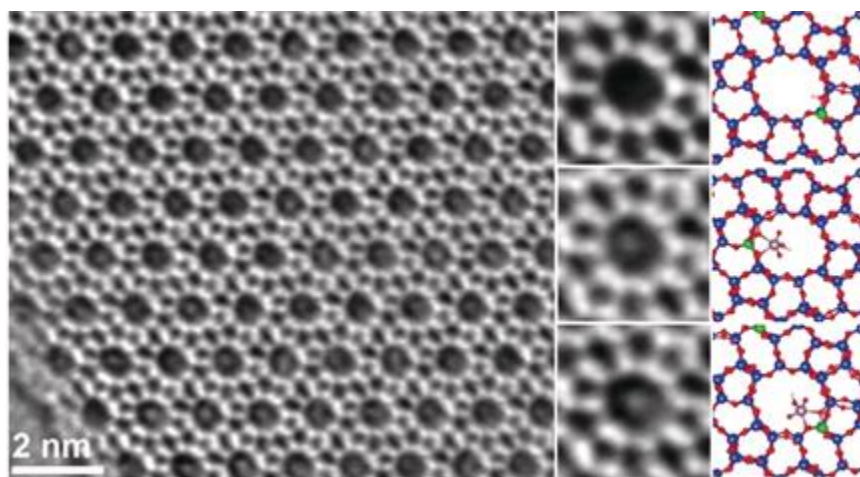


Figura 13. Estructura molecular de la zeolita.

Nota. Tomado de Direct imaging of atomically dispersed molybdenum that enables location of aluminum in the framework of zeolite ZSM-5, por Liu, L. et al., 2020, *Angewandte Chemie (International Ed. in English)*, 59(2), 819–825. <https://doi.org/10.1002/anie.201909834>

Las zeolitas tienen una densidad típica de 2 a 2.3 gr por cm^3 , aunque las que son ricas en bario pueden tener una densidad de 2.5 a 2.8 gr por cm^3 . Estas estructuras minerales poseen una superficie especial por su estructura abierta, similar a los minerales de silicato. La capacidad de absorción de agua varía según el tipo de zeolita y los cationes presentes en sus canales. Su capacidad de intercambio iónico se encuentra en el rango de 100 a 300 mEq/100 g. Pueden actuar como tamices, al permitir el intercambio selectivo de cationes como sodio, titanio, plata, amonio, potasio y rubidio. Se ha utilizado la adsorción selectiva de iones metálicos pesados, de plata y titanio, en zeolitas de clinoptilolia para separar e inmovilizar iones radioactivos en aguas residuales. Estudios han demostrado que el pH inicial de la solución, el tamaño de las partículas del adsorbente y el tiempo de contacto influyen en la adsorción de iones metálicos de cobre al utilizar zeolitas naturales de maíz; por ejemplo, la capacidad de adsorción máxima se alcanza en los primeros 20 minutos y luego disminuye, lo que demuestra la capacidad de las zeolitas para adsorber selectivamente metales y su uso potencial en procesos de purificación y remoción de contaminantes.

En cuanto a la capacidad de intercambio iónico de una zeolita, depende de su estructura cristalina y del grado de sustitución de aluminio y hierro en lugar de silicio en su marco estructural. Estos cationes intercambiables pueden ser eliminados y reemplazados a través del lavado con una solución que contenga otro catión. Por lo general, varía de 3 a 4 mEq/g y se ve influenciada por varios factores como la rugosidad del marco, el tamaño y forma de los iones, la densidad de carga eléctrica en los canales y cavidades, y la composición y concentración de electrolitos en la solución. Las zeolitas exhiben alta selectividad para ciertos iones, pero no tienen capacidad de intercambio de aniones. Las moléculas de agua que rodean a los cationes con un fuerte campo de acción evitan que se acerquen al campo de carga de la zeolita, lo que resulta en una menor selectividad.

Por otro lado, los cationes débilmente activos son removidos de la solución y retenidos fuertemente por las zeolitas, lo que permite su intercambio con otros cationes. La selectividad de una zeolita puede variar según su relación de silicio a aluminio y la densidad de carga. En general, las zeolitas no tienen capacidad de intercambio de aniones. Las zeolitas de clinoptilolita, debido a su baja cantidad de aluminio, tienen una capacidad de intercambio iónico de aproximadamente 2.3 miliequivalentes por gramo y muestran una selectividad específica en el orden $\text{Cs}^+ > \text{Rb}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ba}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^+ > \text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^+ > \text{Li}^+$. Esta selectividad ha sido utilizada para desarrollar procesos de remoción de cesio radiactivo en aguas residuales nucleares y para eliminar amonio de aguas residuales municipales. La capacidad de intercambio iónico es una medida del número de cargas por peso o volumen de zeolita disponibles para el intercambio.

Además, el carbón activado, es un material altamente poroso, producido a partir de fuentes ricas en carbono, como materiales lignocelulósicos, mediante procesos de activación química o física. Este proceso implica la carbonización del material seguida de la activación para aumentar su porosidad y capacidad de adsorción. El uso de precursores lignocelulósicos es común debido a su bajo costo y disponibilidad. La porosidad del carbón activado puede variar según las condiciones de preparación, como la temperatura y el tiempo de activación. Durante la activación, se introducen grupos oxigenados en la superficie del carbón a través de tratamientos de oxidación con gases como O_2 , CO_2 , N_2O , o mediante el uso de soluciones acuosas como H_2O_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, HClO_4 o HNO_3 . Estos grupos funcionales en la superficie del carbón activado le confieren una alta capacidad de adsorción, lo que lo hace útil en diversas aplicaciones industriales, como la purificación de agua, eliminación de contaminantes y adsorción de sustancias no deseadas (Carriazo et al., 2010).

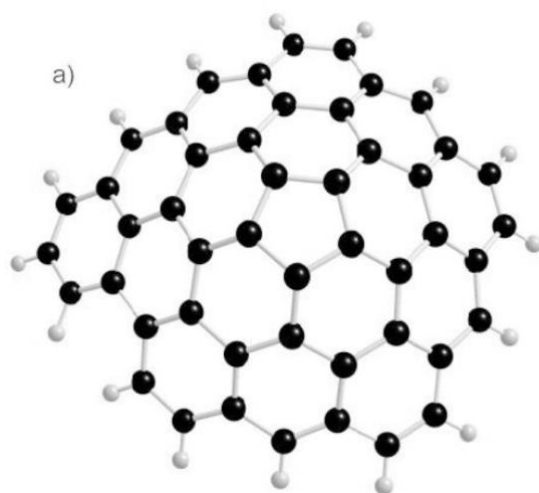


Figura 14. Estructura atómica del carbón activado

Nota. Tomado de Theoretical study of the chemical reactivity of activated carbon, por J. Guerra, 2015, *Química Nova* 38(8).

La estructura atómica del carbón activado contribuye a su capacidad de adsorción debido a su alta porosidad y superficie específica; está compuesta por una red tridimensional de átomos de carbono enlazados que forman una estructura altamente porosa con una gran cantidad de huecos y canales microscópicos. Estos poros y canales actúan como sitios de adsorción donde las moléculas no deseadas, presentes en el agua pueden ser atrapadas y retenidas. La superficie interna del carbón activado está cubierta por grupos funcionales, como hidrógeno, oxígeno y carbono, que interactúan con las moléculas objetivo a través de fuerzas intermoleculares, como enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals y atracciones electrostáticas. La amplia área superficial del carbón aumenta la exposición de estos sitios de adsorción, lo que facilita la captura de moléculas en la superficie del material. Además, su estructura porosa proporciona una mayor cantidad de sitios de adsorción, lo que incrementa su capacidad de retener contaminantes y compuestos no deseados, como el cloro y sustancias que afectan el sabor y olor del agua.

El tercer filtro de la planta purificadora es el de resina catiónica, diseñado para suavizar el agua al intercambiar los iones de calcio y magnesio (Ca^+ y Mg^+) por iones de sodio (Na^+). Las resinas intercambiadoras de iones son utilizadas para tratar el agua y remover sales disueltas, presentes en forma de iones cargados positiva o negativamente que pueden hacer que el agua no sea adecuada para consumo o uso específico. Para ello, se emplean las resinas de intercambio iónico, que disminuyen selectivamente la cantidad de iones presentes en el agua, como en el caso de la dureza por la presencia de calcio y magnesio, o eliminar por completo todas las sales disueltas en el agua, como en el caso de la industria de componentes electrónicos que requiere agua ultrapura.

Los antecedentes de las resinas de intercambio iónico se remontan a la antigüedad, cuando se descubrió que ciertas tierras naturales tenían la capacidad de eliminar la sal del agua de mar o de

las salmueras. Los primeros estudios científicos sobre este fenómeno se realizaron en 1850, y estos evidenciaron un intercambio químico entre iones y donde eran algunos tenían la propiedad de ser intercambiables con otros con mayor facilidad. En 1905, se descubrió que el aluminosilicato de sodio era eficaz para remover calcio y magnesio del agua. Con el tiempo, se desarrollaron medios de intercambio a partir de materiales sintéticos derivados del petróleo por ser económicos y abundantes. En 1944, se desarrolló una resina sintética mediante la condensación de estireno y divinilbenceno, capaz de remover todos los cationes y aniones disueltos en el agua, convirtiéndose en el tipo de resina utilizado con mayor frecuencia.

Durante el proceso de fabricación de las resinas, se mezclan estireno y divinilbenceno, y luego se agregan agentes de activación que forman pequeñas esferas insolubles en agua. Estas esferas son tratadas con grupos funcionales específicos, que son los sitios activos de intercambio para cationes o aniones, según la carga superficial de la resina. Para producir una resina catiónica, se utiliza ácido sulfónico o sus derivados.

El ciclo sódico es un proceso utilizado en el tratamiento de agua mediante resinas intercambiadoras de iones para ablandar o suavizar el agua. En este proceso, las resinas se cargan con iones de sodio a través de la regeneración, proceso en el que se hace pasar una solución de salmuera a través de las resinas, lo que provoca el intercambio de iones de calcio y magnesio presentes en el agua por iones de sodio (el proceso inverso al suavizador). De esta manera, las resinas se recargan con iones de sodio y están listas para su uso en el siguiente ciclo de tratamiento de agua. El ciclo sódico se repite periódicamente para mantener la eficacia de las resinas en la eliminación de los iones de dureza del agua. Las etapas de regeneración incluyen el retrolavado, el salado y el lavado. Estas etapas de regeneración permiten mantener la eficiencia y capacidad del filtro de resina para remover los iones de calcio y magnesio y suavizar el agua.

1. Retrolavado: circulación del agua en sentido contrario al flujo normal, de abajo hacia arriba, con el objetivo de redistribuir el lecho de resina y evitar la compactación y formación de canales que puedan reducir la eficiencia del filtro.
2. Salado: circulación de una solución de sal a través del lecho de resina. Se prepara una solución de sal en agua y se hace circular en el filtro de arriba hacia abajo. La cantidad de sal utilizada es proporcional a la cantidad de resina presente en el filtro. Esta etapa regenera la resina, devolviéndola a su condición original y preparándola para remover nuevamente la dureza del agua.
3. Lavado: eliminación completa de la solución de salado, que contiene una alta concentración de dureza (calcio y magnesio). Se hace fluir agua de alimentación en la dirección normal, de arriba hacia abajo, y el agua de lavado se desecha. Una vez completado el lavado, la resina y el filtro están listos para su operación normal.

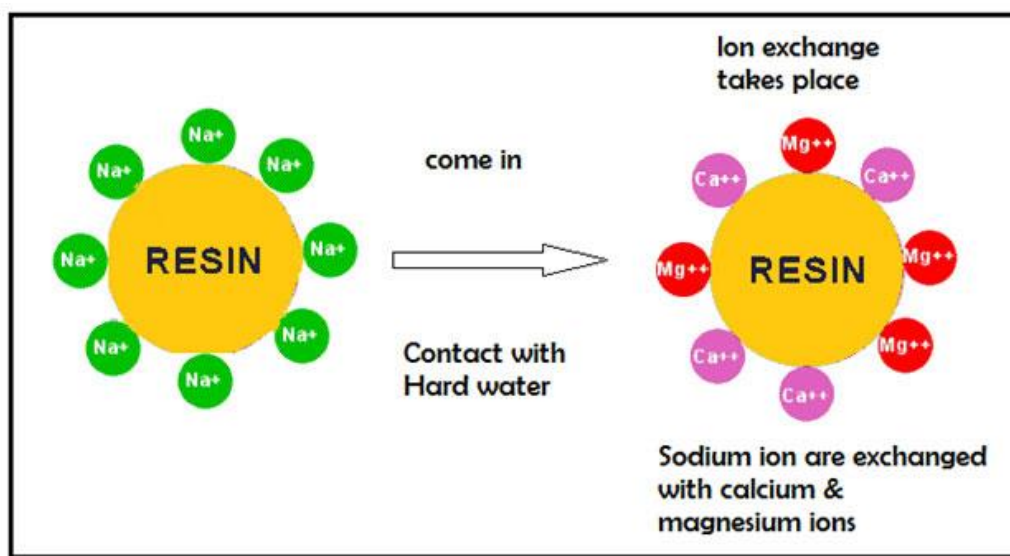


Figura 15. Intercambio catiónico con resina

Nota. Tomado de *What is a water softener*, por Benbell Softener Systems,
<http://www.benbellssoftenersystems.in/what-is-a-water-softener/>

Estos tres filtros mencionados se encuentran en la primera fase de filtración en la planta purificadora. Se encuentran en serie dentro de las instalaciones en el siguiente orden: zeolita, carbón activado y resina catiónica. Cada uno de ellos cuenta con una válvula que permite la toma de muestra para someterlas a las determinaciones fisicoquímicas que representan el procedimiento que se requiere completar para realizar el seguimiento de calidad. El proceso de seguimiento de calidad, así como del mantenimiento requerido para cada equipo, se encuentra detallado paso a paso en el manual de operaciones integral de este proyecto, y está diseñado específicamente para cubrir las necesidades de la planta purificadora conforme a sus capacidades actuales.

2.2.5 RAYOS ULTRAVIOLETA

La esterilización ultravioleta utiliza radiación UV para destruir microorganismos. Por otro lado, la radiación UV-C de onda corta presenta mayor efectividad para tratar agua, aire y superficies, porque penetra las células de los microorganismos y altera su ADN, lo que debilita y detiene su reproducción. Este método ha sido ampliamente estudiado y utilizado en diversas aplicaciones, desde el tratamiento del agua hasta la desinfección médica, es una tecnología segura y eficiente que puede eliminar bacterias, virus, hongos y otros microorganismos.

Ahora bien, el espectro ultravioleta es una banda de radiación electromagnética con energía superior a la de la luz visible, dividida en cuatro categorías principales: UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm), UV-C (280-200 nm) y vacío UV (VUV, 100-200 nm). La capa de ozono evita que la mayoría de la radiación UVC llegue a la tierra. La radiación UV-B es absorbida en un 90 % por diversos elementos a medida que atraviesa la atmósfera, mientras que los rayos UV-A logran

llegar a gran parte de la superficie terrestre. La mayoría de los rayos UV-C son absorbidos por la capa de ozono.

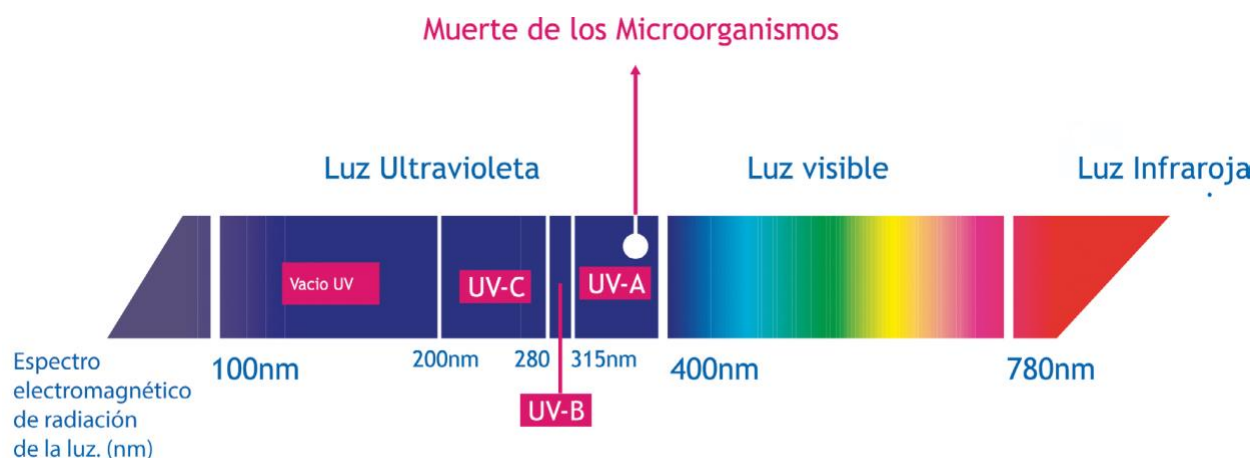


Figura 16. Espectro de luz UV

Nota. Tomado de *Luz ultravioleta de lámparas UV-C elimina la presencia de COVID-19*, por Lanterna, s.f., <https://lanterna.mx/investigacion/luz-ultravioleta-para-prevenir-la-propagacion-de-covid-19/>

El sistema de desinfección mediante luz ultravioleta consiste en la transferencia de energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético de los organismos, como el ADN o ARN, lo que inhibe su capacidad de reproducción. La radiación UV generada por la descarga eléctrica a través del vapor de mercurio, afecta el material genético de los microorganismos y reduce su capacidad de reproducirse. La eficacia de este sistema depende de la calidad del agua residual, la intensidad y duración de la radiación, así como la configuración del reactor. Para lograr una desinfección efectiva, es importante considerar la concentración de componentes coloidales y partículas presentes en el agua residual. Los componentes principales del sistema incluyen lámparas de vapor de mercurio, un reactor y balastos electrónicos. Las lámparas de arco de mercurio de baja o mediana presión son la fuente de luz UV utilizada en el proceso de desinfección.

Los elementos principales del sistema de desinfección UV incluyen lámparas de vapor de mercurio, un reactor y balastos electrónicos. Las lámparas de arco de mercurio de baja o mediana presión son la fuente de luz UV utilizada, con una longitud de onda óptima de 250 a 270 nm para desactivar los microorganismos. La intensidad de la radiación emitida por la lámpara disminuye a medida que aumenta la distancia. Las lámparas de baja presión emiten luz monocromática a una longitud de onda de 253.7 nm y tienen longitudes estándar de 0.75 y 1.5 metros. Las lámparas de

mediana presión son utilizadas en instalaciones de mayor capacidad y tienen una intensidad germicida 15 a 20 veces mayor que las de baja presión.

Existen dos configuraciones de reactor, de contacto y sin contacto, que permiten que el agua residual fluya perpendicular o paralelamente a las lámparas. En el reactor de contacto, las lámparas están recubiertas con mangas de cuarzo para minimizar el enfriamiento del agua. En el reactor sin contacto, las lámparas están suspendidas fuera del conducto transparente que transporta el agua residual a desinfectar. Ambas configuraciones utilizan balastos para proporcionar el voltaje necesario para el funcionamiento de las lámparas.

Se cuenta dentro de la planta purificada 2 lámparas ultravioleta para garantizar el control microbiológico del agua que se produce, tanto purificada como destilada. Su mantenimiento se encuentra detallado en el manual de operaciones.

2.2.6 OZONIFICACIÓN

El ozono (O_3) es una molécula altamente reactiva formada por átomos de oxígeno, presente en la atmósfera, en bajas concentraciones, de forma natural. Este actúa como un poderoso oxidante y reacciona rápidamente con otros compuestos químicos, aunque es inestable y se descompone en oxígeno diatómico (O_2) en aproximadamente 30 minutos. En la ozonósfera, una región de la atmósfera superior desempeña un papel crucial al proteger contra la radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, a nivel de la superficie terrestre, altas concentraciones de ozono se convierten en un contaminante del aire con efectos nocivos en la salud humana, las plantas y los animales, además de contribuir al calentamiento global.

En el tratamiento de agua, el ozono desempeña un papel importante en la potabilización del agua a través del tratamiento con ozono, debido a que es una opción tanto a nivel comercial como doméstico. Este tratamiento se basa en la disolución de ozono en el agua para oxidar bacterias y otros patógenos. Para comprender mejor el proceso, cabe resaltar que una molécula de oxígeno está compuesta por dos átomos de oxígeno (O_2), y la de ozono por tres átomos de oxígeno (O_3). Cuando la electricidad o la luz ultravioleta atraviesan el aire, su energía separa las moléculas de oxígeno en dos, y luego se combinan con moléculas de oxígeno ordinarias para formar ozono. En la atmósfera superior, la luz solar interactúa con el oxígeno para producir la capa de ozono protectora de la Tierra. En la proximidad de la superficie, el ozono se crea cuando se produce un rayo y la electricidad atraviesa el aire rico en oxígeno, procesos que se replican en generadores de ozono ultravioleta y eléctricos. Estos generadores son comunes para el tratamiento del agua, aunque el ozono también puede ser producido por reacciones electrolíticas y químicas. Los mecanismos de desinfección que utilizan el ozono incluyen:

1. Oxidación directa de la pared celular con filtración de los componentes celulares fuera de la célula.

2. Reacciones con subproductos radicales de la descomposición del ozono.
3. Daño a los componentes de los ácidos nucleicos (purinas y pirimidinas).
4. Ruptura de los enlaces carbono-nitrógeno que lleva a la despolimerización.

La desinfección con ozono es ampliamente utilizada en plantas de tratamiento de agua en todo el mundo para abordar una variedad de necesidades como la desinfección, reducción de subproductos de desinfección, mejora del sabor y olor, eliminación del color y la microcoagulación. El ozono demuestra una eficacia notable al destruir de manera efectiva las bacterias, e inactivar el virus con mayor rapidez que otros desinfectantes químicos. Además, reacciona para oxidar varios compuestos inorgánicos, incluidos el hierro, el manganeso, los sulfuros, los nitritos, el arsénico, los iones bromuro y los iones yoduro. Los compuestos orgánicos difíciles de oxidar, como solventes, pesticidas y sustancias que causan sabores y olores indeseables, pueden ser tratados mediante reacciones de oxidación con ozono. En casos en los que la oxidación con ozono no es suficiente, se puede añadir peróxido de hidrógeno con una dosis incrementada de ozono para generar radicales hidroxilos adicionales. Los compuestos orgánicos oxidados por el ozono o por radicales hidroxilos forman moléculas orgánicas de cadena corta, muchas son fácilmente biodegradables y pueden ser eliminadas mediante filtros biológicos.

El ozono inactiva las bacterias a través de un proceso llamado Lisis, que implica la descomposición de la membrana de la pared celular, con lo que se compromete su integridad. Durante este proceso, el ozono causa una oxidación directa a medida que la molécula de O_3 regresa a O_2 . La explosión oxidativa resultante de esta conversión genera una descarga eléctrica que lisa la pared celular de las bacterias adyacentes. Además, el átomo de oxígeno ahora Valente (O) puede combinarse con cualquier átomo de carbono para crear CO, lo que causa daño adicional a la pared celular bacteriana. La oxidación causada por las reacciones de ozono afecta a todos los componentes esenciales de una bacteria viva, como enzimas, proteínas, ADN y ARN.

El proceso de oxidación del ozono con las bacterias daña la pared celular y la membrana, y esto provoca la liberación de los componentes internos de esa célula a través de la membrana. Si bien pueden quedar células bacterianas muertas después de la oxidación con ozono, este puede inactivar todas las bacterias vivas. Debido al método de oxidación del ozono, no hay bacterias "inmunes", una de sus características es la capacidad de inactivar todos los tipos de bacterias.

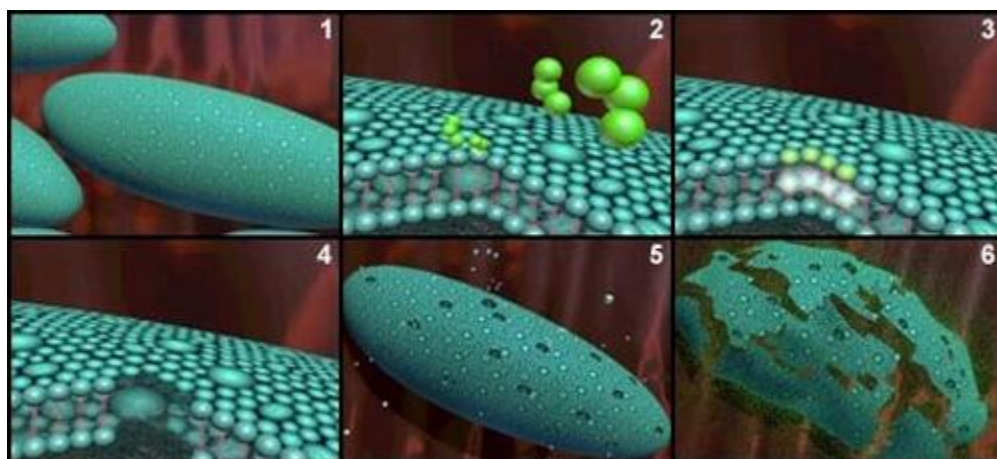


Figura 17. Interpretación de la lisis de la membrana celular en bacterias por ozono

Nota. Tomado de *Ozone Disinfection mechanism*, por Lenntech, s.f., <https://www.lenntech.es/biblioteca/-disinfection-mechanism.htm>

Cuando el ozono entra en contacto con la membrana celular, puede oxidar los lípidos presentes en ella. Esto conduce a la formación de productos oxidativos que alteran la fluidez y la organización de la membrana. Además, el ozono puede generar radicales libres de oxígeno que atacan directamente las moléculas de lípidos, lo que provoca su ruptura. La oxidación de los lípidos y la formación de radicales libres causan daño en la membrana celular, lo que resulta en la lisis de la célula, lo que implica una ruptura en la membrana y la liberación de los contenidos celulares al entorno circundante. Es importante destacar que la lisis de la membrana con ozono no es selectiva por lo que el ozono se utiliza en aplicaciones de desinfección y esterilización.

El mantenimiento y la operación de este dispositivo se encuentra detallado en el manual de operaciones, ya que la planta purificadora cuenta con un generador de ozono se encuentra al inicio del sistema de distribución de agua purificada hacia los bebederos de las instalaciones del Tecnológico. Esto ayuda a reforzar el control microbiológico que se lleva a cabo por parte de la planta para con la comunidad de estudiantes y profesores que hacen uso de ellos.

2.3 NORMATIVIDAD APLICABLE Y ORGANISMOS PÚBLICOS

En el artículo 40 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) se establece que toda persona tiene derecho a un medioambiente sano para su desarrollo y bienestar, y el Estado debe garantizar este derecho para que aquellos que provoquen daño y deterioro ambiental sean responsables, según lo establecido en la ley. Además, en el párrafo 6 se establece que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento del recurso hídrico. La ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso equitativo y sustentable de este, con lo que se deben establecer las competencias de la Federación, las entidades y los municipios, así como la

participación de la ciudadanía para cumplir con los fines establecidos. El artículo 27 de la CPEUM establece que la propiedad de las tierras y aguas dentro del territorio nacional son propiedad de la nación, y tiene el derecho de transmitir el dominio para su aprovechamiento, cuidar del ambiente y promover un desarrollo equilibrado.

Por último, en el artículo 115, la fracción III, se establece que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos correspondientes al agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales, así como las contribuciones correspondientes. Este artículo se refiere a la forma de gobierno, la división territorial, política y administrativa de los ayuntamientos como parte de un orden federal.

Estos tres artículos constitucionales sientan las bases para la creación y establecimiento de leyes, así como la creación de organismos e instituciones encargadas de la regulación, monitoreo y cumplimiento de las normativas relacionadas con el agua y el medioambiente. Su objetivo es garantizar que tanto las instituciones públicas como privadas, junto con la sociedad en general, cumplan con sus responsabilidades de acuerdo con lo establecido en las leyes y normas. Además, buscan asegurar el derecho de acceso al agua en términos de calidad, cantidad y de forma sustentable.

En este sentido, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) proporciona la solución para la gestión del agua en el territorio nacional al asignar responsabilidad a la Comisión encargada de administrar los organismos de cuencas y al regular el uso del recurso hídrico a través de instrumentos jurídicos. Su objetivo es regular la explotación del agua, uso, aprovechamiento y distribución del agua, así como preservar su cantidad y calidad para abastecer a la población de forma sustentable y respetuosa con el medioambiente. Esta ley representa el principal marco legal derivado del artículo 27 de la CPEUM.

Los principales temas abordados en la LAN son, principalmente, aspectos institucionales relacionados con la administración integral por parte de la autoridad única en materia del agua (CONAGUA) y con un enfoque administrativo por cuenca hidrológica. Estos aspectos incluyen los usos públicos y urbanos, que definen acciones federales y locales, así como los usos agrícolas y los sistemas públicos de riego, con lo que se garantizan y protegen los derechos de los usuarios, y se aseguran la distribución y el uso eficiente de las aguas concesionadas. La ley también abarca el apoyo a obras de infraestructura hidráulica para el desarrollo autosostenible de uso público y privado, y regula aspectos relacionados con las aguas subterráneas, como su explotación y vedas, así como cualquier cambio en obras y equipos asociados. Además, esta establece las competencias de los organismos operadores, como los ayuntamientos, en la gestión del agua, de acuerdo con lo especificado en la ley (Ortiz, 2015). La LAN cuenta con un solo reglamento exclusivo en materia de aguas.

La Comisión encargada que se menciona en la LAN es la CONAGUA, la cual se establece como un “Órgano Administrativo Desconcentrado de la Secretaría de Medioambiente y Recursos

Naturales, con funciones de derecho público en materia de gestión de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, con autonomía técnica, ejecutiva, administrativa, presupuestal y de gestión, para la consecución de su objeto, la realización de sus funciones y la emisión de los actos de autoridad que conforme a esta ley corresponde tanto a esta como a los órganos de autoridad a que la misma se refiere” (LAN, artículo 3, fracción XII).

Esta Comisión fue establecida por decreto presidencial de Salinas de Gortari el 16 de enero de 1989. Su función principal es administrar y preservar las aguas nacionales de México, así como garantizar la seguridad hídrica de la población. La CONAGUA legitimó la LAN cuando fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 1 de diciembre de 1992, con lo que se estableció un nuevo marco jurídico como organismo federal desconcentrado. La Comisión cuenta con organismos de cuenca municipales, encargados supervisar y gestionar el suministro de agua a la población, así como el control de las descargas, a través de permisos y registros para concesiones y asignaciones, inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REDPA). Este registro brinda protección jurídica con transparencia en los actos relacionados con los derechos de aprovechamiento del agua.

Por otro lado, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) surge el 28 de enero de 1988 durante la presidencia de Miguel de la Madrid. El 10 de agosto de 1987 se reformaron los artículos 27 y 73-XXIX-G de la CPEUM. En el artículo 27 se estableció un marco legal en materia ecológica para la preservación y la restauración del medioambiente, así como la necesidad de dictar las medidas necesarias en cuanto a ordenamiento de asentamientos humanos. Por otro lado, la fracción XXIX-G del artículo 73 especifica sobre la facultad que tiene el Congreso de expedir leyes en materia de protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico y el medioambiente. Esta Ley cuenta con 7 reglamentos: Áreas Naturales Protegidas, Autorregulación y Auditoría ambiental, Evaluación del Impacto Ambiental, Ordenamiento Ecológico, Prevención y control de la contaminación de la atmósfera, Registro de emisiones y transferencia de contaminantes y Residuos Peligrosos.

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) surge el 4 de junio de 1992 a partir del Reglamento Interior de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) publicado en el DOF con autonomía técnica y operativa. Su objetivo consiste en observar la normatividad ambiental para contribuir con el desarrollo sustentable, mediante la aplicación y el cumplimiento de la legislación federal vigente a través de la inspección, vigilancia, verificación y uso de instrumentos voluntarios, para cumplir con lo estipulado en la legislación ambiental. Podría decirse que es la encargada de hacer cumplir la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley General de Responsabilidad Ambiental, encargadas de regular las responsabilidades ambientales cuando se ocasiona un daño y se requiere reparación, compensación o sanción.

De acuerdo con el Manual de Organización General de la Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales, la CONAGUA tiene como objetivo “regular, administrar y preservar la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales y sus bienes inherentes, con la participación de la sociedad, a fin de garantizar su desarrollo sustentable” (DOF, 13/08/2003), mientras que la PROFEPA tiene como objetivo “vigilar el cumplimiento de la normatividad relacionada con la prevención y control de la contaminación ambiental, recursos naturales, bosques flora y fauna silvestres, terrestres y acuáticas, zona federal marítimo terrestre, áreas naturales protegidas, así como atender las quejas y denuncias que sobre dichos problemas le presente la población” (DOF, 13/08/2003). La única materia ambiental de competencia federal que no está bajo la responsabilidad de la Procuraduría es la que refiere al control de descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua de propiedad nacional, responsabilidad que recae en la Comisión.

En 1994 de la SEDESOL (Secretaría de Desarrollo social antes Secretaría de Desarrollo urbano y Ecología) se desprende la Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), una secretaría que contemplaba los recursos naturales y las actividades económicas en conjunto. En el de noviembre del año 2000, durante el sexenio de Vicente Fox se reformó la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, que dio origen a la hoy conocida SEMARNAT, con lo que la actividad económica de la pesca pasó a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), y a esta última le fueron adjudicadas las responsabilidades sobre la protección al medioambiente y las incidencias en cuanto a la contaminación por las actividades antropogénicas.

De la LAN se deriva el reglamento de esta ley, y este consta de 11 títulos: Disposiciones preliminares (I), Administración del agua (II), Programación hidráulica (III), Derechos de uso o aprovechamiento de aguas nacionales (IV), Zonas reglamentadas, de veda o de reserva (V), Usos del agua (VI), Prevención y control de la contaminación de las aguas (VII), Inversión en infraestructura hidráulica (VIII), Bienes nacionales a cargo de la Comisión (IX), Infracciones, sanciones y recursos (X), y Conciliación y arbitraje (XI). Este reglamento desarrolla las disposiciones para aplicar la Ley, establece y define de forma concreta las actividades que materializan o llevan a cabo aquello que hace cumplir la Ley en territorio nacional, menciona que dichas actividades se llevarán a cabo conforme a las normas oficiales mexicanas que sean expedidas por la Comisión y las autoridades competentes.

Para los fines del presente proyecto, se explican y enlistan las normas oficiales mexicanas que aplican en materia de agua para la purificación de agua de acuerdo con la naturaleza del proyecto en la planta purificadora del TESCO.

