



# **TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO**

**Unidad de Estudios de Posgrado e Investigación**

## **MAESTRÍA EN SISTEMAS AMBIENTALES**

### **T É S I S**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN,  
CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA  
PLUVIAL EN EL TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE COACALCO: CASO DE ESTUDIO  
PARA EL EDIFICIO B**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO(A) EN SISTEMAS AMBIENTALES**

**PRESENTA:  
ING. ALARCÓN ARROYO JUAN PABLO**

**DIRECTOR(A) DE TESIS:  
DRA. LEZAMA ÁLVAREZ SUSANA**

**COACALCO DE BERRIOZÁBAL, MÉXICO, AGOSTO, 2024**

MIEMBROS DEL COMITÉ Y JURADO



## AGRADECIMIENTOS

Estudiar una maestría en *Sistemas Ambientales* ha sido uno de los retos más difíciles a los que me he enfrentado en mi vida. No solo en el aspecto profesional me logre superar, sino también en el aspecto personal y mental. El llegar a cumplir este logro no fue solo una meta para mí, si no también lo fue para muchas personas que me rodean y me quieren. Es por eso por lo que quiero aprovechar el siguiente espacio para agradecerles a cada uno de ellos:

En primer lugar, quiero agradecer a mi *directora de Tesis*, la Dra. Susana Lezama Álvarez, por todo el apoyo, comprensión y guía que me ofreció durante todo el proceso para la creación de esta tesis. Sin su ayuda, sus comentarios y sugerencias, este trabajo no se hubiera logrado.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi *papá*, Carlos Alarcón, por apoyarme, insistir y no dejar de recordarme que podría lograr la titulación de la maestría. A mi *madre*, Lorena Arroyo, por siempre creer en mí, en la buena persona que soy y recordarme siempre todo el potencial que tengo y que me cuesta mucho trabajo creer. Y a mi *hermana*, Karla Paola, que siempre fue un punto fundamental en mi pensamiento crítico, corrigiendo mis errores y celebrando mis logros conmigo, codo a codo.

En tercer lugar, quiero agradecer, desde muy en el fondo de mi corazón, a mi *novia*, María de Jesús, por permanecer a mi lado durante todo este largo proceso que fue la maestría, por ser siempre como un faro de luz cuando todo parecía oscuro y recordarme que siempre hay un arcoíris después de la tormenta.

En cuarto lugar, me gustaría agradecer a mi *concuño*, el Arq. Hugo Crisanto, por ayudarme en todo el aspecto arquitectónico del proyecto, tanto en la renderización, edición y post producción del diagrama 3D del sistema. Sin su ayuda, el proyecto de tesis que hoy se entrega, no sería ni la mitad de lo que es.

En quinto lugar, me gustaría agradecer al *Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco*, por instruirme, brindarme una formación de calidad y fomentar mi interés por la investigación y la innovación en este campo.



Y, por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todas las personas que han aportado su granito de arena a este proyecto para que pueda hacerse realidad.



## RESUMEN

La falta de agua es una realidad en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), por lo que se buscó captar, caracterizar e interpretar los resultados de los análisis fisicoquímicos-microbiológicos del agua pluvial en el municipio de Coacalco de Berriozábal, Estado de México. Al ser un agua pluvial de origen doméstico, se propone el diseño de un Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techo (SCAPT) para resolver la problemática.

El TESCo empezó siendo una serie de edificios pequeños y salones que fungían como aulas de enseñanza. En esos tiempos, el requerimiento hidráulico no era complejo por el diseño de las instalaciones. Conforme fueron pasando los años, el plantel fue creciendo y con ello también lo hizo su demanda de agua. Al construir más edificios sobre el relieve de la montaña fue logrando que la presión que llegaba a los edificios más lejos fuera menor que la de los edificios más cercanos a la avenida. Esto generó con los años un problema de escasez que el instituto fue solucionando a través de la contratación de pipas para darle abasto a estos edificios que no contaban con agua.

Los métodos utilizados en la investigación fueron: Cuantitativa, porque se requirió del análisis de resultados fisicoquímicos-microbiológicos del agua pluvial; y Aplicada, por la utilización de guías de diseño oficiales, la implementación de software de diseño en 3D, la aplicación de encuestas para saber la percepción estudiantil y el uso de técnicas analíticas para conocer la viabilidad del proyecto en términos económicos-ambientales. La combinación de estos métodos nos permite crear estrategias para adaptar soluciones a las necesidades y condiciones específicas del plantel.

Las interpretaciones que se obtuvieron de los resultados del agua pluvial, que fueron bajas cantidades de sales y microorganismos; y nula presencia de materia orgánica, la hacen ideal para uso final de consumo humano, aplicando la normatividad referente que garantiza el reúso de ésta en servicios al público con contacto indirecto.

Conocida la finalidad de uso del agua captada se obtuvieron los datos con respecto a las áreas de captación del plantel, obteniéndose resultados mayores que otros proyectos de la índole con reconocimiento de talla nacional y valores de caudales que superan la demanda de agua necesaria de los edificios.



La conclusión a la que se llegó por parte del trabajo fue que el plantel cuenta con muchos aspectos a su favor para implementar un proyecto de estas dimensiones. La infraestructura hidráulica del TESCO, como el clima de la zona, hacen factible la implementación del sistema, ayudando a reducir gastos administrativos, lo cual se traduce en ingresos verdes. Por otra parte, esto otorga reconocimiento, tanto a nivel nacional, como internacional, en utilización de sistemas de gestión ambiental.



## **ABSTRACT**

The lack of water is a reality in the Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), that is why we look for catching, characterize and interpret the results of the physicochemical and microbiological analysis of the rainwater in the municipality of Coacalco de Berriozabal, State of Mexico. Being rainwater of domestic origin, a design of a Rainwater Catchment System on a rooftop is proposed to solve this problem.

The TESCo started as a series of small buildings and classrooms which served as a teaching classroom. In that time, the hydraulic requirement wasn't complex because of the design of the installations. As the years went by, the campus grew, and with this, the demand for water. As they built more and more buildings on the mountain relief, the pressure of water didn't reach the buildings farther away, not like the buildings nearest to the avenue. That created, with the years, a lack of water problem which the institute has been solving with the contract of water trucks to give them that resource.

The methods used in the investigation was: Quantitative, due to was required the analysis of the physicochemical and microbiological results of the rainwater. and applied, due to the using of official guides of designed, the implementation of software of designed in 3D, the application of surveys to know the student perception and the used of analytic techniques to know the viability of the project in environmental-economics terms. These two methods combined permitted us to create new strategies to adapt solutions to the specific necessities and conditions of the campus.

The interpretations of the results that we obtained for the rainwater was, low quantities of salt and microorganism, and no presence of organic matter, which make it perfect to use it for human consumption, applying the referent normativity to guarantee the reuse in public services for indirect contact.

Knowing the finality of the rainwater caught, we obtained the data with respect to the catchment areas of the campus and showed us bigger results than other projects with that nature which have recognition in a national way and flow values bigger than the water demand necessary for the buildings.



The conclusion was the institute has a lot of aspects in favor of implementing a project with these dimensions. The hydraulic infrastructure of the TESCO, as the climate of the zone, make it feasible to implement the system, helping to reduce de administrable costs, which traduce them in green incomes. On the other hand, this gives them recognition, in a national and international way, in using systems of environmental management.



**ÍNDICE**

<b>1. GENERALIDADES DEL PROYECTO .....</b>	<b>12</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.2. ANTECEDENTES.....	18
1.3. PROBLEMÁTICA.....	19
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	19
1.5. OBJETIVOS Y LÍNEAS DE ACCIÓN .....	20
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	20
1.5.2. <i>Objetivos específicos y líneas de acción</i> .....	20
1.6. META .....	23
1.7. ALCANCE .....	23
1.8. LIMITACIONES .....	23
<b>2. MARCO REFERENCIAL (MARCO LEGAL).....</b>	<b>25</b>
2.1. JERARQUÍA LEGAL EN SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL .....	25
2.2. NORMAS SANITARIAS DE CALIDAD DE AGUA NACIONALES PARA LA INDUSTRIA DE SERVICIO Y DE PRODUCCIÓN .....	25
2.3. NORMAS OFICIALES INTERNACIONALES SANITARIAS DE CALIDAD DEL AGUA.....	27
2.4. DEPENDENCIAS NACIONALES DEL AGUA .....	28
2.5. NORMAS APLICABLES AL PROYECTO .....	28
<b>3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....</b>	<b>32</b>
<b>4. MARCO CONCEPTUAL – TEÓRICO .....</b>	<b>35</b>
4.1. REVISIÓN DEL ESTADO DE LA TÉCNICA.....	35
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS .....	37
4.2.1. <i>Parámetros que determinan la calidad del agua</i> .....	37
4.2.1.1. Principales parámetros biológicos .....	37
4.2.1.2. Principales parámetros químicos .....	38
4.2.1.3. Principales parámetros físicos .....	39
4.2.1.4. Principales parámetros radiológicos .....	41
4.2.2. <i>Límites Permisibles</i> .....	42
4.2.2.1. Especificaciones sanitarias físicas .....	42
4.2.2.2. Especificaciones sanitarias químicas .....	42
4.2.2.3. Especificaciones sanitarias de metales y metaloides .....	43
4.2.2.4. Especificaciones sanitarias microbiológicas .....	44
4.2.2.5. Especificaciones sanitarias de fitotoxinas.....	44
4.2.2.6. Especificaciones sanitarias de radiactividad .....	45
4.2.2.7. Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección .....	45
4.2.2.8. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección – trihalometanos.....	46
4.2.2.9. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección – ácidos haloacéticos .....	47
4.2.2.10. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección – aniones .....	47
4.2.2.11. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección – carbonilos.....	48
4.2.2.12. Especificaciones sanitarias de compuestos orgánicos sintéticos.....	48
4.2.3. <i>Efectos en la salud humana relacionados con el consumo de agua contaminada con metales pesados y metaloides</i> .....	49
4.3. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	51
4.3.1. <i>Captación de agua pluvial</i> .....	51



4.3.2.	<i>Análisis microbiológicos</i> .....	51
4.3.3.	<i>Análisis fisicoquímicos</i> .....	52
4.3.3.1.	Dureza total .....	52
4.3.3.2.	DQO .....	56
4.4.	VALORES PLUVIOMÉTRICOS .....	58
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>61</b>
5.1.	MATERIALES .....	61
5.1.1.	<i>Captación de agua pluvial</i> .....	61
5.1.1.1.	NMX-AA-3-1980 NORMA MEXICANA “AGUAS RESIDUALES – MUESTREO”.....	61
5.1.2.	<i>Análisis de laboratorio</i> .....	62
5.1.2.1.	Microbiológicos.....	62
5.1.2.1.1.	NMX-AA-042-SCFI-2015 ANÁLISIS DE AGUA – “ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y Escherichia coli – MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES” .....	62
5.1.2.2.	Fisicoquímicos.....	64
5.1.2.2.1.	NMX-AA-072-SCFI-2001 “DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA” .....	64
5.1.2.2.2.	NMX-AA-030-SCFI-2012 ANÁLISIS DE AGUA – “MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, (DQO) RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. – MÉTODO DE PRUEBA – PARTE 1 – MÉTODO DE REFLUJO ABIERTO” .....	67
4.1.3.	<i>Uso de software</i> .....	73
5.2.	MÉTODOS .....	73
5.2.1.	<i>Captación de agua pluvial</i> .....	73
5.2.1.1.	NMX-AA-3-1980 NORMA MEXICANA “AGUAS RESIDUALES – MUESTREO”.....	74
5.2.2.	<i>Análisis de laboratorio</i> .....	84
5.2.2.1.	Microbiológicos.....	84
5.2.2.1.1.	NMX-AA-042-SCFI-2015 ANÁLISIS DE AGUA – “ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y Escherichia coli – MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES” .....	84
5.2.2.2.	Fisicoquímicos.....	89
5.2.2.2.1.	NMX-AA-072-SCFI-2001 “DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA” .....	89
5.2.2.2.2.	NMX-AA-030-SCFI-2012 ANÁLISIS DE AGUA – “MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, (DQO) RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. – MÉTODO DE PRUEBA – PARTE 1 – MÉTODO DE REFLUJO ABIERTO” .....	91
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>97</b>
6.1.	RESULTADOS.....	97
6.1.1.	<i>Captación de agua pluvial</i> .....	97
6.1.1.1.	Plan de muestreo .....	97
6.1.1.1.1.	Identificación del lugar de muestreo .....	97
6.1.1.1.2.	Selección de puntos de muestreo .....	99
6.1.1.1.3.	Frecuencia de muestreo.....	103
6.1.1.1.4.	Identificación de la muestra .....	103
6.1.1.1.5.	Cálculos – Obtención del Volumen de Muestra Compuesta (VMC) .....	107
6.1.2.	<i>Análisis de laboratorio</i> .....	109
6.1.2.1.	Microbiológicos.....	109
6.1.2.1.1.	Organismos Coliformes Totales.....	109
6.1.2.2.	Fisicoquímicos.....	110
6.1.2.2.1.	Dureza Total .....	110



6.1.2.2.2.	Demanda Química Oxígeno (DQO).....	111
6.1.3.	<i>Diagrama de flujo</i> .....	113
6.1.4.	<i>Tren de tratamiento</i> .....	115
6.1.4.1.	Descripción del tren de tratamiento .....	115
6.1.4.2.	Tabla de tratamientos sugeridos por la NOM-127-SSA1-1994 .....	117
6.1.5.	<i>Componentes del SCALL TESCO</i> .....	120
6.1.5.1.	Vistas generales, en 3D e isométricas del SCALL TESCO.....	123
6.1.6.	<i>Cálculo de potencia de bombas y consumo de energía</i> .....	128
6.1.7.	<i>Cotización del proyecto por fases de construcción</i> .....	129
6.1.8.	<i>Lista de equipos y sus especificaciones técnicas</i> .....	131
6.2.	<b>DISCUSIONES</b> .....	134
6.2.1.	<i>Comparación de resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial muestreada (antes del tratamiento), con respecto a los Límites Permisibles que se muestran en la NOM-127-SSA1-2021</i> .....	134
6.2.2.	<i>Comparación de resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial muestreada (antes del tratamiento), con respecto a los Límites Permisibles que se muestran en la NOM-001-SEMARNAT-2021, la NOM-002-ECOL-1996 y la NOM-003-ECOL-1997.</i> .....	135
6.2.2.1.	Comparación de resultados con la NOM-001-SEMARNAT-2021.....	136
	La comparación muestra que los resultados que se obtuvieron a partir de las muestras de agua pluvial captada, con respecto a los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, están por debajo de los Límites Permisibles estipulados por la normatividad vigente. La interpretación que se puede obtener es que el agua pluvial que cae en el municipio posee una contaminación mucho menor que la que se puede encontrar en un agua residual descargada en cuerpos receptores propiedad de la nación. ....	137
6.2.2.2.	Comparación de resultados con la NOM-002-ECOL-1996.....	137
6.2.2.3.	Comparación de resultados con la NOM-003-ECOL-1997.....	137
7.	<b>CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS</b> .....	140
7.1.	CONCLUSIONES .....	140
7.2.	PERSPECTIVAS .....	142
8.	<b>REFERENCIAS CITADAS</b> .....	144
9.	<b>PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	147
9.1.	CARTA DE ACEPTACIÓN DEL PROYECTO EN CONGRESO.....	147
9.2.	PRESENTACIÓN MODALIDAD CARTEL .....	148
9.3.	RECONOCIMIENTO POR PARTICIPACIÓN EN CONGRESO .....	149
10.	<b>ANEXOS</b> .....	151
10.1.	CÁLCULO DE CAUDALES.....	151
10.2.	DISEÑO DE CANALETAS Y BAJANTES .....	152
10.3.	CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE (MÉTODO 1) .....	153
10.4.	DEMANDA DE AGUA Y VOLUMEN DE CISTERNA GENERAL (MÉTODO 2).....	154
10.5.	TREN DE TRATAMIENTO (CLORACIÓN) .....	155



# CAPÍTULO I



## 1. Generalidades del Proyecto

### 1.1. Introducción

La consecuencia de la explotación desmedida de los recursos hídricos se está haciendo una realidad cada vez más palpable con el paso del tiempo. Problemáticas como la escasez de agua en algunas colonias de la Ciudad de México y del Estado, o la más conocida, la falta de agua en Monterrey ha hecho que muchos ciudadanos se pregunten si esto será una situación que se tendrá que vivir día con día, con la cual se tendrá que lidiar siempre y normalizar en la vida cotidiana, o solo es una noticia que ha sido hiperbolizada por los medios de comunicación. La respuesta corta es. “Sí, Así es”, el panorama que se tiene previsto para los próximos años no es muy consolador para aquellas generaciones que tendrán que lidiar con la falta de un recurso tan importante como lo es el agua.

La importancia que tiene el cuidado y uso responsable del agua no solo recae en el aspecto social, sobre cómo nos sentimos, física y emocionalmente por la falta de este recurso tan importante, sino que también recae en el aspecto económico y político de una nación. La falta de agua hace imposible que empresas que necesiten de ella puedan seguir realizando sus procesos con la eficacia adecuada para su tipo de producción, y, por otro lado, afecta políticamente hablando, porque da una mala imagen al partido en turno que debería de gestionar este tipo de problemas de una mejor manera.

La visualización del agua como un recurso “ilimitado” que se tenía en anteriores épocas ha demostrado lo ineficiente y poco productivo que puede llegar a ser una explotación desmedida de un recurso, sin tomar en cuenta, los tiempos de regeneración naturales de los procesos biogeoquímicos que existen en la naturaleza, ya sea la tierra, los combustibles fósiles, la madera, el agua, etc. Son todos procesos que requieren de una cantidad de tiempo grande para que puedan resarcirse.