1. NOM-127-SSA1-2021, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LÍMITES PERMISIBLES DE LA CALIDAD DEL AGUA

Como su nombre lo menciona, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el agua que, en este caso es importante mantenerla como referencia aunque no sea la que aplica directamente con el agua purificada producida en la planta. Esta normatividad

aplica para los sistemas de abastecimiento humano como el agua municipal. Como se ha explicado en la sección de antecedentes, esta agua era utilizada en algún momento como materia prima para la purificación, antes de realizar la extracción directamente del pozo de La Garita desde las inmediaciones del Tecnológico. Era importante tener esta normatividad en cuenta para mantener la calidad del agua que ingresaba al sistema monitoreada (caracterización), para asegurar la mejor calidad del agua final o producto terminado. Es importante recordar que el monitorear el agua tanto a la entrada como a la salida es de suma importancia para el diseño del sistema y para conocer cuáles son los parámetros de operación durante el proceso, con el fin de asegurar la calidad del agua que se ofrece al público general o consumidores finales, que como se ha mencionado, con los alumnos, profesores y personal del TESCO. Esta norma presenta las especificaciones sanitarias. La información se encuentra en las unidades de medida regulatorios y los valores de los límites sirven en general como referencia para el ajuste de los equipos y procesos de potabilización y distribución de agua, puesto que, al realizar las pruebas tanto fisicoquímicas y/o microbiológicas de las diversas muestras tomadas del agua producida, los resultados no pueden ser mayores a estos valores establecidos. Los valores y unidades que se especifican son para características físicas químicas y subproductos como metales y metaloides, fitotoxinas, entre otros.

2. NOM-179-SSA1-2020, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DISTRIBUIDA POR LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Esta norma establece los criterios para controlar la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento en México. Esto es relevante para el proyecto de purificación y distribución de agua, en tanto que proporciona directrices específicas para garantizar la calidad y seguridad del agua que se ofrece a los consumidores. La norma abarca parámetros microbiológicos, físicos, químicos y radiológicos que deben cumplir las fuentes de agua, los sistemas de tratamiento y las redes de distribución. Establece límites permitidos para cada indicador de calidad, con lo que se asegura que el agua cumpla con estándares adecuados para su uso y consumo humano. Además, esto incluye la implementación de prácticas de limpieza y desinfección de los equipos, así como la capacitación del personal en buenas prácticas de higiene y manipulación del agua.

Es importante tener en cuenta que, si bien la norma no se refiere exclusivamente al agua como bebida, su cumplimiento es fundamental para garantizar que el agua que se ofrece cumpla con los estándares de calidad y seguridad. Al seguir las directrices establecidas en la norma, se puede brindar a los consumidores un producto confiable y de calidad, que respalde su salud y bienestar.

3. NOM-201-SSA1-2015, PRODUCTOS Y SERVICIOS. AGUA Y HIELO PARA CONSUMO HUMANO, ENVASADOS Y A GRANEL. ESPECIFICACIONES SANITARIAS

Esta norma tiene importancia en la planta purificadora, puesto que establece especificaciones sanitarias que abarcan prácticas responsables de inocuidad y sanitización en las instalaciones y

áreas donde se realizan las actividades. A pesar de que esta norma aplica en mayor parte para la antes mencionada agua municipal, provee de ciertas buenas prácticas que pueden ser llevadas a cabo en el caso de la planta purificadora que trabaja con agua de pozo. Además de los límites máximos permisibles (que no aplican completamente a el agua purificada ya que los límites máximos permisibles para el agua del TESCo están delimitados por la NOM-041-SSA1-1993), se enfoca en prácticas como contar con la caracterización del agua, contar con un diagrama de flujo sobre el proceso de producción, establecimiento y documentación de un proceso de operación detallado, establecer un programa de control analítico de calidad del agua, delimitar los parámetros de control, mantenimiento y actividades y materiales que se desarrollan en el presente proyecto. También menciona llevar a cabo una evaluación de conformidad ante el Organismo responsable y con las facultades para realizarlo y ante la autoridad acreditada y competente. Estos elementos de documentación y definición de procesos se encontrarán en el manual de operaciones integral y el material complementario de los anexos.

4. NOM-251-SSA1-2009, PRÁCTICAS DE HIGIENE PARA EL PROCESO DE ALIMENTOS, BEBIDAS O SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS

Esta norma establece buenas prácticas de higiene para prevenir la contaminación del agua producida en la planta purificadora, aplica para alimentos y bebidas y pueden tomarse ciertas prácticas en cuenta ya que se centra en la limpieza y protección de las instalaciones, utensilios y equipos, con lo que se asegura que estos estén en óptimas condiciones, lavados, desinfectados y organizados de tal forma que sean fáciles de manejar en condiciones higiénicas. Además, se menciona que debe de evitarse la contaminación cruzada entre la materia prima, producto en elaboración, el producto terminado. Mantener la materia prima en correctas condiciones para evitar su contaminación también aplica para la planta purificadora. Por ejemplo, otra práctica de esta norma es cuando los tanques o cisternas de almacenamiento deben permanecer cerrados, excepto durante procedimientos de limpieza o verificación para evitar contaminar el agua utilizada como materia prima para bebidas. También habla sobre utilizar agentes de limpieza adecuados y aptos para el proceso específico, lo que puede ser considerado en el lavado de garrafones cuando se utiliza un agente específico, a la prueba de cloración en el agua en cada lote de producción y el mantenimiento, lavado y desinfección de los tanques con plata coloidal, entre otros.

Ver manual de operaciones y documentación complementaria.

5. PROYECTO DE NOM-041-SSA1-1993, BIENES Y SERVICIOS. AGUA PURIFICADA ENVASADA

Esta norma, como su nombre indica, se aplica al agua purificada envasada, lo cual es relevante para el proyecto, especialmente que el agua es distribuida en garrafones y se provee el servicio de llenado de botellas y envases de uso personal. Hace referencia a la NOM-127-SSA1-2021, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes físicos y químicos y que hace hincapié en la seguridad que debe tener el envasado al requerir de sellos y tapas inviolables para garantizar

la calidad del agua, así como el etiquetado necesario. Cabe mencionar que los requerimientos de etiquetado aplican para cuando las purificadoras actúan como comercializadora, situación en la que la planta purificadora no se encuentra como tal, ya que provee el agua de forma gratuita a los estudiantes, profesores y personal del Tecnológico que deseen consumirla. El TESCo realiza el proceso de purificación y destilación de agua, y esta norma es la que rige los parámetros de seguimiento de calidad que se realizan, establece cuáles son los límites máximos permisibles (en partes por millón) de ciertas características como la dureza total, nitratos, alcalinidad y otros. Esto se menciona a detalle en la sección donde se habla sobre el agua purificada.

6. NOM 012-SSA1-1993, REQUISITOS SANITARIOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO PÚBLICOS Y PRIVADOS

Esta norma establece disposiciones para proteger y mantener la calidad del agua en obras de captación, almacenamiento, potabilización y distribución. Algunos aspectos clave son la protección de las instalaciones contra desechos y animales no autorizados, medidas para prevenir la contaminación exterior, limpieza y desinfección regular de las instalaciones, y el uso de dispositivos adecuados en los tanques de almacenamiento. El objetivo es garantizar la calidad bacteriológica del agua y salvaguardar la salud pública.

En general, se requiere de la protección, el mantenimiento y la limpieza de equipos e instalaciones con materiales que faciliten la limpieza de pisos, lambrines y paredes. También se menciona la importancia de contar con cubiertas en dispositivos y tanques de almacenamiento, así como llevar un registro de limpieza y desinfección, pues las instalaciones pueden ser evaluadas por las autoridades sanitarias. Por esto, se promueven medidas preventivas de forma continua y permanente para garantizar inocuidad. En el contexto de la planta purificadora, esta norma aplica en cuanto al control sanitario y señala el parámetro de cloro residual que se deriva de la cloración, en este caso del tanque de almacenamiento de agua cruda, que especifica que la existencia de cloro residual libre entre 0.5 a 1.0 mg/l debe ser garantizado en todos los puntos de la red de distribución. También habla sobre la desinfección de líneas de tuberías, y de los mismos tanques donde se realice el almacenamiento, tanto de la materia prima como del producto final. Todos estos procedimientos que aplican a la planta purificadora se explican paso a paso en el manual de operaciones en la sección de mantenimiento correspondiente a los tanques y las líneas de tuberías.

7. NOM-120-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. PRÁCTICAS DE HIGIENE Y SANIDAD PARA EL PROCESO DE ALIMENTOS, BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS Y ALCOHÓLICAS

La Norma Oficial Mexicana NOM-120-SSA1-1994 enfatiza la importancia de la limpieza del personal que manipula del agua para consumo humano. Algunas de las prácticas básicas recomendadas son:

1. Uso de uniformes limpios: el personal debe vestir prendas de trabajo adecuadas y limpias para evitar la contaminación del agua.
2. Lavado frecuente de manos: se debe promover el lavado de manos regular y adecuado con agua y jabón, especialmente antes y después de manipular el agua y los equipos relacionados.
3. Uso de equipo de protección personal: cuando sea necesario, el personal debe utilizar guantes, mascarillas u otros elementos de protección personal para prevenir la contaminación cruzada y garantizar la seguridad sanitaria.
4. Capacitación en prácticas de higiene: es fundamental proporcionar capacitación y orientación al personal sobre prácticas de higiene, a fin de asegurar que los trabajadores estén familiarizados con los protocolos de limpieza y desinfección.
5. Supervisión y seguimiento: la supervisión regular del personal es esencial para asegurar el cumplimiento de las prácticas de limpieza y brindar retroalimentación sobre su desempeño.

Estas prácticas contribuyen a mantener la integridad y calidad del agua, con lo que se protege la salud de los consumidores y se cumple con los estándares establecidos por la normativa vigente. Aplica para el contexto de la planta purificadora ya que el personal debe de contar con el equipo correspondiente en cada momento. Este equipo que debe de llevar el personal de la planta purificada se encuentra en el manual de operaciones con detalle, y se especifica el equipo que debe ser llevado en todo momento, así como ciertos elementos que sólo son utilizados en ocasiones que requieren de ello.

8. PROYECTO DE NOM-160-SSA1-1995, BIENES Y SERVICIOS. BUENAS PRÁCTICAS PARA LA PRODUCCIÓN Y VENTA DE AGUA PURIFICADA

El apartado 5.2 de esta norma se enfoca en el expendio de agua purificada a granel, que se refiere a la venta de agua mayores a un litro y se dispensa directamente al consumidor. Esta sección establece medidas y prácticas específicas para garantizar la calidad y seguridad del agua purificada.

En lo que respecta al personal encargado del expendio, la norma establece que deben contar con capacitación adecuada sobre higiene y manipulación de alimentos, incluido el manejo seguro del agua purificada. Además, se deben implementar prácticas de limpieza y sanitización de los equipos y utensilios utilizados en el proceso de dispensado. El personal debe utilizar medidas de higiene personal, como el uso de ropa limpia, gorro o redecilla para cubrir el cabello, y lavado frecuente de manos.

La norma también especifica que los equipos y sistemas de dispensado deben estar diseñados de manera que eviten la contaminación del agua purificada, a fin de garantizar la protección contra la

entrada de agentes externos como polvo, insectos o contaminantes biológicos. Asimismo, se deben establecer medidas de limpieza y mantenimiento periódico de los equipos para asegurar su correcto funcionamiento y evitar la acumulación de suciedad o residuos. Estas medidas son fundamentales para garantizar la calidad del agua purificada y proteger la salud de los consumidores.

9. 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 MUESTREO

Esta norma es relevante en el contexto del proyecto de purificación de agua, debido a que establece los requisitos sanitarios para los sistemas de abastecimiento, incluidos los que utilizan agua proveniente de pozos. Uno de los aspectos importantes de esta norma es la implementación de procedimientos sanitarios para el muestreo del agua, realizado con el propósito de evaluar la calidad del agua en términos de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Esto permite verificar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos y garantizar que el agua sea segura para el consumo humano. El muestreo debe realizarse de acuerdo con los protocolos establecidos, al tomar las precauciones necesarias para evitar la contaminación y garantizar la representatividad de las muestras. Los procedimientos de muestreo descritos en la norma aseguran la obtención de datos confiables sobre la calidad del agua, con lo que se pueden tomar decisiones informadas, implementar medidas correctivas si es necesario y asegurar que el agua purificada cumpla con los estándares sanitarios establecidos.

Estas son buenas prácticas que establecen, por ejemplo, el tiempo máximo de preservación de muestras de agua para muestras microbiológicas y fisicoquímicas. También menciona la importancia de contar con un registro de muestreo con las fechas y horas en las que se realiza, así como un documento para establecer trazabilidad del personal responsable. Esta norma en el contexto de la planta purificadora se aplica en los formatos de registro sobre el seguimiento de calidad tanto de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que pretender capturar toda la información posible y pertinente a las actividades que se llevan a cabo en la planta. Ver anexos.

2.3.1 ORGANISMOS INTERNACIONALES

La Organización Mundial de la Salud (OMS) es una de las agencias de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializada en temas de salud pública a nivel internacional. Esta provee guías y estándares a los que cada nación se puede adaptar de acuerdo con su economía, política y situación geográfica y social para salvaguardar la salud pública de las personas. Asimismo, la OMS, a través de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), trabaja para mejorar las prácticas de agricultura, porque la disponibilidad de alimentos a nivel mundial depende del agua para el riego. Como se mencionó anteriormente, la disponibilidad

de agua en un territorio está directamente ligada con la alimentación ya que de ella dependen los cultivos. Estas instituciones apoyan las economías y los Gobiernos de países con estándares y procedimientos, así como rutas de trabajo para construir comunidades agrícolas resilientes frente a la escasez o exceso de agua en desastres naturales, entre otras cuestiones que están relacionadas con el agua y la seguridad alimentaria.

Por otra parte, se involucran también en el desarrollo y aplicación de tecnologías de agua para proveer agua limpia a las comunidades, teniendo en cuenta su importancia en la nutrición y la salud, pues cualquier organismo patógeno o contaminante en el agua que se consume o se utiliza para riego podría representar un riesgo de salud pública y un daño al medioambiente. En este sentido, la labor de la FAO se centra en la promoción de políticas proactivas de gestión de riesgos ante sequías e inundaciones, la creación de alertas tempranas e información periódica sobre las amenazas, y en apoyar un mayor almacenamiento de agua para amortiguar la variabilidad y el cambio climático. También son *host* de AQUASTAT, que es la fuente más consultada de estadísticas sobre el agua a nivel mundial.

La ONU presentó en 2015 los objetivos de desarrollo sostenible que cubren diferentes áreas que aplican en el contexto del presente proyecto. Algunos de los objetivos establecidos por la ONU aplicables al proyecto son el de proveer agua limpia y saneamiento que se centra en invertir en investigación y desarrollo para promover la gestión de los recursos hídricos. También, el objetivo sobre la producción y consumo responsable aplica debido a que el servicio de llenado de botellas y garrafones en la planta purificadora promueve la reducción de residuos al evitar la compra de botellas plásticas de un solo uso.

La GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) trabaja en México desde hace más de 40 años a través de una agencia de cooperación internacional. Sus temas principales de enfoque incluyen la conservación de la biodiversidad y protección de los recursos naturales, el clima, medioambiente, el desarrollo urbano, la inclusión social, la protección de los derechos humanos y el acceso a la justicia. Entre los proyectos que manejan, hay uno que corresponde al uso respetuoso de aguas subterráneas en el que participa el Grupo Modelo para recargar los acuíferos de Calera y Apan, lo que permite que una mayor cantidad de agua se infiltre.

Otra de las instituciones líder en cuanto a proyectos hidráulicos es el Banco Mundial, encargado de ofrecer préstamos, financiamientos, condonaciones y asistencia a los Gobiernos para mejorar la infraestructura y prácticas que conllevan al uso eficiente del agua. También son *host* de una de las bases de datos mundial líder grandes y consultadas no solo por indicadores de agua, sino de economía, residuos, población, etc.

También se encuentra el Banco Interamericano de Desarrollo, que busca asegurar el acceso universal a servicios sostenibles de agua y sanitarios, así como el manejo de residuos sólidos para contribuir y promover servicios de calidad a las poblaciones vulnerables. A través de proyectos cooperativos con Gobiernos y empresas mejora la gobernanza sectorial y la sustentabilidad

financiera, y ello aumenta la cobertura del tratamiento de aguas residuales, protege las cuencas y reduce los riesgos y daños en eventos como inundaciones.

Otro organismo internacional importante en materia de agua es la Asociación Mundial del Agua o Global Water Partnership (GWP) la cual promueve, facilita y apoya los procesos de cambio hacia la gestión integrada de los recursos hídricos en el mundo. El objetivo de esta organización intergubernamental y sin fines de lucro tiene como objetivo alcanzar la seguridad hídrica y el desarrollo sostenible, la conservación de los ecosistemas, la mitigación de la pobreza y el mejoramiento de la calidad de vida en torno a la gestión del agua.

Estas organizaciones, agencias y entidades de presencia internacional, juegan papeles importantes en México y el mundo en materia de agua, dado que abarcan un rango de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos implementados para desarrollar y manejar los recursos hídricos de tal forma que la calidad del agua y de vida de las personas esté asegurada para el futuro. Asimismo, estas cuidan el medioambiente y la sostenibilidad financiera, y proveen el agua necesaria para los diversos sectores y actividades para el desarrollo económico y social. Estas entidades también son la fuente principal de datos e información a nivel internacional en materia de agua. El utilizar estas fuentes de información en conjunto con los repositorios nacionales de datos, es clave para obtener y mantener una visión completa, precisa y contextualizada de la situación, lo que es fundamental para la planificación, gestión y toma de decisiones efectivas en áreas críticas como el agua, el medio ambiente y el desarrollo sostenible.

2.4 CONTEXTO DEL AGUA EN MÉXICO

En México, por las circunstancias climáticas y los diversos contextos (geográfico, político, social y económico) que impactan en la calidad del agua, su disponibilidad y su distribución, es crucial que cualquier proyecto relacionado con la gestión y administración de sistemas de agua, como el presente proyecto, considere el aprovechamiento sustentable y eficiente del recurso hídrico. Esto es fundamental para la conservación de los recursos, el desarrollo social y la protección de los ecosistemas. Es importante tener en cuenta que la operación de extracción de agua subterránea de un pozo puede afectar el ciclo hidrológico en la región o localidad, por lo que se debe gestionar con responsabilidad para evitar impactos negativos en el medioambiente y en la comunidad, como lo es el caso de la planta purificadora del TESCo en contexto del presente proyecto.

Una forma de analizar el comportamiento del agua en México es a través de las Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), que permiten un análisis detallado por región, donde se tiene en cuenta la proporción de la población y el Producto Interno Bruto (PIB), además se observa la interacción económica y social que toma lugar. Por ejemplo, en la Figura 17 se observa la proporción de tres variables importantes para el contexto de México, la primera es la disponibilidad de agua renovable, del norte y noreste, comparada con la de la zona sur y sureste. La segunda es la aportación del PIB y qué tanta gente hay distribuida en los territorios, se puede observar que la

zona norte y noreste, al ser industrializada en mayor proporción, encontrarse en zona climática árida y estar densamente poblada, tiene menor disponibilidad de agua. Mientras que, en la zona sur hay clima húmedo y menor población por lo que, hay mayor disponibilidad de agua, aunque menor aportación al PIB por el bajo nivel de industrialización.

Es de esperarse que zonas con mayor población requieren de mayor cantidad de recursos naturales. Este contraste entre las regiones hidrológico-administrativas es una característica del contexto del agua en México y la relación entre el medioambiente y la población. Es de suma importancia contemplar el contexto social, económico, el clima y la presión hídrica en una región o localidad cuando se consideran proyectos que se basan en la explotación de aguas subterráneas.

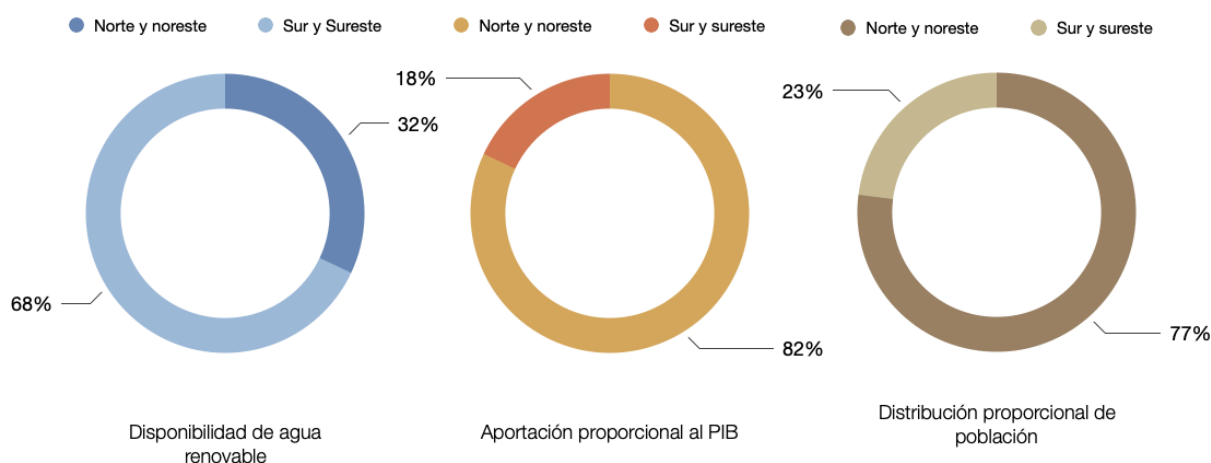


Figura 18. Contraste de regiones hidrológico-administrativas

De acuerdo con la ubicación del TESCo, la región hidrológico-administrativa a la que pertenece el municipio de Coacalco, así como la totalidad de la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo y Tlaxcala, corresponde a la RHA XIII o a las Aguas del Valle de México. Se observa en la Figura 18 que la región XIII es la segunda con mayor volumen de agua asignada para el uso doméstico o público urbano. Cabe mencionar que la región hidrológica a la que compete el TESCo es la 26 “Pánuco”.

Una cuenca hidrológica se refiere a la unidad de territorio fundamental o unidad morfológica superficial que está delimitada por la hidrología y orografía de un lugar, en donde se considera también un contexto antropocéntrico y otros componentes biofísicos del ecosistema. Se definieron a partir de la desembocadura del sistema de cauces y según el lugar pueden ser: exorreica, endorréica y arréica.

Las Regiones hidrológico-administrativas por otro lado, surgen de la delimitación de las pertinencias municipales para con los sistemas de agua en su territorio. Tienen como objetivo no solo ser definidas y delimitadas por las funcionalidades y fenómenos naturales con los que cuenta

como las cuencas, sino por sus competencias administrativas por parte de las autoridades; como promover el uso eficiente del agua, realizar estudios de disponibilidad, clausurar o iniciar operaciones referentes al aprovechamiento del recurso hídrico, establecer, recaudar y aprobar las cuotas de suficiencia, y participar en la prevención y atención de emergencias causadas por fenómenos extremos.

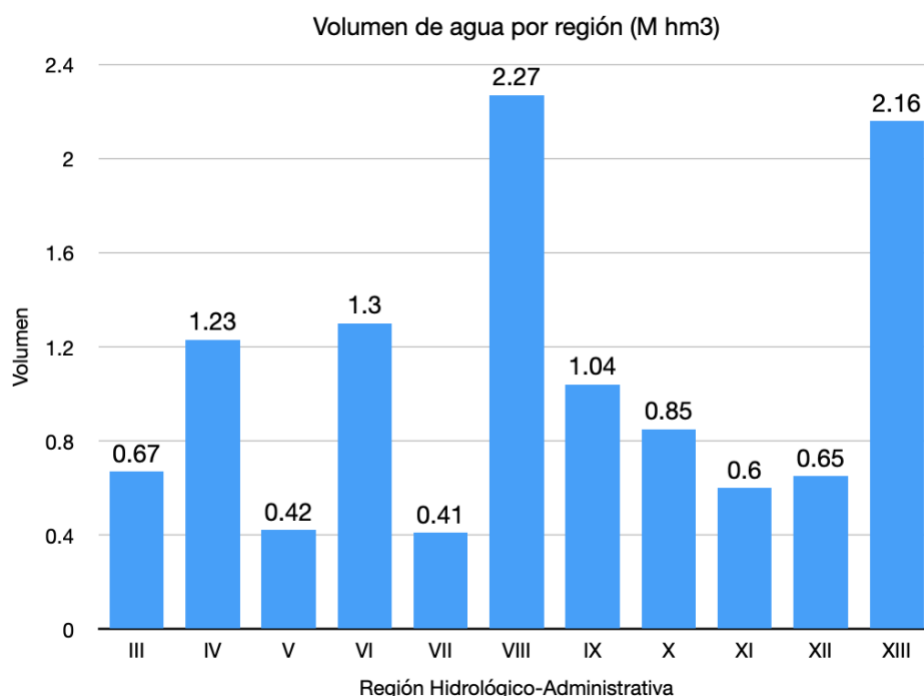


Figura 19. Volumen de agua protegido/asignado o concesionado al uso doméstico o público urbano

Las cuencas son áreas delimitadas donde ocurre el ciclo hidrológico y las aguas excedentes fluyen hacia un cuerpo receptor sea el mar o la costa (exorreica), un cuerpo observable y tal vez superficial dentro del territorio nacional (endorreica) o simplemente un cuerpo de agua que no es observable ni en mar abierto ni en territorio superficial interior. Su importancia radica en la presión hídrica, porque realizar extracciones y aprovechamientos que contribuyan al desarrollo sostenible ayuda a asegurar el abastecimiento dentro del país y enfrentar las necesidades en las próximas décadas.

En la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valles de México, los usos consuntivos provienen en un 49 % de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos) y un 51 % de fuentes subterráneas (acuíferos), donde se destaca el uso agrícola (46 %) y público (44 %), esto de acuerdo con la información en el Programa Hídrico Regional 2021-2024 de CONAGUA. Sin embargo, la explotación de acuíferos en esta zona enfrenta riesgos debido a la falta de disponibilidad de agua en comparación con las extracciones realizadas. Los cálculos de las recargas de acuíferos dejan en 0 la zona metropolitana de CDMX, Tepeji del Río, Ápan, Texcoco y Cuautitlán-Pachuca. Esta situación se refleja en la presión hídrica, que alcanza 121.7 %, clasificada como muy alta (Numeragua, 2021). En la tabla 3, extraída del DOF, se observan las causas del alto grado de

presión en la Región XIII. En las áreas mencionadas, el volumen de extracción supera al de recarga, mientras que en zonas menos urbanizadas se evidencia un exceso de recarga en comparación con las extracciones.

Tabla 3. Declaratoria de disponibilidad media anual subterránea.

No.	Clave	Nombre del Acuífero	Recarga (millones de m^3)	Extracción (millones de m^3)	Disponibilidad (millones de m^3)	Área (km^3)
1	901	Zona Metropolitana de la CDMX	512.80	1020.03	0.00 2	103.7
2	1308	El Astillero	3.30 0.76	0.76	2.54	105.9
3	1309	Chapantongo-Alfajayucan	136.90	9.28	14.72	894.6
4	1310	Valle del Mezquital	515.00	184.43	37.57	2714.1
5	1311	Ajacuba	25.70	5.10	5.00	270.7
6	1312	Ixmiquilpan	150.10	8.50	17.00	885.3
7	1313	Actopan-Santiago de Anaya	208.10	61.11	56.99	1065.1
8	1316	Tepeji del Río	46.30	15.64	0.00	403.9
9	1319	Tecocomulco	27.80	2.97	24.33	476.4
10	1320	Ápan	30.30	30.01	0.29	733.3
11	1506	Chalco-Amecameca	74.00	0.00	99.42	946.5
12	1507	Texcoco	145.10	245.72	0.00	933.6
13	1508	Cuautitlán-Pachuca	356.70	545.40	0.00	3870.5
14	2902	Soltepec	57.00	17.33	23.47	819.6
15		Total RHA XIII	2289.10	2245.71	181.90	16 222.92

Nota. Elaboración propia, adaptado de DOF 17/09/2020).

En la tabla 3 se aprecia la diferencia entre los acuíferos que conforman la RHA XIII en términos de la cantidad de agua disponible, al considerar la recarga y la extracción. Esta disparidad se presenta específicamente para la región del presente proyecto. En la Figura 19, generada con los datos de la tabla 3, se muestran los 14 acuíferos de la RHA XIII, donde se observa que la disponibilidad de agua (representada en gris) en la mayoría de los acuíferos se encuentra por debajo de los niveles de recarga y extracción.

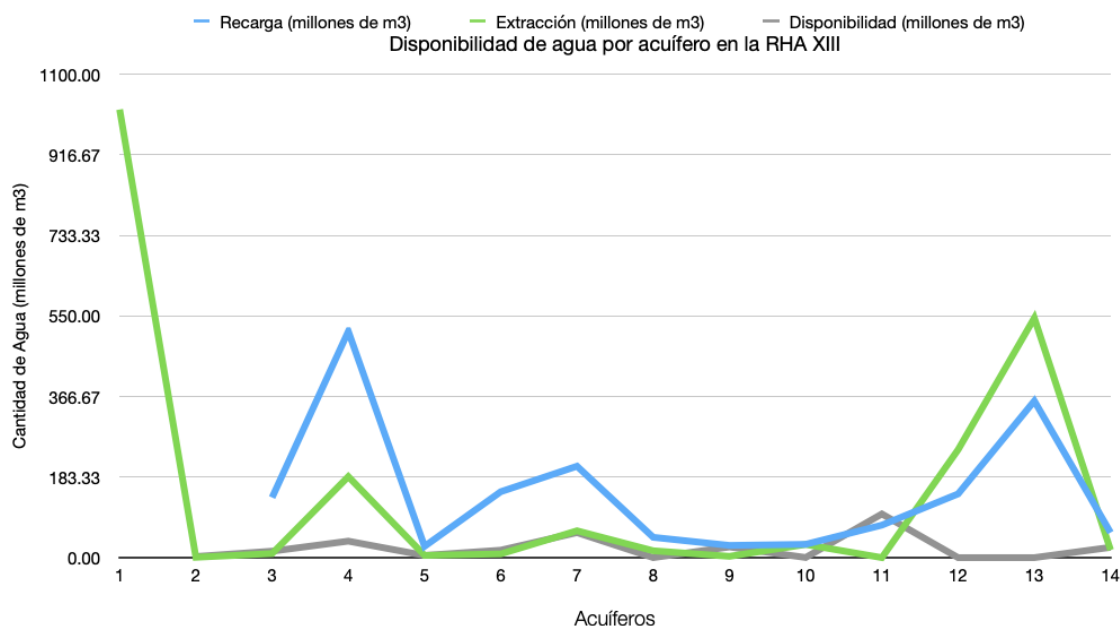


Figura 20. Disponibilidad de agua por acuífero según la RHA

Nota. Elaboración propia, adaptado de la tabla de declaratoria de disponibilidad media anual subterránea publicada en el DOF del 17/09/2020.

La sobreexplotación en 157 de los 653 acuíferos contribuye al índice de explotación del recurso hídrico, indicador de escasez según González et al. (2022), Por lo tanto, ante una creciente demanda el desafío en México es reducir la sobreexplotación para lograr un equilibrio entre las recargas de los acuíferos y su aprovechamiento, sin afectar las actividades económicas y el desarrollo social. Otro desafío es a la contaminación de los acuíferos y el cambio climático. El ciclo hidrológico y el clima como tal de una región o localidad se encuentran estrechamente relacionados, las variaciones el clima como la temperatura pueden afectar las cantidades de agua que se requerirán para el riego, pueden verse afectados los patrones de precipitación y evapotranspiración del agua, también se corren los riesgos de que el agua sea excesiva y se generen inundaciones que pueden causar daños a las comunidades y al sector agrícola. Esto afecta no solo la disponibilidad del agua sino su calidad (Cotler et al., 2010).

Estos daños que pueden ocurrir conforme continúan el calentamiento global y el cambio climático, pueden generar conflictos de intereses y dañar las relaciones que hay entre la sociedad, el poder ejecutivo y las grandes corporaciones que de una u otra forma requieren del recurso hídrico para mantener el desarrollo económico y de la sociedad.

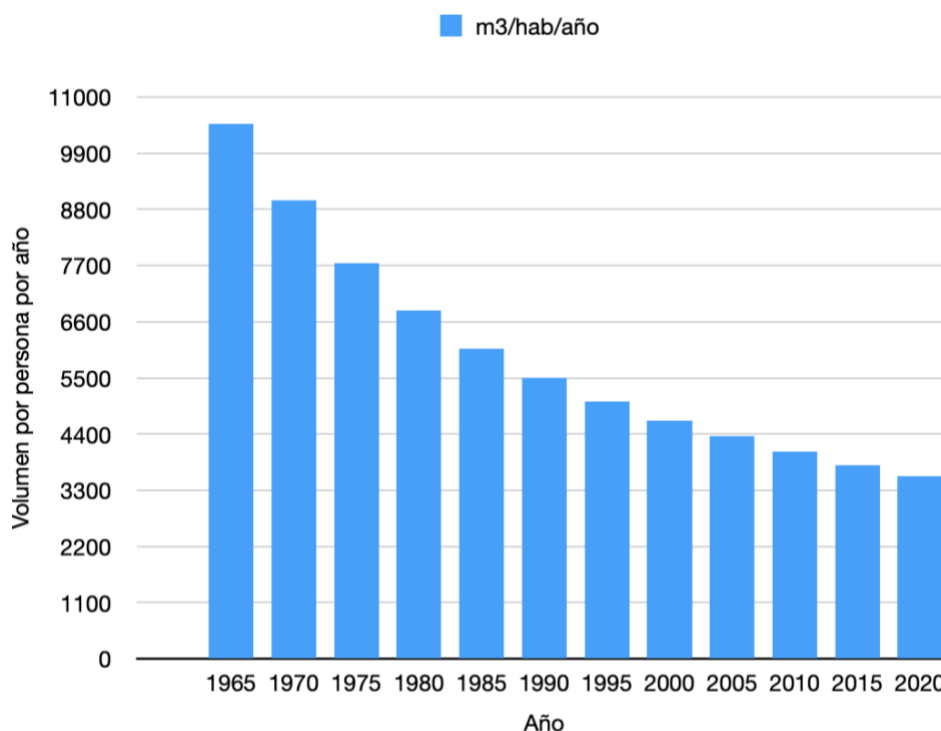


Figura 21. Total de recurso hídrico renovable *per cápita* en México

Nota. Tomado de Tableau data Visualizer, por FAO. Aquastat, s.f., <https://n9.cl/nmkcj>

De acuerdo con los datos abiertos de la FAO sobre las estadísticas de agua en el mundo, en México, el volumen *per cápita* del agua renovable al año, ha disminuido considerablemente en las últimas décadas (desde que hay registros). Estos cálculos partieron de precipitación, presión hídrica y el total de agua renovable que hay disponible en territorio nacional y evidencian que las estadísticas no muestran las variaciones que hay en las diferentes regiones del país, pero sí permiten observar que la disponibilidad de agua en México disminuye por cada habitante conforme pasa el tiempo y que desde 1965 al 2020 ha reducido en un 65.77 % por habitante.