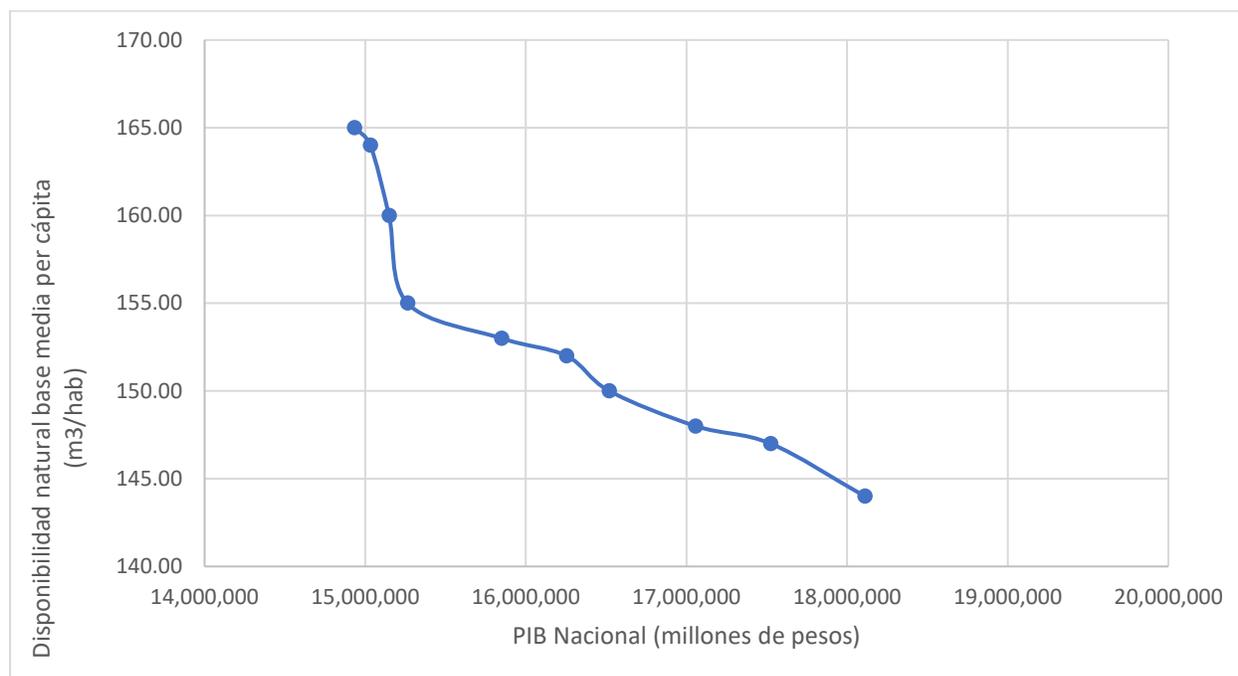
Según el **Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Información**, aunque los océanos y mares solo sean un pequeño porcentaje de la masa total que conforma al planeta, el agua disponible para consumo humano en la tierra se puede conocer y dividir en diferentes porcentajes dependiendo de donde se encuentre. Por ejemplo, el 97.5% del agua es salada, mientras que el 2.5% es agua dulce. Dentro de ese 2.5%, el 69.7% se encuentra congelada en los glaciares, el 30% debajo del



subsuelo en los mantos acuíferos y el 0.3% restante está en los ríos y arroyos de varios continentes **(Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Información [INEGI], 2023)**.

Esto nos dice que tan sólo el 0.007% de agua está disponible para nuestro uso y consumo, lo cual nos da la perspectiva de que tenemos un muy bajo porcentaje de este recurso para poder aprovecharlo. Con esto en mente, se hace un poco absurda la idea de un sistema económico lineal que permite la sobre explotación de recursos de una manera no controlada, ya que la materia prima en algún momento tendrá que acabarse.

Profundizando un poco más en el tema, se revisaron datos publicados por la **Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales**, de 2008 hasta 2017, a nivel nacional, acerca de la disponibilidad natural agua, en  $\frac{m^3}{hab}$ , y se observó una disminución preocupante de este recurso con respecto al aumento del Producto Interno Bruto (PIB) medido en millones de pesos. Esto se puede observar en la figura 1.

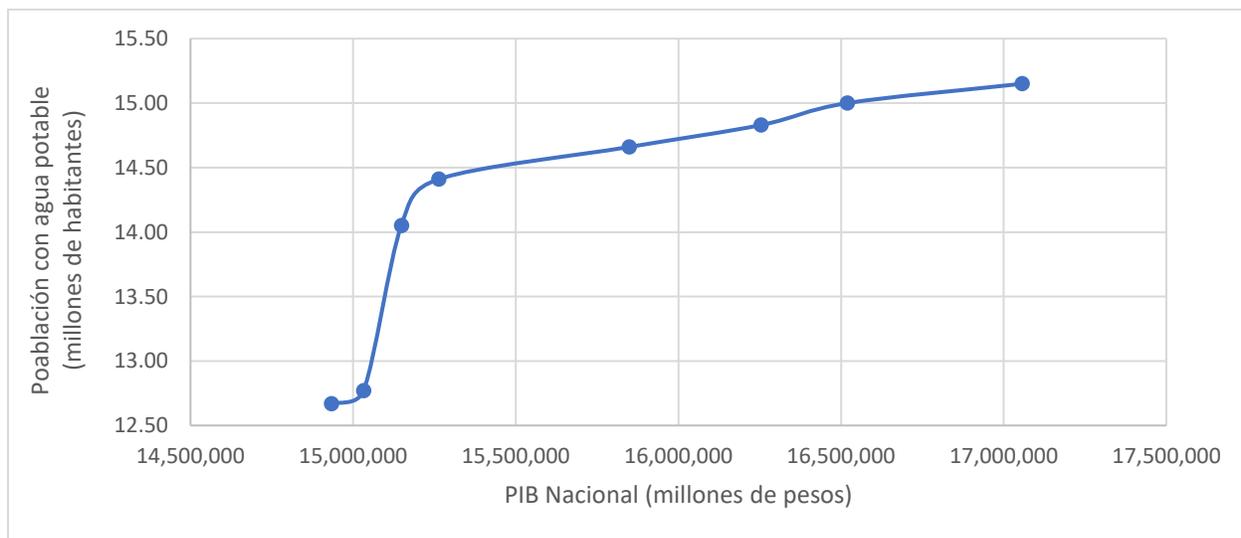


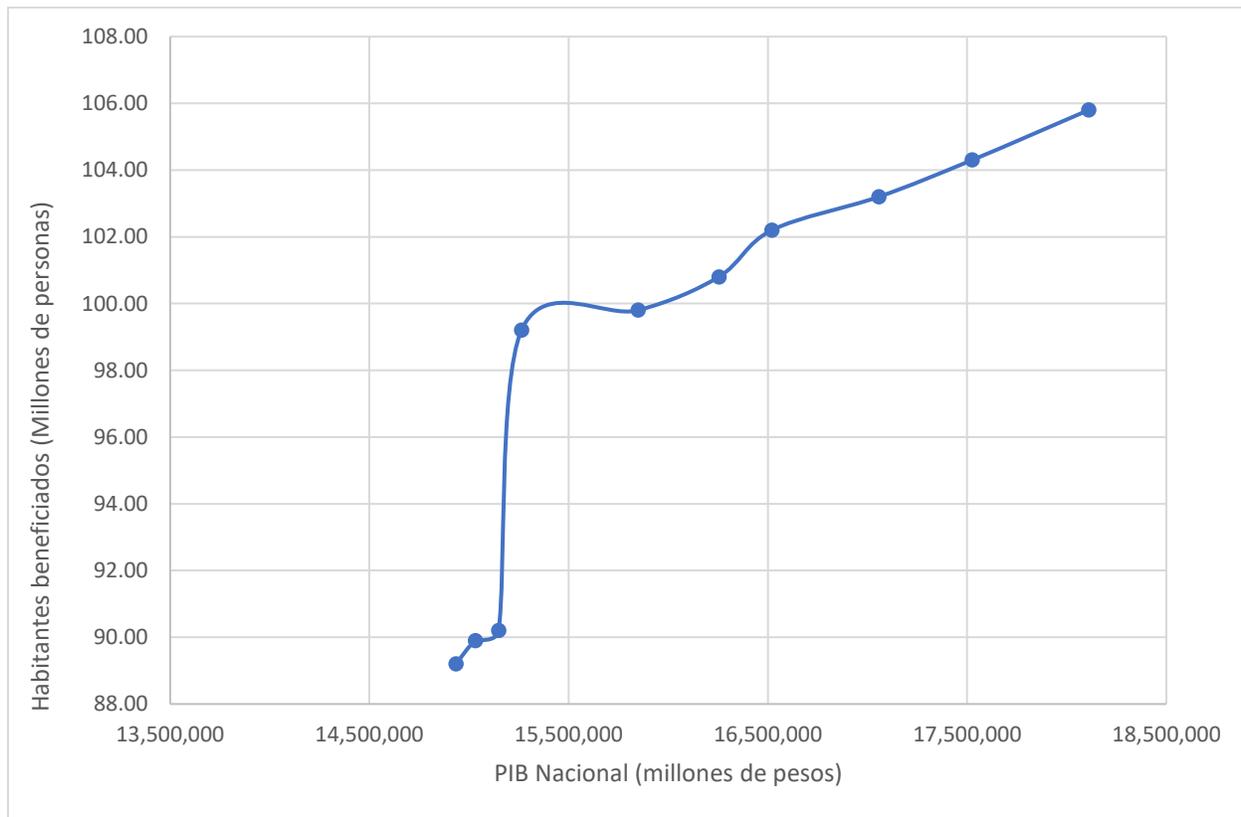
**Figura 1.** Disponibilidad natural base media del agua per cápita ( $\frac{m^3}{hab}$ ) con respecto al PIB (millones de pesos) en el período que abarca de 2008 al 2017 (**Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT],2023**).



Esto habla de cómo el aumento de ingresos en el país ha conllevado a una merma de los recursos hídricos disponibles sin tomar en cuenta las consecuencias posibles, y, por otro lado, nos hace visualizar un escenario futuro en el cual dependeremos de la captación de este recurso, pero por otros métodos.

A nivel mundial, por parte de la ONU, lo que menciona en el informe sobre los **Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS)** de 2023, los esfuerzos por aumentar la cobertura de agua potable y servicios básicos de saneamiento e higiene eficientes, de 2015 a 2022, han sido un éxito (**Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023**). Si miramos por nuestro lado, en México, los esfuerzos se ven ejemplificados en el aumento del número de habitantes con acceso a agua potable y en el aumento del número de habitantes que se ven beneficiados de esto (figura 2). Pero, aun así, existe un gran porcentaje de personas que no tienen acceso a un servicio adecuado y salubre.





**Figura 2.** (a): Población con acceso a agua potable (millones de habitantes), en México, de 2008 a 2017 (SEMARNAT, 2023). (b): Población beneficiada por el suministro de agua potable (millones de habitantes), en México, de 2008 a 2027 (INEGI, 2023).

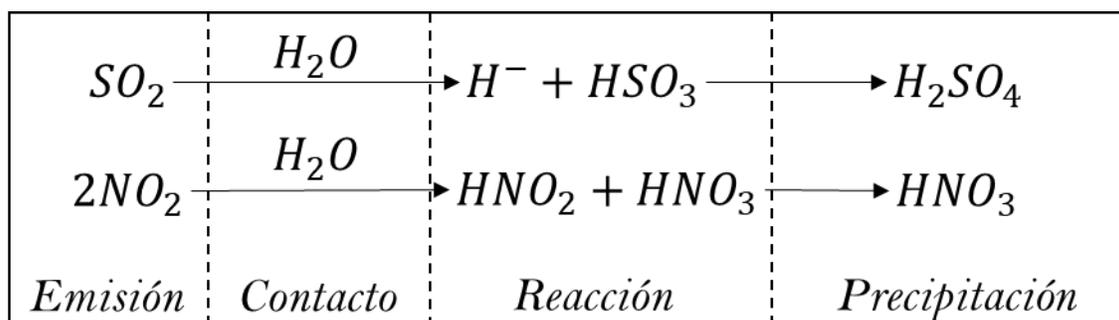
La realidad habla por sí sola, y si los datos que fueron publicados en 2023 por parte de la ONU nos muestran que, a pesar de los esfuerzos hechos, se necesita “triplicar o sextuplicar” los progresos realizados, eso habla que el problema no solo trata de la inversión que hacen los países en estos rubros, sino que habla de cómo el cambio climático, específicamente los cambios en los patrones de las precipitaciones y las sequías siguen afectando a más y más lugares de la tierra. Si se observa un mapa de calor, el cual mostrará cómo las regiones áridas y semiáridas han ido aumentando a lo largo del planeta gracias al aumento global de la temperatura, se observaría un aumento drástico en los últimos 20 años, mostrándonos como zonas que antes gozaban de una precipitación alta y temporadas secas bajas, han ido cambiando con el tiempo a ser más secas y propensas a sequías. Hasta el mismo informe de las ODS de 2023 sigue hablando sobre como de 2016 a 2050 se prevé que exista un aumento del 61.25% de personas que sufrirán escasez de agua en todo el mundo y cómo esto supone una inminente crisis mundial de agua que se tiene que evitar a toda costa (ONU,



2023). Por muchos otros puntos, no está de más poner el tema del cambio climático sobre la mesa y tratarlo como uno de los principales autores de la próxima escasez de agua.

Otra consecuencia del cambio climático, que puede pasar desapercibida, pero que es muy importante al hablar sobre la reutilización de aguas, y más específica, en la recolección de agua de lluvia, es la contaminación atmosférica.

La forma en la que observamos cómo afecta la contaminación de la atmósfera al agua es en la lluvia ácida, la cual no es más que la mezcla de Compuestos de Origen Volátil (COV) que son emitidos al aire por las industrias y unidades habitacionales con el agua presente en las nubes, creando compuestos que acidifican el agua, para después precipitar (figura 3).



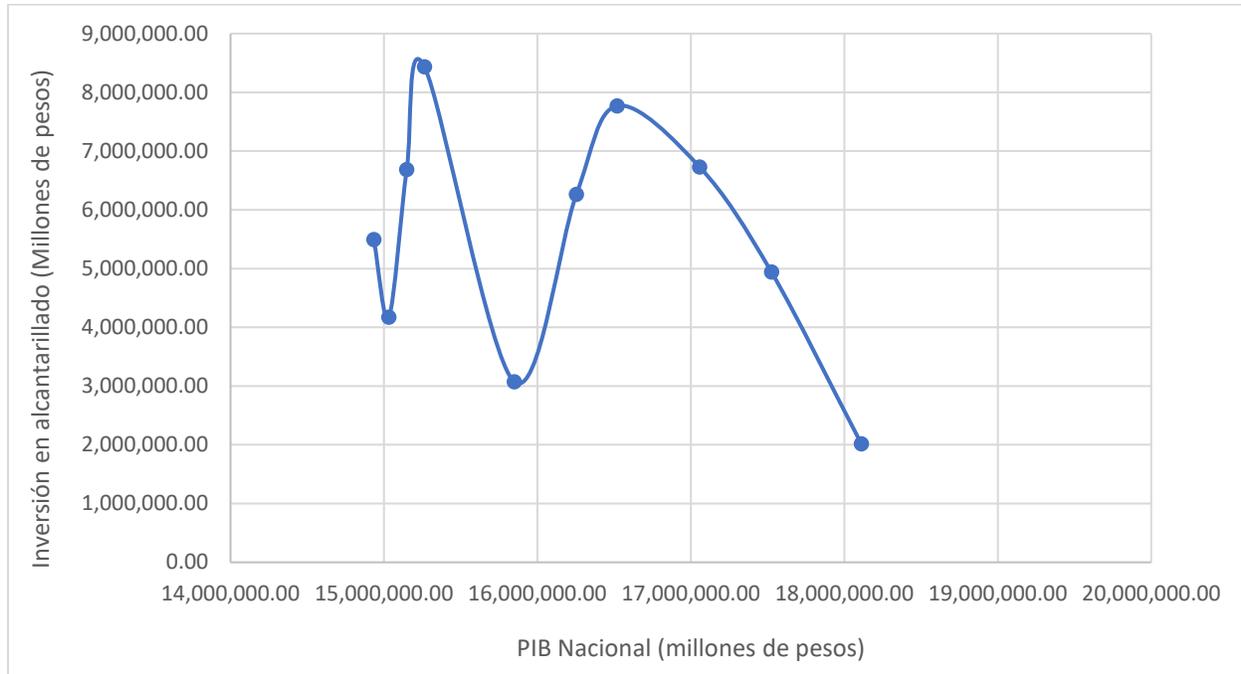
**Figura 3.** Diagrama que explica cómo compuestos como el dióxido de azufre o el dióxido de nitrógeno, al entrar en contacto con el agua que hay en la atmósfera, reaccionan, formando ácido sulfúrico y ácido nítrico en el proceso, que después precipitaron (Propia, 2024).

La importancia de la lluvia ácida recae en que todos estos compuestos ácidos que lleva la lluvia después son arrastrados por el escurrimiento y la infiltración de los suelos, hacia los ríos y mantos acuíferos, contaminándolos. Sin mencionar los efectos que tiene la lluvia ácida sobre los suelos de cultivos y edificaciones.

Un último motivo, que es de preocupar cuando se habla sobre la disponibilidad de agua y las causas que merman este recurso, es la falta de inversión (figura 4) y mantenimiento en las infraestructuras hidráulicas de drenaje público, ya sea pluvial o residual. La razón es que una parte del agua que se drena de la superficie hacia los sistemas de alcantarillados (20%) y una gran parte de agua residual que fluye sobre los drenajes se pierde por filtraciones de las tuberías (50%) que necesitan un



mantenimiento, desperdiciando, llegando acumularse y mezclarse, causando en última instancia, problemas de salud.



**Figura 4.** Inversión realizada, en el período de 2008 a 2017, con respecto a infraestructura de alcantarillado (millones de pesos), en México (INEGI, 2023).

La falta de mantenimiento y mejora de los servicios de drenaje, más específicamente en la falta de un drenaje específico para el agua pluvial, lleva consigo al desperdicio de este recurso, que se traduce en la nula obtención de ingresos verdes por parte de su captación, y, por otro lado, se traduce en inundaciones y saturaciones de los drenajes, que permiten la mezcla de éstas en cuerpos de agua naturales. Los problemas de salud vienen después, con la sociedad lidiando con todo este tipo de problemáticas en su día a día.



## 1.2. Antecedentes

La recolección de agua de lluvia es un tema de importancia en varios estados de la república mexicana, siendo una alternativa que podría ayudar, junto con otras tecnologías, a combatir la escasez de agua que existe en nuestro país. Cada estado tiene sus propios programas que se encargan de gestionar los planes y las acciones que se realizarán para utilizar estas tecnologías, siendo el gobierno el que tiene gran importancia en este tipo de proyectos, ya que es el organismo que se encarga de gestionar la inversión y los objetivos que seguirá el proyecto. Un gran ejemplo de esto es la Ciudad de México, con planes como el *Proyecto Cosecha de Agua de Lluvia en la CDMX*, el cual tiene como objetivo, instalar en varias alcaldías de la Ciudad de México, un Sistema de Captación de Agua Pluvial (SCALL) con materiales bastante baratos, realizando capacitaciones a los usuarios beneficiarios, para que puedan ayudar a limpiar y cuidar de la instalación. Todo esto, supervisado con visitas para revisiones periódicas por parte del personal del programa. Sus resultados, de 2019 a 2023, son de más 62,700 casas con un sistema de recolección de agua pluvial, que les servirán para abastecerse en sus actividades cotidianas (**Aviso por el cual se dan a conocer las reglas de operación del programa Cosecha de Lluvia, 2024**).

Por otro lado, un programa más enfocado a llevar agua para consumo humano a comunidades rurales que no cuentan con este servicio es el programa *PROCAPTAR*, el cual nació el 31 de enero de 2017 como una propuesta para combatir la escasez que estaban viviendo comunidades rurales de entidad, teniendo como objetivo dotar a esta población de técnicas y equipos que fueran accesibles por los bajos costos de los materiales. Esto para solventar carencias como la falta de electricidad para los sistemas de bombeos o la red de distribución (**Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2017**).

Como parte de todas estas iniciativas, el gobierno del municipio de Coacalco de Berriozábal, Estado de México, también ha realizado sus intentos para combatir la crisis de agua que se viene viviendo desde hace unos años, entre los cuales destacan la perforación de nuevos pozos (Zarzaparrillas y Bancomer) con una profundidad de 300 metros, con los cuales buscan dotar de agua potable al tanque de almacenamiento conocido como *Calpulli del Valle*, rehabilitar varios pozos que desde hace un par de años no estaban funcionando de manera adecuada (Héroes II, La



garita II y Bosques del Valle II) y realizar una gran inversión en mantenimiento y modernización de equipos hidráulicos. Todo esto con el fin de dar abasto ante la escasez de agua presentada por los niveles bajos que presenta el *Sistema Cutzamala*.

Aún con estos antecedentes, la captación de agua pluvial es un tema que posee poca divulgación en México, y más aún, en el Estado de México. La consulta de información y estadísticas que sirvan para realizar estudios de esta índole son carentes y es necesario de más transparencia y seguridad de los datos, por parte del gobierno, para que las escuelas y la ciudadanía se involucre más en este tipo de programas sociales – ambientales.

### 1.3. Problemática

El Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco empezó siendo primero una serie de edificios pequeños y salones que fungían como aulas de enseñanza, en esos tiempos, el requerimiento hidráulico no era tan complejo por el diseño de las instalaciones. Como fueron pasando los años, el plantel fue creciendo y con ello también lo hizo su demanda de agua. Al construir más edificios sobre el relieve de la montaña fue logrando que la presión que llegaba a los edificios más arriba fuera mucho menor que la de los edificios más cercanos a la avenida. Esto generó con los años un problema de escasez que el tecnológico fue solucionando a través de la contratación de pipas para darle abasto a estos edificios que no contaban con agua.

Conforme han pasado los años, la problemática se ha incrementado y la solución de la contratación de pipas no ha sido suficiente para darle abasto al plantel. En años recientes, los gobiernos en turno han buscado resolver esta situación creando más pozos para la extracción de agua, pero sin tomar en cuenta, que este tipo de soluciones solo son temporales ante un problema que sigue creciendo.

### 1.4. Justificación

Se busca proponer este proyecto dentro del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco para así poder dar una solución al problema de escasez que existe en el plantel desde hace varios años. El principal beneficiado será la institución, disminuyendo el gasto administrativo que existe por la contratación de servicios externos para el abastecimiento de agua. Aunque no se tiene un cálculo exacto de cuánto podría reducir económicamente el gasto, si se puede deducir que al menos en las



temporadas de meses húmedos (7.3 meses) se podrá abastecer mínimo 1 edificios principal, siendo el edificio B el objeto de estudio, cumpliendo con la dotación mínima diaria por persona establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

### 1.5. Objetivos y líneas de acción

#### 1.5.1. Objetivo General

Diseñar y proponer un Sistema de Captación de Agua Pluvial dentro del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, ubicado y adaptado específicamente en el edificio B, para uso en limpieza de instalaciones y sanitarios.

#### 1.5.2. Objetivos específicos y líneas de acción

En la tabla 1 se mencionan cada una de las etapas del proyecto, los objetivos específicos y las acciones que se tienen que realizar para alcanzar cada objetivo.

**Tabla 1.** Tabla que especifica cada uno de los objetivos específicos del proyecto, así como las acciones que se tienen que realizar para alcanzar dichos objetivos (*Propia, 2024*).

<i>Etapas</i>	<i>Objetivo específico</i>	<i>Acciones para alcanzar el objetivo</i>
<b>a) Caracterizar el lugar de estudio</b>	Revisar la bibliografía sobre los antecedentes de la captación de agua de lluvia, las características del agua pluvial, las condiciones climatológicas y los registros históricos de precipitación en el municipio de Coacalco de Berriozábal, Estado de México.	a) Investigar en bancos de información como INEGI Y SEMARNAT para la comparación de datos. b) Investigar en fuentes electrónicas la información correspondiente.
<b>b) Medir el área de estudio</b>	Obtener las medidas del techo que se ocupará como área de captación.	a) Realizar las mediciones aproximadas a través de <i>Google Earth</i> .
<b>c) Obtener los valores pluviométricos</b>	Calcular a partir de los datos recolectados valores que van a ser necesarios para el diseño del sistema.	a) Obtener los meses ideales para la captación. b) Obtener el caudal total obtenido a partir de la captación del edificio objeto de estudio. c) Obtener las medidas de tuberías, bajantes y canaletas. d) Conocer los valores mínimos y máximos de precipitación.



<p><b>d) Calcular la demanda de agua en el plantel</b></p>	<p>Calcular la demanda y oferta que tendrá el sistema en los diferentes meses del año.</p>	<p>a) Obtener la demanda y oferta hipotética.</p>
<p><b>e) Calcular el volumen de las cisternas</b></p>	<p>Calcular cuál será el valor máximo y mínimo de almacenamiento para obtener el volumen de almacenamiento óptimo para el sistema.</p>	<p>a) Utilizar un método por diferencia a partir de datos pluviométricos para la obtención del volumen de almacenamiento ideal.</p>
<p><b>f) Elaborar el plan de muestreo</b></p>	<p>Plantear un plan de muestreo para el agua pluvial.</p>	<p>a) Delimitar la zona de estudio y establecer un lugar óptimo para la captación del agua pluvial. b) Establecer el recorrido que se hará desde el punto de captación hasta el laboratorio donde se almacenarán las muestras. c) Proponer los conservantes necesarios para la preservación de las muestras. d) Instalar un recipiente en los lugares indicados para la captación del agua de lluvia. e) Limpiar, reciclar y esterilizar botellas de plástico PET o vidrio para el almacenamiento del agua pluvial captada.</p>
<p><b>g) Elaborar el Volumen de Muestra Compuesta (VMC)</b></p>	<p>Realizar el muestreo de al menos 4 días para realizar cálculos para la obtención del Volumen de Muestra Compuesta (VMC) con el objetivo de obtener una muestra más representativa.</p>	<p>a) Almacenar las muestras realizadas de 4 días diferentes. b) Utilizar el método mostrado en la norma de muestreo para agua residual, con la finalidad de obtener el Volumen de Muestra Compuesta (VMC).</p>
<p><b>h) Caracterizar el agua pluvial</b></p>	<p>Realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial captada conforme a la norma pertinente.</p>	<p>a) Disponer de los materiales necesarios para la realización de los análisis fisicoquímicos de <i>Dureza Total</i> y <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> al agua pluvial muestreada. b) Preparar los medios respectivos para el cultivo microbiológico. c) Realizar el cultivo con el agua pluvial muestreada. d) Proceder, después de 3 días, con el conteo de <i>Organismos Coliformes Totales</i>, a través del método de <i>número más probable en tubos múltiples</i>.</p>
<p><b>i) Diseñar el tren de tratamiento</b></p>	<p>Proponer un tren de tratamiento que cumpla con las necesidades del agua a tratar.</p>	<p>a) Investigar en diferentes medios los tratamientos que mejor se adapten a la calidad de agua necesaria antes y después de su tratamiento.</p>



<p><b>j) Calcular las potencias de bombas</b></p>	<p>Buscar por medio del caudal total inmediato obtenido por el edificio objeto de estudio, el consumo de energía media por parte de las bombas.</p>	<p>a) Obtener las fichas técnicas de las bombas a utilizar. b) Calcular la potencia real (HP) de cada una de las bombas.</p>
<p><b>k) Calcular el consumo energético</b></p>	<p>Calcular cuánto se gasta de luz por el uso de bombas, sensores e iluminación durante el período de funcionamiento del sistema.</p>	<p>a) Obtener el consumo total de energía (W). b) Calcular la facturación eléctrica (kWh).</p>
<p><b>l) Cotizar los precios de instalación de la obra</b></p>	<p>Cotizar, a través de <i>Neodata</i>, los diferentes costos de instalación, por cada una de las fases de la obra y establecer un presupuesto general.</p>	<p>a) Cotizar los costos preliminares. b) Cotizar los costos de la instalación hidráulica. c) Cotizar los costos del techado del sistema. d) Calcular el presupuesto total sin IVA. e) Calcular el IVA. f) Calcular el presupuesto total con IVA.</p>
<p><b>m) Contabilizar los equipos a ocupar</b></p>	<p>Buscar especificaciones técnicas de los equipos usados en el sistema y cuanto se ocupará de cada equipo.</p>	<p>a) Elaborar una lista de los equipos a ocupar y cuántos se deben ocupar. b) Agregar el proveedor, las características técnicas del equipo y sus fichas técnicas.</p>
<p><b>n) Diseñar el diagrama de flujo del proceso</b></p>	<p>Realizar un diseño de los procesos que llevará a cabo el sistema.</p>	<p>a) Realizar el diagrama de flujo con su respectiva simbología, basado en la norma.</p>
<p><b>o) Diseñar el sistema en 3-D</b></p>	<p>Diseñar el sistema de captación, así como el edificio que se ocupará para la implementación, en 3-D, para ayudar a la visualización del proyecto y cómo se dispondrá.</p>	<p>a) Usar el programa <i>Sketch Up</i> para levantar el diseño en 3D desde cero del edificio B. b) Diseñar a través del mismo programa el Sistema de Captación de Agua Pluvial.</p>
<p><b>p) Renderizar el diagrama en 3-D</b></p>	<p>Renderizar, con más profundidad, el diseño en 3-D por medio de la adición de texturas, sonidos y efectos especiales para mejorar la calidad visual.</p>	<p>a) Usar el programa de edición de videos <i>Lumion</i> para agregar texturas realistas, vegetación y sonidos ambientales. b) Realizar un video - recorrido, a través de <i>Lumion</i>, para la visualización del proyecto más extenso.</p>
<p><b>q) Editar el video - recorrido del diagrama en 3-D</b></p>	<p>Editar el video - recorrido del diagrama en 3-D para generar un archivo en formato MP4 que muestre el sistema por completo.</p>	<p>a) Utilizar el programa <i>Photoshop</i> para editar el video - recorrido y generar vídeo en formato MP4.</p>
<p><b>r) Registro en el congreso de la mujer - CIO</b></p>	<p>Adaptar un resumen para la postulación del proyecto en el congreso.</p>	<p>a) Realizar un resumen con los datos más importantes del proyecto (de no más de 500 palabras). b) Subir el resumen a la página de <a href="https://congresos.cio.mx/21_enc_mujer_previa/rgTrabajo.php">https://congresos.cio.mx/21_enc_mujer_previa/rgTrabajo.php</a> antes del 8 de marzo.</p>



<p><b>s) Presentar el proyecto en el congreso de la mujer - CIO</b></p>	<p>Exponer el proyecto "<i>Diseño de un Sistema de Captación y Tratamiento de Agua Pluvial en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco: Caso de estudio para el Edificio B</i>" en la sesión 2, el miércoles <u>22 de mayo</u>, de las 16:30 a las 18:30 horas, en las instalaciones del <i>Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.</i></p>	<p>a) Realizar un poster para la presentación, de <i>90 cm</i> de ancho y <i>120 cm</i> de largo, con los datos más relevantes del proyecto y que sea legible a una distancia de <i>2 m</i>.</p>
---	---	--

### 1.6. Meta

Se busca diseñar un Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techo, ubicado en el edificio B, en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, con la finalidad de resolver la problemática de escasez de agua que sufre el plantel desde hace varios años, así como concientizar a las nuevas generaciones acerca del uso responsable de agua.

### 1.7. Alcance

El alcance del proyecto será a nivel local (municipal) y está enfocado en la implementación del sistema en un plantel educativo.

### 1.8. Limitaciones

Las limitaciones que se pueden llegar a tener en el proyecto dependen del alcance que se le pretenda dar al proyecto. Una vez sabiendo esto, las limitaciones que se tendrán son mayoritariamente económicas ya que no hay un organismo que pueda respaldar los gastos que se requieren para el diseño del sistema. También se requieren de una serie de permisos para la recolecta del agua, su análisis, el requerimiento de personal y equipo para el trabajo; y la elaboración de un producto entregable.

Otra limitación que se tiene, y de la cual no se puede tener un control, es el clima en el municipio de Coacalco de Berriozábal, Estado de México, ya que en el municipio suele llover solo la mitad del año, por lo que se tiene que coordinar las fechas para los análisis fisicoquímicos y la experimentación con la época húmeda del municipio.

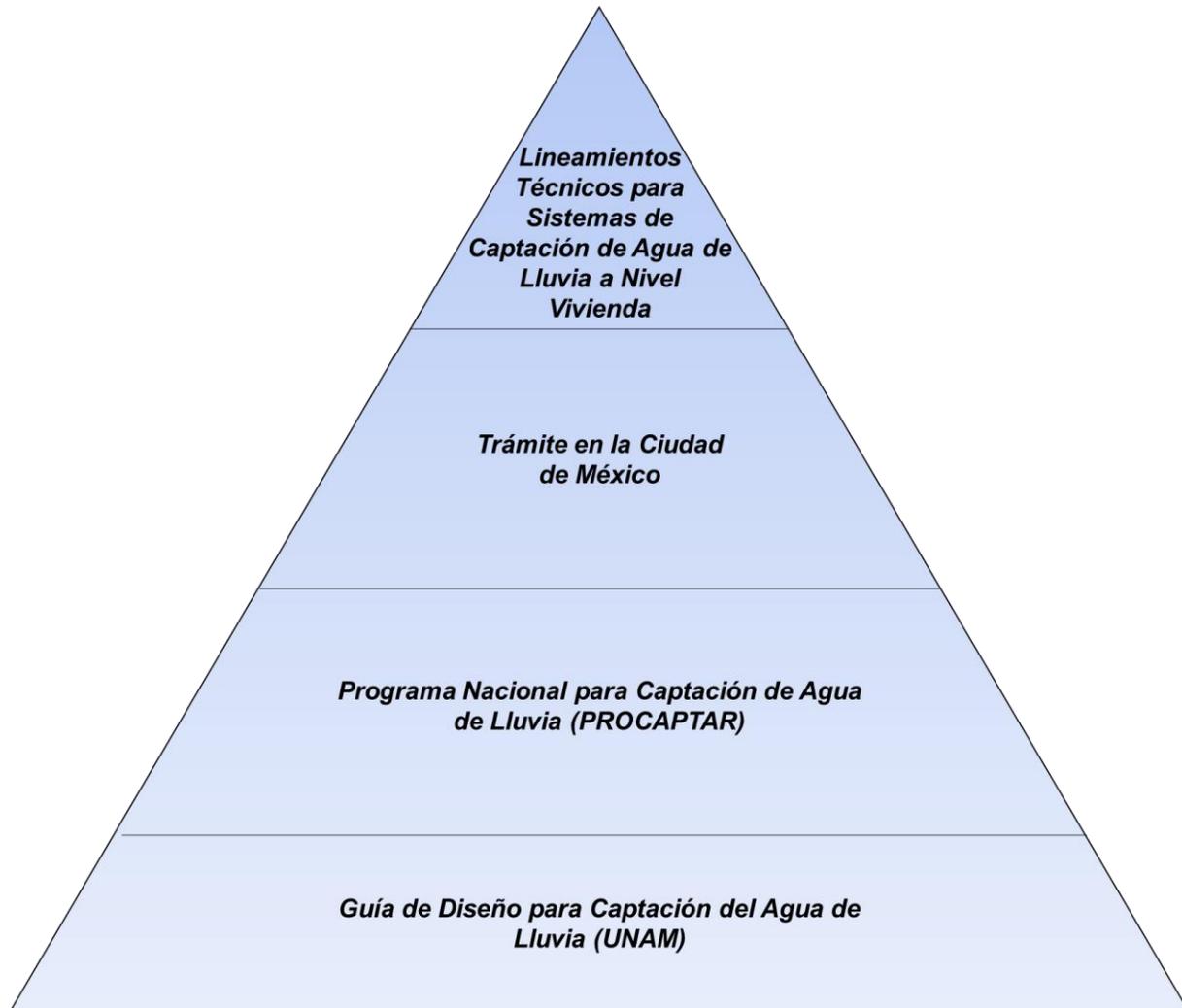


# CAPÍTULO II



## 2. Marco referencial (Marco legal)

### 2.1. Jerarquía legal en Sistemas de Captación de Agua Pluvial



**Figura 5.** Pirámide que muestra la jerarquía legal que se debe tomar en cuenta en el desarrollo del proyecto (Propia, 2024).

### 2.2. Normas sanitarias de calidad de agua nacionales para la industria de servicio y de producción

Estas normas establecen que los servicios de agua potable son responsabilidad de los municipios quienes casi siempre los realizan a través de un organismo operador, quien tiene la función de buscar y seleccionar fuentes de suministro, definir los sistemas de captación y determinar los



esquemas de potabilización y distribución del agua, entre otras cosas. A continuación, se muestran las principales normas mexicanas relacionadas con la calidad del agua:

- ***NOM-127-SSA1-2021***

Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites Permisibles de calidad y tratamientos al que debe someterse el agua para su potabilización. Esta norma establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en el agua destinada al consumo humano, así como los métodos de tratamiento para la potabilización del agua.

- ***NOM-003-SEMARNAT-1997***

Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Define los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales para proteger los cuerpos de agua y el medio ambiente.

- ***NOM-004-SEMARNAT-2002***

Protección Ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y Límites Máximos Permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final: Esta norma establece los criterios y límites para la disposición y reutilización segura de lodos y biosólidos generados en procesos de tratamiento de aguas.

- ***NOM-011-SEMARNAT-2003***

Establece los criterios para clasificar a las aguas residuales y lodos como peligrosos de acuerdo con los componentes que contengan: Define los criterios para clasificar las aguas residuales y lodos como peligrosos en función de su composición química.

- ***NOM-001-SEMARNAT-1996***

Establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, suelos y subsuelos: Esta norma establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales que puedan afectar cuerpos de agua, suelos y subsuelos.



- ***NOM-011-SEMP-1994***

Establece los requisitos de protección ambiental en las actividades de exploración minera: Aunque no es exclusivamente sobre agua, esta norma regula las actividades de exploración minera y establece medidas para prevenir la contaminación de aguas y suelos.

### 2.3. Normas Oficiales Internacionales sanitarias de calidad del agua

a) *Directrices para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS):*

Establecen estándares y recomendaciones internacionales para la calidad del agua potable, incluyendo límites máximos permitidos para una amplia gama de contaminantes.

b) *Directrices de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA):*

La EPA establece estándares de calidad del agua en Estados Unidos, incluyendo los Estándares Primarios de Calidad del Agua Potable, que definen los límites para contaminantes específicos en el agua potable.

c) *Directiva Marco del Agua de la Unión Europea:*

Establece un marco para la gestión sostenible del agua en la Unión Europea, incluyendo la definición de normas de calidad para cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

d) *Directrices para la Calidad del Agua de la Food and Organization (FAO):*

Proporciona directrices para el muestreo de agua en diversas fuentes, contribuyendo a una evaluación precisa de la calidad del agua.

e) *Estándares del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME):*

Proporciona directrices y estándares para la calidad del agua en Canadá.

f) *Normas de la British Standards Institution (BSI):*

El BSI emite normas técnicas, incluyendo las relacionadas con la calidad del agua en el Reino Unido y otros países.