Cuando un país tiene un nivel de estrés hídrico preocupante, el agua renovable *per cápita* al año se encuentra por debajo de 1700 m³/hab/año, esto es conocido como el indicador de Falkenmark (González et al., 2022). Las razones pueden ser variadas y complejas en México, pero es una realidad que el agua cada vez tiene mayor demanda y menor disponibilidad.

En la Figura 21 se evidencia que la población en México ha aumentado un 72 % desde la década de los 60 el último censo en 2020. En este sentido, el fenómeno poblacional no solo afecta la

disponibilidad de agua renovable debido a la mayor demanda, sino también al cambio de uso del suelo que ocurre aceleradamente en ciertas zonas, muchas veces sin regulación. Después de décadas de construcción y erosión de suelo natural, es posible que el paisaje urbano bloquee áreas naturales y suelo indispensable para la recarga de los acuíferos, lo que provoca a su vez que el agua lluvia, en lugar de infiltrarse en el suelo, termine en el alcantarillado municipal. En resumen, el aumento en el número de habitantes requiere una mayor cobertura en el suministro de agua y recursos naturales en proporción para satisfacer las de la población.

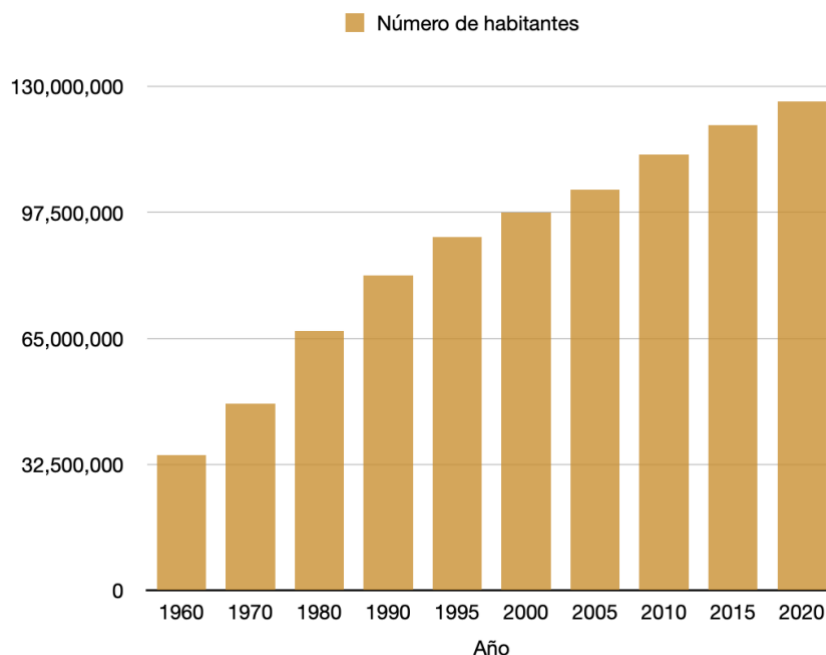


Figura 22. Población total en México

Nota. Tomado de *Censo de Población y Vivienda 2020*, por INEGI, 2020,
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

El aumento de la población en México se puede analizar también desde la perspectiva de la densidad. En la Figura 22, se puede apreciar que en el mapa del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la zona centro del país cuenta con la mayor concentración de población, como el Valle de México que presenta tanto la mayor alta densidad poblacional como el mayor estrés hídrico y, por lo tanto, se infiere que es también la zona con mayor generación de aguas residuales.

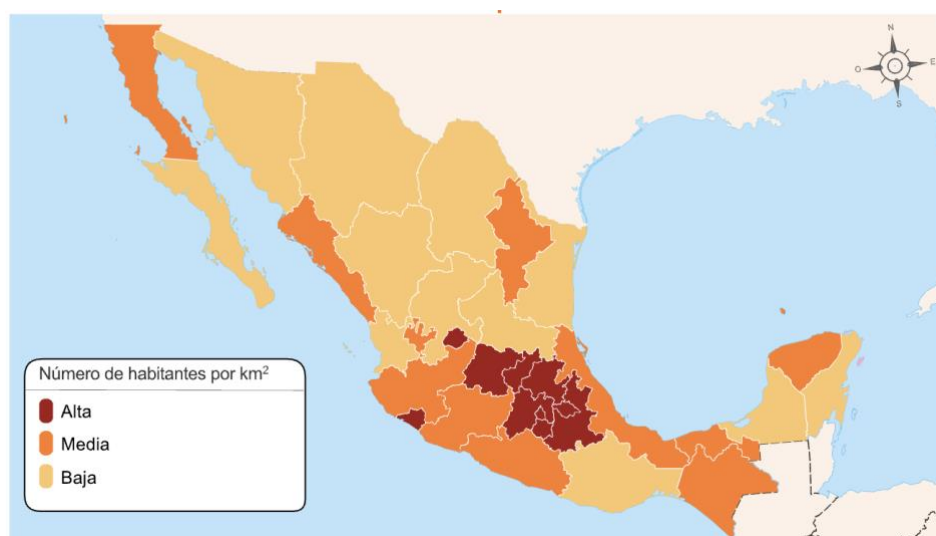


Figura 20. Densidad poblacional en México

Nota. Tomado de *Censo de Población y Vivienda 2020*, por INEGI, 2020, <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

La conurbación de ciudades tiene implicaciones hidrográficas por la cobertura vegetal, la degradación de suelos, cambios en el microclima e infiltración de agua, el aumento en la generación de residuos sólidos, la generación de aguas residuales y las descargas en zonas aledañas. La degradación de suelos es un factor muy importante, su salud está relacionada con la capacidad que tiene de llevar a cabo las funciones biogeoquímicas de reciclaje de compuestos orgánicos y filtración (Cotler et al., 2010). Es necesario que haya un modelo de aprovechamiento integral para que el agua residual pueda mantener un equilibrio con los elementos del ecosistema y para asegurar la disponibilidad del agua y la preservación de los recursos naturales, incluido el suelo.

Las estrategias de la agenda 2030 contemplan el uso eficiente de los recursos hídricos para garantizar el agua limpia y reducir el estrés hídrico. Las estrategias por implementar nacionalmente por parte de empresas, instituciones públicas, programas gubernamentales y la participación social, tienen que estar dirigidas a la gestión integral del agua y a la implementación de modelos económicos no lineales, en donde se reincorporen los residuos de procesos y se lleve a cabo el tratamiento circular del agua, a fin de eliminar desperdicios de recursos y permitir la recarga de los acuíferos.

De acuerdo con los datos de la FAO, México en el 2020 se encontraba con un nivel de estrés hídrico de 44.82 puntos porcentuales, se refiere a la relación entre la extracción de agua dulce y recursos de agua dulce disponibles. Como se ve en la Figura 23, el estrés hídrico en México ha aumentado considerablemente en los últimos 5 años arriba del 10 %. Esto es un llamado de atención para implementar sistemas y prácticas de economía circular en los métodos que proveen de agua limpia y servicios de alcantarillado a la población, como lo son plantas purificadoras,

plantas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de captación de lluvia y neblina que permitan la recarga de acuíferos. Así, se reduce la extracción del agua, se hace un uso eficaz en todos los procesos, así como en la vida diaria de la población, las empresas e instituciones públicas y privadas.

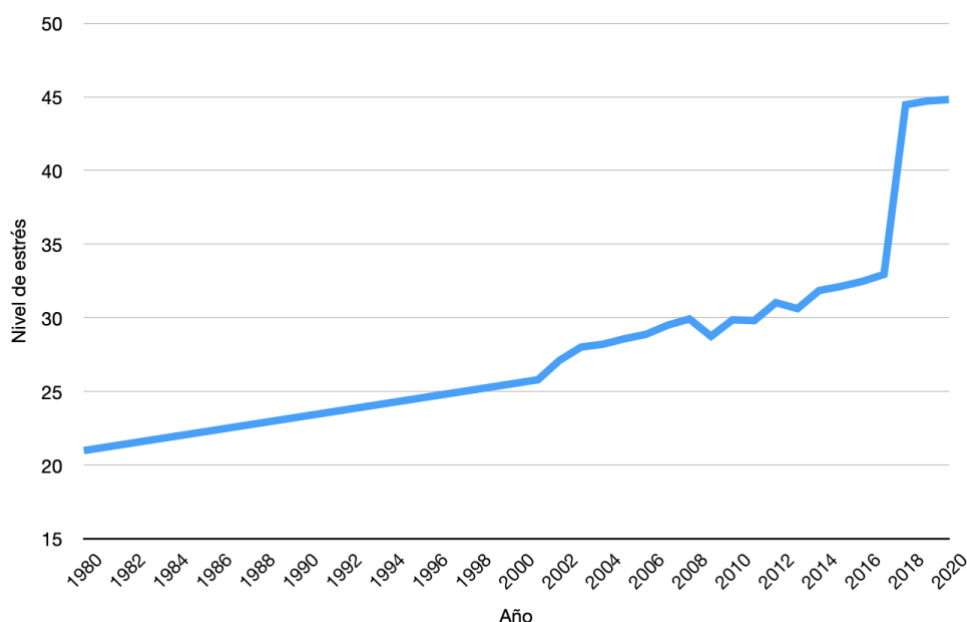


Figura 21. Nivel de estrés hídrico en México a través de los años

Nota. Elaboración propia, adaptado de *Tableau data Visualizer*, por FAO. Aquastat, s.f., <https://n9.cl/nmkcj>

El concepto de economía circular responde a la contraposición del modelo de economía lineal tradicional en las cadenas de suministro donde se presentan el consumo y el desecho de un producto o un material una vez que ha terminado su ciclo de vida. La economía circular crea bucles dentro de las cadenas de suministro en los que se reducen los residuos finales al mínimo posible, con lo que se reinsertan materiales a otras cadenas de suministro en puntos estratégicos en los que se aprovecha al máximo un residuo, que puede ser considerado como un recurso o materia prima en una industria paralela de la que este es extraído.

De esa manera, la economía circular aplicada a los sistemas integrados de gestión del agua puede ayudar a maximizar los beneficios económicos y a reducir el impacto en el ambiente. Esto se realiza analizando los puntos o etapas clave durante el proceso de producción de bienes y servicios, por lo que es posible tomar acciones para evitar la generación de residuos sólidos, líquidos o prácticas que ahorren energía. En el caso del TESCo, se está desarrollando un sistema integral no solo con la purificadora de agua, que es el proyecto principal de esta investigación, sino también con un sistema de captación de agua de lluvia y una planta de tratamiento de aguas residuales. Así,

integrar estos tres sistemas hidráulicos a un sistema mayor de economía circular, donde el agua es el principal actor, es una forma de reducir el estrés hídrico en la localidad donde se encuentra ubicado el TESCo.

Igualmente, al aprovechar la lluvia y el agua de rechazo de la purificadora, el TESCo tiene la oportunidad de convertirse en una institución pionera en sistemas integrales de gestión de aguas. Redirigir estas aguas hacia etapas específicas de los sistemas paralelos, según los estudios realizados, puede reducir la carga en el sistema de alcantarillado y minimizar el impacto ambiental, lo que contribuiría a la reducción del estrés hídrico y promovería prácticas sostenibles de gestión del agua.

En el Estado de México, está la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM); esta, con un programa hídrico para cada periodo de gobierno, se encarga del servicio de agua en los municipios mediante contratos y convenios. Además, el Estado de México es la entidad federativa con mayor número de pobladores (más de 17 millones), tiene una densidad poblacional de casi un 90 % arriba del promedio nacional (724 personas/km²), y el valle de Cuautitlán-Texcoco es la zona mayormente poblada. El acuífero que corresponde a esta zona es el Cuautitlán-Pachuca (clave 1508), denominado semiconfinado y con problemas de disponibilidad por la sobreexplotación de los recursos hídricos en esta zona (Programa Hídrico Integral del Estado de México [PHIEM] 2017-2023). Asimismo, Coacalco, uno de los municipios con mayor número de pobladores, enfrenta problemas de inundaciones por la acumulación de residuos en el Dren Cartagena, que obstruyen el flujo de agua y requieren desazolve constante del drenaje. Esta es una de las causas principales de las inundaciones en el municipio.

Por otro lado, la generación de residuos está ligada a la población de una zona determinada. En estos casos, los ayuntamientos se encargan de la gestión integral de los residuos, y para realizar dicha gestión se requiere de ciertos indicadores, como la generación *per cápita*, que estima la cantidad de residuos generados en una localidad en función del número de habitantes y el total de residuos generados. De igual forma, en la región centro del país, donde se ejecuta el presente proyecto, de acuerdo con datos del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR) de la SEMARNAT en el año 2020, la producción *per cápita* era de 0.766 kg/hab/día. Adicionalmente, se consideró en el mismo informe que aquellos municipios que cuentan con poblaciones mayores a 100 000 habitantes, como es el caso de Coacalco, generan en promedio 1.0171 kg/hab/día (DBGIR, 2020).

Debido a este tipo de problemáticas originadas por los residuos, así como por la cultura de consumo y desecho en México derivada del modelo tradicional de economía lineal, la planta purificadora del TESCo, a través del servicio de llenado de botellas de uso personal y de los garrafones para el personal docente y administrativo, espera reducir la cantidad de plásticos de un solo uso, con lo que se podría promover la reutilización de botellas de materiales durables con agua de calidad. Esta es una práctica de economía circular en la que se eliminan los residuos desde

el origen, puesto que se disminuye la cantidad de plásticos en la disposición final, en tanto que no se produce agua embotellada, sino que se realiza el llenado directo en la planta purificadora.

2.5 DATOS E INFORMACIÓN

Los datos son esenciales para el desarrollo empresarial en cualquier sector, debido a que su gestión eficiente facilita la toma de decisiones. Con el avance de la tecnología de almacenamiento de información, hay una gran cantidad de datos disponibles para análisis en cualquier ámbito; sin embargo, muchas empresas e instituciones aún no saben cómo utilizarlos. El uso del registro en papel sin digitalizar puede ser un limitante, debido a que esto requiere un proceso manual y lento para acceder a la información, lo que dificulta la toma de decisiones ágil, mientras que los datos digitales cuentan con una fácil accesibilidad. Además, la falta de digitalización impide el aprovechamiento de ventajas, como la identificación de patrones, tendencias y oportunidades de mejora. Por otro lado, la digitalización de los registros permite una mejor organización, búsqueda y análisis, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la optimización de los procesos empresariales. Es fundamental que las empresas consideren la importancia de la digitalización de sus registros para maximizar el valor de la información y para mantenerse competitivas en un entorno impulsado por datos.

En ese sentido, la recolección de datos en empresas e instituciones públicas es un proceso fundamental para obtener información valiosa que pueda respaldar la toma de decisiones estratégicas. Esta información permite comprender mejor a los clientes, ciudadanos y usuarios, así como identificar oportunidades de mejora, diseñar políticas efectivas y optimizar los servicios y productos ofrecidos. También es importante considerar que en algunos casos hay que garantizar que la recolección de datos se realice de manera ética y cumpla con las regulaciones de protección de datos para proteger la privacidad.

En cuanto a la recuperación de datos, esta hace referencia al proceso de extraer u obtener información resultante de la operación en algún proceso o industria y lograr resultados relevantes con esta. Por consiguiente, es fundamental identificar la fuente de los datos relevantes y seleccionar los formatos adecuados para garantizar resultados óptimos en las consultas y los posteriores análisis. Con esto también se presenta la oportunidad de mejorar los estándares de almacenamiento de datos, simplificar la búsqueda y dar formato a la información recopilada, así como a su visualización. La elección de la arquitectura —o la forma en que dichos datos están organizados— debe considerar aspectos como el costo y el rendimiento. Es importante tener en cuenta que el análisis de grandes volúmenes de datos a menudo requiere de abstracciones que difieren de las aplicaciones diseñadas para entornos tradicionales. Además, en entornos de almacenamiento y procesamiento en la nube, es importante considerar los costos no lineales asociados con el acceso y los cambios en el entorno.

Algunas de las razones para cambiar del papel a un repositorio digital se enlistan a continuación:

- **Volumen de datos:** Actualmente existe una gran cantidad de información disponible y de acuerdo con el momento histórico presente, hay una mayor cantidad de datos y registros accesibles que en ningún otro momento en la historia debido a la digitalización de documentos e imágenes, el papel impide que este gran volumen de datos sea consultado o procesado a la misma velocidad y en la misma capacidad que un repositorio digital.
- **Eficiencia:** Debido al gran volumen de datos disponible, las máquinas y las herramientas digitales permiten almacenar y procesar datos a una mayor velocidad y de tal forma que se disminuyen los errores en los cálculos y recopilaciones de datos.
- **Seguridad y regulación:** Con registros digitales en comparación con los documentos en papel, se tiene una mayor seguridad de la información debido a que con el medio digital se tiene un control sobre quienes pueden acceder, editar y consultar o visualizar la información, además de que se tiene un registro sobre cada interacción con los datos. Una vez establecido quién tiene acceso a qué, es fácil cumplir con cualquier estándar de privacidad de información, sobre todo en una institución como el Tecnológico.
- El utilizar papel es sin duda expandir la huella de carbono, mientras que el utilizar repositorios digitales en la nube permiten no solo disminuir el impacto de su uso, también representa un ahorro en cuanto a la compra del insumo.
- El estar en vanguardia con las tecnologías de información, permite proveer de servicios relacionados de rápido procesamiento (proveer estadísticas, reportes, datos) al público y a los usuarios. Esto genera una percepción de profesionalismo por parte de los consumidores finales.

Se trata de identificar cuáles son las razones por las que se utiliza papel, y cuáles son aquellos documentos que pueden cambiar, como los que por su naturaleza requieren de firmas, y cuáles son hábitos de impresión y manejo operacional que tienen el potencial de convertirse en datos valiosos digitalizables. Hay que tener en cuenta la forma en la que son almacenados y, si son utilizados en este formato sólo por mantener un récord o registro de esto sin tomar una acción con respecto a esa información posteriormente en el flujo de actividades administrativas. El tener registros digitales tiene el objetivo de facilitar el registro, almacenamiento y además utilizar la información de forma proactiva y frecuente, haciéndola parte del proceso del cual derivan estos datos, como lo puede ser un reporte diario, semanal, mensual o con la frecuencia que sea mejor de acuerdo con la operación, y que sea utilizada para la toma de decisiones.

Para lograr una administración y visualización efectiva de los datos, es necesario utilizar una arquitectura (o estructuración) compatible que garantice la consistencia al cargar los datos en la plataforma seleccionada. Este enfoque es ampliamente aplicado en entornos corporativos y empresariales para proporcionar respuestas contextualizadas utilizando tecnologías de la información. Así, los datos se utilizan en el ámbito científico para brindar respuestas a investigaciones, al igual que en la búsqueda de patrones para aprovechar mecanismos precisos al procesar y analizar datos, y para poner a prueba teorías e hipótesis con estadísticas sobre el negocio

o el contexto dado. Esto depende de los datos que se tengan, debido a que no todos los tipos pueden utilizar el mismo mecanismo para responder a ciertas preguntas, por lo que se debe tener en cuenta que hay información cualitativa y cuantitativa. Esta ayuda a responder diferentes tipos de preguntas y requiere de procesamientos adecuados.

Para garantizar un funcionamiento eficiente y óptimo en una planta purificadora de agua, la recolección de datos juega un papel fundamental, debido a que esta permite monitorear y evaluar la calidad del agua, el rendimiento y el mantenimiento de los equipos, la eficiencia energética, y los costos de producción en periodos de tiempo específicos. Estos datos son valiosos para identificar posibles mejoras en el proceso, prevenir problemas y optimizar los recursos disponibles. Además, esta recolección puede ayudar a garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad o detectar anomalías.

Al analizar y utilizar de manera efectiva esta información, la planta puede tomar decisiones estratégicas, mejorar su rendimiento operativo, minimizar los costos y ofrecer un servicio de calidad a los estudiantes del TESCO. Asimismo, se pueden respaldar la comunicación y la transparencia al proporcionar información precisa y confiable sobre el proceso de purificación de las partes interesadas. En resumen, este proceso tiene un impacto significativo en el desempeño, la eficiencia y la capacidad para brindar un servicio de primera categoría; y, además, este contribuye a la eliminación del plástico de un solo uso con el servicio que se provee en la planta purificadora, con lo que se da lugar a un impacto positivo en los contextos social y ambiental. Con ello, se abren las puertas a otros proyectos relacionados con la tecnología y la posible automatización.

Ahora bien, la adopción de registros digitales proporciona una mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento, lo que facilita la búsqueda y el análisis de datos, con lo que se ofrece una visión clara y completa de la operación en tiempos reducidos. La arquitectura de la información implica diseñar una estructura lógica y coherente para organizar los datos recopilados y mostrar la información de forma intuitiva. Esto es fundamental tanto para interfaces digitales (sitios web o aplicaciones) como para la organización de datos en cualquier contexto, debido a que ello permite a los usuarios acceder rápidamente a la información relevante. Asimismo, esto garantiza que los datos estén organizados de manera que se facilite su recuperación y análisis, por ejemplo, en el caso de una página web sobre biología, donde los felinos se encontrarían en la pestaña *Felidae* y no en la sección de *Crocodylia*.

Con la tecnología actual, es necesario implementar una sólida arquitectura de la información para optimizar la gestión y la organización de la información en empresas e instituciones públicas. Este proyecto se enfoca en el desarrollo de una arquitectura de información pertinente para la planta purificadora, al adaptar los datos generados a las necesidades específicas de la comunidad tecnológica. Esto implica considerar diferentes usuarios, como el público en general, los profesores, los alumnos en servicio social y los directivos. Además, esta etapa sienta las bases para

futuras mejoras y para el aprovechamiento de la información, con lo que se podría facilitar la integración de tecnologías emergentes y herramientas en el TESCo, como el desarrollo de interfaces y la integración de proyectos de agua paralelos.

Es importante diseñar la arquitectura de la información considerando la disponibilidad y la relevancia de los datos para los usuarios; así, el contexto de la información depende del motivo y la manera en que los usuarios esperan encontrarla en una interfaz específica. El usuario en esta posición sería la persona que va a consumir el contenido, la información o los datos, los cuales tienen que estar organizados de tal forma que puedan proveer valor y cumplir con ciertas expectativas para encontrar lo que se necesita en el momento adecuado. En el caso del TESCo, los usuarios serían los profesores, directivos y alumnos en general, incluidos aquellos que realicen servicio social o residencias en la planta. Finalmente, el contenido correspondería a los datos generados desde la operación de la planta, como los litros producidos y utilizados (rechazo), los valores de los parámetros de calidad, la distribución de agua en los diferentes departamentos, los cilindros llenados en el servicio en el mostrador, la información sobre la planta y el proceso, entre otros factores.

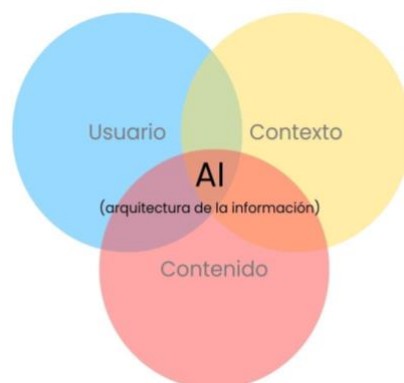


Figura 22. Componentes de la arquitectura de la información

Nota. Tomado de *Arquitectura de la información UX*, por O. López, s.f., <https://formiux.com/arquitectura-de-la-informacion-que-es/>

En la Figura 25 se proporciona un ejemplo de arquitectura de datos para una página web de venta de libros. Se puede apreciar que esta tiene aspecto de un mapa conceptual, donde las carpetas representan las páginas o pantallas en las que se recolecta o muestra información de cierta categoría que, según la jerarquización y la categorización, cuenta con ramificaciones correspondientes. Para que esta o cualquier otra página web o aplicación funcione, debe haber sido previamente cargada con la información, los datos y las acciones que se esperarían encontrar en este contexto. Una página de libros, como se puede observar en el ejemplo, tiene un menú principal (carpetas amarillas) que contiene la información general del negocio o sitio, la sección de académicos y de

elementos generales, las preguntas frecuentes, las barras de búsqueda, los medios de contacto, etc. Así, para encontrar un libro, este debe estar en la plataforma y contar con las etiquetas digitales necesarias para ser encontrado por título, autor o género.

Adicionalmente, cada página web o aplicación tiene un contexto según la necesidad de los usuarios y las acciones que se espera llevar a cabo dentro de la plataforma. Esta arquitectura de información y visualización varía de acuerdo con las necesidades del sitio o aplicación, y tanto las etiquetas (nombres de las carpetas) como la conceptualización (flujo) deben ser diseñadas para estas necesidades.

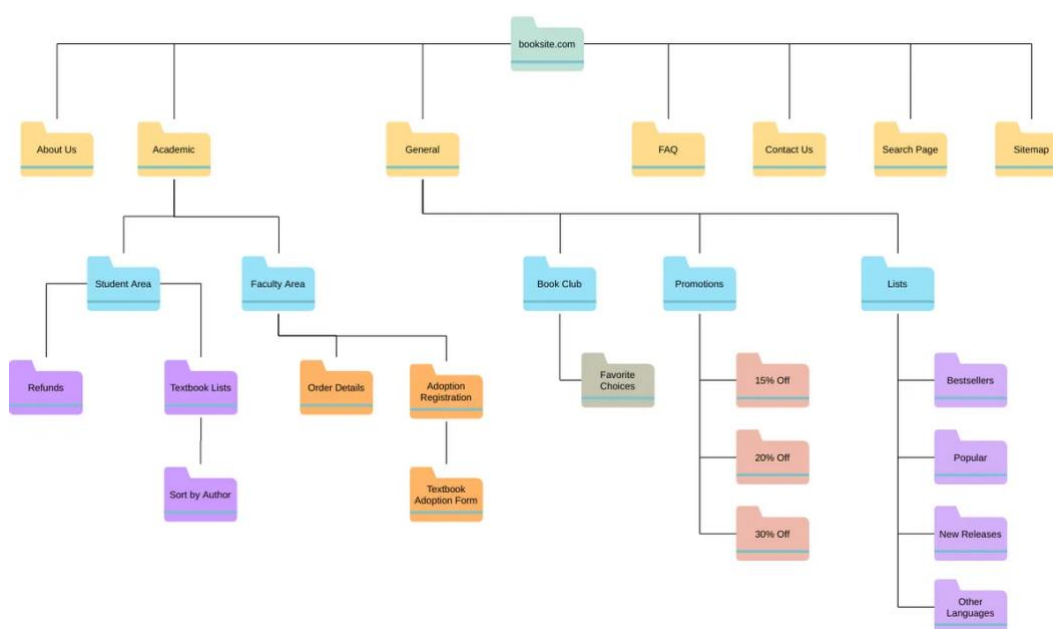


Figura 23. Ejemplo de mapa de sitio de una tienda de libros

Nota. Tomado de *Information architecture*, por Interaction Design Foundation, s.f., <https://www.interaction-design.org/literature/topics/information-architecture>

Estas categorizaciones funcionan y son importantes no solo para la documentación en papel y su posterior archivado o digitalización en una página web o aplicación móvil, sino para cualquier tipo de proceso de documentación industrial. Este proyecto requiere una arquitectura de la información que facilite la consulta y el análisis de datos para monitorear la operación de la planta purificadora del TESCO, por lo que debe contemplar aspectos como el control de calidad, la documentación y la estandarización de procesos, la planeación y el seguimiento de actividades, el inventario de insumos y requerimientos, la bitácora de mantenimiento de los equipos, el monitoreo de tanques,

los registros de producción y servicio, y los permisos de funcionamiento, sus actualizaciones y costos.

CAPÍTULO III. DESARROLLO

3 CAPÍTULO III. DESARROLLO

3.1 ESTUDIO DE MERCADO

En esta sección se realiza un análisis detallado del mercado objetivo al que se dirige el proyecto. En ella, se incluyen investigaciones de mercado, análisis de la competencia dentro del contexto actual de la planta purificadora del TESCO, identificación de clientes potenciales, tendencias y demanda del producto o servicio, entre otros aspectos relevantes.

Inicialmente, se debe mencionar que en México hay diversas instituciones públicas y privadas de educación superior que han optado por la instalación de plantas purificadoras de agua dentro de sus inmediaciones por diversas razones y con objetivos similares. Estos recaen en el suministro sostenible de agua potable y purificada para la comunidad educativa (alumnos, profesores y personal administrativo). Además, se busca ahorrar dinero en cuanto a la compra de agua de garrafón a empresas y proveedores externos, el suministro de agua destilada para las instalaciones de los laboratorios, y las oportunidades de educación práctica e integral para los alumnos que se encuentran inscritos y que podrían favorecerse de llevar a cabo actividades y prácticas dentro de las instalaciones de la planta purificadora. Estas son solo algunas de las consideraciones que se contemplan al momento de invertir e implementar proyectos de esta índole; pero, en algunos casos, la generación de ingresos para los departamentos encargados de las plantas purificadoras también es una razón.

Por ese motivo, diversas universidades han optado por operar una planta de este tipo, y este se ha convertido en un proyecto rentable y sostenible. Una de estas es la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), la cual instaló una planta purificadora de agua en marzo de 2020 en la Facultad de Ciencias Agropecuarias; ello, con el objetivo de distribuir agua a las unidades académicas del campus norte “Chamilpa” y reducir los costos de agua de garrafón que, de acuerdo con el boletín de prensa 3356 publicado en la página oficial de la institución el 3 de marzo del mismo año, alcanzaban los MXN 500 semanales. De ese modo, se espera la certificación por parte de la Secretaría de Salud en cuanto a la calidad de agua producida, mientras la Facultad de Ciencias Químicas se encarga de realizar las pruebas en la planta, la cual tiene una capacidad de 500 garrafones por día según los datos publicados.

Otra de las instituciones que han optado por adquirir una planta purificadora es el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Motul en Mérida. Esta universidad cuenta con una planta portátil de purificación de agua con una capacidad de 2000 garrafones por día, y tiene todos los equipos y materiales necesarios para la producción y la realización de pruebas de calidad. Este proyecto fue de gran aporte para la comunidad estudiantil y de las localidades, puesto que los estudiantes del mismo instituto obtuvieron competencias y adquirieron experiencia al participar en la instalación y la operación de la planta. Además, se realizaron pruebas de calidad del agua, las

cuales señalaron buenos resultados, dado que estos se mantenían dentro de los parámetros indicados por las normas.

De otra parte, las comunidades se vieron beneficiadas debido a que los mismos alumnos realizaron viajes para distribuir el vital líquido, con lo que ayudaron a la desinfección y al rellenado de garrafones sin costo, puesto que Motul es una de las comunidades con mayor nivel de pobreza en México. Para este punto, se consideró el contraste económico entre la zona norte y la sureste de México, revisadas en el marco teórico de este proyecto.

Asimismo, en Chapingo, en el Estado de México, se cuenta con una planta de agua purificada con equipo de ósmosis inversa, ozono y lámpara ultravioleta para garantizar la calidad del agua que se produce. En las instalaciones de la planta purificadora de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) se tiene como objetivo abastecer a la comunidad de agua de calidad. Allí se producen botellas de polietileno tereftalato (PET), y se busca que la marca sea reconocida en la comunidad gracias a sus precios competitivos. También se pretende incrementar el número de clientes fuera de la institución, con lo que se contribuiría al crecimiento de los recursos y el renombre de la institución con la distribución de productos de calidad. Finalmente, se debe mencionar que esta universidad también ha participado en diferentes programas en compañía de la CONAGUA para la instalación de cientos de módulos familiares y escolares en zonas marginadas de los estados de Hidalgo, México y Michoacán, que se encargan de la captación de agua de lluvia para el uso doméstico y el consumo humano.

Por otra parte, el Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI) es una universidad que cuenta con un sistema de captación de agua de lluvias que recolecta el líquido desde las azoteas de los edificios utilizando filtros y membranas para controlar la migración de fluidos, con lo que se captan hasta 3000 metros cúbicos de agua de lluvia, y estos se almacenan en un depósito. Este sistema de captación se complementa con una planta purificadora que tiene variaciones en la cantidad de producción debido a las temporadas de lluvia y sequía, por lo que se obtienen hasta 300 garrafones por semana en temporada de lluvia. Estos garrafones son distribuidos y consumidos por la comunidad de estudiantes, profesores y administrativos; así las cosas, con ello se espera expandir la producción a la comunidad fuera de la TESCo institución para generar y captar ingresos.

Estos son algunos ejemplos de las instituciones educativas de nivel superior que han optado por utilizar las plantas purificadoras de agua para reducir el gasto que se genera en compras de garrafones a empresas externas. No obstante, estas organizaciones también han aprovechado dichos proyectos como oportunidades de enseñanza y de desarrollo de competencias.

Cabe resaltar que la calidad del agua que se puede generar en este tipo de plantas purificadoras es alta, debido a que entre las actividades se incluye la realización de pruebas para mantener los valores de los indicadores dentro de los parámetros que se estipulan en la normatividad aplicable al agua de consumo humano, así como la normatividad que conlleva la operación de las plantas

purificadoras. En ese sentido, ingresar el producto generado en las instituciones al mercado del agua en las comunidades y localidades circundantes es importante, porque en los últimos años la sobreexplotación del recurso por parte de grandes empresas y el cambio climático han afectado los patrones de lluvia y la disponibilidad de agua; así, es necesario contar con alternativas de calidad para que las personas puedan obtener agua limpia y de calidad para el consumo en las localidades.

Según datos de Statista, en cuanto al agua embotellada en México, se calcula que los ingresos que provienen de esta ascendieron a los USD 16 100 millones en 2023 y se espera que el mercado crezca un 4.30 % anual dentro de los próximos cuatro años, de acuerdo con la tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR 2023-2027), o la tasa promedio anual de crecimiento de los ingresos, o cualquier otra métrica financiera entre dos años determinados. Lo anterior, suponiendo que el crecimiento se produce a una tasa de interés compuesto.

En otras palabras, esta es la tasa a la que una inversión crece año tras año si los rendimientos se reinvierten al final de cada periodo. También se espera que el volumen de agua embotellada en México alcance 36 560 000 000 L para 2027 y que, para ese mismo año, el 17 % del gasto, así como el 4 % del consumo de volumen de agua embotellada en México, se atribuya al consumo fuera del hogar (por ejemplo, en bares y restaurantes). Por lo tanto, para 2024 se espera un crecimiento de volumen del 2.3 %, mientras que para 2023 se estimó que el volumen promedio por persona alcanzó los 257.80 L y que se generaron ingresos de USD 121.20 *per cápita*.