## 2.4. Dependencias nacionales del agua

### 1. CONAGUA - Comisión Nacional del Agua

Principal autoridad en gestión y regulación de recursos hídricos. Busca asegurar la disponibilidad, uso sostenible y protección del agua. Planifica, regula y administra recursos hídricos, e implementa políticas a nivel nacional.

### 2. IMTA – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Organismo público descentralizado que busca desarrollo tecnológico y conocimiento para gestión sostenible del agua. Investiga, asesora y capacita en temas de agua y recursos hídricos.

### 3. SEMARNAT – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Aunque no es exclusiva del agua, supervisa la conservación y uso sustentable de recursos naturales, incluyendo protección y manejo de cuerpos de agua.

## 2.5. Normas aplicables al proyecto

Las normas aplicables en el proyecto son las descritas en la tabla 2, las cuales fueron ocupadas en la realización del proyecto.

**Tabla 2.** Tabla que muestra cada una de las normas aplicables al proyecto (*Propia, 2024*).

<i>No.</i>	<i>NORMA</i>	<i>OBJETIVO</i>	<i>NORMA ACTUALIZADA</i>
1	NMX-AA-3-1980	Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.	15 de junio de 2023



	<b>NOM-001-SEMARNAT-1996</b>	Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.	1 de agosto de 2023
2	<b>NOM-230-SSA1-2005</b>	Esta norma establece los criterios sanitarios para la calidad del agua que se utiliza y consume en sistemas de abastecimiento públicos y privados. Esta norma regula aspectos relacionados con la potabilidad del agua, asegurando que sea segura para la salud humana.	10 de septiembre de 2005
3	<b>NMX-AA-004-SCFI-2013</b>	Esta norma mexicana establece el método de prueba para la medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.	13 de noviembre de 2013
4	<b>NMX-AA-030-SCFI-2012</b>	Esta norma específica un método para la medición de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua. Es aplicable a muestras de aguas naturales crudas no salinas (continentales, subterráneas y pluviales), aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales mediante método de refluo abierto.	15 de junio de 2023
5	<b>NMX-AA-034-SCFI-2015</b>	Esta norma mexicana establece el método para la medición de sólidos y sales disueltas y aplica para aguas naturales, residuales y residuales tratadas.	15 de junio de 2023



<p><b>6</b></p>	<p><b>NMX-AA-042-SCFI-2015</b></p>	<p>La presente norma mexicana especifica el método enumeración en agua de organismos coliformes, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli (E. coli) mediante cultivo en un medio líquido contenido en tubos múltiples y cálculo de su número más probable en la muestra, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.</p>	<p>15 de junio de 2023</p>
<p><b>7</b></p>	<p><b>NMX-AA-072-SCFI-2015</b></p>	<p>Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.</p>	<p>15 de junio de 2023</p>



# **CAPÍTULO III**



### 3. Antecedentes históricos

Desde hace mucho tiempo se tiene la idea de ocupar el agua de lluvia como un sustento ante las necesidades que surgen en las distintas sociedades que han existido. Desde antes de la edad media, hasta la civilización actual, es un tema de interés implementar tecnologías que sirvan para la captación, dirección y almacenamiento del agua pluvial, por lo que se realizó una investigación para encontrar los antecedentes históricos que rodean a la captación de agua pluvial en el mundo.

➤ ***Knossos, Creta y Alhambra, Granada – 1770 a.n.e***

Implementación de techos como áreas de captación, así como la construcción de sistemas de almacenamientos rudimentarios.

➤ ***Venecia – Edad media***

Los sistemas de captación eran muy diferentes a los actuales. Usaban diferentes tipos de arcillas para limitar las áreas donde se captaba el agua y también implementan áreas que servían para filtrar el agua captada. Al final, el agua quedaba a disposición de la gente en un pozo.

➤ ***Imperio romano – Siglo III y IV a.n.e***

Los sistemas de captación eran incluidos en las casas, como un sistema aparte de almacenamiento. Contaban con 3 partes principales:

- a) *Atrio* – que funcionaba como un área de captación, y se encontraba al aire libre.
- b) *Implurium* – era llamado así al agua pluvial que precipitaba.
- c) *Compluvium* – era conocido así al orificio que se encontraba en el área de captación.

➤ ***Turquía***

A través de construcciones de índole religiosa se implementan los sistemas para captar agua de lluvia.

➤ ***Negev, Israel***



Con antigüedad de más de 4000 años, se encontraron estructuras que formaron parte de un sistema de recolección de agua de lluvia para irrigación y tareas del hogar.

➤ ***Gansu, China***

Presencia de estructuras de captación de hace más de 2000 años.

➤ ***Irán***

El *Ab Anbar* fue una construcción para la captación y almacenaje de agua de lluvia que era de acceso al público.

➤ ***Sri Lanka – 1155 y 1186***

Entre esos años, al rey en turno, se le ocurrió la idea de la construcción de un sistema/estructura la cual su principal función fue la captación de agua pluvial.

➤ ***Imperio Maya – Siglo X a.n.e***

La creación de *Chultunes* era una de las formas de recolección de agua de lluvia. La estructura contaba con una gran explanada a nivel del suelo, la cual contaba con ciertas entradas que captaron la escorrentía de la lluvia, y en el centro se tenía un orificio de 5 mm de diámetro que conducía a un depósito de almacenamiento, cubierto con un material impermeabilizante.

➤ ***Belice – 200 d.n.e***

Implementación de varias estructuras de captación y almacenamiento de agua pluvial con motivo de disponibilidad de este recurso en temporadas secas.

➤ ***Namibia y Botsuana***

Utilización de cascarones de huevo de avestruz para la captación y almacenamiento de agua pluvial.



# CAPÍTULO IV



## 4. Marco Conceptual – Teórico

### 4.1. Revisión del estado de la técnica

El estado de la técnica es la revisión de los diferentes trabajos que se han realizado dentro del área de estudio del proyecto trabajado, en este caso, la implementación de Sistemas de Captación de Agua Pluvial. En la tabla 3, se muestran los diferentes trabajos relacionados con este tema, las conclusiones de los autores de dichos trabajos y las aportaciones al trabajo presente.

**Tabla 3.** Tabla que muestra diferentes trabajos relacionados con el tema de investigación y los diferentes aportes al trabajo realizado (Propia, 2024).

Autores	Datos del artículo	Conclusiones de los autores	Aportaciones al trabajo de investigación
Dr. Hari J. Krishna	The Texas Manual on Rainwater Harvesting, Texas Water Development Board, 3ra edición, 2005.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Define los componentes de un Sistema de Captación de Agua Pluvial.</li> <li>2. Profundiza en los tratamientos y en los estándares de calidad.</li> <li>3. Estima costos y muestra alternativas financieras.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Imágenes de referencia de los componentes del sistema.</li> <li>-Información de los tratamientos y sus costos.</li> <li>-Información de los tipos de almacenamiento y sus costos.</li> </ul>
Organización Panamericana de la Salud	GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS/OPS, 2004.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Propone una guía de diseño mostrando;</li> <li>2. Ventajas y desventajas,</li> <li>3. Factibilidad económica y social, así como los componentes del sistema.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Método para el “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento”.</li> <li>-Diseño de las tablas de Excel para la memoria de cálculo.</li> </ul>



<p>1.- Marco R. Hernández 2.- Floriana Hernández Martínez</p>	<p>Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. GEM, TIES Cuencas Sanas y Modos de Vida Sustentable Series de Manuales de Capacitación, 2008.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Define los componentes de un Sistema de Captación de Agua Pluvial, mostrando;</li> <li>2. Ventajas y desventajas de los diferentes componentes, y</li> <li>3. Costos de los distintos tipos de materiales.</li> </ol>	<p>-Imágenes de referencia de los componentes del sistema. -Costos específicos del material de concreto.</p>
<p>1.- Mosqueda Cervantes Saraí Valeria 2.- Martínez Ocaña Fernando Daniel</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA PLUVIAL PARA EL CBT TULTITLÁN, TESCO, 2021.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La inversión económica para el planteamiento del proyecto puede variar dependiendo de la fecha en que se vaya a llevar a cabo el proyecto y también dependerá del costo de los materiales empleados para su obra principalmente del precio del acero que regularmente su costo aumenta con el paso del tiempo.</li> <li>2. La recuperación de lo invertido se pretende en un periodo de 3 años y a largo plazo los ahorros tanto económicos como hídricos serán las cuestiones más importantes.</li> <li>3. El diseño propuesto para el sistema de captación de agua pluvial es eficiente, esto quiere decir que no habrá fugas o desperdicio de agua, y autónomo, pues contará con un sistema de bombeo automático que utiliza sensores para ser más eficiente.</li> </ol>	<p>-Ejemplos de cómo implementar el diseño del SCALL al TESCO. -Tiempos aproximados de retorno de la inversión. -Ejemplo aproximado de la inversión total del proyecto.</p>



## 4.2. Caracterización de las aguas

### 4.2.1. Parámetros que determinan la calidad del agua

#### 4.2.1.1. Principales parámetros biológicos

Los parámetros biológicos mostrados a continuación son los más relevantes mencionados en la normatividad mexicana. Su importancia radica en lo necesarios que son al momento de querer saber si la calidad de un afluente es buena para un uso final humano.

**Tabla 4.** Principales parámetros biológicos mencionados en la normatividad mexicana vigente (Mendoza, 2022).

<i>Parámetro Biológico</i>	<i>Descripción</i>	<i>Importancia de su análisis</i>
<b>Coliformes totales</b>	Indican la posible contaminación fecal y la presencia de agentes patógenos como bacterias y virus.	Importantes para evaluar la seguridad del agua para el consumo humano y recreación.
<b>Coliformes fecales</b>	Bacterias específicas que indican contaminación por desechos humanos.	Indican la presencia de patógenos transmitidos por el agua.
<b>Enterococos</b>	Bacterias que indican la presencia de contaminación fecal.	Señal de riesgo para la salud y posible contaminación.
<b>Escherichia Coli.</b>	Se miden para detectar la presencia de bacterias.	Indicador de contaminación fecal y riesgo para la salud. Causante de enfermedades gastrointestinales.
<b>Salmonella</b>	Bacteria que puede causar enfermedades gastrointestinales.	Indica contaminación fecal y posible riesgo para la salud.
<b>Giardia y Cryptosporidium</b>	Protozoos que indican la posible contaminación por aguas residuales o fecales.	Pueden causar enfermedades como la giardiasis.
<b>Helmintos (Parásitos)</b>	Su presencia puede indicar contaminación fecal y el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua.	Pueden causar infección por lombrices intestinales.
<b>Virus</b>	Se analizan para detectar virus que pueden causar enfermedades.	Pueden causar enfermedades gastrointestinales.



<b>Fitoplancton</b>	Se analizan para conocer los cambios en los nutrientes y contaminantes.	Indicador de la salud del ecosistema acuático y de la calidad del agua.
<b>Zooplancton</b>	Importante para el funcionamiento de la cadena alimenticia acuática.	Sirve para evaluar el equilibrio del ecosistema.

4.2.1.2. *Principales parámetros químicos*

Los constituyentes químicos en un afluente son una parte fundamental a la hora de hablar de la calidad del agua, en estos recae la importancia de hablar sobre parámetros tan relevantes como la cantidad de oxígeno disuelto en un agua, su alcalinidad o acidez, y hasta cuantos nutrientes o metales pesados existen en ella. Pero su mayor importancia está en indicar que tan tóxica o dañina puede ser un agua para el ser humano o el ambiente.

**Tabla 5.** *Principales parámetros químicos mencionados en la normatividad mexicana vigente (Mendoza, 2022).*

<b><i>Parámetro químico</i></b>	<b><i>Descripción</i></b>	<b><i>Importancia de su análisis</i></b>
<b>pH</b>	Mide la acidez o alcalinidad del agua.	Es importante porque puede afectar a la solubilidad de los contaminantes y la supervivencia de los organismos acuáticos, además, puede afectar su sabor, olor y su apariencia, lo que puede influir en su aceptabilidad para el consumo humano. Ayuda a determinar si el agua es adecuada para distintos usos.
<b>Oxígeno disuelto (OD)</b>	Indica la cantidad de oxígeno presente en el agua.	Es un parámetro importante en la calidad del agua, ya que es esencial para la supervivencia de la mayoría de las especies acuáticas.
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	Mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica.	Evalúa la contaminación orgánica y la capacidad del agua para mantener la vida acuática.



<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	Mide la cantidad de oxígeno requerida para oxidar compuestos orgánicos e inorgánicos.	Indica la carga total de contaminantes y sustancias oxidables en el agua.
<b>Nutrientes (nitratos, fosfatos)</b>	Evalúan la concentración de nutrientes que pueden causar problemas de eutrofización.	Ayudan a controlar el crecimiento excesivo de algas y su impacto en el ecosistema.
<b>Metales pesados</b>	Miden la presencia de metales tóxicos en el agua.	Indican posibles fuentes de contaminación industrial, como la minería y su riesgo para la salud humana y el ambiente.
<b>Sólidos Disueltos Totales (SDT)</b>	Indican la presencia de minerales, metales y sales disueltas, que representan un riesgo para la salud humana y el ambiente.	Afectan la claridad del agua, la salud de los ecosistemas acuáticos y pueden ser indicativos de contaminantes.
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	Cuantifican partículas y sustancias presentes en el agua.	Puede indicar turbidez y sedimentación, afectando la transparencia y la vida acuática.
<b>Compuestos orgánicos</b>	Identifican sustancias orgánicas, incluyendo contaminantes como pesticidas, hidrocarburos y productos químicos industriales.	Ayudan a evaluar la calidad del agua y a detectar posibles contaminantes que pueden ser tóxicos y perjudiciales para la salud humana y el ambiente.

*4.2.1.3. Principales parámetros físicos*

Los parámetros físicos son conocidos por su importancia a la hora de saber, a simple vista, la calidad de un agua aproximadamente. Con este tipo de parámetros podemos conocer datos tan importantes como el color, el olor, la turbiedad y la temperatura de un afluente, y con esto determinar si su calidad aparenta ser buena o mala. Son el primer contacto antes de que, a un agua después de muestrear, se le realice sus análisis fisicoquímicos y microbiológicos pertinentes.

**Tabla 6.** Principales parámetros físicos mencionados en la normatividad mexicana vigente (Mendoza, 2022).



<b>Parámetro físico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Importancia de su análisis</b>
<b>Temperatura</b>	Es una medida de la cantidad de calor que tiene un objeto o sustancia. Es una propiedad física que se puede medir con termómetro y se expresa en grados Celsius o Fahrenheit.	Puede afectar la solubilidad de los contaminantes y la supervivencia de los organismos acuáticos. Además, la temperatura del agua puede afectar su sabor, olor y apariencia, lo que puede influir en su aceptabilidad para el consumo humano.
<b>Color</b>	El color del agua se refiere a la apariencia visual que tiene el agua cuando la observamos. Es una característica física que puede variar desde el agua incolora y transparente hasta tonalidades verdosas, marrones e incluso más oscuras.	El color del agua puede revelar condiciones físicas, químicas y bacteriológicas. El agua pura no tiene color, pero la presencia de elementos disueltos o impurezas suspendidas pueden dar al agua un color diferente que puede ser un indicador de su calidad y revelar condiciones físicas, químicas y bacteriológicas.
<b>Olor</b>	El olor del agua se refiere a la percepción olfativa que tenemos cuando olemos el agua. El agua suele ser inodora o no tener un olor distintivo en su estado natural y limpio. Sin embargo, ciertas circunstancias pueden afectar su olor.	El olor del agua puede variar dependiendo de factores como la presencia de ciertos compuestos químicos, como <i>sulfuro de hidrógeno</i> (olor a huevo podrido) o compuestos orgánicos en descomposición (olor a tierra y humedad). En algunos casos, el olor del agua puede ser indicador de problemas de calidad, como la presencia de contaminantes o la falta de tratamiento adecuado.
<b>Turbidez</b>	La turbidez del agua se refiere a la falta de transparencia o claridad del líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos en suspensión en el agua, mayor la turbidez y más "sucia" parecerá el agua.	La turbidez es considerada un indicador importante de la calidad del agua, ya que puede estar relacionada con la presencia de contaminantes, sedimentos, materia orgánica o algas. Altos niveles de turbidez pueden afectar la calidad del agua y reducir la concentración de oxígeno, lo cual puede tener consecuencias negativas para los organismos acuáticos.



<p><b>Conductividad</b></p>	<p>La conductividad del agua se refiere a su capacidad para conducir electricidad. Esta capacidad se debe a la presencia de iones disueltos en el agua, que son capaces de transportar cargas eléctricas.</p>	<p>El agua pura prácticamente no conduce la electricidad, pero cuando se disuelven sales en el agua, se disocian en iones cargados positivamente (cationes) y negativamente (aniones), lo que le da la capacidad de conducir la electricidad. La medición de la conductividad del agua es importante para evaluar su calidad y determinar su idoneidad para diferentes usos.</p>
-----------------------------	---	--

4.2.1.4. *Principales parámetros radiológicos*

Los parámetros radiológicos son aquellos indicadores que están relacionados con la radiactividad que puede estar presente en un afluente. Su mecanismo se basa en los núcleos de los átomos que se encuentran inestables y se desprenden partículas de estos a velocidades relativistas. Su importancia recae en el daño que puede generar a las células y al material genético. Su presencia en el agua puede generar con el tiempo daño congénito.

**Tabla 7.** Principales parámetros radiológicos mencionados en la normatividad mexicana vigente (*Mendoza, 2022*).

<i>Parámetro radiológico</i>	<i>Descripción</i>	<i>Importancia de su análisis</i>
<p><b>Radiactividad alfa total</b></p>	<p>Mide la cantidad total de radiactividad alfa presente en el agua. La radiactividad alfa se refiere a la emisión de partículas alfa, que son núcleos de helio cargados positivamente.</p>	<p>Es importante medir la radiactividad alfa en el agua para evaluar la exposición a la radiación y determinar si el agua es segura para el consumo humano. Las partículas alfa pueden ser peligrosas si se ingieren o inhalan, ya que pueden dañar los tejidos y aumentar el riesgo de cáncer.</p>



<p><b>Radiactividad beta total</b></p>	<p>Mide la cantidad total de radiactividad beta presente en el agua. Es una forma de radiación ionizante que se produce cuando un núcleo atómico emite una partícula beta, que puede ser un electrón o un positrón. Las partículas beta tienen una carga eléctrica negativa o positiva y una masa muy pequeña en comparación con las partículas alfa.</p>	<p>Es importante medir la radiactividad beta en el agua para evaluar la exposición a la radiación y determinar si el agua es segura para el consumo humano. Las partículas beta pueden penetrar en los tejidos y causar daño celular.</p>
--	---	---

#### 4.2.2. Límites Permisibles

Los Límites Permisibles (LP) son los valores indicados por la normatividad mexicana relacionados con la contaminación permitida en un efluente. Estos valores indican un equilibrio entre tener una calidad del agua pertinente para cualquier tipo de uso humano, y por el otro lado, que existan ciertos parámetros de manera normal, como en cualquier agua natural del mundo.

##### 4.2.2.1. Especificaciones sanitarias físicas

Los contaminantes físicos son aquellos que afectan la visibilidad de un agua, enturbian el medio y no permiten que los rayos del sol entren y doten de la química necesaria para las plantas acuáticas y los microorganismos.

**Tabla 8.** Límites Permisibles de parámetros físicos mencionados en la normatividad mexicana vigente (*Secretaría de Salud [SSA], 2021*).

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Turbiedad</b>	4	UNT
<b>pH</b>	6.5 a 8.5	Unidades de pH
<b>Color Verdadero</b>	15	UC

##### 4.2.2.2. Especificaciones sanitarias químicas



Los contaminantes químicos tienden a afectar la constitución del agua en el que se encuentran. Su efecto puede tener un gran efecto en el afluente y si no son tratadas correctamente, pueden terminar teniendo consecuencias graves sobre la salud humana. Las sales, los diferentes tipos de nitrógenos y las Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), provenientes de diferentes descargas de aguas, tienen su origen en actividades antropogénicas y naturales, pero un desequilibrio de estas en los medios acuáticos puede traer diferentes consecuencias.

**Tabla 9.** Límites Permisibles de parámetros químicos mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permissible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Cianuros totales</b>	0.07	mg/L
<b>Dureza total como CaCO<sub>3</sub></b>	500	mg/L
<b>Fluoruros como F<sup>-a</sup></b>	1.5	mg/L
<b>Nitrógeno amoniacal (N – NH<sub>3</sub>)</b>	0.5	mg/L
<b>Nitrógeno de nitratos (N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	11	mg/L
<b>Nitrógeno de nitritos (N – NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>	0.9	mg/L
<b>Sólidos disueltos totales</b>	1000	mg/L
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)</b>	400	mg/L
<b>Sustancias activas al azul de metileno</b>	0.5	mg/L

4.2.2.3. *Especificaciones sanitarias de metales y metaloides*

Los metales pesados son contaminantes provenientes de las descargas de aguas residuales industriales. Su presencia en la lluvia nos indica una posible contaminación atmosférica por parte de industrias cercanas y conlleva a que no pueda ser aprovechable ese recurso. Su efecto en los seres humanos y el ambiente puede llevar a daños severos e irreparables.

**Tabla 10.** Límites Permisibles de parámetros de metales y metaloides mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).



<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Aluminio</b>	0.2	mg/L
<b>Arsénico</b>	0.025	mg/L
<b>Bario</b>	1.3	mg/L
<b>Cadmio</b>	0.005	mg/L
<b>Cobre</b>	2	mg/L
<b>Cromo total</b>	0.05	mg/L
<b>Hierro</b>	0.3	mg/L
<b>Manganeso</b>	0.15	mg/L
<b>Mercurio</b>	0.006	mg/L
<b>Níquel</b>	0.07	mg/L
<b>Plomo</b>	0.01	mg/L
<b>Selenio</b>	0.04	mg/L

4.2.2.4. *Especificaciones sanitarias microbiológicas*

La presencia de microorganismos en el agua nos puede indicar la existencia de materia orgánica o materia fecal. Esto significa que el nivel de contaminación del agua puede ser alto y su uso no es recomendable para potabilización. En algunos casos, como contacto indirecto, no representa un peligro, pero siempre es necesario llevar a cabo un proceso de desinfección para asegurar una calidad del agua idónea.

**Tabla 11.** *Límites Permisibles de parámetros microbiológicos mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).*

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b><i>E. coli</i> o Coliformes termotolerantes</b>	< 1.1 ó No detectable	NMP/100 mL
	< 1	UFC/100 mL
	Ausencia	Ausencia o Presencia/100 mL
<b><i>Giardia lamblia</i></b>	Ausencia	Quistes/20 L

4.2.2.5. *Especificaciones sanitarias de fitotoxinas*



Las fitotoxinas, dentro del mundo de los contaminantes, son productos producidos de manera antropogénica, por parte de los herbicidas o productos químicos creados en las industrias, pero también tienen un origen natural, por parte de las plantas y los microorganismos. En el caso específico de la *Microcistina - LR*, esta se encarga de inhibir la producción de proteínas fosfatadas en las células vivientes, por lo que afecta a el metabolismo, por lo tanto, a su propio funcionamiento.

**Tabla 12.** *Límites Permisibles de parámetros de fitotoxinas mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).*

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Microcistina-LR</b>	1	$\mu\text{g/L}$

4.2.2.6. *Especificaciones sanitarias de radiactividad*

La radiactividad es controlada por una de las cuatro fuerzas fundamentales que ocurren en un núcleo atómico. De las cuatro, la *fuerza débil* es la que se encarga de la desintegración de los núcleos de los átomos. Esto hace que partículas del mismo se desprendan a velocidades cercanas a la de la luz, atacando las paredes celulares y organelos de una célula, modificando su material genético y ocasionando defectos en el ADN. Por lo que podrían provocar cáncer u otras enfermedades congénitas.

**Tabla 13.** *Límites Permisibles de radiactividad mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).*

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Radiactividad alfa total</b>	0.5	Bq/L
<b>Radiactividad beta total</b>	1	Bq/L

4.2.2.7. *Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección*



El cloro o el yodo son utilizados, dentro de los tratamientos de aguas, para la eliminación de microorganismos y materia orgánica presente en está. Esta parte del tratamiento es conocida como desinfección o cloración. El mecanismo ocurre a través de la conversión del cloro, en unión con el agua y la materia orgánica, en otros compuestos que ayudan a seguir desinfectando el agua y teniendo un efecto similar con el paso del tiempo. A estos productos que siguen en el agua actuando como agentes desinfectantes se les conoce como *cloro residual libre* o *yodo residual libre*. Su importancia en el agua no exime que un exceso de está puede llegar a causar algún efecto en la salud o el ambiente.

**Tabla 14.** *Límites Permisibles de parámetros de residuos de la desinfección mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).*

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Cloro residual libre</b>	0.2 a 1.5	mg/L
<b>Yodo residual libre</b>	0.2 a 1.5	mg/L
<b>Plata total</b>	0.05 a 0.1	mg/L

4.2.2.8. *Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección – trihalometanos*

Los compuestos *trihalometanos* son creados a partir de la unión del cloro, metano y el agua a desinfectar, creando compuestos de desinfección que cumplen la función de seguir eliminando la materia orgánica y microorganismos presentes en el agua. Estos son conocidos como las *monocloraminas*, *dicloraminas* y *tricloraminas*; y aunque su función es mejorar la calidad de un agua, su presencia en exceso puede tener efectos adversos en la salud (carcinógenos) y el ambiente.

**Tabla 15.** *Límites Permisibles de parámetros de compuestos trihalometanos mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).*

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Bromodiclorometano</b>	60	$\mu\text{g/L}$



<b>Bromoformo</b>	100	$\mu\text{g/L}$
<b>Cloroformo</b>	300	$\mu\text{g/L}$
<b>Dibromoclorometano</b>	100	$\mu\text{g/L}$

4.2.2.9. *Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - ácidos haloacéticos*

Los ácidos haloacéticos son de los subcompuestos más comunes en los procesos de desinfección. Son potencialmente tóxicos y ocurren con la mezcla de químicos como el cloro, las cloraminas o el ozono, que son ocupados frecuentemente en la potabilización de agua. Al interactuar estos con el bromuro natural de algunas aguas o la materia orgánica se suelen formar estos compuestos altamente nocivos. Es por eso que la normatividad mexicana estipula un Límite Permissible para su detección.

**Tabla 16.** Límites Permisibles de parámetros de ácidos haloacéticos mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permissible</i>	<i>Unidades</i>
		$\mu\text{g/L}$
<b>Ácido cloroacético</b>	20	$\mu\text{g/L}$
<b>Ácido dicloroacético</b>	50	$\mu\text{g/L}$
<b>Ácido tricloroacético</b>	200	$\mu\text{g/L}$

4.2.2.10. *Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección – aniones*

Cuando hablamos de aniones como subproductos de la desinfección, estamos hablando de átomos o grupos de átomos que se desprenden de la reacción que ocurre cuando el cloro entra en contacto con la materia orgánica. Aunque su presencia puede servir como indicadores de eficiencia de un proceso de desinfección, también son vinculados con problemas de salud, incluyendo efectos cancerígenos.

**Tabla 17.** Límites Permisibles de parámetros de aniones mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).



<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Bromatos</b>	10	$\mu\text{g/L}$
<b>Cloratos</b>	700	$\mu\text{g/L}$
<b>Cloritos</b>	700	$\mu\text{g/L}$

4.2.2.11. *Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección – carbonilos*

Los compuestos *carbonilos* son creados, de manera indeseada, en la desinfección del agua gracias a reacciones complejas que interactúan con el cloro u otros compuestos presentes en él. Su característica principal en estos compuestos es la presencia de un enlace doble con un oxígeno presente en la molécula y tienen una gran importancia ya que pueden afectar a la salud, teniendo efectos sobre el ADN, las proteínas y otras biomoléculas, dando lugar a efectos mutagénicos y cancerígenos. También proveen al agua desinfectada un mal olor y sabor; y, por otro lado, afectan al tratamiento posterior de estas aguas cuando se busca eliminarlas.

**Tabla 18.** *Límites Permisibles de parámetros de carbonilos mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).*

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
<b>Formaldehído</b>	900	$\mu\text{g/L}$

4.2.2.12. *Especificaciones sanitarias de compuestos orgánicos sintéticos*

Los compuestos orgánicos sintéticos son aquellos que derivan de la creación humana. Son creados en laboratorio y tienen múltiples usos y fines, ya sea en fármacos, plásticos, tintes o pigmentos; y aunque sus beneficios son varios, también abundan sus defectos, ya que dañan el ambiente, siendo persistentes a la degradación natural, suelen ser tóxicos para los organismos que viven en el ecosistema, y si se usan en fármacos, pueden crear resistencia a los antibióticos.

**Tabla 19.** *Límites Permisibles de parámetros de compuestos orgánicos sintéticos mencionados en la normatividad mexicana vigente (SSA, 2021).*

<i>Parámetros</i>	<i>Límite Permisible</i>	<i>Unidades</i>
-------------------	--------------------------	-----------------



<b>Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles fijos</b>		0.1	mg/L
<b>Compuestos orgánicos no halogenados</b>		0.025	mg/L
<b>Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables</b>		0.005	mg/L
<b>Compuestos orgánicos volátiles no halogenados</b>	<i>Benceno</i>	10	$\mu\text{g/L}$
	<i>Estireno</i>	20	$\mu\text{g/L}$
	<i>Etilbenceno</i>	300	$\mu\text{g/L}$
	<i>Tolueno</i>	700	$\mu\text{g/L}$
	<i>Xilenos (suma de isómeros ortos, meta y para)</i>	500	$\mu\text{g/L}$

4.2.3. Efectos en la salud humana relacionados con el consumo de agua contaminada con metales pesados y metaloides

Los metales pesados y metaloides son contaminantes de gran efecto en la salud si se encuentran presentes en un agua para consumo humano o potable. Los efectos varían dependiendo del metal pesado que se trate, pero algunos de ellos son mencionados en la tabla 20.

**Tabla 20.** Efectos a la salud ocasionados por metales pesados o metaloides (*Propia, 2024*).

<i>Metal pesado o metaloide</i>	<i>Efecto en la salud</i>
<b>Zinc</b>	Náuseas, Vómitos, Diarrea, Dolor de estómago, Debilidad, Interfiere en la absorción de minerales.



<p><b>Cobre</b></p>	<p>Daño hepático, Problemas neurológicos, Afectaciones al sistema nervioso, Temblores, Movimientos involuntarios, Deterioro mental.</p>
<p><b>Níquel</b></p>	<p>Dermatitis, Asma ocupacional, Hipersensibilidad respiratoria.</p>
<p><b>Cadmio</b></p>	<p>Enfisema pulmonar, Bronquitis crónica, Daño renal, Osteoporosis, Insuficiencia renal, Enfermedad renal crónica, Cáncer de pulmón y próstata.</p>
<p><b>Plomo</b></p>	<p><i>En bajas cantidades:</i> Problemas de comportamiento, Puede afectar al cerebro y el sistema nervioso; <i>En altas cantidades:</i> Daños permanentes en el cerebro y el sistema nervioso, Convulsiones, Coma, Pérdida del control muscular.</p>
<p><b>Mercurio</b></p>	<p>Trastornos neurológicos, Pérdida de coordinación, Problemas de audición, Convulsiones, Debilidad muscular, Problemas de visión, Daño cerebral.</p>
<p><b>Cromo (Cr VI)</b></p>	<p>Irritación de la piel, Irritación de las vías respiratorias, Dermatitis, Dificultad para respirar, Asma ocupacional, Cáncer de pulmón y seno.</p>



<b>Arsénico</b>	Cáncer de piel, Cáncer de pulmón, Cáncer de vejiga.
-----------------	---

### 4.3. Fundamento Teórico

#### 4.3.1. Captación de agua pluvial

Los métodos de muestreo consisten en la extracción de una porción considerada como representativa de una masa de agua residual con el propósito de examinar diversas características definidas, en este caso, el grado de contaminación por bifenilos policlorados. La eficaz realización de un análisis empieza con el cuidado que se debe tener al tomar la muestra de agua residual. Las diversas muestras que se pueden obtener son las siguientes:

- **Simple:** Muestras representativas tomadas de una fuente o masa de agua de composición constante, tanto en el tiempo como en el espacio.
- **Compuestas:** Son las mezclas de muestras simples recogidas en el mismo punto en distintos momentos, cuyo volumen en la composición es proporcional al caudal. Se suelen denominar muestras compuesta-tiempo.
- **Integradas:** Son mezclas de muestras simples que se recogen en distintos puntos al mismo tiempo. Muestras compuestas-espacio. Para el caso de muestras a las cuales se les va a determinar PCB, es necesario que su recolección sea puntual, en un recipiente de vidrio ámbar protegido con sello de aluminio y/o tapa de teflón, totalmente llena.

#### 4.3.2. Análisis microbiológicos

Inoculación de alícuotas de muestra, diluida o no diluida, en una serie de tubos en medio líquido selectivo conteniendo lactosa.

Examen de tubos después de 24 h y de 48 h incubados a  $35\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ . Subcultivo de cada tubo que muestre turbidez y producción de gas en un medio confirmativo más selectivo y, cuando se busca *E. coli* se subcultivo en un medio donde pueda ser demostrada la formación de indol.

Incubación de estos medios confirmativos por un periodo de 24 h a  $48\text{ h} \pm 3\text{ h}$  ya sea a  $35\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$  para la enumeración de organismos coliformes y de  $44,5\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$  por 22 a 26 h para organismos coliformes termotolerantes y *E. coli*.

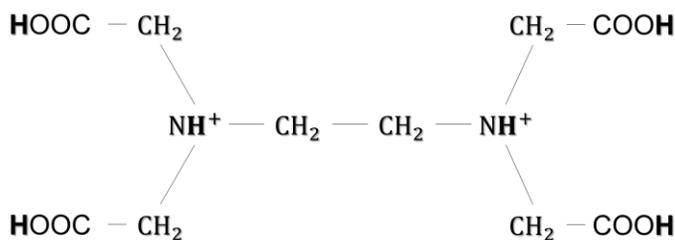
Mediante tablas estadísticas, cálculo del número más probable (NMP) de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *E. coli* expresadas como contenidas en 100 ml de la muestra a partir del número de tubos positivos en los resultados confirmativos.

### 4.3.3. Análisis fisicoquímicos

#### 4.3.3.1. Dureza total

#### Fundamento teórico

Fundamento Las reacciones de formación de complejos pueden utilizarse en análisis volumétrico para la determinación de casi todos los iones metálicos. Como agentes complejantes se utilizan con asiduidad algunas aminas con grupos de ácido carboxílico. El ácido etilendiamino-tetraacético (abreviado EDTA) es el más ampliamente utilizado de esta clase de compuestos. Su estructura se muestra en la figura 6.



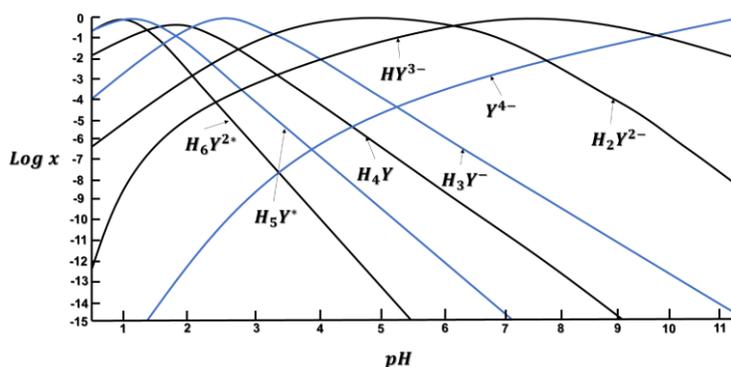
**Figura 6.** Estructura del EDTA. Los átomos de H ácidos se indican en negra (*Propia, 2024*).

Como se puede observar, el EDTA es un sistema hexaprótico. El EDTA es un ácido débil para el cual  $p_{k_1} = 0.0$ ,  $p_{k_2} = 1.5$ ,  $p_{k_3} = 2.0$ ,  $p_{k_4} = 2.66$ ,  $p_{k_5} = 6.16$ ,  $p_{k_6} = 10.24$ .



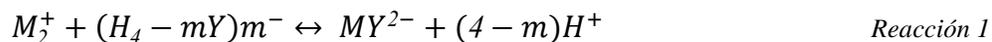
Los cuatro primeros valores se refieren a los protones carboxílicos (que se perderán con mayor facilidad) y los dos últimos a los de amonio.

Emplearemos las abreviaturas habituales  $H_6Y_{2+}$ ,  $H_5Y^+$ ,  $H_4Y$ ,  $H_3Y^-$ ,  $H_2Y^{2-}$ , ..., genéricamente  $(H_4 - mY)^{m-}$ , para referirnos a las especies iónicas del EDTA con distinto grado de disociación (desprotonación). En la figura 7 se representa la fracción molar de estas especies en función del pH de la disolución.