Con base en los datos presentados acerca del mercado de agua embotellada, se puede discernir un pronóstico alentador para la demanda de agua y el incremento en las ganancias asociadas a este segmento específico. Los datos en cuestión se centran en el mercado de bebidas no alcohólicas, y con ello se destaca el papel relevante de agua embotellada, natural y mineral. Es importante mencionar que las aguas producidas en plantas purificadoras forman parte integral de este segmento, en virtud de su naturaleza como aguas naturales (sin gasificación) destinadas a su distribución, que en este caso es dentro del TESCO de forma gratuita, con el objetivo de reducir el plástico de un solo uso asociado con las bebidas y el facilitar y garantizar el acceso a la comunidad de agua limpia, segura y de calidad.

Por otra parte, se realizó una serie de muestreos y pruebas en las que se sometieron marcas reconocidas de agua embotellada a las mismas evaluaciones fisicoquímicas y de colorimetría (para la determinación de sílice) por las que el agua producida en la planta purificadora tiene que pasar para ser adecuada para la distribución en bebederos y el servicio de llenado de botellas y garrafones en mostrador. Los resultados obtenidos y marcas muestreadas se encuentran en la Figura 26.

MUESTREO ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	AGUA DESTILADA TESCo	AGUA PURIFICADA TESCo	ZOE WATER	PEÑAFIEL	CIEL PURIFICADA	E-PURA	BONAFONT	PARAMETROS NOM-041
pH	6.8	7.8	7.8	7.2	7.2	7.2	8.0	6.5-7.5
TDS	4	68	18	202	137	6	126	69-75
Dt	0	25	0	90	60	0	80	50-200
Alcalinidad	50	80	40	220	80	90	170	70-300
Cloro Residual	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros	0	31.9	35.5	28.4	39.5	53.25	31.95	15-250
Ca	0	0	0	35	60	0	0	20-80

Figura 24. Resultados de las pruebas del muestreo de marcas comerciales y agua purificada y destilada TESCo en ppm.

Nota. Elaboración propia.

Los resultados que se muestran en la Figura 26 son un estudio preliminar de la calidad de agua que se produce en el TESCo, disponible para la comunidad misma a través de las tiendas de autoservicio, vendedores ambulantes y otras fuentes donde los usuarios finales son los estudiantes, profesores y administrativos. Estos la utilizan como fuente principal para su día a día y para su consumo mientras se encuentran dentro de las inmediaciones del TESCo. De ese modo, se realizó también una prueba parcial para la identificación cualitativa de la presencia de sílice en el agua tanto para las marcas que se evalúan como competencia como para el agua producida en la institución.

La prueba de colorimetría para la identificación de la presencia de sílice en el agua purificada del TESCo y las marcas comerciales fue realizada de acuerdo con la Norma Mexicana (NMX) NMX-AA-75-1982, que establece los métodos gravimétrico y colorimétrico para la determinación de sílice en agua, y estos son aplicables para aguas naturales y residuales. En este caso, la evaluación se realizó parcialmente con el agua purificada producida en la planta del TESCo, así como con algunas muestras de agua comercial.

En la Figura 27 se muestra una fotografía tomada dentro de la planta purificadora que muestra las diferentes aguas y la coloración pertinente en cada una de acuerdo con su concentración de sílice. Esta determinación es cualitativa, debido a que solo se presentan acomodadas las muestras según la intensidad del color mostrado. Se puede observar, de derecha a izquierda, la concentración de mayor a menor cantidad de sílice en el agua. La primera muestra que presenta mayor coloración es el agua Ciel, seguida de Peñafiel, Bonafont, E-pura, Zoe Water y, finalmente, el agua del TESCo.



Figura 25. Resultados de la prueba de colorimetría para identificación de sílice en agua

Estas marcas se seleccionaron porque son las de mayor disponibilidad para los estudiantes en las tiendas de conveniencia, supermercados y vendedores ambulantes de la zona de Coacalco y los alrededores del TESCO. Los precios de cada botella y marca se enlistan a continuación, según la presentación por popularidad en las tiendas de conveniencia.

- Bonafont: 750 ml – MXN 18.00.
- Zoe Water: 900 ml – MXN 31.00.
- Ciel: 600 ml – MXN 11.00.
- E-pura: 600 ml – MXN 11.50.
- Peñafiel: 600 ml – MXN 24.00.

Se puede inferir que, por su precio, popularidad y disponibilidad, las aguas de Ciel, Bonafont y E-pura son las de mayor competitividad y las más accesibles (oferta-demanda) para el consumo de estudiantes, profesores y administrativos que todavía no consumen el agua que se produce en el TESCO. Se debe de tomar en cuenta que las marcas comerciales representan competencia en cuanto a la preferencia de la comunidad del Tecnológico debido al precio accesible, la reputación de las marcas y la disponibilidad u oferta del agua embotellada.

Posteriormente, se realizó una encuesta entre los alumnos, profesores y personal administrativo del TESCO a través de un formulario con preguntas sobre su consumo y preferencia. Con esto se recibieron comentarios sobre el agua purificada que se distribuye actualmente. Además, se obtuvieron opiniones con respecto a ciertos parámetros del agua tanto de la población que ya la consume como de la que aún no lo hace, y algunas razones por las cuales no han decidido tomar el agua purificada. Esta información es valiosa para conocer la oferta de agua que puede tener el TESCO y la demanda de agua si toda la población consume agua, y ayuda a generar estrategias que den visibilidad y generen confianza para el consumo de agua, al igual que planes de acción

dentro de la purificadora para modificar o aumentar la frecuencia y/o la cantidad de agua que se produce para la satisfacción de la demanda, a fin de crear un proceso eficiente en cuanto a lo que se requiere para mantener la operación.

A continuación, se presentan las preguntas y los campos de la encuesta, además de los resultados y sugerencias que resultaron de esta. También se presenta una lista de los campos que fueron recopilados de los encuestados y, para la facilidad de análisis, se cambió el nombre de la columna (pregunta) por un nombre o concepto fácil de identificar durante el análisis de datos de los resultados, lo cual es visible en las gráficas de la misma tabla. Se utilizó la información a partir de la pregunta 6, con fines de anonimidad para los encuestados, en tanto que a partir de allí se pidió al usuario seleccionar su rol, determinar la frecuencia de consumo y la disponibilidad del agua, y proveer su opinión con respecto a los campos.

- Selecciona un rol: Estudiante, Profesor o Administrativo
- ¿Cuál es tu principal fuente de agua para consumo personal?
- ¿Consumes agua de la planta purificadora del TESCo?
- ¿Con qué frecuencia consumes agua en el TESCo?
- ¿De qué manera sueles hacerlo?
- ¿Cuál es su sabor?
- ¿Cuál es su olor?
- ¿Cuál es su color?
- ¿Cómo calificarías la calidad del agua purificada que se ofrece en el TESCo?
- ¿Con qué frecuencia encuentras agua disponible en los bebederos?
- ¿Encuentras disponible el servicio de llenado en la planta purificadora?
- Si no consumes agua del TESCo, ¿podrías indicar cuáles son los motivos detrás de esta elección? (Por favor, proporciona detalles, si es posible).
- ¿Tienes algún comentario adicional sobre la calidad y la disponibilidad del agua en el TESCo?
- ¿Qué te gustaría saber sobre el agua o la planta de agua del TESCo?

Esta encuesta, en conjunto con la investigación sobre las universidades que han implementado un sistema de purificación de agua para la distribución interna y la comercialización al público general, es un excelente punto de partida para elevar la imagen que tiene el TESCo en la comunidad interna y externa. Esta abarca áreas complementarias al cumplimiento de la normatividad

aplicable, pues implica ganar la confianza de la población a la cual se pretende llegar y convertir en consumidor final (población estudiantil, profesores y administrativos). En ese sentido, las certificaciones, los permisos y las contextualidades legales son solo un requisito ya que se busca establecer la confianza al respecto de que la calidad del agua que se produce tiene un estándar certificado por una entidad gubernamental o privada. Así, se debe construir una imagen que pueda competir con la de las marcas analizadas por medio de la difusión de la información y las estrategias de marketing en general, a fin de mantener a la comunidad involucrada, y de forma que esta se sienta escuchada en lo que concierne a sus necesidades. En este caso, la encuesta es la estrategia para alcanzar los fines mencionados.

El análisis de resultados de la encuesta se puede observar a detalle en la sección de resultados, en la cual se muestra un gráfico y un análisis correspondiente para cada una de las preguntas mencionadas anteriormente. Estos gráficos, comentarios, estadísticas y análisis fueron tomados a su debido momento como referencia para identificar las áreas de oportunidad de la planta purificadora en cuanto a esa confianza que requiere de cierto mantenimiento que permita a la comunidad sentirse escuchada y sobre todo que permita hacerles ver que se toman las acciones necesarias para atender las áreas de oportunidad identificadas. También ha sido utilizados para generar estrategias y materiales informativos para cubrir una gran parte de las inquietudes y necesidades mencionadas por parte de los encuestados.

Algunas de las necesidades de los encuestados y la comunidad del Tecnológico en general, es antes que nada consumir una cantidad adecuada de agua al día, sobre todo en temporadas de calor intenso donde se corre el riesgo de generar síntomas y enfermedades gastrointestinales, insolación, deshidratación entre otras condiciones riesgosas para la salud. Esta necesidad de tener acceso al agua purificada de calidad es de suma importancia en la actualidad debido a la información disponible que hay sobre las proyecciones y estimaciones en cuanto a el agua tanto en el mundo como en el Valle de México. El agua purificada de calidad requiere de cumplir con ciertos parámetros y procedimientos para que ésta sea aceptada por la población, así como contar con los permisos y certificaciones necesarias que puedan generar la confianza entre los usuarios sobre su consumo seguro. El agua para las personas y su accesibilidad debe de tener un precio razonable y no representar un golpe o tener un efecto negativo en la economía familiar o individual de los consumidores. Las necesidades hasta este punto son tener disponibilidad en cuanto a la cantidad, accesibilidad en cuanto al precio y el reconocimiento por parte de los organismos, entidades y autoridades pertinentes.

3.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Las marcas analizadas, al ser comerciales, no suelen ser cuestionadas por la población debido a que han construido un nombre; y su calidad, como se ve en los resultados del estudio de mercado mencionados (ver resultados y anexo), tiene áreas de oportunidad en comparación con la del

TESCo. Por ese motivo, en esta sección se evalúa la viabilidad del proyecto desde diferentes perspectivas: técnica, económica, financiera y legal. Asimismo, se analizan aspectos como la disponibilidad de recursos, los costos y beneficios esperados, el retorno de inversión, los riesgos involucrados, y los aspectos legales y regulatorios que deben cumplirse. El estudio de factibilidad permite determinar la viabilidad del proyecto y establecer las bases para su desarrollo.

En este caso el estudio de factibilidad está enfocado en la planta purificadora que se encuentra en las inmediaciones del TESCo, y las actividades resultantes del proyecto están enfocadas en elevar la imagen; mejorar la logística de los procesos, la eficiencia del manejo y la operación; y establecer las bases para elevar la producción tanto de agua como de la información y aumentar o escalar la capacidad de almacenamiento y procesamiento de los datos relevantes para las partes interesadas. El almacenamiento y procesamiento de datos requieren de una visualización periódica y/o un reporte para evaluar el desempeño de la planta e, indirectamente, del personal que opera la planta. La importancia de los datos radica en tener la facilidad de medir el desempeño de la planta purificadora ya que solamente a través de los datos que arroja la misma se pueden realizar estas evaluaciones, comparando cada parámetro con estándares o valores establecidos para medir el desempeño. En este caso se va a utilizar la normatividad aplicable y algunos valores establecidos a través de los datos del primer año de producción para crear objetivos y metas de producción, de igual manera se requiere de continuar de forma periódica la evaluación o análisis de la preferencia de la comunidad del Tecnológico, y determinar si ha habido cambios en las respuestas de los consumidores finales que se refieran a una recomendación o perspectiva positiva o en disgusto y áreas de oportunidad por parte de la administración o de la operación.

La imagen dentro de la comunidad del TESCo es vital para expandir la planta purificadora en capacidad de producción. Se tienen datos y opiniones de los usuarios finales y potenciales usuarios finales (ver resultados y anexo) que se ven en las respuestas analizadas, y muestran que la comunidad del TESCo tiene dudas sobre las actividades de monitoreo y mantenimiento, o cierta desconfianza a consumir el agua de forma diaria o regular por medio de los bebederos o el servicio de llenado en mostrador. Por consiguiente, el objetivo del estudio de factibilidad es evaluar la viabilidad del presente proyecto de acuerdo con las actividades y los aspectos mencionados: operativos, administrativos y de mercado (manual de operaciones, documentación, reportes y marketing).

Las actividades y procesos definidos en el manual de operaciones integral del presente proyecto constituyen una serie de elementos que están destinados a ser utilizados de forma regular y periódica dentro de la planta purificadora, por lo que deben formar parte de las actividades diarias de operación y servicio. Esta serie de elementos está conformada principalmente por un manual de operaciones sobre los procesos a realizar en la planta, en conjunto con la lista de actividades e instrucciones, hay una serie de *checklists* que complementan la ejecución precisa y ordenada de pasos necesarios para el servicio del equipo de la planta, su operación y sus condiciones de operación para la producción de agua purificada y destilada. Adicionalmente, se diseñan una serie

de actividades y un *checklist* para las actividades que conforman el monitoreo y el seguimiento de calidad del agua, así como para el manejo de residuos, y la documentación pertinente. Dentro de las actividades de servicio también se tiene contemplado el llenado de garrafones y cilindros de uso personal, y las actividades administrativas dentro de la planta que requieren ser llevadas a cabo para la generación de registros, controles y reportes de operación (formatos internos).

Para las actividades operativas de la planta, se requiere la elaboración del manual de operaciones con las listas ordenadas de procesos a ejecutar, las condiciones de operación de los equipos, los materiales e insumos necesarios para la producción de agua purificada y destilada y el servicio de llenado, el mantenimiento de equipos, y los análisis q

químicos y parámetros a evaluar para el seguimiento de calidad del agua. Estas deben ser formuladas y definidas mediante una evaluación de los procedimientos actuales, proyectándolos para atender las áreas de oportunidad identificadas durante el proceso y estableciendo ciertos indicadores de desempeño que puedan ser útiles para mantener un control de calidad en el área operativa y de producción.

Dentro del aspecto administrativo, lo anterior implica mantener un control de los registros pertinentes y evaluar, mediante el análisis de datos, la actividad de la planta dentro del primer año de operación, así como la eficacia de los registros para capturar los datos cualitativos y cuantitativos para el análisis integral. Para las actividades de marketing, se necesita la evaluación de los datos y estrategias de distribución de información atractivas para el público, a fin de dar a conocer la calidad, los procesos, los parámetros y las condiciones de operación, para cultivar la confianza dentro de la comunidad del TESCO, promover el consumo del producto y notar la diferencia para el segundo año de operación.

Actualmente los registros de la planta purificadora y los parámetros de operación se encuentran en papel y deben ser revisados y digitalizados manualmente en un formato de Excel; en suma, es un proceso ineficiente. Se puede decir que la tecnología disponible para llevar un histórico de los eventos y actividades de la planta está siendo limitado mientras los registros se acumulan durante la operación de la planta, lo cual podría convertirse en un obstáculo para la evolución de la tecnología y la implementación de herramientas digitales en un futuro. Esta última podría ahorrar tiempo de operación, aumentar la confiabilidad de los registros, y facilitar la consulta y la visualización de información relevante. Para llevar a cabo un registro integral sobre la operación y las actividades de la planta, es necesario conocer a fondo y de forma precisa la operación de todas las actividades que involucra el servicio que provee la planta purificadora. Por ende, los procesos deben aparecer bien definidos y ser ejecutados de forma precisa, a fin de garantizar y mantener la calidad del agua que se provee a la comunidad del TESCO. Técnicamente, se requiere evaluar los procesos actuales y los datos generados, y partir de los resultados para desarrollar procesos eficientes y registros confiables.

Este desarrollo del manual de operaciones integral en conjunto con el análisis de datos de los registros no requirió de una inversión monetaria directa por parte de la institución, sino de tiempo: un periodo de prueba y de aprendizaje de conocimiento técnico. Por ello, se deben considerar los cálculos del punto de equilibrio y los estimados de agua y electricidad, materiales e insumos (gastos fijos y variables) de acuerdo con las metas de producción y de desempeño que establezca la jefatura y la dirección. Lo anterior, para que los administradores y partes interesadas comercialicen el agua que se produce si se desea realizar en un futuro, es necesario que realicen los registros necesarios y obtengan los permisos pertinentes para el funcionamiento de la planta purificadora ante las autoridades competentes (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios - COFEPRIS). Así como tomar las medidas necesarias que requiera la entidad certificadora elegida para otorgar un certificado de calidad en cuanto a la producción y el análisis de seguimiento realizado.

Ahora bien, el potencial de la planta en cuanto a la comercialización y el funcionamiento depende de la viabilidad y la disponibilidad de los procesos de operación precisos para ejecutar las actividades de tal forma que estas sean aprobadas y aceptadas por la autoridad competente, lo cual recae en el manual de operaciones integral y se complementa al llevar a cabo el registro pertinente de los resultados de la operación. Se espera completar el proyecto dentro de un periodo de 11 meses para desarrollar los entregables pertinentes; y, además, se espera recopilar suficientes datos para realizar una evaluación de la planta con la información que arroje la operación de la planta durante ese periodo para utilizar esos registros como base para identificar diversas áreas de oportunidad que puedan ser evaluadas a través de esos datos. De igual manera se espera utilizar esos datos para obtener un diagnóstico de la planta y así conocer qué información podría ser incluida en los registros para enriquecer el siguiente análisis.

Este proceso también podría requerir del departamento legal del TESCO y de sus administrativos, al verificar el registro del pozo (REDPA) del cual se extrae el agua (concesión) y el permiso de funcionamiento pertinente. Para ello, se necesita una inversión monetaria según las cuestiones administrativas y fiscales que puedan señalar los organismos pertinentes, en el caso de la planta sería la entidad encargada de proveer el abastecimiento de agua municipal, así como la entidad que otorga el servicio del funcionamiento de la planta (COFEPRIS). Cabe mencionar que esto no afecta directamente el presente proyecto, pero es necesario mencionarlo para que sea considerado una vez que este concluya y las partes interesadas den el seguimiento correspondiente.

De ese modo, una vez que se tengan los datos, resultados y entregables necesarios, el proyecto podría crear un puente de conocimiento interdisciplinario a través de un modelo relacional de tablas que podría ser utilizado en el futuro para contemplar la digitalización y la automatización del registro, la consulta y la visualización de los datos de la planta purificadora. Esto requiere de conocimiento técnico y una revisión de los datos recopilados a lo largo del proyecto con los formatos mencionados. También, los datos pueden ser utilizados para medir el desempeño de diversas formas según la información disponible.

Este tipo de acercamiento en cuanto a escalar la producción, realizar la medición del desempeño y tener una visión de mejora continua en la planta purificadora, abre las puertas a colaborar con otras áreas del TESCo que pueden maximizar el impacto y la sostenibilidad del proyecto, generando y desarrollando proyectos complementarios que permitan a la planta ir elevando la eficiencia de operación, mejorar la calidad del producto final, eficientizar los procesos operativos, digitalizar y automatizar los procesos de datos, generar un impacto positivo en el público general e incluso generar un impacto positivo cada vez mayor en cuanto a la percepción de la planta purificadora entre el público general y la comunidad del Tecnológico.

En síntesis, se considera que es viable la realización del proyecto y que es un recurso preliminar para la generación de diferentes proyectos complementarios que en general pueden elevar la imagen, la operación y la reputación tanto de la planta purificadora como de la institución. Ello, al implementar no solo los requisitos ante las autoridades competentes y la normatividad aplicable, sino también las tecnologías de la información para soluciones ambientales, que en este caso se enfocan en la gestión y la administración integral de un sistema de agua. Así, se recomienda utilizar el proyecto como herramienta y recurso y, sobre todo, darle el seguimiento pertinente.

3.3 ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN

En esta sección se definen las estrategias y acciones que se deben implementar para llevar a cabo el proyecto de manera exitosa. Se incluyen aspectos como la planificación de las actividades, la asignación de recursos, la gestión del talento humano, la identificación de proveedores y socios estratégicos, y la implementación de estrategias de marketing y/o comunicación. El objetivo es establecer un plan de acción que permita alcanzar los objetivos del proyecto.

3.3.1 PLANEACIÓN DE ACTIVIDADES

- Mantenimiento (preventivo y correctivo) por equipo y registro histórico

Para realizar planeación de actividades referentes al mantenimiento de los equipos se cuenta con las etiquetas de mantenimiento, que tienen un formato en físico que permite la fácil identificación de las fechas en las que se ha realizado el último mantenimiento para cada uno de los equipos. Este facilita también el seguimiento del próximo mantenimiento, de acuerdo con la frecuencia con la que cada equipo lo requiere. Deben de ser revisadas de forma regular y se les debe de realizar la corrección correspondiente cada que se lleven los mantenimientos a cabo. Esta corrección corresponde a la fecha de último mantenimiento y fecha de próximo mantenimiento, fechas que deben permanecer actualizadas de forma semanal según los equipos lo requieran

Asimismo, los equipos tienen diferentes necesidades de mantenimiento y distintas frecuencias, es por eso que se deben seguir las especificaciones y tomar en cuenta los ciclos de producción y mantenimiento, a fin de mantener la operación constante y contar siempre con las cantidades de

agua purificada y destilada para la demanda de agua dentro del mismo TESCo. Dichos mantenimientos tienen como objetivo garantizar la calidad del agua que se provee y distribuye dentro de la institución, por eso se debe seguir el plan de mantenimiento, que considera las revisiones preventivas y correctivas.

Para llevar a cabo el seguimiento histórico de cada equipo, se requiere mantener actualizado el formato en el que se registran las fechas en las que se ha realizado cada mantenimiento, las cantidades de agua utilizadas y la naturaleza del mantenimiento. También es clave crear un indicador o recordatorio que pueda alertar al personal de la planta purificada sobre las fechas próximas en las que se requiere llevar a cabo cada proceso. En la siguiente tabla se observan a grandes rasgos las frecuencias en las que cada equipo necesita de mantenimiento y la comparativa del tiempo. Las frecuencias son aproximadas y se espera que se sigan al pie de la letra y dentro de lo posible de acuerdo con las necesidades de la planta en cuanto a producción y operación, debido a que pueden existir variaciones en lo que respecta a la calendarización de estas actividades. La alerta puede ser generada manualmente cada finalización de mantenimiento en el calendario del equipo de cómputo o móvil que utilicen los operadores de la planta, o de igual manera se puede realizar una revisión semanal para planear las actividades de mantenimiento requeridas.

De igual manera, para construir un registro histórico que permita la consulta o auditoría, los datos se deben agrupar por equipo y fecha con facilidad. En la tabla 4 se observa una primera columna con un número para cada equipo, al igual que una columna con la descripción de cada uno de estos. Esta tabla puede utilizarse como un tablero sobreescrito en las instalaciones de la planta para su visualización y seguimiento o generar una etiqueta que ayude a la fácil identificación de las próximas fechas que cada equipo requiere para el mantenimiento. En una base de datos, sería adecuado acumular los registros para la visualización en caso de que sea requerido por equipo y fecha (*timestamp*); y se deben incluir el tipo de mantenimiento (si es regeneración o limpieza o cambio de insumo), y el nombre del responsable o su identificador, pero esto sería en caso de querer implementar una herramienta desarrollada específicamente para la planta purificadora del TESCo y escalar la capacidad de análisis de datos recopilados.

Tabla 4. Tabla para planeación y seguimiento de mantenimientos.

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

No.	Mantenimiento actual	Próximo mantenimiento	Descripción de equipo	Descripción de fechas
1	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Tanque azul (almacenamiento agua cruda)	Cada dos meses, lunes próximo a la fecha de mantenimiento
2	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Tanque blanco (almacenamiento producto final)	Cada dos meses, jueves próximo a la fecha de mantenimiento
3	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro de lecho profundo (zeolita)	Cada seis meses, jueves próximo a la fecha de mantenimiento
4	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro de carbón activado	Cada seis meses, jueves próximo a la fecha de mantenimiento
5	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro suavizador (resina catiónica)	Cada seis meses, jueves próximo a la fecha de mantenimiento (según análisis de dureza)
6	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro ósmosis inversa	
7	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro pulidor (GDO, CA)	Cada semana, todos los martes
8	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro bebederos producción	Cada semana, todos los martes
9	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Hidrodifusor	Cada semana, todos los martes
10	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro bebedero 1	Cada semana, todos los martes
11	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro bebedero 2	Cada semana, todos los martes
12	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro bebedero 3	Cada semana, todos los martes
13	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Tina de lavado	Cada dos meses
14	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Filtro pulidor (GDO)	Cada semana, todos los martes
15	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Generador de ozono (cápsula de silica gel)	Cada dos meses
16	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Tanque salmuera	Cada regeneración de saneamiento (según análisis de dureza)
17	DD/MM/AAAA	DD/MM/AAAA	Línea de tuberías	Cada seis meses, a finales de semestre

Nota. Elaboración propia.

Por el momento, es importante realizar la revisión de las etiquetas de mantenimiento de los equipos y llevar a cabo los procesos de mantenimiento conforme a lo estipulado en el manual de operaciones de la planta para que la calidad del agua que se distribuye se mantenga dentro de los parámetros y estándares. Por otro lado, se deben realizar las correcciones correspondientes en cada etiqueta conforme a los mantenimientos de cada equipo y mantener la planta actualizada. Este registro de mantenimiento debe de coincidir y tener coherencia de acuerdo con las frecuencias establecidas en la tabla anterior, cualquier diferencia en estos tiempos y fechas registradas, es necesario explicar la razón por la cual se está llevando a cabo de forma distinta y si hay algún requerimiento extraordinario como insumos, mantenimiento eléctrico, y otros. Los registros del mantenimiento deben de mantenerse actualizados y almacenados/archivados tanto en papel como en digital, es por eso que es necesario realizar la digitalización manual de forma periódica para facilitar las auditorías y revisiones de datos periódicas también, con el fin de realizar revisiones cruzadas y mantener la transparencia en cuanto a los registros de mantenimiento.

- Evaluación o diagnóstico de la planta

La necesidad de asegurar que los procesos están siendo llevados con eficiencia y efectividad y las métricas generales de operación de la planta son satisfactorios se atiende haciendo evaluaciones periódicas de la planta purificadora. Podría entenderse como un proceso de mejora continua en la planta que esté basado en los datos registrados, transformados a evaluación de desempeño. Estos números y relaciones entre ciertos valores estadísticos dependiendo de cómo se utilicen pueden arrojar un diagnóstico, que en general nos pueda dar una idea de la planta purificadora. Estos valores estadísticos serán analizados posteriormente en la sección de KPIs.

3.3.2 DOCUMENTACIÓN Y REGISTROS HISTÓRICOS

- Revisión y requerimiento de insumos

La planificación de actividades relacionadas con la revisión y el requerimiento de insumos para cada equipo y tipo de mantenimiento está estrechamente relacionada con el manejo de lo que se tiene en almacén, debido a que las actividades de mantenimiento y la realización de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en la planta dependen de los materiales disponibles. Este es un proceso esencial para garantizar la continuidad de las operaciones y la calidad del agua purificada que se distribuye, y este plan abarca la evaluación regular de las necesidades de cada equipo y los insumos necesarios para su correcto funcionamiento.

De otra parte, se incluye un seguimiento meticuloso de los materiales requeridos para las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas, y en cada apartado del manual de operaciones se incluyen el material y los insumos necesarios para cada actividad. Este enfoque no solo asegura la disponibilidad constante de los recursos necesarios, sino que también optimiza el proceso de

adquisición y gestión de insumos, con lo que se reducen al mínimo los tiempos de inactividad y se garantiza la integridad de los análisis de calidad del agua. La planificación de estas actividades es esencial para la eficiencia operativa y la calidad del producto final, y también se incluyen los precios estimados de cada pieza o unidad correspondiente a cada material, al igual que su disponibilidad en el almacén a la fecha de elaboración del reporte en el anexo. Finalmente, se deben señalar los precios y cálculos estimado del total que se ha invertido en la planta a la fecha (noviembre de 2023) entre materiales, equipos e insumos para dichas actividades.

Esta revisión de insumos se recomienda se lleve a cabo cada semestre, al final y al inicio de cada uno. Esto es necesario para asegurar que cada año o semestre se cuenta con insumos suficientes para mínimo 12 meses de operación y de producción. En caso de que la revisión o inventariado de equipos e insumos no sea suficiente de acuerdo a lo establecido, se exhorta al personal de la planta a llenar una hoja de requerimiento que provee la jefatura y administración de la planta para realizar el pedido con los proveedores, y así se cuente con el suficiente tiempo para realizar el pedido como tal, recibirlos en almacén y transportarlos a la planta. La revisión se debe de llevar a cabo tanto para los materiales o insumos que hay que pedir a proveedores, así como revisar que insumos requieren de preparación y asegurar que hay suficientes reactivos, indicadores, agentes titulantes, entre otros. Otro tipo de insumo a revisar es el equipo de protección personal, hay que asegurar que hay suficientes guantes de látex, cofias, mascarillas y material estéril requerido para ciertas actividades.

Se recomienda también tener una lista del material indispensable y la cantidad de unidades que hay para cada uno, así como el periodo que se requiere para reemplazarlos. En la sección de anexos se encuentra una tabla con la lista del inventario existente en la planta purificadora, la cantidad de *stock* o de unidades en almacén, así como el periodo o tiempo de vida de cada uno, estimado. Esta lista es de gran ayuda ya que de ser utilizada de forma periódica en la planta purificadora se puede dar a conocer la frecuencia con la que cada insumo está siendo consumido y si la capacidad de producción está en condiciones de operar para producir agua de calidad. Un periodo de cada 3 meses se considera factible para ir evaluando el uso de insumos para el mantenimiento de los equipos y saber en qué momento realizar el pedido, el cual debería ser cada 6 meses mientras se van utilizando los mismos. Los insumos se encuentran separados por tipo en la tabla de insumos y costos. Todos los que tengan que ver con mantenimiento, servicio y seguimiento de calidad son insumos que serán consumidos con mayor frecuencia ya que son las actividades que se realizan con mayor frecuencia.

- Archivo de datos para evaluación y auditoría

Es importante que se establezca y se mantenga una forma eficiente para el registro y la consulta de los datos que se generan de la operación de la planta y su producción con respecto al manejo de insumos y el análisis de la calidad del agua. Lo anterior, de forma que se tenga viabilidad para consultar los registros históricos y obtener la información que se desea saber. Para ello, se deben

considerar los procesos y actividades con información cualitativa y cuantitativa valiosa para la planta purificadora del TESCo.

En ese sentido, durante la realización de este proyecto se encontró que los registros existentes no contemplan en su totalidad los valores que contestan incógnitas relevantes, por lo que se dejan ciertos valores a la estimación. Esto genera discrepancias en los datos y la información recopilada durante la realización del proyecto; sin embargo, también se asume que hay errores humanos. En suma, especificar los campos, datos y valores necesarios es fundamental para mejorar la calidad de los registros y la eficiencia de operación.

Este proceso se llevó a cabo en los formatos de registro y en el diseño de un modelo relacional de tablas actualizado a partir del análisis de datos que se realizó también con los registros del primer año de operación. Los formatos están ahora diseñados (ver anexo) para registrar información relevante e importante de cada actividad de acuerdo con los resultados del análisis de la operación, y se tomó la evaluación de cada proceso donde hay alguna toma de lectura pertinente. Los registros actuales en papel deben ser digitalizados de forma constante o con cierta frecuencia para mantener el registro en papel archivado a su debido tiempo, así como actualizar el registro o formato digital. Se recomienda utilizar la plantilla del análisis de datos realizado en Google Colaboratory para continuar con un proceso de auditoría periódica o de revisión.

La importancia de mantener los registros en papel y en digital durante la transición a una herramienta digital como tal de acuerdo con las decisiones de la administración y el proceso de implementación, tiene el objetivo de mantener una copia que pueda ser utilizada para hacer revisiones cruzadas y por cualquier cuestión de aclaraciones sobre los mismos registros. El formato digital en Excel es el que debe mantenerse actualizado a partir de los datos de los formatos en papel, ya que es vital para tener el insumo (tablas de datos) listo cada que se requiera hacer un análisis de datos para reportería o auditoría. Este formato se actualiza manualmente y se exporta en formato .csv para cargarlo a la memoria de cálculo en Python.

La memoria de cálculo es una guía para el proceso de limpieza, transformación y agrupación de datos necesaria para obtener las gráficas o visualizaciones que permiten encontrar patrones, comportamientos y en general un diagnóstico de la planta en cuanto a su desempeño. Los cálculos y las necesidades del código pueden ir cambiando de acuerdo con las necesidades de la planta en el momento de evaluación, que se pretende se realice de forma periódica. Esto se debe a que cada evaluación puede que se establezcan nuevos datos a registrar o nuevos parámetros, los cuáles deben ser tomados en cuenta para modificar o cambiar el código que se generó para el primer análisis (ver anexos). Además, se requiere acumular o registrar una cantidad determinada de datos que permita evaluar la eficacia de los formatos rediseñados en el desarrollo de este proyecto. Se recomienda realizar una evaluación de los formatos al año cumplido de la introducción de los nuevos registros, y realizar el análisis de datos de forma mensual para identificar patrones y números comparando con los datos del año anterior.

- Capacitación de Personal

La capacitación de personal debe llevarse a cabo de forma práctica y presencial en las instalaciones de la planta purificadora. El personal encargado de la planta está encargado también de realizar la introducción al nuevo personal cada ciclo de servicio social y residencias profesionales que deseen participar. Esto se debe de realizar en conjunto con la introducción no solamente a las instalaciones de la planta si no también al uso de los *checklists*, a la toma de lectura de los equipos y determinaciones, así como el registro pertinente de cada valor en los formatos que correspondan. También se tiene que establecer un tiempo dado para el digitalizar los formatos en papel a los formatos en Excel que contengan toda la información en el formato adecuado. La introducción a los equipos y procedimientos debe ser llevada a cabo con el manual de operaciones para que se tenga un en cuenta durante la producción, y las actividades de la operación las prácticas y recomendaciones para mantener la calidad del agua producida y el servicio que se otorga.

Se recomienda crear un programa de capacitación en el que se utilice cada área, proceso y actividad estén planeados de acuerdo con el funcionamiento actual de la planta. Para la capacitación se consideran 4 semanas por lo general durante un periodo intersemestral. El encargado de la planta tendrá que evaluar las necesidades de la planta para prepararse y considerar en qué temporada de demanda se encuentra la planta una vez que inicie el semestre. Se creará el plan de actividades requerido para ese nuevo semestre, y el mantenimiento, producción, seguimiento de calidad y actividades de registro se lleven a cabo de tal forma que se satisfaga la demanda de agua durante ese periodo de capacitación mientras se realizan las actividades que la planta requiere en ese momento. De esta forma la capacitación se lleva a cabo en un contexto real de operación y se brindan los materiales y conocimientos necesarios para garantizar el aprendizaje de los estudiantes.