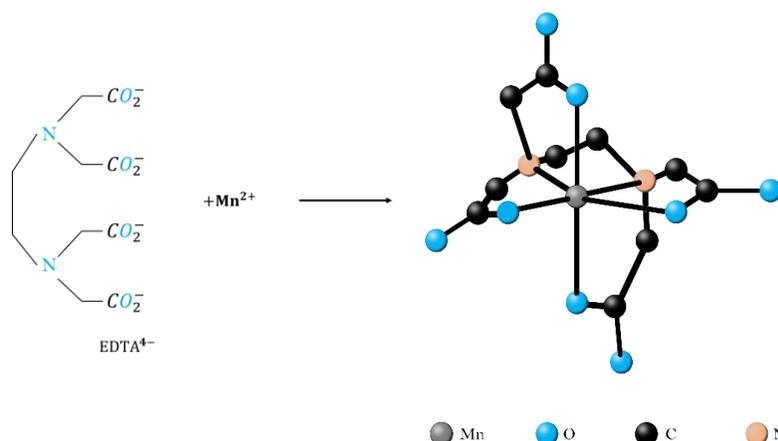


**Figura 7.** Fracciones molares de los derivados iónicos del EDTA en función del pH. Nótese que las escalas son logarítmicas (Propia, 2024).

La desprotonación (pérdida de  $H^+$  por hidrólisis) de los grupos carboxílicos y amonio en disolución hace posible la formación de complejos estables 1:1 entre el EDTA y una gran variedad de iones metálicos multivalentes  $Mn^{+}$  ( $n > 1$ , no se incluyen los metales alcalinos:  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , ...). Para  $n = 2$  (en el caso de los alcalinotérreos) la reacción de acomplejación se puede resumir como sigue:



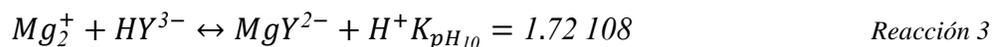
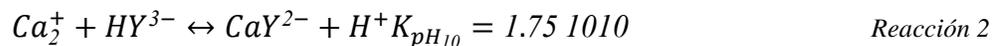
Por ejemplo, el EDTA totalmente desprotonado ( $Y^{4-}$ ) con el manganeso ( $Mn^{2+}$ ) forma un complejo hexacoordinado ( $MnY^{2-}$  mediante enlaces con los cuatro hidrógenos y los dos nitrógenos, tal y como se representa en la figura 8.



**Figura 8.** Complejo hexacoordinado EDTA-Mn (Propia, 2024).

Atendiendo a la reacción 1 y la figura 8, la formación de estos complejos estará condicionada por la concentración relativa de los distintos iones del EDTA y, por tanto, por el pH. Normalmente, el control del pH de la disolución y/o la adición de agentes enmascarantes (que impidan la asociación del EDTA con alguno de los cationes) permite controlar las interferencias y aumentar la selectividad en las valoraciones. En el caso del  $Ca^{2+}$  y el  $Mg^{2+}$ , sin embargo, las constantes de formación de los complejos están demasiado próximas entre sí como para poder valorar independientemente cada uno de ellos por lo que es común realizar la determinación conjunta de ambos (dureza total del agua).

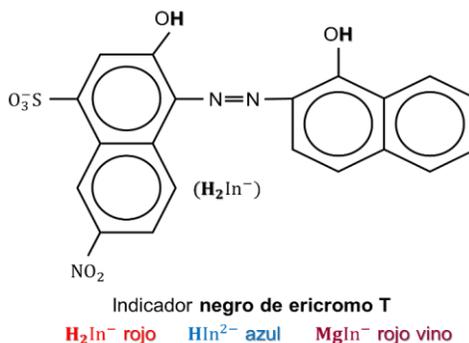
Su valoración con EDTA a pH 10 (controlado por un tampón de cloruro amónico/amoniaco) y con negro de eriocromo T como indicador (ver más abajo). Las reacciones de complejación con sus correspondientes constantes aparentes de equilibrio son:



ya que a pH 10 la especie del EDTA que predomina es el  $HY^{3-}$  (ver figura 7).

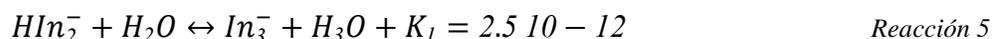
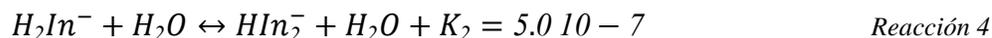
El pH no debe ser mucho más elevado de 10, ya que se produciría la precipitación de hidróxidos de los metales que se quieren valorar y la reacción con el EDTA sería muy lenta. El magnesio, que de todos los cationes comunes multivalentes en muestras típicas de agua es el que forma el

complejo menos estable con el EDTA, no se valora hasta que se ha añadido cantidad suficiente de reactivo para acomplejar los demás cationes de la muestra.

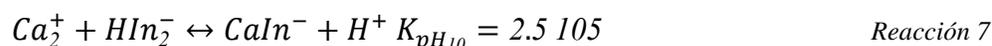
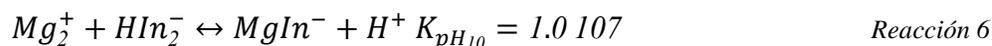


**Figura 9.** Estructura molecular del EDTA a un pH de 10 (Propia, 2024).

El punto de equivalencia en una valoración complexométrica se puede determinar mediante la adición de un indicador a la muestra que se compleje más débilmente que el EDTA con los cationes que se quieren valorar y que presente un cambio de color al romperse dicho complejo en presencia del EDTA. En la presente práctica utilizaremos como indicador negro de eriocromo T, un ácido débil cuyo color depende del pH de la disolución. Su comportamiento como ácido débil se puede describir a partir de las ecuaciones:

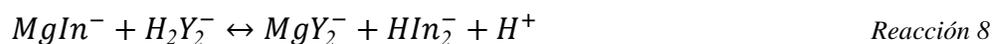


El  $H_2In^-$  es rojo (pH < 6), el  $HIn^{2-}$  es azul (pH 6 a 12) y el  $In^{3-}$  es amarillo anaranjado (pH > 12). Cuando se adiciona una pequeña cantidad del indicador negro de eriocromo T a la disolución de la muestra, ésta reacciona con ambos cationes dando productos de los cuales el más estable es el que origina el  $Mg_2^+$  que da un color rojo vino:



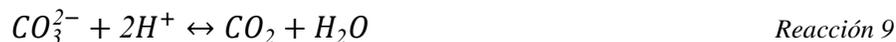


ya que a pH 10 la especie del indicador que predomina es el  $HIn_2^-$ . El EDTA se asocia antes con el  $Ca_2^+$ , destruyendo el complejo  $CaIn^-$ . Finalmente, el EDTA se asocia con el  $Mg_2^+$ . La detección del punto final se realiza empleando la siguiente reacción indicadora:



(rojo vino) (incoloro) (incoloro) (azul)

Con el fin de evitar la formación de carbonatos insolubles que retirarían cationes de la disolución, impidiendo su detección, las muestras se pueden hervir en medio ácido para eliminar los aniones carbonato en forma de  $CO_2$ :



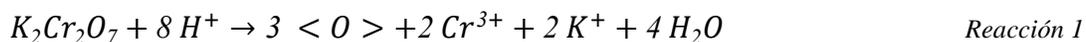
La concentración individual de calcio y magnesio (durezas específicas) se pueden determinar mediante eliminación por precipitación de uno de los dos cationes. En esta práctica precipitamos el  $Ca_2^+$  en forma de oxalato cálcico ( $CaC_2O_4$ ).

#### 4.3.3.2. DQO

##### Fundamento teórico

La demanda química de oxígeno (DQO) es uno de los parámetros más importantes para la evaluación de las aguas residuales industriales y municipales. Este parámetro determina todos los componentes químicamente oxidables presentes en el agua.

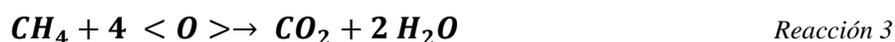
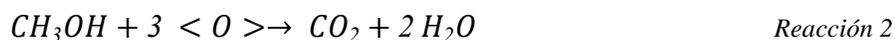
##### DQO





Por definición (ISO 15705), la *DQO* es la concentración de oxígeno equivalente a la masa de dicromato de potasio que se consume en la oxidación total de las sustancias orgánicas presentes en la muestra de agua. El sulfato de mercurio y el sulfato de plata, así como el ácido sulfúrico, se enumeran como reactivos auxiliares. DQO no es un tamaño basado en cantidad sino un parámetro de efecto (un requisito), como se ilustra en el siguiente ejemplo:

En medio ácido, el dicromato de potasio forma especies reactivas de oxígeno <O>, por reacción con iones de hidrógeno.



Estos compuestos de oxígeno pueden oxidar compuestos orgánicos como el etanol o el metanol a dióxido de carbono.

El consumo de agente oxidante es independiente del tamaño de la molécula. Por ejemplo, la oxidación del metanol consume menos oxidante que la del metano más pequeño, ya que se consume menos oxígeno en la reacción a dióxido de carbono y agua. Esto da como resultado una DQO teórica mayor para el metano que para el metanol.

El contenido de DQO se puede determinar a partir del consumo de dicromato de potasio. La evaluación se realiza fotométricamente o por titulación.

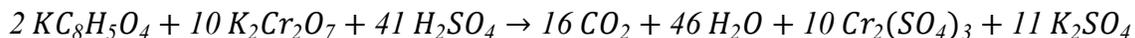
Un proceso importante en la determinación de DQO es la descomposición. En analogía con DIN 38409-H41, la descomposición se lleva a cabo durante dos horas a 148 °C. También es posible una descomposición más rápida a 160 °C durante 30 minutos. Sin embargo, esta descomposición rápida no es adecuada para todas las pruebas.

### **Base de la reacción**

La demanda química de oxígeno de un agua se determina por oxidación catalizada por plata (aumento de la oxidabilidad de sustancias alifáticas) con dicromato de potasio/ácido sulfúrico



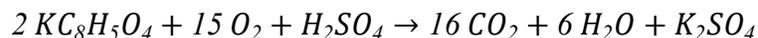
durante 2 horas a 148°C. Posiblemente el cloruro presente es precipitado por sulfato de mercurio como cloruro de mercurio no disociado. Así se elimina de la oxidación no deseada a cloro elemental. El sulfato de plata sirve como catalizador para aumentar la oxidabilidad de las sustancias alifáticas.



*Reacción 4*

La reacción principal se describe en la siguiente ecuación con hidrógeno ftalato de potasio (KHP), que sirve como sustancia de referencia.

Dado que cada molécula de dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$  tiene el mismo poder oxidante que 1.5  $O_2$  moléculas, la reacción equivalente es:



*Reacción 5*

Como se describió anteriormente, dos moléculas de KHP consumen 15 moléculas de oxígeno. Por lo tanto, la DQO teórica para un miligramo de KHP es 1,175 miligramos de oxígeno  $O_2$ .

#### 4.4. Valores pluviométricos

Los valores pluviométricos para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial son de gran importancia ya que son de ayuda a la hora de elegir ciertas variables de éste. El cálculo del volumen de almacenamiento, los cálculos de los caudales instantáneos de las áreas de captación, la demanda de agua del edificio o el tamaño de las canaletas y bajantes son fundamentales al momento de proponer un proyecto de esta índole.



El trabajo de obtener estas variables ya se realizó hace unos años atrás, cuando se realizó el trabajo para la obtención de título de *Ingeniería Ambiental*, y son datos que se incluyen en este mismo trabajo, de manera adicional a lo que ya se realizó en esta tesis, con el objetivo de complementar todo el trabajo realizado.

Las tablas con estos datos se añaden en el apartado de anexos, con su debida descripción, para un mejor entendimiento. Se añaden en ese apartado ya que, aunque sirven para completar parte del trabajo que es mostrado en esta tesis, no se calcularon al momento de realizar la misma, sino que es un trabajo de años atrás y les corresponde estar en ese apartado.



# CAPÍTULO V



## 5. Materiales y Métodos

### 5.1. Materiales

#### 5.1.1. Captación de agua pluvial

##### 5.1.1.1. NMX-AA-3-1980 NORMA MEXICANA “AGUAS RESIDUALES – MUESTREO”

Esta norma está especializada en mostrar los lineamientos y requerimientos que se necesitan para realizar un muestreo de agua residual en diferentes tipos de colectores, dependiendo de varios factores para establecer la frecuencia de muestreo. En este caso se aplica esta norma para el muestreo de agua pluvial ya que no se cuenta con una norma específica para el muestreo de agua pluvial.

#### **Equipo y Materiales**

- Cubeta de plástico de un diámetro de 31 cm y un área de captación de 0.075 m<sup>2</sup>.
- Matraz de vidrio Erlenmeyer de 200 ml.
- Embudo de plástico.

#### ***Para análisis bacteriológico:***

- Frascos de vidrio de boca ancha con tapón esmerilado o tapa roscada;
- Frascos de polipropileno (resistentes a esterilización en estufa o autoclave);
- Bolsas de plástico estériles con cierre hermético con capacidad de 250 ml.

#### ***Para análisis fisicoquímico:***

Envases de plástico o vidrio inertes al agua de 2 Lt de capacidad, con tapones o roscas del mismo material que proporcionen cierre hermético.

- Termómetro con escala de -10 a 110 °C.
- Tiras de papel para medir la salinidad o acidez del agua pluvial muestreada, de la marca *Lab Supplies*, que contienen compuestos químicos de absorción halocromía que cambian de color en respuesta a los cambios de pH.
- Recipiente con agua destilada o desionizada con capacidad de 100 ml.
- Solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 100 mg/L.



- Torundas de algodón.
- Hielera.

### **Reactivos para la preservación de la muestra:**

- 1.- Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ );
- 2.- Ácido nítrico ( $HNO_3$ );
- 3.- Hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración de 6N;
- 4.- Acetato de Zinc al 6N;
- 5.- Ácido clorhídrico concentrado (HCl).

#### 5.1.2. Análisis de laboratorio

##### 5.1.2.1. *Microbiológicos*

- 5.1.2.1.1. [NMX-AA-042-SCFI-2015](#) ANÁLISIS DE AGUA – “ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y *Escherichia coli* – MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES”

La presencia de organismos coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli* son un indicativo de la presencia de contaminación orgánica en las aguas pluviales. Estos contaminantes podrían provenir de heces fecales de diferentes animales que se pudieran encontrar en las áreas de captación donde se puede recolectar el agua de lluvia, y es de suma importancia tomar en cuenta este índice de contaminación, para realizar los análisis pertinentes al agua de pluvial recolectada y poder hacer el tratamiento necesario. Su presencia puede acarrear problemas de salud y aunque el agua no está destinada para un consumo final potable, si es necesaria su eliminación del efluente resultante para tener una calidad adecuada de acuerdo con la norma.

### **Equipo y Materiales**

Solo se mencionan los equipos y materiales que son relevantes para el método. En el caso específico de este trabajo, solo se pudo realizar la metodología hasta la parte de la confirmación de *Organismos Coliformes Totales* por la falta de materiales en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, por lo cual solo se describirán los materiales ocupados hasta esa parte de la experimentación.



Aparte de los materiales que se suministran estériles, el material de vidrio y el resto del equipo deben esterilizarse.

- Incubadora capaz de mantener una temperatura de (35-37 °C).
- Estufa capaz de mantener una temperatura de 170-200 °C
- Autoclave u olla de presión con manómetro.
- Medidor de pH con precisión de 0.1 unidades de escala de pH.
- Balanza granataria con exactitud de  $\pm 0.1$  g y/o balanza analítica con exactitud de  $\pm 0.01$  g.
- Pipetas graduadas.
- Pipeteros de aluminio o acero inoxidable, se puede sustituir por papel aluminio o papel *Kraft*.
- Tubos de ensayo de cristal, refractario de volumen adecuado con tapón de baquelita (preferentemente) aluminio o algodón (este no debe ser utilizado en más de una ocasión).
- Frascos muestreadores de vidrio resistente o cristal refractario de 125 ml, con tapón de cristal esmerilado o tapa de rosca o bolsa de recolección de plástico estéril o frascos de plástico estériles desechables.
- Tubos de fermentación (tipo *Durham*).
- Asas de inoculación.
- Material de uso común de laboratorio.

## **Reactivos**

### ***Diluyente, medios de cultivo y reactivos***

#### ***Materiales básicos:***

Usar ingredientes de calidad uniforme y sustancias químicas de grado analítico para la preparación de los medios de cultivo y reactivos, siguiendo las instrucciones mostradas a continuación. Usar medios completamente deshidratados y seguir estrictamente las instrucciones del fabricante.



El agua para la preparación de medios de cultivo y disoluciones debe ser destilada o desionizada libre de sustancias que puedan inhibir el crecimiento, con conductividad  $\leq 5 \frac{\mu S}{cm}$ .

*Diluyente:*

Para preparar las disoluciones de la muestra, usar el diluyente recomendado en los siguientes puntos:

1.- Medios de cultivo para prueba presuntiva:

- ❖ Caldo Lactosa.
- ❖ Caldo MacConkey.
- ❖ Caldo Lauril Triptosa (lactosa) o Caldo Lauril Sulfato de Sodio.

2.- Medios de cultivo para prueba confirmativa:

- ❖ Caldo lactosa bilis verde brillante para coliformes totales y coliformes fecales.

#### 5.1.2.2. *Fisicoquímicos*

##### 5.1.2.2.1. NMX-AA-072-SCFI-2001 “DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA”

La dureza en el agua ha sido de suma importancia cuando se habla sobre calidad de agua. Esta es la responsable de crear fallas en los sistemas de distribución de aguas, como lo podrían ser tuberías y conexiones, ya que forman incrustaciones que dificultan el paso del agua, y cambian sus características fisicoquímicas. Esto es debido a las sales conformadas por los iones de calcio y magnesio, que, con el tiempo, forman una amalgama que va tapando las tuberías y genera pérdidas de eficiencia en algunos equipos como bombas o filtros. Su origen en las aguas pluviales se puede dar por parte de la mezcla de este tipo de agua residual con las aguas residuales grises, que son las que contienen aguas que se ocupan en el lavado de ropa, trastes o baños, y se relacionan directamente con el jabón, pero otro origen podría ser el polvo, suciedad, arena y tierra que son arrastrados por las corrientes de aire hacia las áreas de captación donde se cosecha el agua de lluvia.



## Equipo y Materiales

Solo se mencionan los equipos y materiales que son relevantes para el método presente.

- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg.
- Todo el material volumétrico utilizado en este procedimiento debe ser clase A con certificado o en su caso debe estar calibrado.
- Bureta de 25 ml ó 50 ml.

## Reactivos y Patrones

Todos los reactivos indicados a continuación deben ser de grado reactivo, a menos que se indique lo contrario.

- Agua (debe cumplir con las siguientes características):
  - Resistividad, megohm-cm a 25 °C: 0.2 min;
  - Conductividad,  $\frac{\mu S}{cm}$  a 25 °C: 0.5 Máx. y
  - pH: 5.0 a 8.0.
- i. Cloruro de amonio ( $NH_4Cl$ ).
- ii. Cloruro de magnesio hexahidratado ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ).
- iii. Amoniac concentrado ( $NH_3$ ).
- iv. Sal disódica de ácido etilendiaminotetraacético dihidratado (EDTA).
- v. Sal de Magnesio de EDTA.
- vi. Sulfato de magnesio heptahidratado ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ).
- vii. Hidróxido de sodio (NaOH).
- viii. Indicador de negro de eriocromo T.
- ix. 2-Aminoetanol (libre de aluminio y metales pesados).
- x. Rojo de metilo.
- xi. Carbonato de calcio anhidro ( $CaCO_3$ ).
- xii. Ácido clorhídrico concentrado (HCl).
- xiii. Cloruro de sodio (NaCl).
- xiv. Ácido nítrico ( $HNO_3$ ).
- xv. Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).



- xvi. Ácido perclórico ( $\text{HCl}_2\text{O}_7$ ).
- xvii. Disolución amortiguadora. Pesar aproximadamente y con precisión 16.9 g de cloruro de amonio y disolver en 143 mL de amoníaco concentrado. Añadir aproximadamente 1.25 g de sal de magnesio de EDTA y diluir hasta 250 mL con agua.
- xviii. Si no se dispone de sal de magnesio de EDTA, mezclar, aproximadamente 1.179 g de sal disódica de ácido etilendiaminotetraacético dihidratado y 0.780 g de sulfato de magnesio heptahidratado o 0.644 g de cloruro de magnesio hexahidratado, diluir a 50 mL con agua. Conservar la disolución amortiguadora en un recipiente plástico o de vidrio; se debe desechar la disolución cuando haya transcurrido más de un mes de su fecha de preparación o cuando al añadir 1 ml ó 2 ml a la muestra, ésta no pueda producir un pH de  $10.0 \pm 0.1$ . Tapar herméticamente para evitar pérdidas de amoníaco o adsorción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- xix. También pueden adquirirse en el mercado disoluciones amortiguadoras inodoras, las cuales constituyen una alternativa satisfactoria. Contienen sal de magnesio de EDTA y tienen la ventaja de ser relativamente inodoras y más estables que las amortiguadoras de  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ . Por lo general, las disoluciones amortiguadoras inodoras no proporcionan un punto final tan favorable como los de  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  a causa de su reacción más lenta y pueden resultar inútiles cuando el método está automatizado. Preparar una de las disoluciones amortiguadoras mezclando 55 ml de ácido clorhídrico concentrado con 400 ml de agua destilada y a continuación añadir lentamente y agitando, 300 ml de 2- Aminoetanol (libre de aluminio y metales pesados). Agregar aproximadamente 5.0 g de sal de magnesio de EDTA y diluir hasta 1L con agua destilada.
- xx. Indicador negro de eriocromo T. Pesar aproximadamente y con precisión 0.5 g de indicador negro de eriocromo T y agregar 100 g de Cloruro de sodio y triturar en el mortero hasta formar una mezcla homogénea. Guardar en un frasco color ámbar. Esta mezcla se conserva en buenas condiciones para su uso durante un año.
- xxi. Indicador Rojo de Metilo. Pesar aproximadamente y con precisión 0.1 g de la sal de sodio del rojo de metilo y aforar a 100 ml con agua.



- xxii. Disolución de EDTA (aproximadamente 0.01 M). Pesar aproximadamente y con precisión 3.723 g de sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético di hidratada; disolver en agua y diluir a 1L. Valorar con una disolución de carbonato de calcio.
- xxiii. Disolución de carbonato de calcio (1 mg/ml). Pesar aproximadamente y con precisión 1.0 g de carbonato de calcio anhidro (patrón primario o reactivo especial bajo en metales pesados, álcalis y magnesio) en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Colocar un embudo en el cuello del matraz y añadir poco a poco el ácido clorhídrico (1:1) hasta la disolución total del carbonato de calcio. Añadir 200 ml de agua y llevar a ebullición durante unos minutos para eliminar el CO<sub>2</sub>. Enfriar, añadir unas gotas de indicador rojo de metilo y ajustar al color naranja intermedio por adición de amoníaco 3N o ácido clorhídrico (1:1), según se requiera. Transferir a un matraz y aforar a 1L con agua (1 ml = 1.0 mg de CaCO<sub>3</sub>).
- xxiv. Disolución de hidróxido de sodio (NaOH) (aproximadamente 0.1 N). Pesar aproximadamente 4 g de hidróxido de sodio y diluir a 1L.
- xxv. Disolución de ácido clorhídrico (1:1). Tomar 100 ml de ácido clorhídrico y diluir en 100 ml de agua.

5.1.2.2.2. [NMX-AA-030-SCFI-2012](#) [ANÁLISIS DE AGUA – “MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, \(DQO\) RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. – MÉTODO DE PRUEBA – PARTE 1 – MÉTODO DE REFLUJO ABIERTO”](#)

La demanda química de oxígeno es un método aproximado por el cual se puede conocer la cantidad de oxígeno, que es necesaria, para que el agua pueda oxidar la materia orgánica presente en el medio, de manera natural. Está difiere del DBO<sub>5</sub> ya que, en este caso, no intervienen microorganismos en la oxidación de la materia orgánica en compuestos inorgánicos al final de la reacción. Este método, tiene una eficiencia, que depende del tipo de agua al que se le esté realizando el análisis. En el caso de las aguas residuales, su eficiencia es alta, porque existe una gran cantidad de compuestos orgánicos en el medio, pero en el caso de las aguas residuales industriales, hay de por medio más compuestos químicos que afectan la oxidación en gran medida. En el caso del agua pluvial, es imperativo realizar esta prueba ya que, con la ausencia de



microorganismos que puedan proveer una medida más exacta por medio del  $\text{DBO}_5$ , se necesita ocupar el método de DQO para conocer la cantidad de oxígeno disuelto en el agua de lluvia recolectada.

### **Equipo y Materiales**

El material de vidrio deberá estar escrupulosamente limpio y protegido del polvo. Deberá estar destinado exclusivamente para pruebas de DQO.

- Aparato de reflujo, consistente en un matraz de reacción de 250 ó 500 ml con boca de vidrio esmerilado conectado a un condensador de manera que no tenga pérdidas significativas de material volátil (el condensador puede ser enfriado con agua fría o por una corriente de aire frío).
- Lavar el aparato nuevo corriendo un blanco. Lavar el aparato que se ha usado para mediciones de DQO, mediante enjuague con agua destilada, después de cada titulación (no se debe usar detergente).
- Mantilla (mantas) de calentamiento, placa o parrilla u otro dispositivo de calentamiento, capaz de llevar a la muestra a su punto de ebullición dentro de un periodo de 10 min. Hay que asegurar que el dispositivo trabaje sin causar sobrecalentamiento local a las disoluciones que estén siendo calentadas.
- Bureta clase A con capacidad de 10 ml.
- Materiales auxiliares de ebullición:
  - Perlas de ebullición, de diámetro de 2 mm a 3 mm, u otros materiales auxiliares de ebullición, lavados con agua destilada (no se debe usar detergente).

### **Reactivos**

El presente método involucra el manejo y ebullición de disoluciones concentradas de ácido sulfúrico y dicromato. Es necesario utilizar prendas protectoras, guantes, y protección total de cara. En el caso de derrame, el remedio más efectivo y simple es lavarse inmediatamente con volúmenes abundantes de agua limpia.



La adición de ácido sulfúrico concentrado al agua debe siempre llevarse a cabo con cuidado y con suaves giros del contenido del matraz.

Mientras se lleva a cabo la preparación y el manejo de las disoluciones que contienen sulfato de plata y sulfato mercurico se requiere de cuidado, ya que son sustancias tóxicas. Los reactivos usados contienen mercurio, plata y sales de cromo. Para su desecho, los reactivos usados deberán tratarse de acuerdo con las disposiciones de las regulaciones nacionales.

Durante el análisis, usar solamente reactivos grado reactivo analítico, materiales de referencia certificados, cuando aplique; y agua destilada.

NOTA: La calidad del agua es de suma importancia para la precisión de los resultados. Verificar la calidad del agua mediante corridas de blancos en pruebas paralelas similares, una sin ningún tipo de ebullición y otra con ebullición (siguiendo el procedimiento establecido). Registrar el consumo de disolución de sulfato ferroso amoniacal en ambos casos. Una diferencia de más de 0,5 ml indica mala calidad del agua. Para la medición de valores de DQO debajo de 100 mg/L, la diferencia no deberá exceder 0,2 ml. La calidad del agua destilada puede ser mejorada volviendo a destilar a partir de una disolución acidificada de dicromato de potasio o de permanganato de potasio, usando equipo de destilación completamente de vidrio.

Todos los reactivos serán de grado analítico.

***Reactivos por sí solos:***

- Agua destilada.
- Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ : al 96%).
- Sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ).
- Sulfato ferroso amónico hexahidratado ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ).
- Dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).
- O-fenantrolina (sal monohidratada).
- Sulfato ferroso heptahidrato ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ).
- Sulfato de mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ).



- Ftalato de hidrógeno y potasio ( $\text{H}_5\text{C}_8\text{O}_4\text{K}$ ).
- Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado (FAS)  $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ .
- hidrogenoftalato de potasio ( $\text{C}_8\text{H}_5\text{O}_4\text{K}$ ).
- Sulfato de fierro heptahidratado (II) ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ).
- 1,10-fenantrolina monohidratada ( $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).
- Sulfato de mercurio (II) ( $\text{HgSO}_4$ ).

***Creación de disoluciones:***

- **Reactivo de ácido sulfúrico.**

Disolver 5.4 g de sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) en 1 kg de ácido sulfúrico al 96 % (  $d= 1.835$ ) correspondiente a 545 ml. La disolución completa conlleva 2 días. El reactivo se mantiene indefinidamente en una botella bien cerrada de vidrio de color oscuro.

- **Disolución estándar de sulfato ferroso amónico 0,125 N.**

Disolver 1.2255 g de sulfato ferroso amónico hexahidratado ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) en unos 10 ml de agua destilada. Añadir despacio y con cuidado 0.5 ml de ácido sulfúrico del 96 % a la vez que se agita la mezcla. ¡No añadir la disolución al ácido para evitar salpicaduras peligrosas! Llenar hasta 25 ml. Mantener la botella en oscuro. La valoración disminuye con el tiempo por lo que cada vez que se realiza un análisis debe valorarse con una disolución estándar de dicromato potásico ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).

- **Disolución indicadora de ferroína.**

Pesar y disolver 1.48 g de O-fenantrolina (1.6 g de la sal monohidratada) y 0.695 g de sulfato ferroso heptahidrato ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ) en 100 ml de agua destilada.

- **Sulfato de mercurio.**

Pequeños cristales de la sal ( $\text{HgSO}_4$ ).

- **Disolución estándar de ftalato de hidrógeno y potasio.**



Secar ftalato de hidrógeno y potasio ( $\text{H}_5\text{C}_8\text{O}_4\text{K}$ ) hasta que alcance peso constante a  $120^\circ\text{C}$ . Disolver 425 mg en 1 L. La DQO de esta disolución es de 500 mg/L y si se almacena a  $\pm 4^\circ\text{C}$  dura 3-4 meses.

- **Disolución de ácido sulfúrico,  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4 \text{ mol/L}$ .**

Agregar aproximadamente 500 ml de agua, 220 ml de ácido sulfúrico ( $\rho = 1,84 \text{ g/ml}$ ) en porciones y con precaución. Dejar enfriar y diluir a 1 000 ml.

- **Disolución de sulfato de plata – ácido sulfúrico.**

Agregar 10 g de sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) a 35 ml de agua. Agregar en porciones 965 ml de ácido sulfúrico ( $\rho = 1,84 \text{ g/ml}$ ). Dejar 1 ó 2 días para su disolución. Se facilita la solubilización mediante agitación.

❖ **Dicromato de potasio, disolución material de referencia:**

- *Dicromato de potasio (alta concentración)*, disolución material de referencia, certificado (cuando aplique),  $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,040 \text{ mol/L}$ .
  - Agregar, con precaución, 100 ml de ácido sulfúrico ( $\rho = 1,84 \text{ g/ml}$ ).
  - Dejar enfriar y agregar 11.768 g de dicromato de potasio, secado a  $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  por 2 h y disolver.
  - Transferir la disolución a un matraz volumétrico y diluir a 1 000 ml. La disolución es estable, al menos, durante 12 meses.
- *Dicromato de potasio (baja concentración)*, disolución material de referencia, certificado (cuando aplique),  $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,0040 \text{ mol/L}$ .
  - Agregar, con precaución, 100 ml de ácido sulfúrico ( $\rho = 1,84 \text{ g/ml}$ ).



- Dejar enfriar y agregar 1.1768 g de dicromato de potasio, secado a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 2 h y disolver.
  - Transferir la disolución a un matraz volumétrico y diluir a 1 000 ml. La disolución es estable, al menos, durante 12 meses.
- ❖ Sulfato ferroso amoniacal (FAS), disolución valorada.
- *Sulfato ferroso amoniacal (FAS)*, (concentración alta), disolución valorada,  $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] \approx 0,12\text{ mol/L}$ .
    - Disolver 47 g de sulfato ferroso amoniacal hexahidratado en agua.
    - Agregar 20 ml de ácido sulfúrico ( $\rho = 1,84\text{ g/ml}$ ).
    - Enfriar y diluir con agua a 1000 ml.
  - *Sulfato ferroso amoniacal (FAS)*, (concentración baja), disolución valorada,  $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] \approx 0,012\text{ mol/L}$ .
    - Disolver 4,7 g de sulfato ferroso amoniacal hexahidratado en agua.
    - Agregar 20 ml de ácido sulfúrico ( $\rho = 1,84\text{ g/ml}$ ).
    - Enfriar y diluir con agua a 1000 ml.
- ❖ Hidrogenoftalato de potasio (biftalato de potasio), disolución de material de referencia,  $c(\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4) = 0,002\text{ mol/L}$ .
- Pesar y disolver 0,425 g de hidrogenoftalato de potasio, secado a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en agua y diluir a 1 000 ml.
- La disolución tiene un valor teórico de  $\gamma(\text{DQO})$  de 500 mg/L.
- Esta disolución es estable durante, al menos, seis meses si se almacena a  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente. Descartar si se observa cristalización o turbidez.
- **Ferroín, disolución indicadora.**
    - Disolver 0,7 g de sulfato de hierro heptahidratado (II) ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{ H}_2\text{O}$ ) ó 1 g de sulfato ferroso amoniacal hexahidratado,  $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$  en agua.
    - Agregar 1,50 g de 1,10-fenantrolina monohidratada ( $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) y agitar hasta su disolución.



- Diluir a 100 ml. Esta disolución es estable por varios meses si se almacena protegida de la luz. Está disponible comercialmente.

#### 4.1.3. Uso de software

Para la creación del diagrama en 3D, se utilizaron diferentes softwares que ayudaron en todas las partes del proceso. Cada software que se usó se describe en el siguiente apartado:

- **SKETCH UP**

*Sketch Up* es un programa de modelado que es usado para el diseño y manipulación de modelos en 3D. Es usado frecuentemente en arquitectura y diseño de interiores, y posee una gran variedad de opciones para dar rienda suelta a edificaciones, muebles o hasta componentes de tipo industrial. Este software es propiedad de *Trimble Inc.*

- **LUMION**

*Lumion* es un programa de visualización arquitectónica 3D en tiempo real desarrollado por *Act-3D*. Sus opciones de renderizado son amplias y permiten tener una visión más realista de lo que se planea realizar. Con este programa es posible obtener imágenes, videos y panoramas en 360 grados que darán una vista espectacular de cualquier trabajo.

- **PHOTOSHOP**

*Photoshop* es un editor de gráficos rasterizados desarrollado y publicado por la compañía *Adobe*. Es un programa de edición que permite el decorado, arreglo y post producción de cualquier imagen o video. Sus herramientas permiten al usuario crear material de grado profesional para cualquier tipo de ámbito o trabajo.

## 5.2. Métodos

### 5.2.1. Captación de agua pluvial



### **Identificación del lugar de muestreo**

Antes de realizar el muestreo se debe investigar acerca del lugar en donde se realizará, por lo que se recomienda buscar los siguientes datos antes:

1. Dirección del lugar de muestreo.
2. Entradas y salidas del lugar de muestreo.
3. El lugar en donde se estacionará en carro con los equipos de laboratorio y muestreo.
4. El trayecto que se realizará desde que se entra al lugar de muestreo hasta que se sale del lugar.
5. La existencia de tomas de muestreo, canales o cárcamos.
6. Si los lugares donde se realizará el muestreo tienen escaleras para acercarse a la zona de muestreo.
7. Si es necesario en uso de EPP adicional (líneas de vida, máscaras con filtro, equipo dieléctrico, etc).

También es necesario acordar cuantos muestreadores se van a necesitar para realizar en muestreo (mínimo deben ser dos muestreadores, uno que toma la muestra y el otro que lo sostiene mientras realiza el muestreo).

### **Selección de puntos de muestreo**

La selección de puntos de muestreo debe considerarse individualmente para cada sistema de abastecimiento. Sin embargo, existen criterios que deben tomarse en cuenta para ello. Estos criterios son:

- a. Los puntos de muestreo deben ser representativos de las diferentes fuentes de agua que abastecen el sistema.
- b. Los puntos de muestreo deben ser representativos de los lugares más susceptibles de contaminación:
  - Puntos muertos,



- Zonas de baja presión,
  - Zonas con antecedentes de problemas de contaminación,
  - Zonas con fugas frecuentes,
  - Zonas densamente pobladas y con alcantarillado insuficiente,
  - Tanques de almacenamiento abiertos y carentes de protección, y
  - Zonas periféricas del sistema más alejadas de las instalaciones de tratamiento.
- c. Debe haber una distribución uniforme de los puntos de muestreo a lo largo del sistema.
- d. Los puntos se localizan dependiendo del tipo de sistemas de distribución y en proporción al número de ramales.
- e. Debe haber como mínimo un punto de muestreo inmediatamente a la salida de las plantas de tratamiento, en su caso.

**Frecuencia de muestreo**

Para poder realizar el muestreo (y para unos cálculos que se realizarán más adelante) es necesario determinar cuál va a ser la frecuencia con la que realizaremos el muestreo, ya que, de esta forma, podremos determinar cuántas veces tendremos que muestrear al día.

Es necesario hacer esto para obtener una muestra que represente fiablemente las características físicoquímicas del agua residual de ese lugar.

La frecuencia de muestreo se presenta en la tabla 21 siguiente:

**Tabla 21.** Frecuencia con la que se debe muestrear dependiendo de las horas por día en las que el proceso generador de aguas residuales está activo (*Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 1996*).

<i>Frecuencia de muestreo</i>			
Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (hr)	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4



## **Preparación de Envases para Toma de Muestras**

### a. Para análisis bacteriológico:

- Toma de muestra de agua sin cloro residual. - Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min. Antes de la esterilización, con papel resistente a ésta, debe cubrirse en forma de capuchón el tapón del frasco.
- Toma de muestra de agua con cloro residual. - Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min, los cuales deben contener 0.1 ml de tiosulfato de sodio al 3% por cada 125 ml de capacidad de estos. Debe colocarse un papel de protección al tapón del frasco en forma similar a lo indicado en el punto anterior.