3.3.3 MARKETING Y COMUNICACIÓN

El plan de marketing y comunicación para promover el agua producida en la planta purificadora del TESCo debe ser integral y estratégico. Primero, es esencial educar a la comunidad sobre la calidad y seguridad del agua purificada, con lo que se destacan los rigurosos procesos de purificación y estándares que se cumplen. Esto se puede realizar por medio de carteles impresos en las inmediaciones de la escuela en la que se muestre visualmente el proceso al cual se somete el agua y la calidad con la que esta es distribuida, al igual que las normas y los límites permisibles bajo los que opera la planta. Lo anterior también se puede llevar a cabo por medio de la difusión de material digital en donde se expliquen de forma simplificada los procesos y actividades que se realizan dentro de la planta para producir agua purificada de calidad, así como su evaluación.

Para esto, se creó una serie de infografías que están basadas en los comentarios y peticiones de información recibidos de la encuesta realizada que se menciona fue creada para conocer la opinión y preferencia de la comunidad del Tecnológico en cuanto al consumo de agua purificada. Estas infografías muestran la información pedida con mayor frecuencia por parte de la comunidad, que

incluye el proceso que se lleva a cabo para purificar el agua, el proceso del seguimiento de calidad, actividades adicionales que se realizan en la planta para garantizar el producto y algunas estadísticas encontradas en el análisis de datos de los registros del primer año de operación. Ver anexo de marketing y comunicación.

Por otro lado, se puede fomentar el uso responsable del agua al destacar su contribución a la sostenibilidad y al medioambiente, y aprovechar los medios para alentar a los usuarios a consumir el agua purificada en lugar de agua embotellada. En ese orden de ideas, se puede hacer uso de las plataformas digitales y redes sociales para mantener a la comunidad informada y hacer una retroalimentación constante. Se recomienda crear un equipo dedicado a evaluar el potencial de creación de contenido y diseñar las estrategias y pilares de comunicación para crear el impacto deseado tanto en la comunidad del Tecnológico como fuera. Este equipo debe de utilizar los valores de calidad, mejora continua, eficiencia, creatividad, tecnología, educación entre otros para crear contenido que represente valor para la audiencia en redes sociales. Este equipo también debe de mantenerse actualizado en cuanto a las tendencias relevantes para la comunidad objetivo dentro de las áreas que se espera cubrir. Es necesario también asegurar de mantener el contenido relevante y evitar difundir contenido que no esté alienado con los valores de la planta, o el contexto educativo, de difusión de la información y aplicaciones de tecnología en materia ambiental y sustentabilidad.

La transparencia en la comunicación y la atención a las preocupaciones de la comunidad son clave para construir una presencia y una reputación sólida, a fin de conseguir una mayor confianza y demanda del agua purificada del TESCo. Estas campañas en medios impresos y digitales (infografías, gráficos, videos, entre otros) de naturaleza informativa pueden incluir demostraciones de calidad, datos cuantitativos (cantidades de agua producidas, número de botellas llenadas, estimado de botellas de un solo uso ahorradas, número de garrafones llenados, etc.), testimonios de expertos en salud, y certificaciones y permisos de la planta purificadora otorgados por las autoridades competentes. Lo anterior se constituye como una estrategia para la comunicación, con la cual se puede hacer una planeación para cada tipo de medio (digital o impreso), con una temática distinta por mes, y con objetivos o pilares diferentes (calidad del agua, sustentabilidad, opiniones de la comunidad, datos sobre la región hidrológico-administrativa, entre otros).

Ahora bien, estos objetivos, en cuanto a la comunicación, deben de ser medibles y cuantificables o traducibles de forma numérica (métricas de opinión o de satisfacción por parte de los usuarios) y en términos de visibilidad (reproducciones, vistas o visitas en medios digitales), en litros de agua purificada consumida, y en ingresos. Esto último, cuando la planta cuente con la estructura administrativa correspondiente para la venta al público y la infraestructura para otorgar ese servicio. Esto se puede realizar de forma periódica por medio de una encuesta, como la que se llevó a cabo en el desarrollo de este proyecto. Este tipo de métricas en redes sociales vienen incluidas en las plataformas, estas métricas de redes sociales son clave para medir la efectividad del contenido creado. Esta efectividad debe de ser evaluada desde un principio para saber de qué

manera continuar escalando el impacto de las redes sociales y la difusión de información relacionada con la planta purificadora, lo cual podría ser evaluado a nivel institucional y tener un equipo (2-3 personas) por carrera. El equipo de ingeniería ambiental sería el encargado del contenido relacionado a la planta de agua purificada y destilada, la planta piloto de tratamiento de aguas residuales, laboratorios, eventos, proyectos, etc. Los lineamientos del contenido tienen que ser definidos al principio, y conforme la marcha evaluar qué contenido o formato de contenido tiene el efecto deseado y como transformar cada publicación para atraer mayor audiencia e interacciones. Es importante considerar que las redes sociales son una forma de documentación, y es válido documentar y difundir las actividades que se llevan a cabo dentro de las instalaciones del TESCo. Documentar participación comunitaria con los objetivos bien definidos y el formato adecuado, también es contenido válido que bien utilizado puede generar un impacto positivo en la comunidad digital. En este tipo de participación comunitaria se podría incluir información sobre las actividades en la Sierra de Guadalupe en las que participan alumnos y profesores y la recolección de botellas de un solo uso y otros materiales reciclables, es una manera de recibir retroalimentación de la comunidad, así como de demostrar la forma en la que el Tecnológico se responsabiliza por los compromisos con el medio ambiente.

Cualquier colaboración con otras instituciones es una gran oportunidad de generar mayor interacción por parte de la comunidad. Se debe de tomar en cuenta que las instituciones con las que se realicen colaboraciones educativas o de cualquier tipo, estén alineadas con los valores que el Tecnológico pretende presentar el contenido creado y publicado en las plataformas que se desee. También es importante evaluar qué plataformas son las adecuadas para difundir cada tipo de contenido deseado, y no sólo publicar en alguna u otra red social por el hecho de ser contenido. Evaluar las estadísticas de población de cada red social es importante para saber qué medio o formato tiene los resultados adecuados para llegar a la audiencia objetivo, esto ayuda a mejorar y replicar las estrategias que generan los resultados deseados. Se considera que las redes sociales que tengan estadísticas demográficas compatibles con la comunidad del Tecnológico sean consideradas al elegir una plataforma. Esta estadística demográfica tendría que abarcar a la población de hombres y mujeres jóvenes en México de 17 a 30 años aproximadamente y que tengan interés en la ingeniería, sustentabilidad y tecnología, y que tengan interés de cursar la universidad o algún posgrado, o lo estén cursando.

Así, las estrategias de comunicación en redes sociales abarcan tanto dentro como fuera de la comunidad del TESCo, y es de suma importancia para generar confianza de forma que la institución sea conocida por la excelente calidad del agua que produce para la comunidad antes de abrir sus servicios de venta al público y generar ingresos. También es importante crear o reforzar las relaciones con otras instituciones educativas para crear beneficios de valor educativo, ambiental y social, a fin de construir estrategias y hacer colaboraciones en torno a las actividades y los temas relacionados con el agua, la sustentabilidad y las tecnologías de agua. De estos beneficios pueden

derivar eventos y visitas que también pueden ser difundidos por los medios utilizados y generar influencia, con lo que se posicionaría al TESCo como una institución líder.

Este sistema de difusión de información se basa en las actividades y los procesos que se derivan de la planta, así como en las posibilidades del aprovechamiento de los mismos medios de comunicación impresos y digitales. En consecuencia, no se trata solo de una oportunidad para promover la educación ambiental y la conciencia sobre la importancia del aprovechamiento sustentable de los recursos, sino para dar a conocer la calidad del agua y fomentar el uso de botellas reutilizables (termos) y conocer a fondo los procesos, actividades y servicio de la planta. Esto también influiría en la atracción de estudiantes a la carrera de Ingeniería Ambiental y las demás que se imparten en el TESCo, debido a los beneficios y reputación desde una campaña bien definida. Ante esto, algunos de los beneficios son los siguientes:

1. Educación práctica: las visitas guiadas ofrecen a los estudiantes y personal del TESCo o de otras instituciones la oportunidad de aprender de manera práctica sobre el proceso de purificación del agua, lo que complementa la educación en el aula y crea inspiración para estudiantes de fuera a través de las actividades. Esto los lleva a explorar carreras en ingeniería, ciencias ambientales, química y tecnología aplicada.

2. Desarrollo de habilidades: los estudiantes pueden adquirir habilidades de observación, medición y análisis cualitativo, cuantitativo en contexto de ingeniería y de negocio mientras participan en actividades prácticas de monitoreo de la calidad del agua y de revisión de procesos en la planta purificadora. Esto también es escalable al crear un equipo interdisciplinario con estudiantes del Tecnológico que puedan aplicar conocimiento específico a beneficio de la institución y de los estudiantes al proveer un ambiente apto para la creación de proyectos de alto nivel en sustentabilidad y tecnología. Un ejemplo de esto se ve reflejado en los proyectos tanto de la planta purificadora como los que están en proceso para la planta piloto de tratamiento de aguas residuales, donde se están llevando a cabo pruebas y estimaciones para la instalación de una PTAR de mayor capacidad en el TESCo. Otro ejemplo sería desarrollar un proyecto en conjunto con alguna carrera como TICs o Sistemas y desarrollar una aplicación para automatizar el proceso de registro, almacenamiento, transformación, procesamiento y visualización de los datos generados en la planta. Es una oportunidad que brinda a los estudiantes aplicar el conocimiento en un contexto real de aplicación de ingeniería y tecnología sin tener que trasladarse y con el apoyo de los profesores cada momento.

3. Conciencia ambiental: las visitas y campañas promueven la conciencia ambiental, debido a que los participantes obtienen una comprensión profunda de la importancia de la gestión, el manejo, la conservación y el uso sostenible del agua. Esto también abre las puertas a charlas y presentaciones de los expertos en calidad del agua y tecnología aplicada sobre temas relacionados: conservación del agua, desafíos ambientales y avances tecnológicos en la purificación del agua, y ramificaciones de tecnología aplicada. También se presenta la oportunidad de realizar colaboraciones con otras

instituciones que estén interesadas en generar proyectos y organizar eventos para la difusión de la información y *networking*.

4. Fortalecimiento de la comunidad: al abrir la planta al público, se fomenta un sentido de comunidad y pertenencia, debido a que esta es un recurso valioso para crear una red de intercambio de conocimiento entre diferentes instituciones educativas, lo que puede resultar en colaboraciones académicas y proyectos conjuntos. Esto aplica tanto dentro como fuera de las redes sociales. Es importante mantener la división entre las relaciones públicas fuera de redes sociales y el contenido que se publica en redes sociales. Si bien las redes sociales son una herramienta de comunicación muy efectiva cuando es bien utilizada, también la participación en la sociedad es de suma importancia para mantener una coherencia en las estrategias de marketing.

En el documento de anexos se encuentran las imágenes de las propuestas de difusión visual que tienen como objetivo dar a conocer los procesos tanto de purificación como de seguimiento de la calidad, así como datos interesantes e información relevante de las actividades que se realizan en la planta. Los datos de las infografías presentados son valiosos debido a que han sido recopilados a lo largo de la ejecución de este proyecto como una forma de dar a conocer el esfuerzo, la calidad y el compromiso que la planta purificadora tiene con el usuario final a través de los antiguos registros utilizados para el monitoreo de actividades. Por otro lado, los valores numéricos y la información de proceso han sido recopilados como el resultado del registro y el análisis de datos y actividades que comenzaron desde el inicio de la operación de la planta purificadora por medio de los registros diarios de operación y la producción de agua purificada (ver anexos).

3.4 INGENIERÍA DE DISEÑO, MANUFACTURA Y PRODUCCIÓN

En esta sección se lleva a cabo la descripción de la metodología empleada para cada uno de los elementos que componen este proyecto. El manual de operaciones integral fue desarrollado a partir de una metodología que parte del aprendizaje empírico y de la necesidad de definir procesos y actividades que fueran realísticamente eficientes de acuerdo con las características y requerimientos específicos de producción y operación de la planta purificadora del TESCo. De igual manera se llevaron a cabo actividades paralelas relacionadas con la documentación y mejora de la imagen de la planta purificadora. A continuación, se detalla cada paso que fue llevado a cabo para la elaboración del mismo. Todos los entregables se encuentran en el documento de anexos.

1. Diagnóstico o Evaluación de la situación actual de la planta:

- Se realizó un análisis exhaustivo del proceso actual a la fecha de inicio de este proyecto. En las instalaciones de la planta purificadora del TESCo de forma empírica se participó en todas y cada una de las actividades que conforman el servicio, operación, producción, mantenimiento, seguimiento de calidad y

documentación. Esto con el fin de comprender la importancia de cada actividad e identificar qué actividades o pasos podían ser modificados, reemplazados o eliminados para mantener la mejor eficiencia y servicio.

- Se realizó una evaluación de los puntos clave y las etapas principales de producción de agua destilada y purificada, con el fin de identificar las tareas fundamentales y definir un diagrama de proceso que ayude a identificar las prioridades de la producción de agua destilada y purificada. Con esta evaluación del proceso actual se generó el diagrama de flujo para la producción de agua purificada y destilada, en conjunto con los procesos del manual de operaciones. La evaluación del proceso dio lugar al análisis de los procesos y documentos referentes a los registros históricos existentes para identificar áreas de oportunidad. Ver los diagramas de proceso en la sección descripción del área productiva.
- Se rediseñaron los formatos de registro y se generó un modelo relacional de tablas de tal forma que se proyectó la evaluación de la planta purificadora (de acuerdo con lo disponible de información sobre el primer año de producción), hacia una mejora de los procesos y mejora de la calidad de los registros correspondientes. Ver formatos rediseñados en anexo 7.

2. Identificación y Análisis de áreas de oportunidad: Operación y Producción:

- A partir de lo que se evaluó y analizó de los procesos, se realizó una lista de cada actividad y las áreas de oportunidad identificadas durante la revisión de las actividades o pasos para realizar el mantenimiento, seguimiento de calidad, producción, servicio y documentación. Esto fue con la intención de definir una estructura para el manual de operaciones e identificar qué actividades o secciones de manual incluir y desarrollar durante la elaboración del proyecto. Se puede encontrar en el manual de operaciones el proceso resultante y definido para cada actividad en el anexo 6.
- Se llevó a cabo un análisis con los profesores encargados de la planta para evaluar cuáles eran ciertas actividades que como administrativo identificaban que debían ser observadas o contempladas con mayor detenimiento desde su perspectiva. Esto llevó a la revisión de ciertos resultados registrados en los formatos para analizar la evolución de la planta con los datos existentes. Ver resultados en la sección de análisis de oferta-demanda y la memoria de cálculo en el anexo 10.
 - Se recomienda realizar una evaluación o diagnóstico de la planta, así como identificar y analizar nuevas áreas de oportunidad que puedan surgir mientras evoluciona la planta purificadora, elevando la capacidad de producción y la escalabilidad de un repositorio de datos digital. Las

transiciones van a requerir de evaluaciones periódicas si se desea continuar elevando el desempeño y la producción de la planta.

3. Identificación y análisis de áreas de oportunidad: Documentación:

- Se determinaron los registros adicionales que son necesarios para implementar un sistema completo e integral que mejore la trazabilidad del agua. Se modificaron ciertos formatos ya existentes en los cuáles se agregaron y eliminaron ciertas columnas. En algunos casos para elevar la completitud del registro y en otros casos para reducir la redundancia en los mismos (ver anexo 7).
- Se definieron los formatos y estructuras de estos nuevos registros de tal forma que estos deben de ser complementarios unos de los otros y mantener consistencia en la trazabilidad del agua, que contempla el monitoreo de los tanques, el mantenimiento de los equipos y filtros, así como la eficiencia en la producción tanto de agua purificada como destilada. Esto se realizó añadiendo especificidad en los registros según sea el caso (ver anexo 7).

4. Estrategias de intervención: Definición:

- Selección y definición de los procesos eficientes y efectivos basados en los resultados de las pruebas y la retroalimentación del personal de la planta. Este proceso fue llevado a cabo de forma paralela a la implementación de mejoras como método de documentación de los procesos implementados. Conforme se iban identificando ciertas áreas de oportunidad, se realizó la retroalimentación con el personal de la planta y los cambios fueron implementados prácticamente de forma inmediata, o lo antes posible para reducir los riesgos en cuanto a la sanitización y de medición en el seguimiento de calidad (ver anexo 6).
- Se generó documentación para estos procesos de manera clara y detallada en el manual de operaciones integral y los anexos complementarios. Los anexos complementarios son para ser utilizados por el personal de la planta y facilitar la implementación de los cambios en los procesos o actividades (ver *checklists* en anexo 8). El material específico está conformado por los *checklist*, y tablas de volumen que reducen la carga matemática mental para el llenado de los formatos de monitoreo de tanques, el manual como tal, los formatos de registro y la memoria de cálculo para la evaluación del desempeño y la evaluación de la opinión y preferencia de consumo (encuesta).

5. Estrategias de intervención: Implementación: Operación y Producción

- Implementación de cambios inmediatos y mejoras en las áreas de oportunidad identificadas, utilizando un enfoque de prueba y error. Esto se llevó a cabo por

medio del apoyo de la profesora y los colaboradores de servicio social y residencias profesionales que prestaban servicio a la planta. Se comentó con los colaboradores las áreas de oportunidad y se comentó los cambios factibles y realistas en cada una de las áreas de mayor importancia (seguimiento de calidad, producción, operación, mantenimiento y servicio) de acuerdo con las posibilidades de la planta durante la elaboración de este proyecto. Esto requirió la implementación de rutinas al inicio y finalización de la operación, durante la producción, mantenimiento y seguimiento de calidad para asegurar que se cubren todas las áreas con personal y se mantiene el servicio tanto en mostrador como en bebederos (ver anexo 6, 7 y 8).

- Evaluación de la eficacia de estas mejoras en términos de su impacto en la operación, la calidad del producto y la trazabilidad del agua. Esto requirió la colaboración del personal de servicio social y residencias profesionales en cuanto a la revisión de los procesos y la completitud de los registros pertinentes para cada actividad. La producción tanto de agua purificada como destilada y su documentación, al ser las actividades clave, se requirió de la creación de hábitos para cada proceso, los cuáles se ven reflejados en los *checklists* (ver formatos en anexo 7).

6. Ejecución de la estrategia de intervención: Marketing

- Se llevó a cabo el diseño de una encuesta con el objetivo de conocer la opinión, preferencia y sugerencias de la comunidad del Tecnológico (alumnos, profesores y administrativos) en cuanto al agua purificada distribuida tanto en mostrador como en bebederos. Gracias a la retroalimentación de la jefatura se distribuyó a la comunidad una encuesta con las preguntas aprobadas y pertinentes. Se utilizó Microsoft Forms, la cuál es una plataforma que genera automáticamente los registros de cada respuesta en Excel. Estos datos encontrados en las respuestas de la encuesta fueron analizados a través de una herramienta digital diseñada para el manejo y análisis de datos (ver resultados de análisis de oferta demanda y la memoria de cálculo en anexo 10).
- **Aplicación de estrategias de intervención:** Se diseñó un *flyer* con el código QR pertinente a la encuesta aprobada, esta fue distribuida por la jefatura para facilitar la participación de la comunidad del Tecnológico. Este *flyer* fue colocado en puntos clave para obtener la mayor cantidad de respuestas en el tiempo establecido el cual a la fecha de elaboración del reporte de resultados fue de 5 meses, y de igual manera hubo colaboración interna en el Tecnológico para difundir la encuesta y extender la participación de la comunidad (ver figura 24 en anexo 9).
- Se desarrollaron 4 infografías a partir de los procesos definidos en el manual de operaciones y las estadísticas encontradas en el análisis de datos, con el objetivo de

difundir información a la comunidad del Tecnológico sobre las buenas prácticas y los resultados de la planta purificadora en este primer año de operación. Esto fue realizado con la intención de mejorar la imagen de la planta purificadora y como un primer paso de marketing para generar confianza entre los consumidores de agua purificada en el TESCo. Estas fueron realizadas a partir también de los requerimientos de información o sugerencias que fueron encontrados en los comentarios de la encuesta realizada (ver las figuras 20 a 23 en anexo 9).

7. Revisión y análisis de resultados: Registro histórico:

- Se examinaron los registros digitalizados de la planta sobre la documentación de las operaciones y la calidad del agua entre otros, en una herramienta digital especializada en el análisis de datos en formato .csv, y en un lenguaje de programación llamado Python, el cual facilita la manipulación de los datos para el agrupamiento y visualización. Se encontraron patrones e inconsistencias que facilitaron la identificación de áreas de oportunidad en los registros (ver memoria de cálculo en anexo 10).
- Se otorgan sugerencias de KPIs. Los KPIs tendrá un valor una vez que se tenga una cantidad considerable de datos en formato digital. Este procedimiento no se llevó a cabo con los registros existentes debido a las inconsistencias encontradas, por lo cual se determinó que cualquier valor resultante de este primer conjunto de datos no es relevante para realizar una comparación en el nuevo periodo de operación y registro, puede ser realizado de forma precisa con los nuevos campos a registrar en los formatos rediseñados. Esta evaluación de la planta está ligada al diagnóstico periódico (ver KPIs en el plan de monitoreo).
- La evaluación de la relevancia, precisión y completitud de estos registros en relación con la trazabilidad del agua se llevó a cabo a partir de los resultados del análisis de datos, donde se determinó la información relevante necesaria de incluir o implementar en los registros para mejorar la trazabilidad, la calidad de los datos y la mejora del análisis integral de los resultados o registros de la planta que son relevantes para reportar a los administrativos. Se recomienda analizar la calidad de los datos y evaluar si hay valores que requieren de comenzar a ser capturados/registrados conforme evoluciona la planta purificadora (ver memoria de cálculo en anexo 10).
- Se llevó a cabo un proceso de digitalización manual en el que se transcribieron los registros del primer año de operación disponibles en papel en un formato correspondiente de Excel para el mantenimiento, servicio de garrafones y mostrador, seguimiento de calidad y monitoreo de tanques. Se utilizó Microsoft Excel para el registro y su herramienta de exportación a diferentes formatos para

facilitar su análisis posterior. Se utilizó el formato o extensión en valores separados por coma (.csv). En la memoria de cálculo en el anexo 10 se observa en el código ejecutado la extensión del formato utilizado.

- Se diseñó un modelo relacional de tablas a partir de los formatos rediseñados que contemplan las mejoras y la información requerida para elevar la operación de la planta purificadora y la capacidad de documentación. Este modelo es el diseño conceptual que sienta las bases para la escalabilidad en cuanto a los registros, almacenamiento, consulta y visualización de datos para proyectos futuros al término del presente proyecto (ver figura 27 en la sección de resultados y del crecimiento, desarrollo y rentabilidad de la unidad económica).

8. Revisión y análisis de resultados: Análisis de Datos y Evaluación en Python (ver memoria de cálculo realizada en Google Colaboratory, anexo 10):

- De la recopilación de datos existentes y la digitalización, se llevó a cabo el análisis de los datos de operación del primer año de registros utilizando Python en Google Colab, y se crearon las gráficas pertinentes, así como los cálculos de ciertas estadísticas que se reportan y utilizan en el presente proyecto. Este análisis de datos fue gracias a las librerías *pandas*, *numpy*, *seaborn*, *matplotlib* para realizar las conversiones, cálculos y gráficos pertinentes.
- Se identificaron áreas específicas de oportunidad en la trazabilidad del agua basadas en el análisis de datos de acuerdo con los cálculos de recurso extraído, producido y utilizado en mantenimiento, lo cual se expone en la sección de resultados.
- Los resultados de la encuesta realizada fueron también analizados con la herramienta de análisis de datos. Se encontraron opiniones, preferencias y sugerencias, así como ciertos requerimientos de información por parte de la comunidad que presentan áreas de oportunidad para la planta en cuanto a relaciones públicas, marketing, y en materia de certificación. Se utilizó el mismo formato de exportación de archivos de Excel (.csv) para llevar a cabo el análisis necesario. Los resultados se exponen en la sección de resultados de este proyecto.
- **Desarrollo de Nuevos Formatos con Mejor Trazabilidad e Integridad:** Se diseñaron y desarrollaron nuevos formatos de registros que contemplan una mejor trazabilidad e integridad en los datos a partir de los resultados obtenidos, y la retroalimentación del personal de la planta purificadora. Se incorporaron estos nuevos formatos en el manual de operaciones como parte de las prácticas estándar de la planta una vez aprobados, con la intención de reducir los errores e inconsistencias encontradas anteriormente en el primer año de operación en este nuevo ciclo o año de operación de la planta purificadora.

Esta metodología puede ser replicada y adaptarse a las necesidades de la planta según el momento determinado en el que se encuentre. A grandes rasgos, esta metodología está dividida en 4 fases: Diagnóstico o evaluación actual (A), identificación y análisis de áreas de oportunidad (B), diseño, definición y ejecución (C) de las estrategias de intervención, análisis de resultados (D). Lo cual genera un ciclo de evaluación y toma de acciones necesarias para mantener y cumplir con los objetivos que se van estableciendo en la planta purificadora en cuanto a las diferentes áreas mencionadas (operación, producción y documentación). En la figura 26 se muestra un diagrama del ciclo sugerido.



Figura 26. Diagrama de la metodología utilizada para el desarrollo del presente proyecto.

Nota: Elaboración propia.

3.5 PLAN DE MONITOREO Y EVALUACIÓN

En esta sección se establecen los mecanismos y metodologías para monitorear y evaluar el progreso y los resultados del proyecto. Se definen indicadores clave de desempeño (KPI), se establecen los procesos de seguimiento, se determinan las responsabilidades y se planifican las evaluaciones periódicas. El plan de monitoreo y evaluación permite realizar ajustes y mejoras en el desarrollo del proyecto y asegurar su eficacia y éxito.

KPI (EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD)

Los KPI que se proponen en este proyecto son para tener un mejor seguimiento de la operación, de los resultados de las actividades y de ciertos datos y valores que se deben analizar para determinar la sostenibilidad en el tiempo de la producción de agua purificada en el TESCo tanto

para tomar decisiones de inversión y escalación de negocio como para la modificación de actividades, o bien, la inversión en actividades y materiales relacionados con la mercadotecnia y la difusión de la información. Estos podrían ser necesarios para continuar con la producción de agua en la planta purificadora de tal forma que se mejoren el rendimiento y la percepción de los consumidores finales.

Cabe destacar que estos KPIs pueden ser calculados una vez que se tenga suficiente data o información referente al desempeño de la planta con los nuevos formatos. La intención es comenzar a introducir ciertos KPIs con los que la administración esté de acuerdo y que puedan irse estableciendo los lineamientos para calcular cada uno de ellos, a partir de los datos disponibles en los registros tanto en papel como digital. El que haya información acumulada y disponible es la clave para realizar un nuevo diagnóstico o evaluación de la situación actual de la planta, y verificar que los nuevos campos y datos que están siendo recolectados por medio de los formatos rediseñados permite introducir estos indicadores de desempeño y eficiencia en la planta de agua purificada yd estilada del TESCo.

1. RENDIMIENTO DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN:

- Evaluar la eficacia del proceso de purificación. ¿Qué porcentaje del agua de entrada se convierte en agua purificada? Primeramente, hay que alcanzar una consistencia en los registros que muestre cantidades reales de agua extraída, utilizada y producida para evaluar la cantidad real y el porcentaje de agua que es convertido.
- KPI: porcentaje de conversión de agua de entrada a agua purificada.
- Número: por ejemplo, 90 %, lo que indica que el 90 % del agua de entrada se convierte en agua purificada.
- KPI: ratio de insumos por litro de agua purificada. Es necesario realizar un corte semestral para revisar los litros que fueron producidos y la cantidad de insumos a analizar.
- Número: por ejemplo, 2 kg de productos químicos por 1000 L de agua purificada.

2. CALIDAD DEL AGUA RESULTANTE:

- Asegurar que el agua cumple con los estándares y requisitos de calidad establecidos dentro de un periodo definido. Esta periodicidad puede ser global, mensual o semestral.
- KPI: cumplimiento de estándares de calidad de agua.
- Número: por ejemplo, 95 % de los análisis fisicoquímicos están dentro del cumplimiento de los estándares de calidad del agua.

3. COSTO DE PRODUCCIÓN POR LITRO:

- Calcular el costo total de producción por litro de agua purificada. Esto incluye todos los costos variables y fijos asociados con la operación de la planta. Se tiene como referencia el anexo de ingresos y costos, así como el cálculo de punto de equilibrio con valores estimados.
- KPI: costo total de producción por litro de agua purificada.
- Número: por ejemplo, MXN 0.15 por litro de agua purificada.

4. DISPONIBILIDAD/MANTENIMIENTO DE EQUIPOS:

- Evaluar la disponibilidad de los equipos y la eficacia de las operaciones de mantenimiento para minimizar tiempos de inactividad no planificados.
- KPI: tiempo de actividad de los equipos o distribución. Se tendría que medir el tiempo dentro de la ventana de servicio en el que hay paros de distribución de agua a bebederos o de servicio en mostrador.
- Número: por ejemplo, 89 % del tiempo de la ventana de servicio hubo disponibilidad y distribución tanto en bebederos como en el mostrador.

Seguridad operativa:

- Considera la seguridad en el lugar de trabajo y la conformidad con los estándares y regulaciones de seguridad industrial.
- KPI: número de incidentes de seguridad.
- Número: por ejemplo, 0 incidentes de seguridad en el último trimestre.

5. *FEEDBACK* DEL USUARIO:

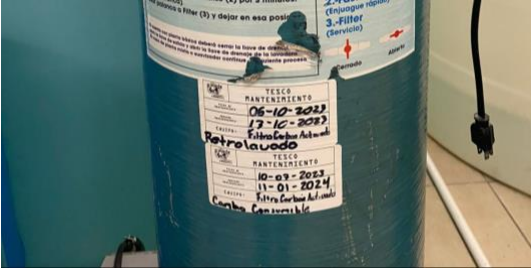
- Obtener el *feedback* de los usuarios finales o consumidores, debido a que esto puede ser valioso para evaluar la calidad percibida y la satisfacción.
- KPI: índice de satisfacción del usuario. Determinarlo con *rating* y la percepción de las características organolépticas en la encuesta. Puede también ser medido tomando en cuenta el porcentaje de la población que ha tomado la encuesta.
- Número: por ejemplo, 4.5 en una escala de 5 basada en encuestas de satisfacción del usuario (como promedio o como porcentaje de respuestas de cada calificación).

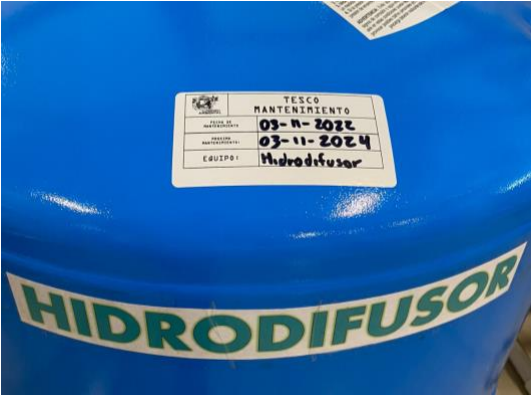
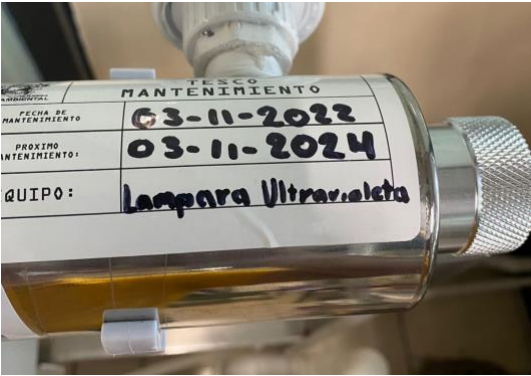
ETIQUETA DE MANTENIMIENTO POR EQUIPO

Las etiquetas de mantenimiento en cada equipo, así como su revisión y actualización, forman parte de las actividades de seguimiento del plan de mantenimiento, que considera aquellos mantenimientos preventivos y correctivos de forma visual para el personal de la planta. Se debe tener en cuenta que hay equipos que tienen diferentes tipos de mantenimiento, como se ha visto a lo largo del manual. Los filtros según el tipo cuentan con un mantenimiento preventivo, como los procesos de regeneración, retrolavado o cloración; y uno correctivo que conlleva el cambio de insumo cuando los análisis fisicoquímicos muestran que los retrolavados o la regeneración ya no son suficientes para la obtención de un producto final dentro de los estándares de calidad y lineamientos que se siguen en la planta para la distribución del agua. Estas etiquetas son para su visualización y revisión directa en el equipo durante las actividades diarias de operación y producción, y se pueden observar con detalle en la tabla 5.

Tabla 5. Equipos con etiqueta de mantenimiento.

Descripción del equipo	Foto de la etiqueta de mantenimiento en el equipo señalado en la primera columna.
Tanque azul	
Tanque blanco	
Filtro de lecho profundo	

Filtro de carbón activado	
Filtro suavizador	
Filtro pulidor (ósmosis inversa)	
Lámpara UV (ósmosis inversa)	

Membrana ósmosis inversa	
Hidrodifusor	
Lámpara UV (GDO)	
Silica (GDO)	

Filtro pulidor (CA)	
Filtro pulidor (GDO)	
Filtro bebederos producción	
Filtro pulidor bebedero 1	

Filtro pulidor bebedero 2	
Filtro pulidor bebedero 3	
Tanque salmuera	

Nota. Elaboración propia.

ETIQUETADO DE RESIDUOS

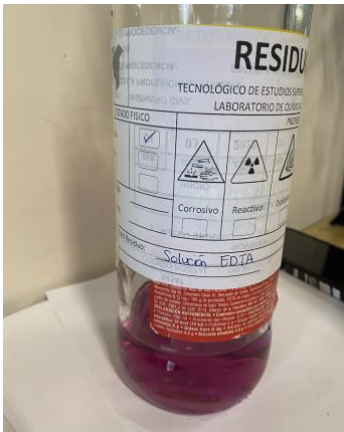
El etiquetado de residuos provenientes de los análisis fisicoquímicos realizados en la planta purificadora es de vital importancia para garantizar un seguimiento preciso de la calidad del agua y su correcta gestión. Esta práctica no solo cumple con requisitos regulatorios y ambientales, sino que también ofrece una serie de beneficios operativos y de seguridad. Por ejemplo, la etiquetación adecuada contribuye a la gestión de residuos químicos; y, al conocer la naturaleza de los residuos y sus propiedades, se pueden tomar medidas específicas para su manipulación, almacenamiento y eliminación, a fin de reducir los riesgos para los trabajadores y el medioambiente. A continuación,

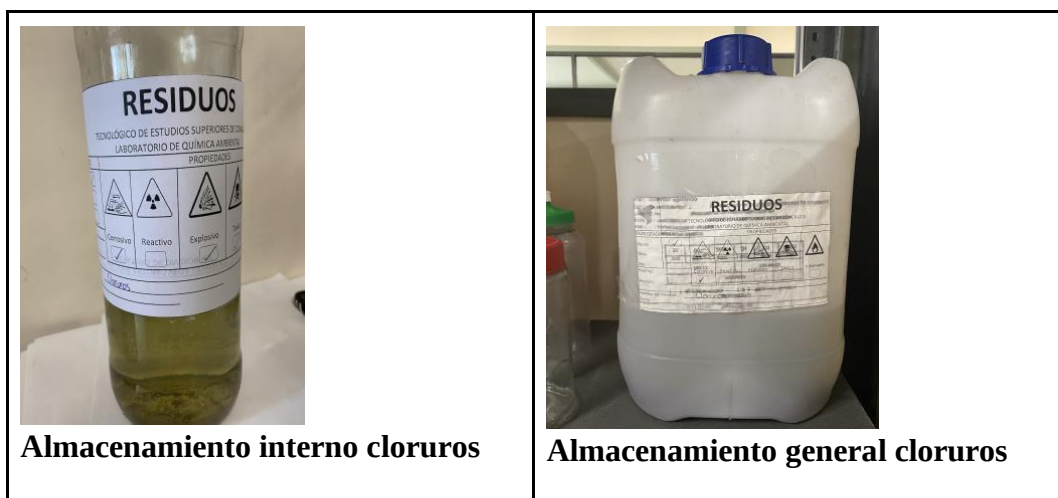
en la tabla 6, se pueden observar las fotografías y los formatos del etiquetado correspondiente para cada tipo de residuo proveniente de los análisis fisicoquímicos.

SEGURIDAD OPERATIVA

Se recomienda de igual manera evaluar al personal de la planta de forma regular sobre la seguridad operativa en cada actividad y proceso que se lleva a cabo, así como diseñar un programa de capacitaciones constantes con el objetivo de prevenir cualquier incidente que tenga que ver con seguridad e higiene. Se puede evaluar cada día el cumplimiento del equipo de protección personal, así como el cumplimiento de actividades a través de los *checklists* diseñados. Se recomienda de igual manera evaluar y capacitar al personal en cuanto a la normatividad aplicable, y en su momento sobre la certificación de la planta cuando esta tome lugar.

Tabla 6. Almacenamiento de residuos líquidos temporal.

 Almacenamiento interno dureza	 Almacenamiento general dureza
 Almacenamiento interno alcalinidad	 Almacenamiento general alcalinidad



Nota. Elaboración propia.

3.6 IMPACTO DEL PROYECTO

En esta sección se analizan los impactos de carácter social, educativo, económico y ambiental que el proyecto ha logrado generar en su entorno. Para ello, se evalúan los posibles beneficios y consecuencias del proyecto en la comunidad, la economía local, el medioambiente, entre otros. El objetivo es comprender y gestionar de manera responsable el impacto del proyecto, a fin de maximizar los beneficios y minimizar los posibles efectos negativos.

La instalación de la planta purificadora de agua en el TESCO ha tenido un impacto educativo significativo en la formación de sus estudiantes que participan en actividades de servicio social y residencias profesionales, al igual que los egresados de proyectos de titulación, ya que su participación y el desarrollo de los proyectos fomenta la adquisición de competencias y conocimientos de calidad que reflejen de manera realista las dinámicas de una empresa del mundo real. En ese sentido, la experiencia práctica de trabajar con tecnologías de purificación de agua, la gestión de procesos, el control de calidad y la resolución de problemas ofrece a los estudiantes una perspectiva única y valiosa sobre la aplicabilidad de sus habilidades en un entorno parecido al ambiente laboral ya que la planta tiene necesidades reales y opera bajo ciertas especificaciones que abastecen una demanda real de agua dentro de la comunidad del Tecnológico, y que debe de responder a normatividad aplicable y ciertos parámetros de operación y desempeño como en cualquier otra industria.

Esta participación tiene el potencial de expansión fuera de la carrera de Ingeniería Ambiental con el desarrollo de diversos proyectos multidisciplinarios; esto se genera desde las áreas de oportunidad de la planta que ya han sido exploradas en el presente proyecto. Desde su operación y procesos involucrados, este proyecto no solo proporciona un suministro confiable de agua purificada para la comunidad académica, sino que también ha creado un conjunto de material

(manual de operaciones integral y entregables) de aprendizaje práctico invaluable, el cual abre las puertas a distintos proyectos de áreas como administración, ingeniería industrial, automatización, sistemas y tecnologías de la información. Esta expansión a otras áreas parte de lo ya expuesto en este proyecto.

Asimismo, la planta purificadora se ha convertido en un punto focal para la interacción y el diálogo interdisciplinario dentro del TESCo, pues promueve la colaboración entre diversas áreas académicas. Esta colaboración tiene el potencial de impactar de forma positiva la vida cultural y académica de la institución al fomentar una mayor comprensión de la interconexión entre tecnología, ciencia y sociedad. Por otro lado, esta oportunidad de aprendizaje en el mundo real no solo enriquece la formación académica al otorgar una comprensión integral de los conocimientos enseñados en las materias matriculadas de la carrera de Ingeniería Ambiental, sino que también prepara a los alumnos para enfrentar los desafíos del mercado laboral y contribuir de manera efectiva a la sociedad en su conjunto, comenzando por la comunidad tecnológica. Esta interacción es observable no solamente entre los participantes de servicio social y residencias profesionales de la carrera de ambiental en la planta purificadora o la planta piloto de tratamiento de aguas residuales, también se observa fuera de la planta mediante las inquietudes presentadas en las respuestas de la encuesta realizada. Se han recibido comentarios y peticiones de información de estudiantes, profesores y administrativos de diversas áreas y carreras, lo que representa una oportunidad de diálogo abierto entre la comunidad general del Tecnológico y el área de administración y operación de la planta purificadora. Los comentarios recibidos, independientemente de si representan una perspectiva negativa o positiva sobre las actividades que se realizan en la planta, son la visión que tienen distintos personajes que contestaron la encuesta, y que se espera pueda responder la administración a estas peticiones y comentarios de tal forma que la comunidad se sienta escuchada al ver que se llevan a cabo las acciones pertinentes para atender sus inquietudes sobre el agua producida, su calidad, los procesos, entre otros. El contenido de estos comentarios ha guiado el curso del material visual generado en el presente proyecto y se menciona en la sección de resultados en la sección sobre el análisis de la oferta y demanda.

La instalación de la planta purificadora de agua en el TESCo también ha tenido un profundo impacto social y cultural en la comunidad académica. Este proyecto no solo ha mejorado la calidad de vida de los estudiantes, profesores y trabajadores administrativos al proporcionar un acceso seguro y confiable al agua purificada, sino que también ha fomentado una mayor conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental al reducir el plástico de un solo uso. Con ello, los estudiantes y miembros del personal han adoptado prácticas como la reutilización de envases y termos, recolección de botellas de pet y tapas, lo que ha contribuido significativamente a la reducción de residuos y al fomento de una cultura ambiental y ecológicamente consciente. Este impacto positivo en la comunidad del Tecnológico ha ahorrado de acuerdo con los cálculos realizados basados en los registros, cerca de 7 mil botellas que en vez

de haber sido compradas por la comunidad han sido rellenadas en mostrador. De igual manera han sido arriba de mil garrafones los que han sido sanitizados y rellenados en la planta purificadora para abastecer de agua a profesores y administrativos.

De ese modo, la planta, además de proporcionar una fuente de agua de calidad, contribuye indirectamente a la conservación de los recursos hídricos locales y a crear una cultura de sostenibilidad en el campus, donde se promueven la reducción y la gestión responsable de los residuos generados relacionados con la compra de botellas de un solo uso, ahorro de agua, etc. Esta dependencia a las botellas de plástico desechables se reduce conforme se va adaptando la comunidad al uso de botellas, contenedores o termos y rellenarlos en el mostrador de la planta o en bebederos.

Este proyecto y un continuo monitoreo de este, así como el desarrollo de proyectos complementarios tiene un efecto o impacto positivo a largo plazo en la cuenca local. Uno de esos potenciales beneficios, al complementar la planta purificadora con un sistema de captación de agua de lluvias, y una PTAR, es reducir el estrés hídrico en la cuenca. Además el monitoreo constante del agua cruda o materia prima utilizada en conjunto con monitoreos sobre la precipitación y otros factores y patrones climáticos, puede dar un diagnóstico sobre el efecto del cambio climático local y como adaptarse a esas circunstancias específicas (como se mencionó en el marco teórico cuando se expone sobre la concentración de sales en los cuerpos de agua subterráneos como un efecto del cambio climático y los patrones de precipitación viéndose afectados por el ciclo hidrológico). La participación de la comunidad del TESCO en proyectos hídricos como estos mencionados, que tenga lugar tanto en el desarrollo de proyectos como siendo parte del diálogo a través de encuestas o como usuario final/consumidor de algún servicio derivado, a largo plazo refuerza la adopción de nuevos hábitos, formas de vida y generar conocimiento sobre cómo se lleva a cabo el impacto positivo en la cuenca al reducir el estrés hídrico y al diseñar estrategias que trabajen en balance con el medio ambiente.

Por ejemplo, un sistema de captación de agua de lluvias para que ésta sea utilizada de alguna forma dentro de las instalaciones del Tecnológico y para satisfacer algún segmento de la demanda general de agua es un gran aporte, el cual va a depender y tendrá que basarse en los patrones de precipitación. El proceso de purificación de agua en la planta depende directamente de la calidad del agua cruda o material prima que se utiliza, y que podemos entender que igual a mediano y largo plazo, por cuestiones del cambio climático, la calidad de ésta puede cambiar. Estos patrones de precipitación son los que afectan los sistemas hidráulicos, generando cambios en las concentraciones que pueden ir presentando cambios, los cuáles pueden ser manejados a largo plazo tomando en cuenta que de ser aplicados pueden reducir el estrés hídrico de la cuenca y revertir los efectos de disponibilidad de agua en la medida de lo posible.

Igualmente, esta planta purificadora ha tenido un impacto económico significativo, especialmente para los estudiantes, porque, al proporcionar agua purificada de calidad de manera gratuita, se

alivia el gasto de los alumnos que, de otra manera, se destinaría a la compra de agua embotellada. Esta reducción de costos tiene un efecto positivo en el presupuesto de los estudiantes y puede ayudarles a enfrentar los desafíos económicos que a menudo conlleva la vida universitaria. Tomando en cuenta el número de botellas y los precios de la competencia que han sido mencionados, podríamos decir que el ahorro económico que ha habido por parte de los estudiantes (tomando la estimación de botellas servidas y un precio medio de 14 MXN) es de aproximadamente de 98 mil MXN. Y para los garrafones si tomamos el precio común del mercado para garrafones rellenos en plantas purificadoras locales, se tiene un estimado de 20 mil MXN que no han tenido que ser comprados por fuera de la institución.

En suma, si bien la inversión inicial en la planta representa un gasto para la institución, su impacto no sólo abarca el ámbito económico, la planta sirve como un ejemplo en la comunidad educativa al resaltar la importancia de la sostenibilidad, la responsabilidad ambiental y la innovación. Además, al poner al TESCO a la par de universidades líderes que han implementado proyectos similares, se fortalecen la posición y el prestigio de la institución, lo que puede tener efectos positivos en su atracción de estudiantes y recursos adicionales.

Este proyecto ha generado un impacto significativo en la reputación del TESCO en cuanto a la calidad del agua producida, lo cual ha sido considerado a partir de la opinión y percepción de los estudiantes, profesores y miembros del personal administrativo, ya que reflejan la importancia de esta iniciativa para fortalecer la imagen del TESCO como una entidad comprometida con el bienestar de su comunidad y el cuidado del medio ambiente, a través del riguroso seguimiento de calidad y mantenimiento que se lleva a cabo dentro de las instalaciones de la planta y de las iniciativas para reducir el plástico de un solo uso. Todo lo elaborado en el presente proyecto desde procesos definidos, la metodología utilizada, las evaluaciones y los resultados obtenidos durante el presente proyecto, han sido desarrollados con el objetivo de preparar a la planta para la acreditación y la generación de un permiso de funcionamiento emitido por las autoridades competentes. Se espera que con la implementación del permiso y la acreditación del seguimiento de calidad realizado (conforme a los comentarios y los requerimientos para escalar el proyecto), el impacto del proyecto pueda ser monitoreado a través de la encuesta, y que al realizarla de forma periódica se observe el cambio en cuanto a la percepción en los datos y análisis de resultados, que sirvan para elaborar un diagnóstico sobre cómo es percibido el nuevo estatus certificado de la planta, y así consecutivamente con otro tipo de implementaciones pertinentes.

Para continuar con la consolidación del TESCO como líder en la región en el campo de la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental, las acciones que son tomadas conforme a un plan de crecimiento deberán considerar el seguir reforzando su posición en la comunidad tanto en un aspecto técnico como en la creación de contenido en redes sociales (que como se comentó es una herramienta clave para generar interacciones). La implementación de proyectos que ofrecen agua de calidad de forma gratuita a su comunidad interna, la consideración de abrir las puertas para abastecer de agua a través de una comercializadora, y los proyectos complementarios resaltan la

visión proactiva y la adaptabilidad del TESCo hacia soluciones hídricas sostenibles, y de ser aplicados pueden continuar con un impacto positivo a largo plazo en los ámbitos ya mencionados: social, cultural, económico, educativo y ambiental.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4 CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LA OFERTA-DEMANDA, LOS PRECIOS Y LA COMERCIALIZACIÓN, EL PUNTO DE EQUILIBRIO, LOS INGRESOS Y LOS COSTOS TOTALES (OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, INSUMOS, ENTRE OTROS)

El punto de equilibrio en el contexto de la planta purificadora del TESCo se determina mediante el cálculo al momento en que los ingresos generados por la venta de agua producida cubren tanto los gastos fijos como los variables. En ese sentido, dicho punto se entiende como el volumen de agua que debe ser vendido para que la ganancia iguale los costos asociados a su producción, a fin de conseguir un equilibrio financiero en el que no haya ganancias ni pérdidas, es decir, donde exista la sostenibilidad. Esto ayuda a determinar la rentabilidad de la planta, lo que permite comprender cuánta agua se necesita vender para empezar a generar beneficios. Así, los costos o la inversión totales son los que se pueden apreciar desglosados en el anexo en la sección de ingresos y costos.

Cabe mencionar que la planta purificadora no genera ingresos en este punto de operación, pues el agua es ofrecida a la comunidad del TESCo de forma gratuita. La oferta y la demanda son internas en la institución y se espera, con la campaña de marketing y difusión de información sobre las actividades que se realizan en la planta, que aumenten la confianza y la demanda del agua que se produce actualmente. Igualmente, se espera incrementar la producción hasta 75 000 L de agua en el segundo año de operación, y se desea hacer los cálculos eficientemente, consultas de datos y estadísticas de la operación con los cambios que se han realizado en cuanto a los formatos y registros, y con las implementaciones del manual de operaciones y *checklists*. Por eso se busca primeramente satisfacer la demanda de la población del TESCo, y duplicar la oferta mientras se trabaja la difusión de información pertinente y oportuna entre la comunidad para atraer su atención.

Por lo mencionado, se puede afirmar que los ingresos de la planta se podrían ver en etapas posteriores o en proyectos futuros, una vez que se cuente con los permisos y requerimientos necesarios para el funcionamiento oficial y la comercialización del agua que se produce. Esto también debe contemplar tanto la demanda interna (la distribución en la comunidad del TESCo) como la demanda para la comercialización que puede ser requerida. Así las cosas, los proyectos posteriores a la finalización del presente, deben mantener la evaluación de la oferta y la demanda interna y externa para satisfacer y sostener el ritmo de producción, mantenimiento y servicio conforme se avanza en las etapas.

La estabilidad de la inversión también debe ser considerada en los proyectos futuros, porque durante el primer año de operación se realizó una primera inversión para reunir el total de

materiales, insumos y equipos que actualmente existen. En cambio, los gastos variables pueden estabilizarse a través del tiempo una vez que se consiga una eficiencia medida y dentro de los estándares que se vayan desarrollando y estableciendo. De esa forma, los gastos fijos pueden elevarse según el aumento de la producción y la operación para cumplir con las metas y el volumen de agua a producir. Esto también elevaría el tiempo durante el cual los equipos se utilizarían (electricidad), al igual que las cantidades de agua cruda que se extraerían del pozo y se utilizarían como materia prima, y los insumos para los análisis fisicoquímicos y para el mantenimiento de equipos.

Por otro lado, como se menciona en la sección de los cálculos del punto de equilibrio, el costo por unidad (litro) de agua purificada ideal se establece en MXN 2.1. Este es un precio competitivo comparado con los precios y la cantidad de agua que se comercializa por parte de las marcas de agua comerciales, debido a que los 500 ml se venden a partir de los MXN 10. Se debe considerar que este precio es el que contempla el retorno de inversión a un 30 %; esto quiere decir que se cubren los gastos variables que hasta la fecha han sido invertidos en la planta, incluyendo un margen de contribución del 30 %. Este punto de equilibrio se alcanzaría con la venta de aproximadamente $\approx 75\,000.47$ litros de agua, y este volumen de producción contemplado se puede apreciar como el doble de la producción que se realizó y de la que se tiene registro, que constituye el primer año de operación de la planta, cuando se produjo un volumen total de aproximadamente $\approx 35\,462$ litros.

Lo anterior significa que, para volverse rentable, la planta purificadora tendría que producir un poco más del doble de agua de la que actualmente se produce y, comercializar el agua a un precio de MXN 2 por litro en caso de botellas, y MXN 40 para garrafones. Por otro lado, si se toma en cuenta que los costos variables calculados (insumos y materiales para las determinaciones) están cubriendo un *stock* para todo el próximo año de producción, se puede calcular el precio a la mitad. Esto se debe a que los gastos variables están cubriendo dos años de producción estimada en cuanto a insumos, o bien, el doble de producción de agua en volumen de la que se tiene registro. Esto puede reducir a la mitad el precio con el que se puede ofrecer el producto al público, es decir, el precio por garrafón sería de 20 L a MXN 20.

De otra parte, los costos de operación y mantenimiento están siendo cubiertos por el capital humano estudiantil, puesto que las labores de mantenimiento, operación y servicio son ejecutadas por el personal de la planta que se encuentra en servicio social y residencias profesionales. Adicionalmente, al contemplar la calidad del agua que se produce y que ha sido comparada con las marcas comerciales competitivas en el mercado, el agua del TESCo no solo tiene el potencial de ser accesibles económicamente para las personas y usuarios dentro y fuera de la institución en caso de ser comercializada, sino que también presenta características cualitativas y cuantitativas que la posicionan como un agua de mayor calidad. Estas se pueden comprobar con las determinaciones fisicoquímicas y de colorimetría que se mencionan en la sección de estudio de

mercado. Esto se debe al riguroso y constante seguimiento de calidad que se lleva a cabo durante su producción, y por las mejoras continuas en la planta.

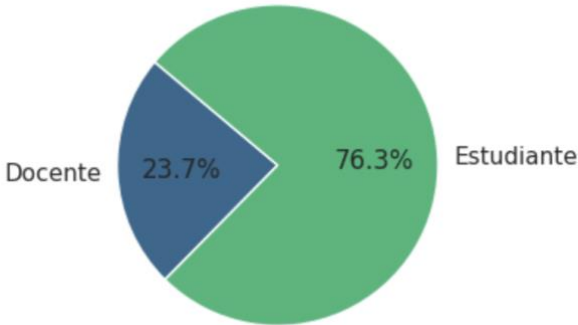
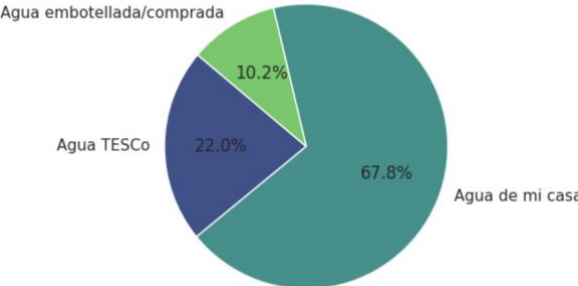
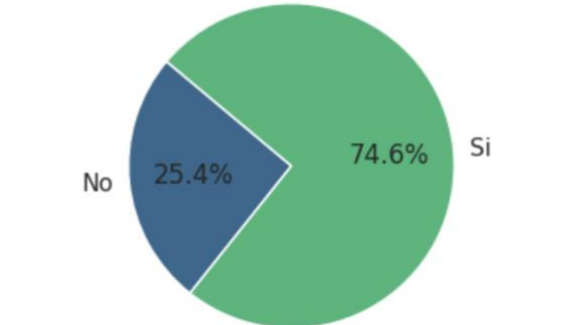
De acuerdo con estos datos, se puede inferir que la demanda de agua en volumen (litros) así como su precio en el mercado, se encuentra al alza a nivel nacional y mundial, debido a la escasez y a los procesos complejos para tratar aguas de fuentes naturales y residuales con mayores concentraciones de contaminantes; por tanto, se requiere la reinserción o recirculación del agua a la economía y a los sistemas de aguas. Ante esto, como institución educativa de orden público, el TESCo tiene la responsabilidad, las herramientas, el personal y la experiencia para satisfacer la demanda de agua de forma sustentable, sostenible y limpia para la comunidad de la institución y, en un futuro, la del municipio de Coacalco o el público en general.

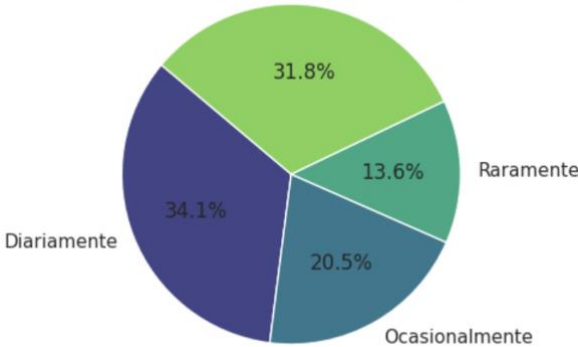
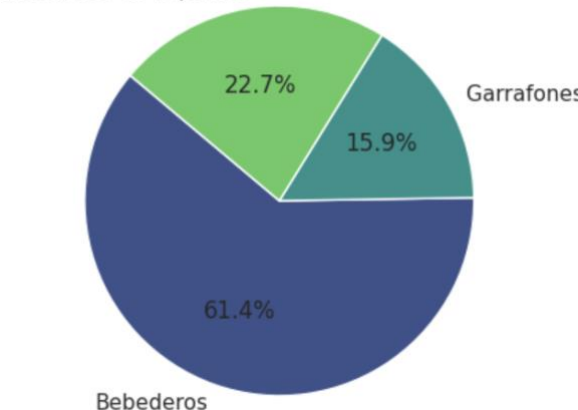
A continuación, se muestran los resultados de la encuesta. Esta información se ve representada en gráficos que explican los resultados encontrados a partir del análisis de datos. Se recomienda realizar esta encuesta de forma periódica y con el objetivo de mejorar la imagen, la calidad y la información que se pone a disposición de los usuarios o consumidores del agua para generar la confianza y la relación con ellos. Cabe resaltar que estos resultados son anónimos.

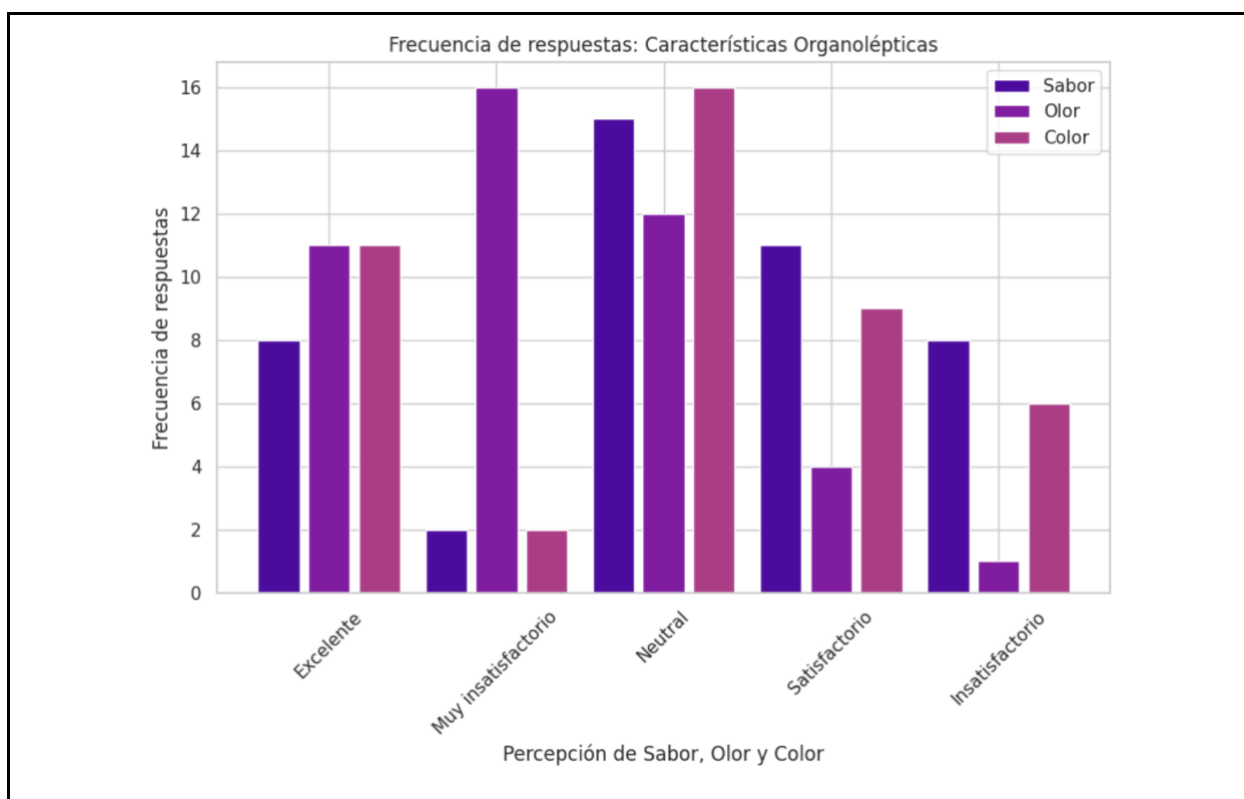
Ahora bien, en cada figura se explica el análisis de los datos y respuestas para las preguntas de la encuesta, las cuales se listaron en el Capítulo III, en la sección del estudio de mercado. En ese sentido, se comienza por analizar el *rating* general para contrastar los resultados siguientes, los cuales sí contemplan el segmento de encuestados que, ante las mismas preguntas, contestaron que consumen o han consumido el agua purificada que se produce en la planta purificadora del TESCo, ya sea por la distribución en bebederos o por el servicio en mostrador. Se aprecian los resultados en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la encuesta.

Gráfica	Resultado										
Porcentaje de Respuestas por Calificación <table border="1"> <caption>Data for Pie Chart: Porcentaje de Respuestas por Calificación</caption> <thead> <tr> <th>Calificación</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.0</td> <td>56.8%</td> </tr> <tr> <td>4.0</td> <td>31.8%</td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td>9.1%</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>2.3%</td> </tr> </tbody> </table>	Calificación	Porcentaje	5.0	56.8%	4.0	31.8%	3.0	9.1%	2.0	2.3%	Resultado 1. Porcentaje de respuestas por calificación. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory Se observa el comportamiento o patrón de respuesta a la pregunta “¿cómo calificarías la calidad del agua purificada que se ofrece en el TESCo?”. Un 56.8 % de los encuestados le otorgaron un <i>rating</i> de 5.0 (excelente) al agua purificada del TESCo, un 31.8 % le otorgaron una calificación de 4.0, y menos del 12 % le otorgaron una calificación menor a 3.0.
Calificación	Porcentaje										
5.0	56.8%										
4.0	31.8%										
3.0	9.1%										
2.0	2.3%										

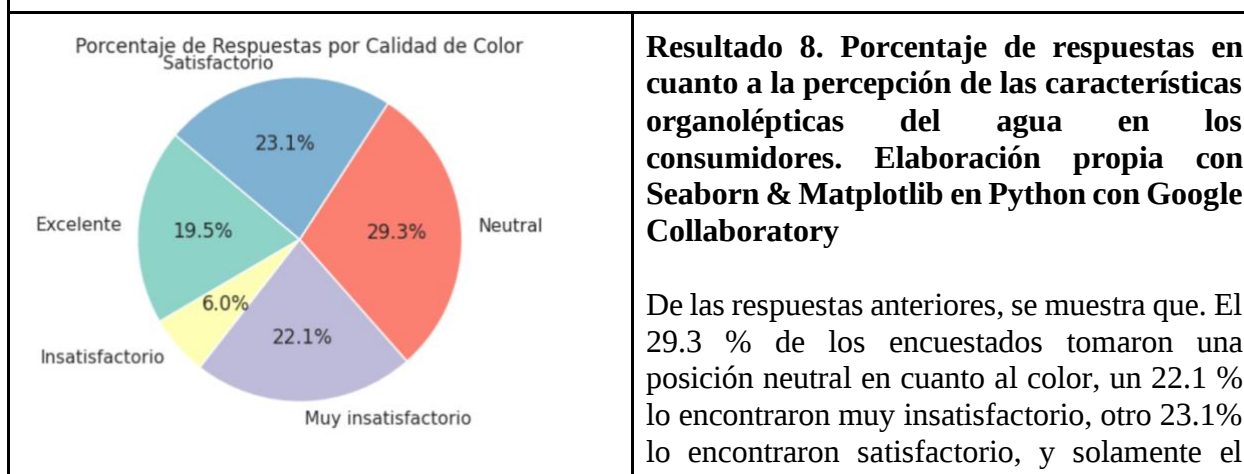
Porcentaje de Respuestas por Rol  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rol</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Estudiante</td> <td>76.3%</td> </tr> <tr> <td>Docente</td> <td>23.7%</td> </tr> </tbody> </table>	Rol	Porcentaje	Estudiante	76.3%	Docente	23.7%	Resultado 2. Porcentaje de respuestas por rol en la institución. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory Con respecto a las respuestas para la pregunta “selecciona un rol”, se observa que, de la población encuestada, un 76.3 % fueron estudiantes y un 23.7 % fueron profesores.		
Rol	Porcentaje								
Estudiante	76.3%								
Docente	23.7%								
Porcentaje de Respuestas por fuente principal de agua  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fuente principal de agua</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agua de mi casa</td> <td>67.8%</td> </tr> <tr> <td>Agua TESCO</td> <td>22.0%</td> </tr> <tr> <td>Agua embotellada/comprada</td> <td>10.2%</td> </tr> </tbody> </table>	Fuente principal de agua	Porcentaje	Agua de mi casa	67.8%	Agua TESCO	22.0%	Agua embotellada/comprada	10.2%	Resultado 3. Porcentaje de respuestas por fuente principal de agua declarada. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory. Se observa el porcentaje de respuestas ante la pregunta “¿cuál es tu principal fuente de agua para consumo personal?”. Ante esta, se halló que el 67.8 % consume agua principalmente doméstica, mientras que el 22 % tiene el agua producida en el TESCO como fuente principal de consumo personal. Finalmente, el 10.2 % compra agua embotellada.
Fuente principal de agua	Porcentaje								
Agua de mi casa	67.8%								
Agua TESCO	22.0%								
Agua embotellada/comprada	10.2%								
Porcentaje de Consumidores de Agua TESCO  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Si</td> <td>74.6%</td> </tr> <tr> <td>No</td> <td>25.4%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	Si	74.6%	No	25.4%	Resultado 4. Porcentaje de consumidores de agua del TESCO. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory Las respuestas a la pregunta “¿consumes agua de la planta purificadora del TESCO?” contemplan el porcentaje de los encuestados que sí consumen o han consumido agua de la institución, es decir, un 74.6 %; y el restante 25.4 % aún no lo hace.		
Respuesta	Porcentaje								
Si	74.6%								
No	25.4%								

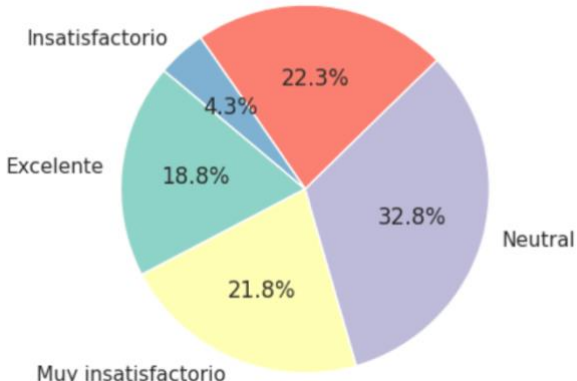
Frecuencia de consumo de agua TESCO Varias Veces por semana  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diariamente</td> <td>34.1%</td> </tr> <tr> <td>Varias Veces por semana</td> <td>31.8%</td> </tr> <tr> <td>Ocasionalmente</td> <td>20.5%</td> </tr> <tr> <td>Raramente</td> <td>13.6%</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia	Porcentaje	Diariamente	34.1%	Varias Veces por semana	31.8%	Ocasionalmente	20.5%	Raramente	13.6%	Resultado 5. Porcentaje de respuestas en cuanto a la frecuencia de consumo de agua del TESCO. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory Este análisis corresponde a las respuestas de la pregunta “¿con qué frecuencia consumes agua en el TESCO?”, considerando solo el segmento que contestó “sí” a la pregunta anterior. De ese modo, se cuenta con un 34.1 % que consume el agua TESCO diariamente, un 31.8 % que lo hace varias veces por semana, un 20 % que lo hace ocasionalmente, y un 13.6 % lo hace raramente.
Frecuencia	Porcentaje										
Diariamente	34.1%										
Varias Veces por semana	31.8%										
Ocasionalmente	20.5%										
Raramente	13.6%										
Forma de consumo mostrador de la planta  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Forma de consumo</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bebederos</td> <td>61.4%</td> </tr> <tr> <td>Garrafones</td> <td>15.9%</td> </tr> <tr> <td>Mostrador de la planta</td> <td>22.7%</td> </tr> </tbody> </table>	Forma de consumo	Porcentaje	Bebederos	61.4%	Garrafones	15.9%	Mostrador de la planta	22.7%	Resultado 6. Porcentaje de respuestas en cuanto a la forma de consumo de agua del TESCO. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory Ante la pregunta “¿de qué manera sueles hacerlo?”, se observa que un 61.4 % lo hacen a través del sistema de bebederos, y un 22.7 % utiliza el servicio de mostrador.		
Forma de consumo	Porcentaje										
Bebederos	61.4%										
Garrafones	15.9%										
Mostrador de la planta	22.7%										

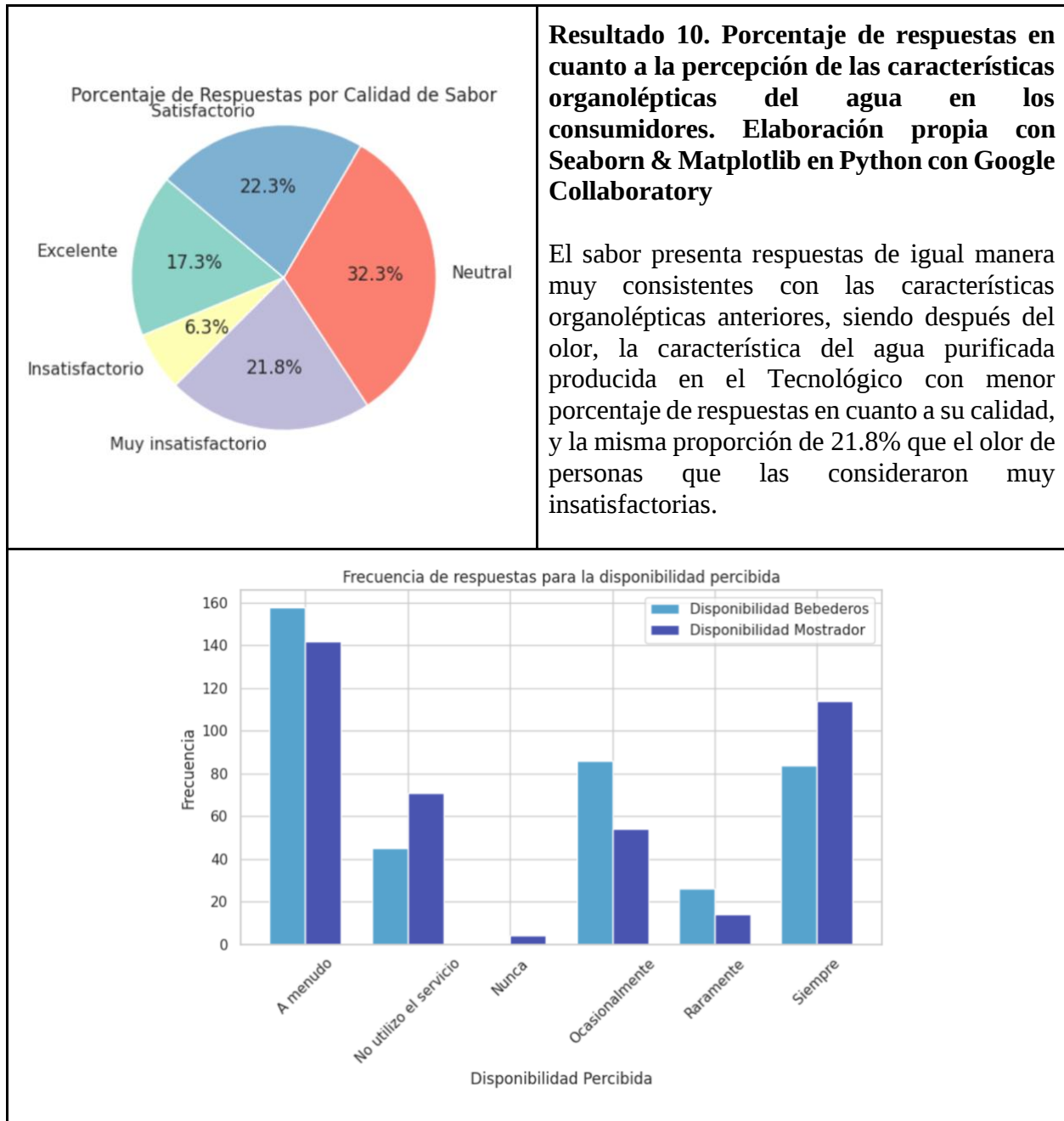


Resultado 7. Porcentaje de respuestas en cuanto a la percepción de las características organolépticas del agua en los consumidores. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

A respecto de las preguntas en las cuales se solicita una calificación para el sabor, el olor y el color del agua del TESCO, se halló que la mayoría de las respuestas se mantuvieron en la opción “neutral” para sabor y color; mientras que, para el olor, la mayoría señalaron que este era “muy insatisfactorio”. Este resultado puede parecer que discrepa de la primera pregunta enlistada de este análisis, que corresponde al *rating* o la calificación que los encuestados en general le dan al agua producida y distribuida.

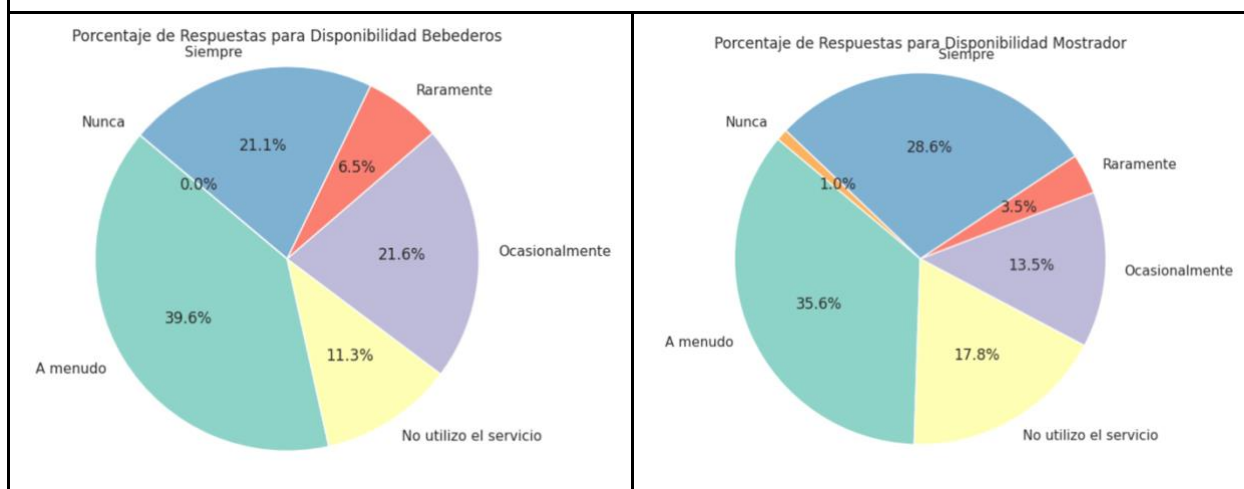


	19.5 % lo encontraron excelente. El 6% tuvo una postura de insatisfacción en cuanto al color del agua.												
Porcentaje de Respuestas por Calidad de Olor  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Calidad de Olor</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Neutral</td> <td>32.8%</td> </tr> <tr> <td>Satisfactorio</td> <td>22.3%</td> </tr> <tr> <td>Excelente</td> <td>18.8%</td> </tr> <tr> <td>Muy insatisfactorio</td> <td>21.8%</td> </tr> <tr> <td>Insatisfactorio</td> <td>4.3%</td> </tr> </tbody> </table>	Calidad de Olor	Porcentaje	Neutral	32.8%	Satisfactorio	22.3%	Excelente	18.8%	Muy insatisfactorio	21.8%	Insatisfactorio	4.3%	Resultado 9. Porcentaje de respuestas en cuanto a la percepción de las características organolépticas del agua en los consumidores. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory Las respuestas para el olor son similares. Un 18.8 % encontraron el olor excelente (sin olor), un 22.3 % lo encontraron satisfactorio, un 32.8 % mantuvieron la postura de neutralidad, mientras que el 26.1 % restante consideró insatisfacción.
Calidad de Olor	Porcentaje												
Neutral	32.8%												
Satisfactorio	22.3%												
Excelente	18.8%												
Muy insatisfactorio	21.8%												
Insatisfactorio	4.3%												



Resultado 11. Porcentaje de respuestas en cuanto a la percepción de la disponibilidad de agua. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

Al contestar a las preguntas “¿con qué frecuencia encuentras agua disponible en los bebederos?” y “¿encuentras disponible el servicio de llenado en la planta purificadora?”, el histograma de frecuencia de respuestas mostró que un gran número percibe que “a menudo” hay disponibilidad en mostrador, por encima de bebederos. Además, se observó que la mayoría utilizan agua de bebederos, y aquí se puede ver que el segmento encuestado percibe un área de oportunidad en cuanto a la percepción de la disponibilidad en estos y en el mostrador.



Resultado 12. Porcentaje de respuestas en cuanto a la percepción de la disponibilidad de agua. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

En esta gráfica se muestra el detalle de la percepción de los encuestados sobre la disponibilidad de agua en bebederos. Solamente un 21.1 % considera que hay disponibilidad siempre. Un 11.3 % declara no utilizar el servicio, siendo una discrepancia con la respuesta anterior en el resultado 6. La mayoría de los encuestados que sí consumen agua consideran que hay disponibilidad a menudo con un 39.6 % de respuestas, un 21.6 % ocasionalmente y 6.5 % raramente.

Resultado 13. Porcentaje de respuestas en cuanto a la percepción de la disponibilidad de agua. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

En esta otra gráfica se muestra el detalle para la disponibilidad en mostrador similar a bebederos. Un 1 % considera que nunca hay disponibilidad. Un 28.6 % considera que siempre hay disponibilidad en mostrador, mientras que la mayoría, con un 35.6 % consideran que hay a menudo. Un 17.8 % declara no utilizar el servicio, lo cual es una discrepancia similar a la del resultado anterior.

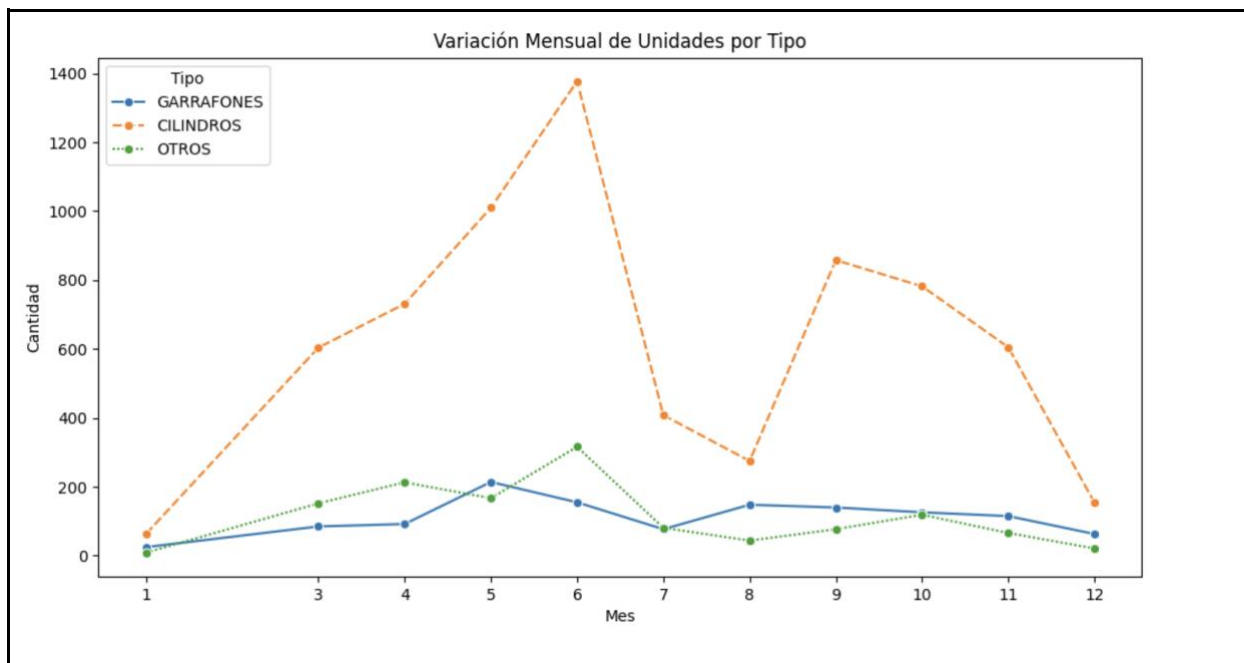
Nota. Elaboración propia.

Para las últimas tres preguntas abiertas de la encuesta, “si no consumes agua del TESCo, ¿podrías indicar cuáles son los motivos detrás de esta elección? (Por favor, proporciona detalles, si es posible)”, “¿tienes algún comentario adicional sobre la calidad y disponibilidad del agua en el TESCo?”, y “¿qué te gustaría saber sobre el agua o la planta de agua del TESCo?”, se encontró que las principales razones por las que no se consume el agua son la desconfianza y la costumbre de traer el líquido de casa. Por otro lado, los comentarios de los consumidores tocaron temas sobre la extensión de la ventana de servicio para los alumnos de los turnos vespertino y sabatino, la instalación de puntos de distribución adicionales (bebederos) cercanos a los edificios D y H, y el *stock* de garrafrones y la calidad del agua. Para finalizar, se solicitó que los encuestados mencionaran (escribieran) qué información les gustaría saber y conocer, y las palabras clave registradas con mayor frecuencia hicieron referencia a conocer el proceso de purificación, al seguimiento de calidad, al mantenimiento de la planta, a algunos datos numéricos sobre el agua utilizada, a la fuente de la que se extrae el líquido y la existencia de certificaciones.

Esta información se agrupó y difundió en la comunidad del TESCo para generar confianza entre los consumidores y no consumidores, a fin de generar y mantener el diálogo a través de la opinión de los usuarios, y para mejorar la calidad del agua y del servicio proporcionado en bebederos y en mostrador, de forma que el producto pueda llegar a una mayor cantidad de estudiantes, profesores y administrativos. En otras palabras, se hablaría de un producto de calidad y competitivo entre las marcas comerciales y locales que ofrecen agua purificada.

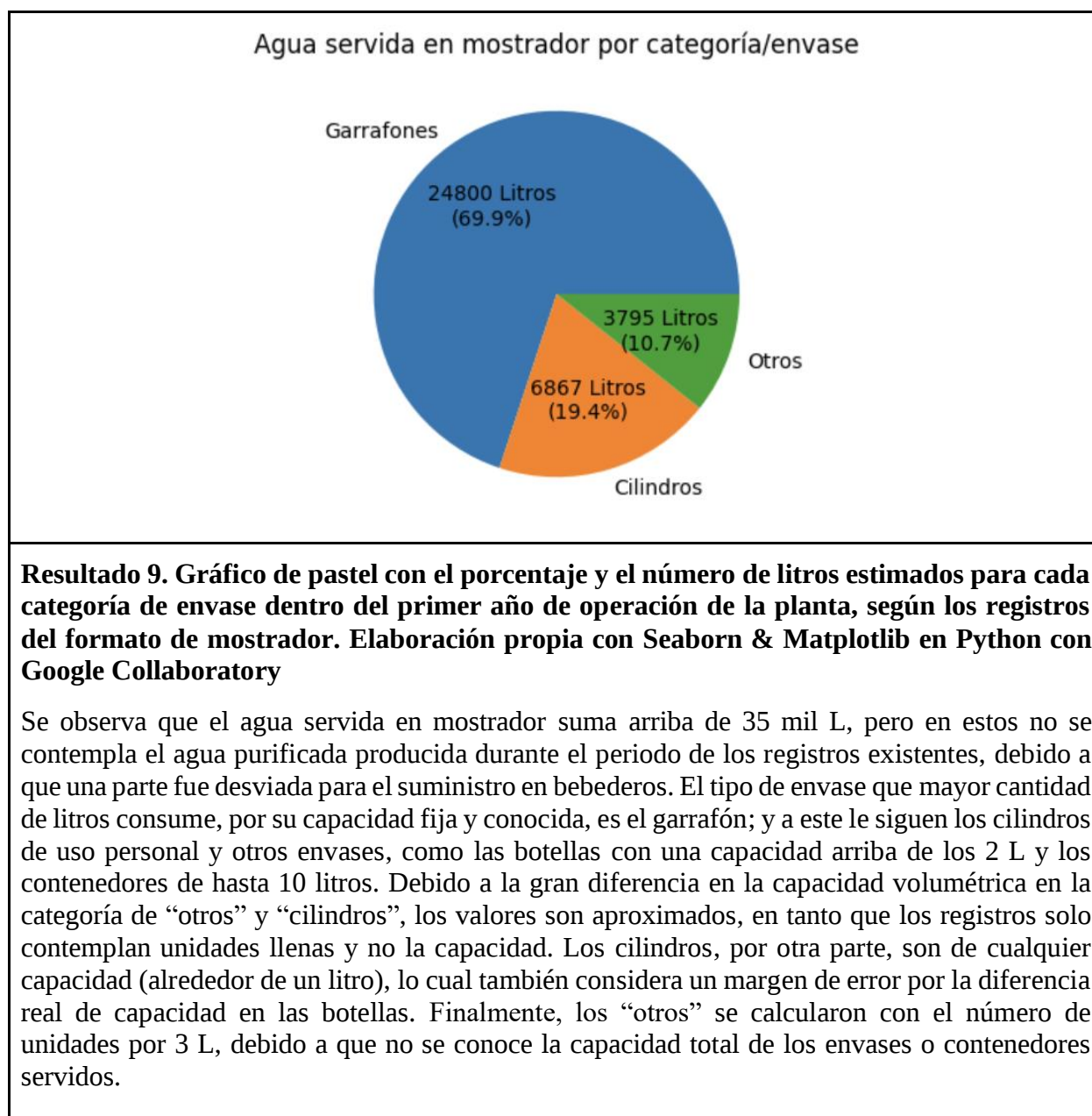
A continuación, se muestran los resultados del análisis de datos producto de los formatos utilizados durante el primer año de operación de la planta purificadora. Estos resultados están compuestos por gráficas que muestran las categorías relevantes de los formatos utilizados, así como los patrones, tendencias y perspectivas importantes para las partes interesadas de la administración y la operación de la planta. Se aprecian los resultados en la tabla 8.

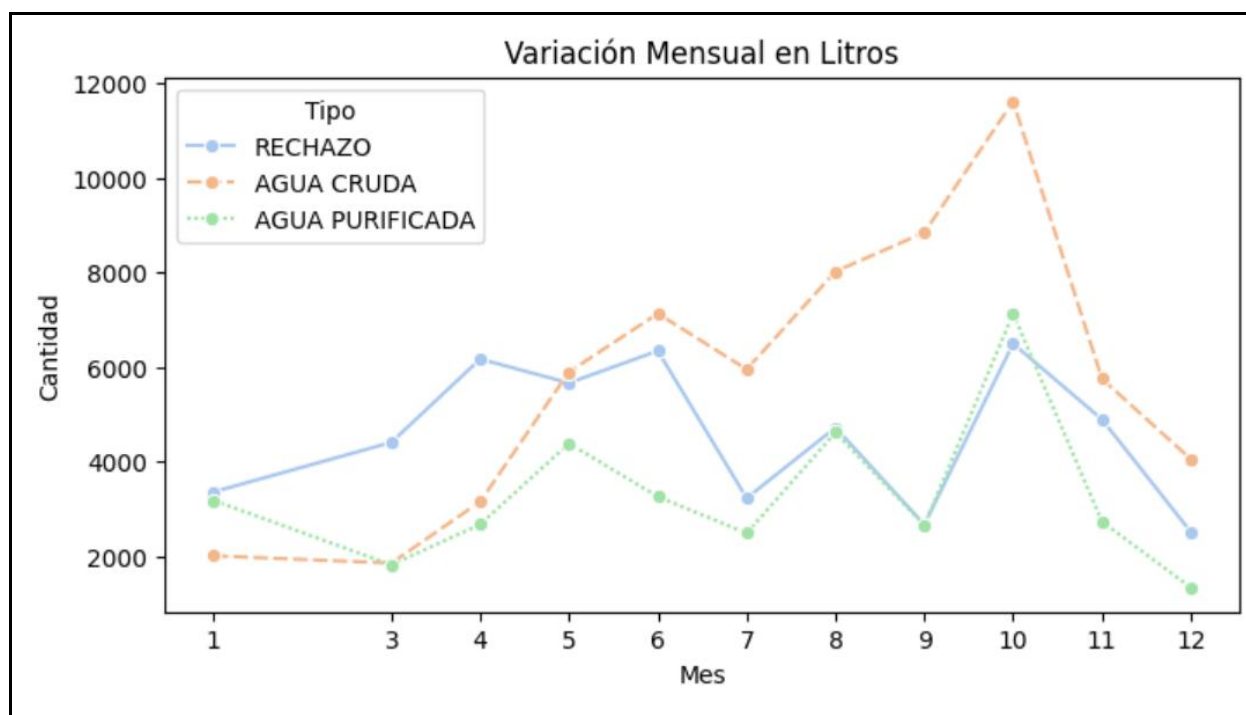
Tabla 8. Resultados del análisis de datos de los registros del primer año de operación de la planta purificadora.



Resultado 8. Gráfico de línea sobre la variación mensual de unidades servidas (envases o contenedores) según los registros del formato de servicio en mostrador desde marzo de 2023 hasta enero de 2024. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

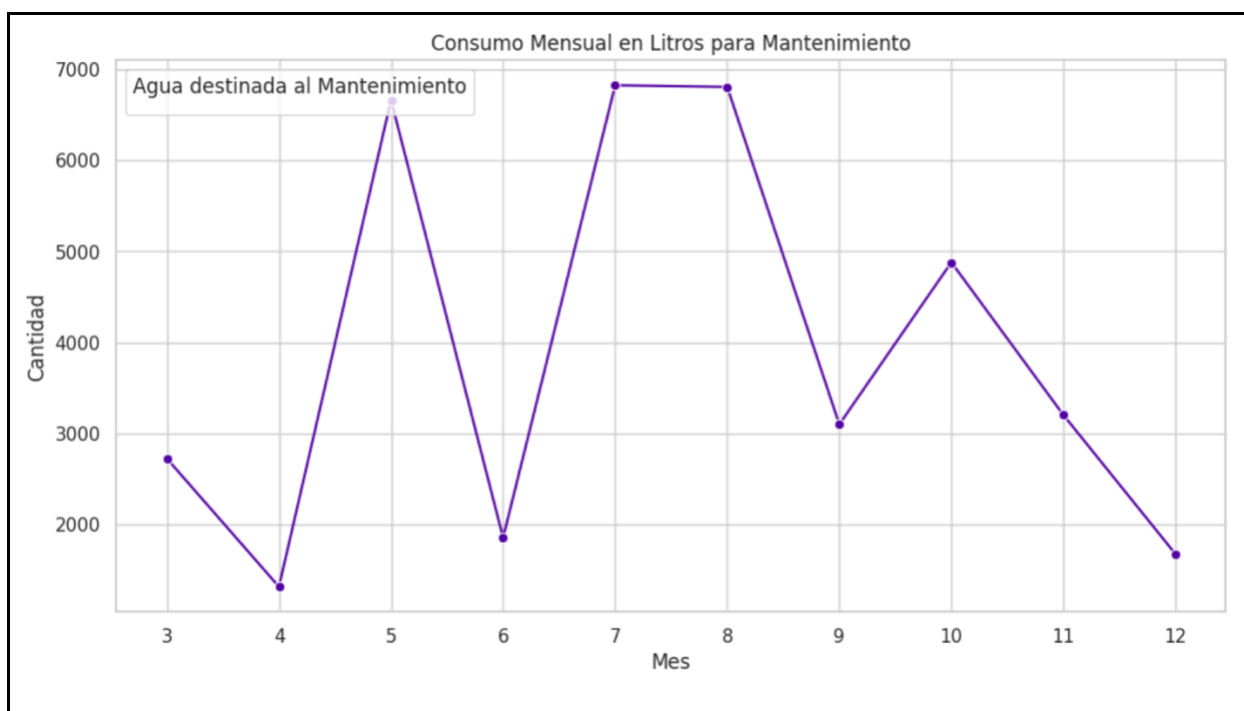
En este gráfico se puede observar el pico de actividad durante el mes de junio, que es un mes caluroso y, por ende, aumenta la demanda de agua. Igualmente, al considerar los próximos meses (vacaciones), esta podría bajar, debido a la poca población que asiste a las instalaciones del TESCo entre julio y agosto. En ese sentido, se observan el comportamiento de los nuevos ingresos al inicio del semestre entre septiembre y octubre, donde nuevamente hay un aumento en la demanda, y esta vuelve a bajar durante el mes de diciembre, por las vacaciones de temporada.





Resultado 10. Gráfico de línea con la variación de agua destinada a rechazo y purificación con respecto al agua cruda utilizada según el formato de monitoreo y los registros dentro del primer año de operación de la planta. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

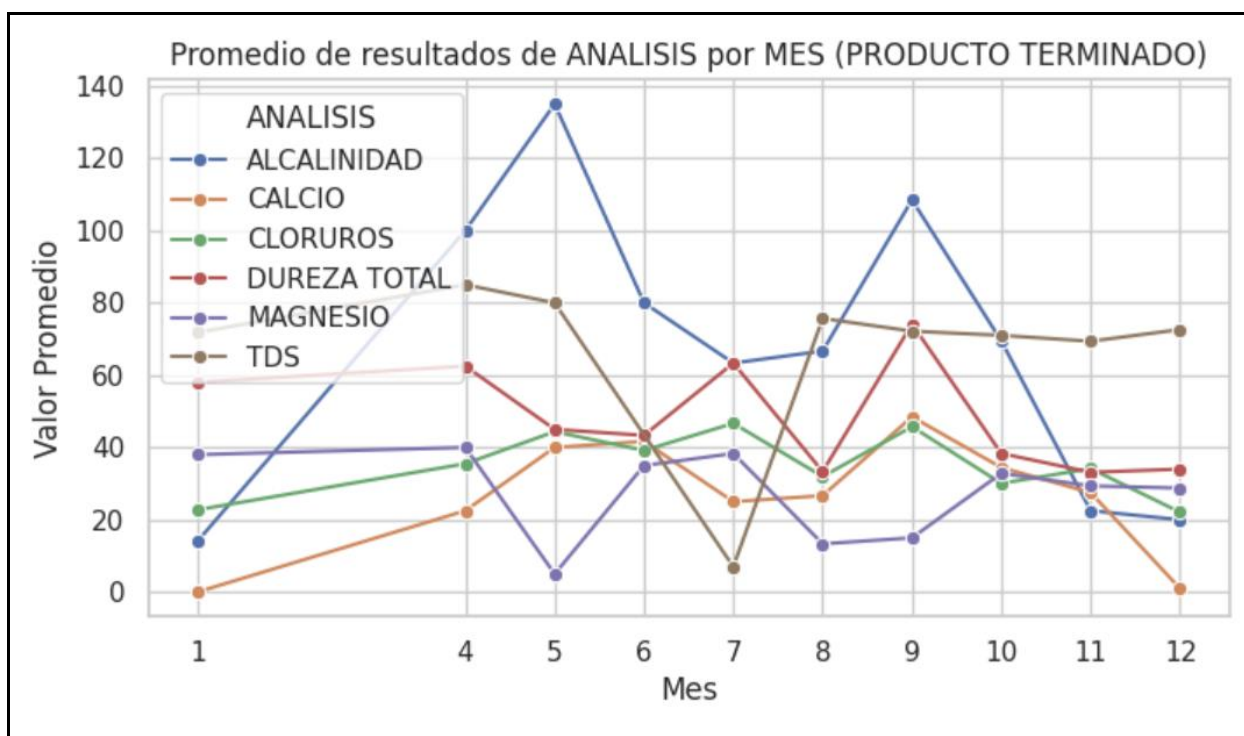
En esta gráfica se observa que fue en el mes de octubre cuando mayor cantidad de agua cruda se registró, y se puede inferir que esto se debió al inicio del semestre en septiembre, lo cual atrajo nueva población. En septiembre, la población del TESCO tuvo una mayor demanda de agua, lo que llevó a la extracción de mayor cantidad agua cruda, a una mayor producción y a un mayor rechazo en comparación con otros meses. Los primeros meses muestran inconsistencias en el agua extraída y purificada, lo cual puede darse por errores de registro en cuanto a los litros y monitoreos reales desde el primer momento en que se realizó extracción de agua.



Resultado 11. Gráfico de línea con la variación de agua destinada al mantenimiento según el formato de mantenimiento dentro del primer año de operación de la planta. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

En esta gráfica se observa la variación de litros utilizados con fines de mantenimiento en la planta purificadora, y se puede confirmar que los picos se tuvieron en mayo, julio y agosto de 2023. Junio fue el mes de mayor producción, y se puede inferir que la alta producción requirió mayor frecuencia de mantenimiento. Por otro lado, julio y agosto mostraron una menor producción debido a la cuestión de las vacaciones y la baja demanda, y fueron los meses en los que mayor consumo de agua por mantenimiento se registró, con lo que se infiere que la planta se preparó para el inicio de semestre en septiembre con un mantenimiento y una limpieza profunda.

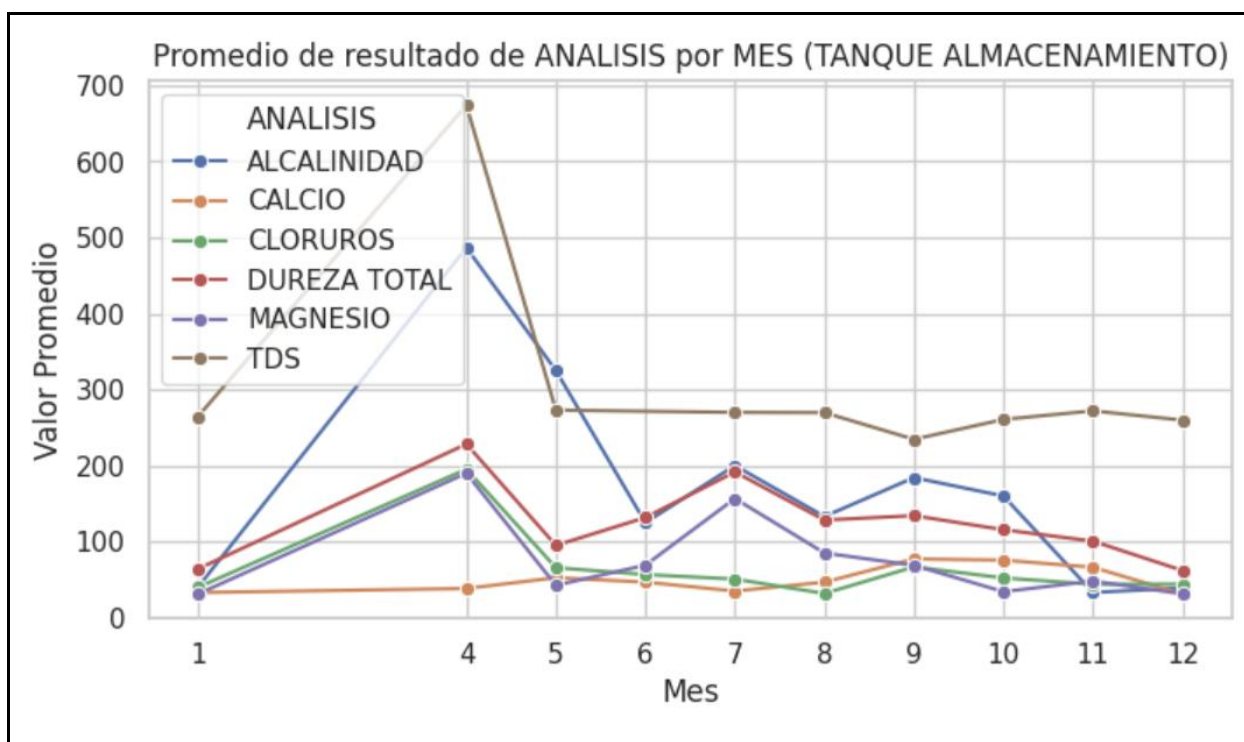
De otra parte, en el mes de mayo, de acuerdo con la gráfica de los usos de agua, el agua producida y de rechazo estuvo alrededor de los 6000 L, y 6600 L se vieron en registro de mantenimiento. Esto concuerda con el rechazo registrado para el agua utilizada para el mantenimiento, con una variación de 300 L. Asimismo, para los meses de julio y agosto, se consumieron alrededor de 6800 L de agua en mantenimiento; mientras que, para los tanques de agua de rechazo, la variación fue mayor: en julio se registraron 3200 L y en agosto 4700 L. Esto se debió a que no se llevó a cabo el registro con precisión en cada formato y en cada ocasión de mantenimiento, por lo que esto no se vio reflejado en ninguno y se dio una discrepancia.



Resultado 12. Gráfico de línea con la variación de resultados de los análisis fisicoquímicos dentro del primer año de operación de la planta para el agua de producto terminado según los registros de seguimiento de calidad. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

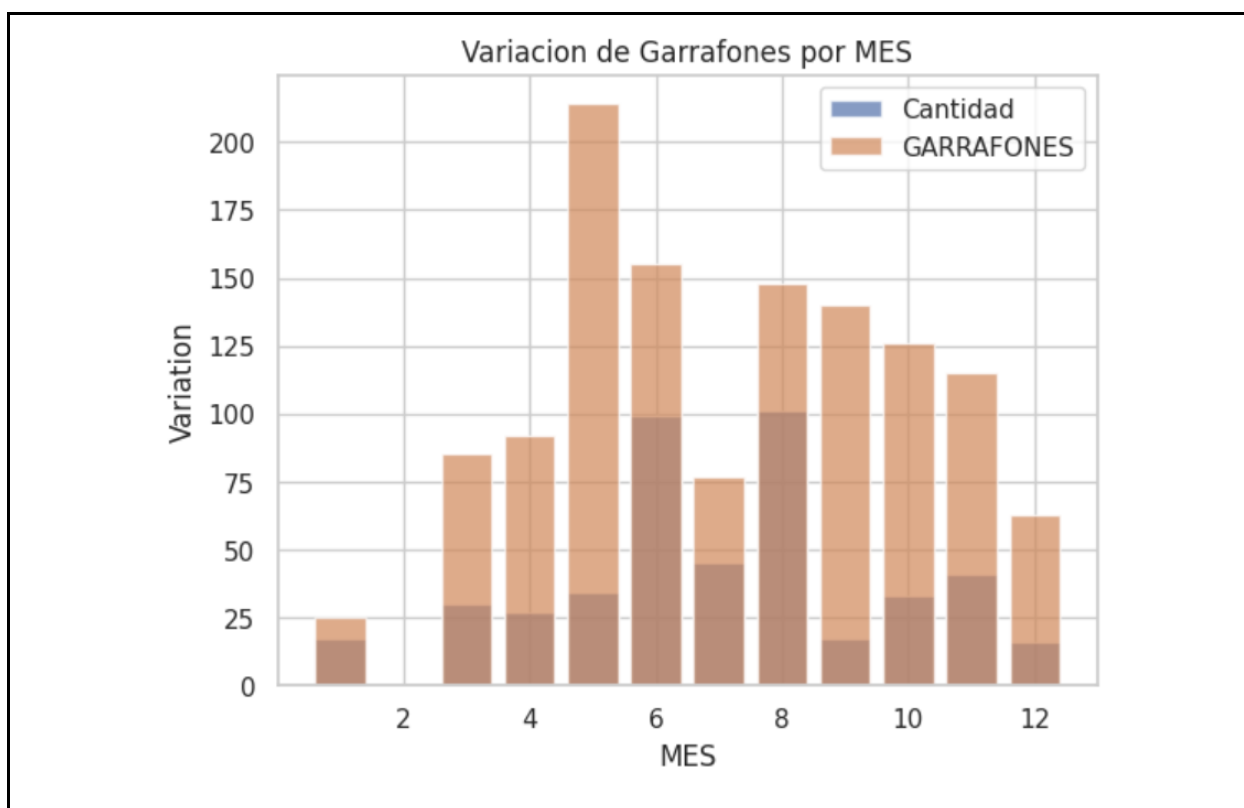
En esta gráfica se observa que los resultados de todos los análisis se encuentran por debajo de las 150 ppm para las muestras que fueron tomadas de la llenadora, y corresponden a los resultados de las determinaciones realizadas para el agua purificada o el producto final. La alcalinidad idealmente tiene que encontrarse entre las 70 y 300 ppm. No obstante, para noviembre y diciembre 2023, la alcalinidad tuvo valores por debajo del rango, al igual que en enero 2024. Igualmente, la dureza total debe encontrarse en un rango de 50 a 200 ppm, pero se puede observar que hubo varios meses en los que el agua estaba por debajo del rango en este parámetro.

De la misma manera, el valor de los cloruros está idealmente entre las 15 y 250 ppm, y se observa que durante todo el periodo registrado el agua se encontró dentro del rango aceptable, aunque solo un poco por encima del menor valor (de 20 a 60 ppm). En cuanto al rango de la dureza de calcio, este está entre 20 y 80 ppm, pero para diciembre de 2023 y enero de 2024, el parámetro se encontró por fuera del rango aceptable, muy por debajo del mínimo, casi en 0. Finalmente, para la dureza de magnesio, esta debe encontrarse entre las 30 y 120 ppm, pero para el mes de enero de 2024 se halló por encima del rango, debido a un error de lectura y del resultado. Además, en algunos meses de 2023, este valor estuvo muy por debajo del rango aceptable.



Resultado 13. Gráfico de línea con la variación de resultados de los análisis fisicoquímicos dentro del primer año de operación de la planta para el agua cruda o de entrada según los registros de seguimiento de calidad. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

En esta gráfica se observan los resultados de las determinaciones a las que el agua de la primera válvula (agua cruda) fue sometida. Se puede apreciar que todas las determinaciones están entre las 30 y 700 ppm; y, en general, los valores de los análisis disminuyen después del proceso de purificación, si se considera que el agua cruda y el agua final mantienen los valores dentro de lo estipulado en la normatividad aplicable.



Resultado 14. Gráfico de barras con la variación (discrepancia) de resultados de los conteos y, por ende, los litros utilizados dentro del primer año de operación de la planta para el agua cruda o de entrada según los registros de garrafones. Elaboración propia con Seaborn & Matplotlib en Python con Google Collaboratory

En esta parte se observa que hay una inconsistencia en los registros del servicio en mostrador (garrafones) y en las salidas (cantidad) de garrafones para el control de entrada y salida de estos. Para este último caso, hay menos unidades registradas en contraste con las del servicio en mostrador; no obstante, los valores deben coincidir, porque las “salidas” son garrafones llenos, y la cantidad de garrafones en mostrador hace referencia a los que han sido llenados o servidos en mostrador. Con esto se puede inferir que hay desorganización en los registros y redundancia en los formatos.

Nota. Elaboración propia.

A causa de estos resultados, se generaron nuevos campos en los formatos pertinentes y se elaboró el modelo relacional de tablas para abrir la puerta a un proyecto de tecnologías de la información que pudiera materializar una herramienta tecnológica que facilitara el registro, la confiabilidad de los datos y la eficiencia en el almacenamiento y la consulta, así como la visualización y la automatización de los procesos referentes al manejo de la base de datos y la información relevante en el contexto de la planta purificadora.

4.2 CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENTABILIDAD DE LA UNIDAD ECONÓMICA

La planta purificadora del TESCo ha tenido avances significativos en cuanto a la operación, el *stock* de insumos necesarios y los procesos administrativos. De acuerdo con los registros que se tienen hasta la fecha sobre la operación de la planta, los cuales abarcan su primer año de operación, se pueden encontrar por primera vez patrones de producción y mantenimiento, así como variaciones en la cantidad de agua consumida por la comunidad del TESCo y utilizada para los mantenimientos y saneamientos. De igual manera, se tienen suficientes datos para observar las variaciones que ha tenido la calidad del agua producida y, de alguna manera, encontrar relaciones entre estos.

Primeramente, se debe comprender que estos resultados, los cuales pueden ser visualizados a detalle en la sección del análisis de la oferta y la demanda, también forman parte de la operación de la planta dentro del primer año, y los datos mostrados se obtuvieron con los existentes formatos de registro, antes de su rediseño en este proyecto. Tales resultados y su análisis han dado pie a la comprensión de la información específica que requiere ser recolectada para dar un seguimiento preciso a la operación de la planta y a los datos cualitativos y cuantitativos relevantes para la toma de decisiones, como sucede con la producción específica y exclusiva de agua purificada y destilada.

Asimismo, se deben contemplar los valores que se han perdido de los registros del primer año de operación, los cuales llevaron a discrepancias e inconsistencias en los formatos existentes y en la información actual, que se presta mucho a las estimaciones. Por ese motivo, los nuevos formatos están rediseñados de tal forma que disminuyen la posibilidad de que ocurran discrepancias, y estos son específicos en cuanto a las pérdidas y desviaciones de agua de rechazo y de operación y servicio en mostrador y bebederos.

De igual manera, con los registros de servicio en mostrador se puede obtener la cantidad aproximada de litros que han sido servidos a la comunidad del TESCo en general, sin contemplar los litros desviados para la distribución en bebederos. Así que solo se consideran los litros servidos en mostrador, que incluyen los garrafones, bidones y botellas de uso personal. Estos han sido estimados, por lo que pueden variar en capacidad.

Otros formatos que fueron modificados según los resultados del análisis de datos de los registros en el primer año de operación fueron el de monitoreo de tanques, que señala las cantidades de agua extraídas y producidas; y el de mantenimiento, que da una idea general de la frecuencia con la que se realizan los mantenimientos para cada equipo, así como el agua utilizada (si fue cruda o purificada, y una cantidad aproximada). En ese sentido, debido a errores humanos y de formato, se encontraron ciertas inconsistencias en los litros destinados al mantenimiento, lo que dio lugar a un registro de monitoreo y mantenimiento completo.

Esta información se analizó y se curó de tal forma que ahora es posible dar a conocer a la población del TESCo y a las partes interesadas las estadísticas tanto de la operación como de la opinión que tienen los usuarios sobre el agua que se provee, y esto forma parte de la campaña de marketing en la que se difunde información que genera confianza y conocimiento sobre lo que se lleva a cabo en la planta y el compromiso de esta con la calidad.

Por otro lado, el control de calidad da una clara idea de la frecuencia con la que se realizan los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, al igual que la variación en los resultados para los diferentes parámetros considerados a lo largo del tiempo. Si se requiere realizar un análisis profundo sobre aspectos específicos, este se puede hacer con los registros que se tienen, y ello solo implicaría realizar modificaciones a la visualización y/o agregar parámetros de agrupamiento según lo requerido. Por ahora, este formato fue el que presentó registros con consistencia en los datos de concentraciones y fechas, y es un reflejo directo del seguimiento de la calidad.

De otra parte, se tiene la bitácora de residuos generados, la cual informa sobre la cantidad y la frecuencia con la que se dispone de los residuos líquidos generados en la planta purificadora que provienen de la realización de las pruebas fisicoquímicas. Este formato es muy sólido, por lo que puede aportar información valiosa a las partes interesadas sobre el tema.

Adicionalmente, se desarrollaron un manual de operaciones y una serie de *checklists* que fueron puestos en práctica para la capacitación de la nueva ola de estudiantes en servicio social en la planta purificadora. Este tipo de recursos facilitaron la capacitación, el entendimiento y la asimilación de los procesos a ejecutar, y contribuyeron a disminuir los errores en la operación de la planta, el manejo de equipo, el servicio prestado al público, y el seguimiento de la calidad y del registro de datos.

En ese sentido, el manual y los *checklists* dieron paso a una ejecución eficaz de las actividades, y ayudaron a mantener la calidad del agua que se ofrece a la comunidad del TESCo en bebederos, en mostrador y en garrafones. De la misma forma, el manual contempla todas las actividades que se requieren, como el mantenimiento de los equipos involucrados en los procesos de purificación y destilación de agua, las condiciones de operación de los equipos para el mantenimiento y la producción de agua purificada y destilada, los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, y la preparación de los insumos.

Ahora bien, también se creó un modelo relacional de tablas para continuar el proyecto desde un ángulo interdisciplinario, a fin de aplicar las tecnologías de la información enfocadas en la resolución de un problema específico (registro, consulta y visualización de los datos generados en los formatos de la planta purificadora) de índole ambiental. Aunado a esto, se creó un reporte en Python que muestra los patrones y estadísticas de los registros del primer año de operación de la planta purificadora, con lo que se revelan las áreas de oportunidad y la opinión de los usuarios encuestados.

Este reporte es un recurso que puede evolucionar mediante el modelo relacional de tablas; y este, de ser implementado a través de una interfaz que califique la experiencia de usuario, puede brindar facilidad a los operadores de la planta purificadora para el registro de los datos. De ese modo, este se constituiría como una herramienta confiable y eficiente para las partes interesadas en cuanto a la consulta y la visualización de los datos según se requiera. Para concluir, se puede afirmar que este modelo es importante, pues hace las veces de puente de conocimiento entre el área de la ingeniería ambiental aplicada a un sistema de agua y el área de la tecnología aplicada a la solución del problema en específico.

En cuanto a los formatos y la información, el crecimiento de la planta y del TESCo como institución depende de la conformación de un área que una la ingeniería ambiental aplicada y las soluciones de tecnología de la información para darle seguimiento a la operación misma. Con esto, la institución tendría la oportunidad de posicionarse dentro de las universidades que aplican el análisis de datos y las tecnologías vigentes para el desarrollo y el beneficio de los estudiantes, profesores e interesados en la inversión de un proyecto interdisciplinario.

Por otro lado, el modelo relacional de tablas parte de los nuevos formatos, que están conformados por los valores necesarios, y estos se requieren para realizar un análisis integral y estructural con una base de datos que almacene la información de la operación de la planta y la producción de agua, a fin de facilitar el registro, la consulta y la visualización de dichos datos para la evaluación constante. Tal modelo, además, sirve como base para el diseño de una interfaz de usuario congruente con las necesidades específicas de la planta y del proyecto; y estas, de no ser evaluadas desde el ámbito ambiental, no podrían ser traducidas directamente a un ámbito de análisis de datos.

En la Figura 27 se encuentra el modelo relacional de tablas. Esta es la estructura que se requiere para la construcción de una base de datos y para el diseño y el desarrollo de una interfaz según la experiencia de usuario (aplicación digital). Este modelo relacional de tablas cuenta con los ocho formatos mencionados (de producción, de análisis fisicoquímicos, de monitoreo, de análisis microbiológicos, de garrafones, de mostrador, de mantenimiento y de residuos), que se relacionan entre sí gracias a una tabla extra requerida para los permisos de acceso a los datos en cuanto al registro, la edición y la consulta. Esta última se relaciona con los usuarios; y, al respecto, se debe considerar que, en un medio digital, un usuario es quien realiza los registros. Esto es necesario para la administración de permisos y para seleccionar el segmento de la población del TESCo que podría tener los privilegios y claves para ingresar al sistema.

De igual manera, los formatos sobre garrafones y mostrador cuentan con una subtabla, en tanto que en ambos casos se debe considerar un total de litros servidos. Este último aspecto se observa en la última fila de los formatos impresos. Finalmente, otra peculiaridad de este modelo es que cada tabla cuenta con dos columnas: la primera hace referencia a los campos requeridos, y la segunda al tipo de dato que corresponde a cada uno, debido a que algunos de los datos representan textos, fechas o valores numéricos.

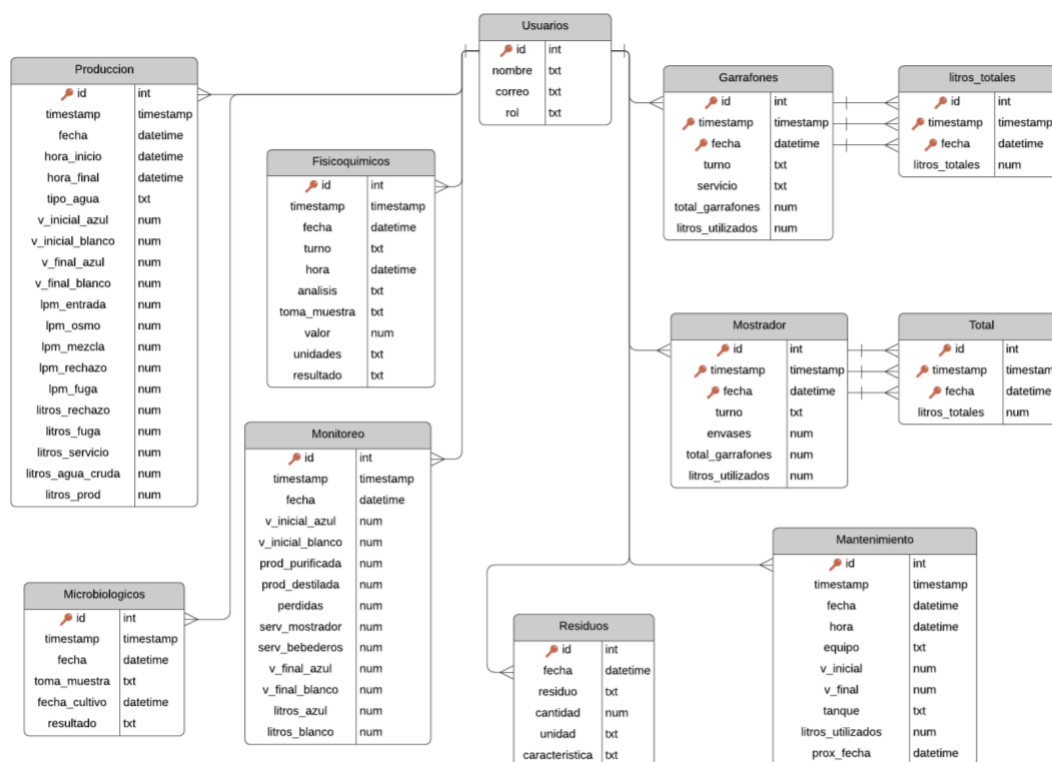


Figura 27. Modelo relacional de tablas

Nota. Elaboración propia.

Este modelo relacional de tablas es relevante, debido a que es el puente entre la ingeniería aplicada en un sistema de agua y las tecnologías de la información enfocadas en la resolución de un problema específico y en contexto. Esta es también una forma simplificada de mostrar los formatos rediseñados, por cuanto, en lugar de poner el formato como una imagen, se muestran los campos y la forma en la que estos deben ser llenados en un contexto digital. En este caso, el formato impreso con los mismos campos tendría que ser llenado de la forma que se muestra en el gráfico, pero individualmente. Otra característica de este tipo de visualización es que las líneas conectoras relacionan los formatos. En este caso, solo se ven ligados los campos de “id”, pero se puede inferir que todas las tablas cuentan con las fechas y los litros totales utilizados en las actividades.

Esto también es relevante para el desarrollo de una interfaz o aplicación, porque los campos en los que la información tiene que ser registrada, así como los datos en ellos, deben estar organizados para automatizar los procesos de registro, consulta y visualización dentro de ciertos parámetros. Tales parámetros pueden ser definidos en un proyecto posterior, para darle continuidad a la mejora de la imagen, la administración y la presencia de la planta purificadora del TESCO.

Por otro lado, gracias a los resultados de la encuesta y al análisis de datos de los formatos utilizados durante el primer año de operación, a continuación, se muestran los carteles para la difusión de la información sobre la planta purificadora, que responden a las incógnitas recogidas por los encuestados. Por su diseño y estructura, estos pueden poner a disposición de los consumidores la información pertinente y relevante de las actividades que se realizan en la planta purificadora. Asimismo, dichos carteles muestran datos y procesos que ayudan a comprender cómo la calidad del agua es la prioridad de la operación. Cabe resaltar que estos han sido distribuidos en la planta purificadora, y lo mismo se hará posteriormente en otras áreas del TESCo para llamar la atención de potenciales consumidores y comenzar a construir la relación con la comunidad consumidora de agua purificada y destilada.

RESUMEN DE RESULTADOS

1. El manual de operaciones integral desarrollado en el presente proyecto está a la disposición del personal de la planta purificadora y de la jefatura de ingeniería ambiental. Este cuenta con los procesos técnicos y operativos en cuanto a la producción, mantenimiento, servicio y documentación necesarios. Ver anexo 6, 7 y 8.
2. La información de valor extraída de los registros históricos existentes va desde el inicio de la operación de la planta en febrero 2023 hasta enero 2024. Esta información conjunta datos clave sobre el uso del agua en cuanto a su trazabilidad, se exponen las cantidades de agua que han sido extraídas del pozo, las cantidades que han sido utilizadas para mantenimiento, rechazo y la cantidad estimada de producto final (agua purificada y destilada) que han sido producidos durante el periodo especificado. También se encuentran valores históricos sobre los resultados de los análisis fisicoquímicos y las variaciones que hay en estos dependiendo de la etapa de la que se han extraído las muestras analizadas. Otros datos estadísticos como el número de garrafones y botellas que han sido servidos se extrajeron del manejo y transformación de los datos disponibles a través de la herramienta para análisis de datos utilizada. Ver anexo 10.
3. A partir de los datos analizados en el punto anterior, se generó un nuevo conjunto de formatos destinados al registro de información de la planta purificadora, con el objetivo de mejorar la trazabilidad del agua. Estos formatos están de igual manera a disposición del personal de la planta y se encuentran actualmente en uso. Las modificaciones realizadas a estos formatos parten de la especificidad en las cantidades de agua que son utilizadas en las diversas actividades y procesos de la planta. Ver anexo 8.
4. Las mejoras en la planta purificadora han sido ya implementadas. Los *checklists*, el manual de operaciones integral y los formatos de registro se encuentran en uso y a disposición del personal de la planta y la jefatura. Este material es de uso conjunto ya que se referencia

para que el personal de la planta pueda operar adecuadamente los equipos y procesos, y llevar a cabo los registros pertinentes.

5. El diseño conceptual de la estructura de información fue diseñado partir de las áreas de oportunidad en la trazabilidad del agua, que vienen de los formatos en papel y el análisis de datos (que fue realizado con los registros históricos disponibles). Este diseño conceptual está pensado para ser la base de un modelo escalable al que se le pueden añadir relaciones y datos de acuerdo con las necesidades de la planta y de la jefatura para reportar estas estadísticas con a información disponible. Ver figura 27 en el capítulo de resultados.



Figura 28. Cartel del proceso de purificación de agua en la planta purificadora.

Nota. Elaboración propia.



Figura 29. Cartel del proceso de seguimiento de la calidad del agua en la planta purificadora.

Nota. Elaboración propia.



Figura 30. Cartel de estadísticas y datos de la planta purificadora.

Nota. Elaboración propia.



Figura 31. Cartel sobre las actividades realizadas en la planta purificadora.

Nota. Elaboración propia.

5 CONCLUSIONES

Después de iniciar con sus actividades en marzo del 2023, la planta purificadora del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco se ha visto en la necesidad de enfrentar retos y cambios en el manejo de esta. Primeramente, se comenzó con formatos de registro generales y con un manual poco específico para la operación y mantenimiento de los equipos. Se vio también en la necesidad de aprender conforme la marcha, la organización y planeación de actividades de una forma general a cada vez mayores especificaciones en los procesos. Esta generalidad de la que partió la operación de la planta llegó a generar paros del suministro de agua hacia los bebederos y en mostrador debido a mantenimientos con poca planeación, lo cual también se llegó a ocasionar por operar con un mínimo de personal necesario para cubrir con la totalidad de las actividades requeridas para proporcionar un servicio completo a la comunidad del Tecnológico, que involucra el llenado en mostrador de botellas y garrafones, mantenimientos, seguimiento de calidad y suministro a bebederos. Estos eventos impactaron durante el primer año de operación la percepción de los usuarios y no usuarios del agua purificada en el Tecnológico, lo cual generó desconfianza por parte de alumnos, administrativos y profesores.

En cuanto a los registros de la planta purificadora, la generalidad de algunos formatos fundamentales para la evaluación cuantitativa de la planta purificadora carecía de especificidad, la cual fue evaluada durante este primer año de operación. Esto provocó que en la primera evaluación periódica pertinente a las cantidades de agua utilizadas presentara discrepancias en la estimación del volumen extraído y destinado a diversos usos. Esto llevo a reevaluar la información que debe ser recolectada para obtener un análisis con menor error de estimación en los datos que son importantes de analizar en un contexto de negocio. La captura de datos se abrió mayor especificidad para el análisis cuantitativo del agua y los diversos usos o destinos que existen durante el proceso de purificación y producción de agua destilada.

La discrepancia en los datos fue encontrada con un análisis exhaustivo de datos al que los registros del primer año de operación fueron sometidos después de ser digitalizados. Cabe destacar que estos primeros formatos fueron pensados para ser llenados en papel y ser archivados en carpetas, que si bien es muy organizado es también una práctica desactualizada si es tomada en cuenta la tecnología para el registro, almacenamiento, manejo, consulta y visualización de datos con la que se cuenta hoy en día. Existen muchas herramientas que permiten la digitalización y automatización de estos procesos y que, de no ser aprovechadas como en el caso de los formatos de registro de la planta purificadora, aumentan el tiempo utilizado para realizar este tipo de análisis y complican el proceso para el mismo. Estos registros después de ser digitalizados a mano a partir del papel fueron llevados a un sistema de procesamiento de datos estándar (Microsoft Excel), lo que llevó semanas de trabajo por parte del personal de la planta ya que no se tenía considerada su digitalización al comenzar la operación para realizarlo de forma periódica.

Posteriormente, fueron estos registros digitales convertidos a un formato denominado CSV. El formato CSV, que significa 'Comma Separated Values' en inglés o 'Valores Separados por Comas' en español, es un tipo de archivo que se utiliza para almacenar datos de manera tabular. En un archivo de este tipo, cada línea representa una fila de datos y los valores de cada fila están separados por comas. Esto permite organizar la información en columnas y filas de manera simple y fácil de entender, así como de procesar si se integra una automatización para el registro y la consulta de los mismos dentro de una interfaz o aplicación digital. Los archivos CSV son muy comunes en la industria de la informática y se utilizan ampliamente para compartir datos entre diferentes programas y sistemas, ya que son fáciles de crear, leer y editar con herramientas básicas de procesamiento de datos. Una vez convertidos a CSV, se utilizó Google Collaboratory que es una plataforma en línea proporcionada por Google que ofrece un entorno de desarrollo interactivo basado en la nube para escribir y ejecutar código en Python. Esta plataforma permite acceder y manipular archivos directamente desde la nube, especialmente útil para cargar y procesar grandes conjuntos de datos almacenados que facilitan la exploración, limpieza, análisis y visualización de datos en formato CSV utilizando Python.

Por medio de este análisis de datos exhaustivo se determinó que los registros no contaban con toda la información necesaria para contestar ciertas incógnitas cuantitativas y cualitativas sobre el agua producida en el Tecnológico, que generó un reporte con discrepancias en las cantidades de agua destinadas a mantenimiento, distribución a bebederos y la extracción general de agua cruda del pozo.

Durante el desarrollo de este proyecto se generó un sistema integral de seguimiento de procesos y actividades que está compuesto por un manual de operaciones, una serie de *checklists*, formatos de registro relevantes, y un modelo relacional de tablas para la aplicación de las TICs en contexto de agua e ingeniería. El manual de operaciones y los *checklists* son indispensables para establecer una estructura en cuanto a las actividades del día a día y aquellas que son para ejecutar de forma periódica y ordenada según las necesidades de mantenimiento, control de calidad, manejo de residuos, y seguimiento de volúmenes de agua extraídos, utilizados y rechazados/desperdiciados durante la producción de agua purificada y destilada. Esta serie de herramientas y recursos son necesarios para garantizar eficiencia en el manejo de los equipos y recursos de la planta purificadora. Todos los procesos fueron monitoreados y evaluados durante la ejecución de este proyecto, de tal forma que se definieron para maximizar la eficiencia y minimizar el riesgo de contaminación y desperdicio de insumos en cada actividad relacionada con la producción de agua purificada y destilada.

Después de evaluar los registros del primer año de operación y haberse definido los procesos de acuerdo con las necesidades específicas y particulares de la planta, se rediseñaron los formatos de registro para asegurar que las siguientes evaluaciones periódicas sobre el desempeño de la planta, el seguimiento de calidad y la cuantificación de agua extraída y sus usos y destinos fuera específico y se minimizara el error.

De igual manera durante el desarrollo de este proyecto, con el apoyo de la administración y jefatura de la carrera de Ingeniería Ambiental, se llevó a cabo una encuesta que fue difundida entre la comunidad administrativa, de profesores y alumnos del Tecnológico para obtener información sobre su opinión, preferencia y consumo de agua. Los resultados de esta encuesta fueron también analizados a fondo en Google Collaboratory. Esto ayudó a conocer las inquietudes, incógnitas y necesidades de los consumidores y no consumidores de agua en el Tecnológico, esto dio lugar a una pequeña pero eficiente campaña de difusión de información diseñada específicamente para dar a conocer al público los datos, procesos y actividades relevantes que se llevan a cabo en la planta purificadora con el objetivo de mantener la comunicación y aumentar la confianza de la comunidad del Tecnológico con respecto al agua que se produce y se distribuye. Esta información fue presentada de tal forma que contestara a las respuestas y resultados obtenidos de la encuesta realizada.

Finalmente, con un análisis de datos sobre los resultados de la planta de su primer año de operación y las necesidades del público, así como de la configuración y estructuración de los registros, se elaboró un modelo relacional de tablas de gran utilidad para proyectos futuros en los que se pueda implementar una solución de tecnología aplicada a la planta purificadora. Este modelo es una representación visual de una base de datos que, en caso de ser configurada con una interfaz, puede facilitar el proceso de registro de datos, almacenamiento, transformación (cálculos y relaciones entre datos), consulta histórica y visualización (como se mostraron en los gráficos de la tabla 23 y 24). Este elemento dentro del proyecto es relevante, debido a que los formatos en papel son obsoletos comparados con la tecnología hoy en día disponible, y es necesario conocer a fondo el proceso particular de la planta purificadora para plantear una solución de tecnologías de la información. Este proceso ya se conoce a fondo con el manual que ha sido desarrollado, y el modelo facilita la etapa de investigación para aquellos ingenieros en tecnologías de la información y sistemas que pudieran llegar a crear una aplicación que reemplace los cálculos, registros y almacenamiento manual en la planta purificadora, contribuyendo con la eficiencia de operación y liberando tiempo de actividades a ciertos procesos que requieren de mayor atención como el seguimiento de mantenimiento y de calidad.

6 COMPETENCIAS DESARROLLADAS

De acuerdo con el perfil de egreso de la carrera de Ingeniería Ambiental, las competencias que se desarrollaron por medio del proyecto son:

- Identificar, resolver y formular problemas de Ingeniería Ambiental aplicando conocimientos de ciencias básicas y ciencias de la ingeniería.
- Analizar, aplicar, proponer y gestionar procesos de diseño de Ingeniería, que resulten en proyectos sustentables que cumplen las necesidades o requerimientos especificados.
- Desarrollar y dirigir experimentación pertinente; analizar e interpretar los datos obtenidos y utilizar el juicio ingenieril para establecer planes de acción y realizar diseño de procesos o equipos.
- Comunicarse de manera efectiva con diferentes audiencias, de forma oral y escrita.
- Reconocer la necesidad permanente de incorporar conocimiento adicional y tener la habilidad para identificar, aplicar, integrar y evaluar este conocimiento adecuadamente.
- Trabajar de forma eficaz y eficiente en equipos que establecen metas, planean tareas, cumplen fechas límite y analizan riesgos e incertidumbre.

7 REFERENCIAS

Alcamo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch and S. Siebert, 2003a: Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrol. Sci. J.*, 48. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.3.317.45290>

Anduro, J.A., Cantú, E.U., Campas, O.N., López, J., Sánchez, D.I., & Félix, A. (2017) Diagnóstico de la calidad sanitaria del agua de pozo en comunidades del Sur de Sonora, México. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, 16(1), 1-8. <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/24/306>

Bartram, J., & Balance, R. (1996). *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater*. World Health Organization & United Nations Environment Programme. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41851>

Bates, B.C., Z.W., Kundzewicz, S., Wu, J.P., & Palutikof, Eds. (2008). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/climate-change-water-sp.pdf>

Benbell Softener Systems. (s.f.). *What is a water softener* [Imagen]. <http://www.benbellsoftenersystems.in/what-is-a-water-softener/>

ByJu's. (s.f.a.) Lewis Sctructure NaCl [Imagen]. <https://byjus.com/chemistry/lewis-structure-nacl/>

Carbotecnia. (s.f.a). *Filtración de agua y de soluciones acuosas* [Imagen]. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtracion-liquidos/>

Carbotecnia. (s.f.b). *Importancia de los retrolavados y ¿Cómo y cuándo realizarlos?* [Imagen]. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/equipos-con-carbon-activado/retrolavados-o-limpieza-de-los-filtros-de-agua/>

Carriazo, J., Saavedra, M., & Molina, M. (2010). Propiedades adsortivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educ. quím.*, 21(3), 224-229.

CONAGUA. (s.f.). *Indicadores*. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/Indicadores/>

- CONAGUA. (s.f.). *Programa hídrico regional 2021-2024 región hidrológico-administrativa xiii aguas del valle de México*.
https://files.conagua.gob.mx/conagua/generico/PNH/PHR_2021-2024_RHA_XIII_OCAVM.pdf
- FAO. Aquastat. (s.f.). *Tableau data Visualizer*. <https://n9.cl/nmkcj>
- Gobierno del Estado de México. (2018). *Programa Hídrico Integral del Estado de México 2017-2023*.
<https://caem.edomex.gob.mx/sites/caem.edomex.gob.mx/files/files/AcercaCAEM/PHIEM1.pdf>
- González, F., Vázquez, E., Aguilar, E., & Arriaga, J.A. (2022). *Perspectivas del agua en México*. UNAM.
http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/Perspectivas_AguaenMexico2022.pdf
- Guerra, J. (2015). Theoretical study of the chemical reactivity of activated carbon. *Química Nova* 38(8), 1021-1026. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150116>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Interaction Design Foundation (s.f.) *Information Architecture*. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/information-architecture>
- Kaviani, R. (2022). *Investigation of the Application of Zeolites in the Adsorption Mechanism*. 10.22034/JCHEMLETT.2022.338590.1068.
- La Jornada. (2023, mayo 14). *El 71 % del territorio mexicano, con algún grado de presión hídrica*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2023/05/14/sociedad/el-71-del-territorio-mexicano-con-algun-grado-de-presion-hidrica/>
- La Razón de México. (2020, octubre 29). *Los mayas purificaban el agua 2000 años antes que en Europa*. <https://www.razon.com.mx/cultura/mayas-purificaban-agua-2-000-anos-europa-410570>
- Lantern. (s.f.). *Luz ultravioleta de lámparas UV-C elimina la presencia de COVID-19 [Imagen]*. <https://lanterna.mx/investigacion/luz-ultravioleta-para-prevenir-la-propagacion-de-covid-19/>

- Lenntech. (s.f.). *Ozone Disinfection mechanism* [Imagen].
<https://www.lenntech.es/biblioteca/-disinfection-mechanism.htm>
- Ley de Aguas Nacionales [LAN], Reformada, Diario Oficial de la Federación [D.O.F.], 18 de mayo de 2023, (México).
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, [L.G.E.E.P.A.], Reformada, Diario Oficial de la Federación [D.O.F.], 8 de mayo de 2023.
- Liu, L., Wang, N., Zhu, C., Liu, X., Zhu, Y., Guo, P., Alfilfil, L., Dong, X., Zhang, D., & Han, Y. (2020). Direct imaging of atomically dispersed molybdenum that enables location of aluminum in the framework of zeolite ZSM-5. *Angewandte Chemie (International Ed. in English)*, 59(2), 819–825. <https://doi.org/10.1002/anie.201909834>
- López, A. (2017), El estado del agua en México: retos, oportunidades y perspectivas, El agua en México: actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica, Friedrich Ebert Stiftung, diciembre.
- López, O. (s.f.) *Arquitectura de la Información UX*. FormUX.
<https://formiux.com/arquitectura-de-la-informacion-que-es/>
- Lucero, L. J., Gunn, J. D., & Scarborough, V. L. (2011). Climate Change and Classic Maya Water Management. *Water*, 3(2), 479–494. <http://dx.doi.org/10.3390/w3020479>
- Manual de Organización General de la Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación [D.O.F.], 13 de agosto de 2003.
- Norma Oficial Mexicana NOM 012-SSA1-1993, Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4728754&fecha=12/08/1994#gsc.tab=0
- Norma Oficial Mexicana NOM-120-SSA1-1994 [Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas].
- Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-2020 [Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua].
- 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 muestreo].

- Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009 [Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios].
- Office of Water. (2000). *The History of Drinking Water Treatment*. Environmental Protection Agency.
https://archive.epa.gov/water/archive/web/pdf/2001_11_15_consumer_hist.pdf
- Ortiz, G. (2015). Conceptos originales relevantes de la Ley de Aguas Nacionales. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 7-13.
<http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/705>
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1993 [Bienes y servicios. Agua purificada envasada].
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-160-SSA1-1995 [Bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada].
- Resmini, A., & Rosati, L. (2011). A Brief History of Information Architecture. *Journal of Information Architecture*. 3, 33-46. 10.55135/1015060901/112.006/3.024.
- SEMARNAT. (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*.
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Stefanakis, A., Zouzias, D., & Marsellos, A. (2015). *Groundwater Pollution: Human and Natural Sources and Risks*. <https://n9.cl/b6nud>
- Swinstock, B., Clemens, S., & Sharpe, W. (2022). *Coliform Bacteria*. Penn State Extension.
<https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>
- Tankersley, K.B., Dunning, N.P., & Carr, C. (2020). Zeolite water purification at Tikal, an ancient Maya city in Guatemala. *Sci Rep.*, 10, 18021. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75023-7>