### b. Para análisis fisicoquímicos:

- Los envases deben lavarse perfectamente y enjuagarse a continuación con agua destilada o desionizada.

## **Identificación de la muestra**

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información.

- ✓ Identificación de la descarga.
- ✓ Número de muestra.
- ✓ Fecha y hora de muestreo.
- ✓ Punto de muestreo.
- ✓ Temperatura de la muestra.
- ✓ Volumen de precipitación.



- ✓ Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.
- ✓ pH.
- ✓ Olor y color
- ✓ Tipo de análisis a efectuar.
- ✓ Técnica de preservación a utilizar.

A. A la par, se llevará una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo.

**Se recomienda que la hoja de registro contenga la siguiente información:**

- ✓ La información que se pone en la muestra, mencionada en el punto A.
- ✓ Resultados de pruebas de campo practicadas en la descarga muestreada.
- ✓ Cuando proceda, el gasto o flujo de la descarga de aguas residuales que se muestrea.
- ✓ Descripción detallada del punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar.
- ✓ Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas.
- ✓ Anotar las determinaciones que requieran ser analizadas o determinadas en el momento del muestreo (pH, color, olor, sabor, etc) que se observan en la tabla 2.
- ✓ Calcular y anotar los caudales (en litros sobre segundo) que se tienen al momento de cada una de las muestras que se van a realizar.

**Procedimiento**

Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir los siguientes requisitos:

- Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.
- Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.



- Al efectuarse el muestreo, deben anotarse tanto los datos que se ponen en la muestra, como los que se anotan en el registro.

**Muestreo en tomas:**

Se recomienda que se instalen tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto con el objeto de caracterizar debidamente las aguas residuales. Las tomas deben tener un diámetro adecuado para muestrear correctamente las aguas residuales en función de los materiales que puedan contener, deben ser de la menor longitud posible, y procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas de la descarga. Se recomienda el uso de materiales similares a los del conducto, de acero al carbón o de acero inoxidable.

1. Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo.

**Muestreo en descargas libres:**

Cuando las aguas residuales fluyen libremente en forma de chorro, debe emplearse el siguiente procedimiento.

1. El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces antes de efectuar el muestreo.
2. Se introduce el recipiente muestreador en la descarga o de ser posible, se toma directamente la muestra en su recipiente.
3. La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando de que ésta siga siendo representativa.

**Muestreo en canales y colectores:**

Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.

Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.



1. El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.
2. El recipiente muestreador, atado con una cuerda y sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra.
3. Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe cuidar que ésta siga siendo representativa.

#### **Cierre de los recipientes de muestreo:**

Las tapas o cierres de los recipientes deben fijarse de tal forma que se evite el derrame de la muestra.

#### **Muestreo para análisis bacteriológico:**

- a. En bomba de mano o grifo del sistema de distribución.

El agua de los grifos debe provenir directamente del sistema de distribución. No debe efectuarse toma de muestra en grifos que presenten fugas entre el tambor y el cuello, ya que el agua puede correr por la parte exterior del grifo y contaminar la muestra. Deben removerse los accesorios o aditamentos externos como mangueras, boquillas y filtros de plástico o hule antes de tomar la muestra.

- Debe limpiarse el orificio de salida con una torunda de algodón impregnada de solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 100 mg/L.
- Debe dejarse correr el agua aproximadamente 3 min o hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente.
- Cerca del orificio de salida, deben quitarse simultáneamente el tapón del frasco y el papel de protección, manejándolos como unidad, evitando que se contaminen el tapón, o el papel de protección, o el cuello del frasco.
- Debe mantenerse el tapón hacia abajo para evitar contaminación y tomarse la muestra sin pérdida de tiempo y sin enjuagar el frasco; se debe dejar el espacio libre requerido para la agitación de la muestra previa al análisis (aproximadamente 10% del volumen del frasco). Efectuada la toma de muestra, deben colocarse el tapón y el papel de protección al frasco.

- b. En la captación de un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento.



- Deben lavarse manos y antebrazos con agua y jabón.
  - Debe quitarse el papel de protección evitando que se contamine, y Sumergir el frasco en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, abrir y enderezar a continuación con el cuello hacia arriba (en todos los casos debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción); si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco en contracorriente. Efectuada la toma de muestra debe colocarse el tapón, sacar el frasco del agua y colocar el papel de protección.
  - En el caso de tanques de almacenamiento, si no es posible la toma de muestra cómo se indica en este punto, debe procederse como se menciona en el paso c.
- c. En pozo profundo:
- Si el pozo cuenta con grifo para toma de muestra, debe procederse como en el paso a.
  - Si el pozo no cuenta con grifo para toma de muestra, debe abrirse la válvula de una tubería de desfogue, dejarse correr el agua por un mínimo de 3 min. y a continuación se procede como en los dos últimos puntos del paso a.
- d. En pozo somero o fuente similar:
- Cuando no es posible tomar la muestra con la extensión del brazo, debe atarse al frasco un sobrepeso usando el extremo de un cordel limpio.
  - Deben quitarse simultáneamente el tapón y el papel de protección, manejándolos como unidad, evitando que se contaminen el tapón, o el papel de protección, o el cuello del frasco.
  - Debe mantenerse el cuello del frasco hacia abajo y se procede a tomar la muestra, bajando el frasco dentro del pozo, y desenrollando el cordel lentamente, evitando que el frasco toque las paredes del pozo.



- Efectuada la toma de muestra, deben colocarse el tapón y el papel de protección al frasco.

**Muestreo para análisis fisicoquímico:**

- a. En bomba de mano o grifo del sistema de distribución o pozo profundo.
  - Debe dejarse correr el agua aproximadamente por 3 min o hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente.
  - El muestreo debe realizarse cuidadosamente, evitando que se contaminen el tapón, boca e interior del envase; se requiere tomar un poco del agua que se va a analizar, se cierra el envase y agitar fuertemente para enjuagar, desechando esa agua; se efectúa esta operación dos o tres veces, procediendo enseguida a tomar la muestra.
- b. En la captación de un cuerpo de agua superficial, tanque de almacenamiento, pozo somero o fuente similar, debe manejarse el envase siguiendo las indicaciones comprendidas en los puntos correspondientes al muestreo para análisis bacteriológico.

**Conservación de la muestra**

Solo se permite agregar a las muestras los preservativos indicados en las Normas de Métodos de Prueba. De esta norma, la cual es la **NOM-014-SSA1-1993**. Esta norma, además de establecer los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, también menciona la preservación que se le debe dar a las muestras dependiendo del tipo de determinación o análisis que se va a realizar, así como el volumen mínimo que se necesita para el tipo de determinación, el material del cual tiene que estar hecho el envase en donde se tomará la muestra y el tiempo máximo que se puede almacenar la muestra antes de sus análisis.

Los datos anteriores mencionados se muestran en la tabla 22:

**Tabla 22.** *Tipos de preservación que se pueden agregar a las muestras tomadas dependiendo del tipo de determinación que se va a realizar (Secretaría de Salud [SSA], 1993).*



<i>Determinación</i>	<i>Material de envase</i>	<i>Volumen mínimo (ml)</i>	<i>Preservación</i>	<i>Tiempo máximo de almacenamiento</i>
<b>Alcalinidad total</b>	p, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
<b>Arsénico</b>	p, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
<b>Bario</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
<b>Boro</b>	p	100	No requiere	180 d
<b>Cianuros</b>	p, v	1000	Adicionar NaOH a pH>12; refrigerar de 4 a 10° C en la oscuridad.	14 d
<b>Cloro residual</b>	p, v	-	Analizar inmediatamente	-
<b>Cloruros</b>	p, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 hr
<b>Color</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 hr
<b>Conductividad</b>	p, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
<b>Dióxido de carbono</b>	p, v	100	Analizar inmediatamente	-
<b>Dureza total</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
<b>Fenoles</b>	p, v	300	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2 y refrigerar 4 a 10 °C	28 d
<b>Fluoruros</b>	p, v	300	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
<b>Fosfatos</b>	v	100	Enjuagar el envase con ácido nítrico 1:1. Refrigerar de 4 a 10° C	48 hr
<b>Magnesio</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
<b>Metales en general</b>	p, v	1000	Enjuagar el envase con HNO <sub>3</sub> 1 + 1; adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2	180 d
<b>Nitratos</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 hr
<b>Nitritos</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 hr
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	p, v	500	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
<b>Nitrógeno orgánico</b>	p, v	500	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d



<b>Olor</b>	-	-	Detectar inmediatamente	-
<b>Oxígeno consumido en medio ácido</b>	p, v	300	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 hr
<b>pH</b>	p, v	-	Analizar inmediatamente	-
<b>Plaguicidas</b>	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será de 40 días.	7 d
<b>Sabor</b>	-	-	Detectar inmediatamente	-
<b>Sodio</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
<b>Sólidos</b>	p, v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
<b>Sulfatos</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
<b>SAAM</b>	p, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 hr
<b>Temperatura</b>	p, v	-	Determinar inmediatamente	-
<b>Trihalometanos</b>	s	25	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	-
<b>Turbiedad</b>	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 hr

**NOTA:**

- **b** = Plástico,
- **pH** = potencial de hidrógeno,
- **s** = vidrio enjuagado con solventes orgánicos (interior de la tapa del envase recubierta con teflón); y
- **v** = vidrio.

**Obtención de la muestra compuesta:**

Para obtener la muestra compuesta del agua residual que se quiere analizar, será necesario primero sacar un número determinado de muestras que, al sumarlas, nos darán la muestra compuesta representativa de esa agua residual. Este número de muestreos se determina en la tabla 21 y depende de las horas en las que está en funcionamiento el proceso que genera las aguas residuales.

También se tiene que obtener el volumen total de muestra que se va a utilizar en los diferentes análisis que se le realizan. Estos volúmenes están determinados en la tabla 22 y dependen de las determinaciones que se van a realizar.



Para los cálculos utilizaremos los caudales que se calcularon previamente para cada una de las muestras que se tomaron. El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMC_{necesario} \cdot \left(\frac{Q_i}{Q_T}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$VMS_i$ , es el volumen de cada una de las muestras simples “i” (L);

$VMC_{necesario}$ , es el volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos (L);

$Q_i$ , es el caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple (L/s), y

$Q_T$ , es la sumatoria de cada uno de los caudales medidos en la descarga en el momento que se tomó cada muestra simple ( $Q_i$ ), hasta  $Q_n$ , representado algebraicamente por  $\sum_{i=1}^n Q_i$  hasta  $Q_n$  (L/s).

## 5.2.2. Análisis de laboratorio

### 5.2.2.1. Microbiológicos

#### 5.2.2.1.1. [NMX-AA-042-SCFI-2015](#) ANÁLISIS DE AGUA – “ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y *Escherichia coli* – MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES”

### **Recolección, almacenamiento y preservación de muestras**

1. Recolectar en frascos o bolsas estériles mínimo 100 ml de muestra.



- La toma de muestra es en recipientes estériles con tiosulfato de sodio sólido (10 mg/envase de 100 ml) o con 0,1 ml de disolución estéril al 10 %.
- 2. Para su traslado las muestras deben de mantenerse a una temperatura de  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 3. Conservar dentro del laboratorio en refrigeración a  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Atemperar la muestra antes del análisis sin exceder en todo el proceso las 24 h después de la recolección de la última muestra. Se puede analizar la muestra hasta 48 h después de su recolección conservándola a  $2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **Muestreo**

La recolección de las muestras de agua para el análisis microbiológico depende del tipo de agua que se desee muestrear.

Las muestras se deben recolectar en recipientes estériles con un volumen mínimo de muestra de 100 ml. Para muestras que contengan cloro libre, colocar en su interior, previo a la esterilización, 0,1 ml de disolución de tiosulfato de sodio al 10 %; si son bolsas estériles comerciales, estas deben contener el tiosulfato de sodio.

Durante el muestreo se debe utilizar guantes y cubrebocas.

### **Muestreo en cuerpos receptores**

Siempre que sea posible, llenar el frasco o bolsa hasta 2/3 partes de su capacidad, una cantidad menor sería insuficiente, si fuera mayor, disminuiría el espacio de aire disponible necesario para homogeneizar la muestra. Es importante que todas las muestras se identifiquen con los datos completos en su etiqueta.

El frasco o bolsa donde se colecta la muestra no se debe destapar sino hasta el momento en el que se efectúe el muestreo, evitar que el cuello del frasco se ponga en contacto con los dedos o cualquier otro material contaminante.

### **Muestreo en aguas superficiales**

- a. Introducir el frasco o bolsa estéril aproximadamente 30 cm bajo la superficie del agua.



- b. Destapar el frasco o bolsa dentro del agua. La boca del envase o bolsa debe quedar en sentido contrario al flujo de la corriente. Si no existe corriente, como en los embalses, mover el frasco o bolsa de forma horizontal en sentido contrario a la boca del envase o bolsa para crear una corriente.
- c. Una vez que la muestra ocupe el volumen correspondiente tapar el frasco o bolsa sin sacar del agua. Cerrar correctamente maniobrando en el exterior. La toma de muestra será en un solo paso.

### **Muestras profundas en lagos o embalses**

Usar aparatos especiales que permitan destapar y tapar mecánicamente el frasco debajo de la superficie.

### **Muestreo en pozos**

- a. Si el pozo está provisto de bomba de mano, bombear durante 5 minutos para que el agua fluya libremente antes de tomar la muestra.
- b. Si el pozo está dotado de bomba mecánica, tomar la muestra en una llave previamente sanitizada de la descarga dejando que fluya el agua libremente durante 5 minutos antes de tomar la muestra.
- c. Si no se cuenta con equipo de bombeo, tomar la muestra directamente del pozo por medio de un frasco estéril o con algún otro dispositivo adecuado previamente sanitizado.

### **Muestreo en grifos**

- a. Para la toma de muestra de un grifo, sanitizar y abrir completamente dejando que el agua fluya de 2 a 3 minutos o el tiempo suficiente para permitir la purga de la línea.
- b. Controlar el flujo de la llave para que se pueda llenar el frasco o bolsa sin salpicaduras.

Una vez recolectada la muestra, transportarla al laboratorio.

### **Procedimiento**



Se deben considerar todas las actividades previas de Aseguramiento de Calidad en microbiología para la preparación de medios y materiales, sus controles correspondientes y la documentación requerida para demostrar las actividades.

Incluir de forma paralela controles positivos y negativos con cepas control, cada laboratorio establecerá la continuidad de acuerdo con su sistema de control de calidad.

Para coliformes totales el testigo positivo será *Escherichia coli* y testigo negativo *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* u otro organismo que sea gram positivo que no fermenta la lactosa.

Para coliformes fecales y *E. coli* testigo positivo *Escherichia coli* y testigo negativo *Enterobacter aerogenes*.

### **Prueba presuntiva “Preparación de la muestra e inoculación del medio”.**

Antes del examen, mezclar la muestra agitándose vigorosamente para lograr una distribución uniforme de los microorganismos dependiendo de la naturaleza del agua y el contenido bacteriano esperado, hacer las diluciones necesarias en esta etapa.

Para preparar la muestra, realizar diluciones e inocular alícuotas en el medio presuntivo. Para alícuotas superiores o iguales a 10 ml, usar tubos conteniendo medio de cultivo de doble concentración.

En caso de que la densidad bacteriana se considere alta, realizar diluciones empleando el diluyente e inocular alícuotas en el medio presuntivo.

Utilizar series que constan de por lo menos 3 diluciones: 10 ml, 1,0 ml y 0,1 ml de muestra, conforme a la expresión de resultados que se requieran; cada serie debe contar con 3 o 5 tubos.

### **Incubación de los tubos**

Incubar los tubos inoculados de 24 h a 48 h  $\pm$  3 h a 35 °C  $\pm$  0,5 °C.

### **Revisión de los tubos en cultivo presuntivo**



Examinar los tubos de cultivo a las 24 h de incubación y registrar como reacción positiva aquellos que muestren turbidez y formación de gas en el interior del tubo invertido (tubo de Durham). Continuar la incubación por 24 h ± 3 h en aquellos tubos que no presenten estos cambios y examinar nuevamente.

### **Pruebas confirmativas**

La formación de gas y turbidez son resultados presuntivos de coliformes y es necesario realizar pruebas confirmatorias, sembrar cada uno de los tubos con reacción positiva a tubos con caldos para prueba confirmativas según sea la determinación para coliformes totales, coliformes fecales termotolerantes y/o E. Coli.

### **Organismos coliformes totales**

Para confirmar la presencia de organismos coliformes, incubar los tubos con caldo lactosa bilis verde brillante sembrados a 35 °C ± 0,5 °C y examinar la producción de gas en un periodo de 24 h a 48 h ± 3 h.

### **Cálculos**

Con el número de tubos de las pruebas confirmativas que hayan dado reacciones positivas, calcule el número más probable de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y E. coli en 100 ml de muestra, refiriéndose a las tablas estadísticas del NMP.

En caso de que en la prueba presuntiva no muestre turbidez y producción de gas reportar el valor mínimo expresado en tablas correspondiente al número de tubos empleados.

Cuando se utilicen diluciones diferentes a las establecidas en las tablas, se aplicará la siguiente fórmula:

$$\frac{NMP}{100 \text{ ml}} = \frac{10}{V} * F \left( \frac{NMP}{100 \text{ ml}} \right)$$

*Ecuación 1*



Donde:

- F**, es el valor de tablas NMP /ml, este se obtendrá de la combinación de tubos positivos y negativos donde se tengan todos los tubos positivos en una misma dilución y las 2 diluciones posteriores a esa combinación;
- V**, es el volumen mayor de muestra (ml), y
- 10**, es el factor de dilución (adimensional).

Cuando la combinación de los resultados obtenidos no se encuentre en tablas se aplicará la siguiente fórmula, donde  $\frac{NMP}{100 ml}$  hace referencia a el *número más probable de organismos coliformes fecales en 100 ml de muestra*:

$$\frac{NMP}{100 ml} = \frac{N^{\circ} de Tubos positivos * 100}{\sqrt{ml de muestra en tubos negativos * ml de muestra en todos los tubos}} \quad \text{Ecuación 2}$$

#### 5.2.2.2. *Fisicoquímicos*

##### 5.2.2.2.1. [NMX-AA-072-SCFI-2001](#) “DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA”

### **Recolección, preservación y almacenamiento de muestras**

- Recolectar un volumen de muestra, homogéneo y representativo, de aproximadamente 400 ml en un frasco de polietileno o vidrio de borosilicato. Pueden utilizarse muestras simples y/o compuestas.
- Acidificar la muestra con ácido nítrico hasta pH 2 o menor inmediatamente después de la recolección. Normalmente 2 ml/L son suficientes.
- Mantener la muestra en refrigeración a 4 °C hasta el momento del análisis. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis recomendado es de seis meses.

### **Procedimiento**



*Tratamiento previo de muestras de aguas contaminadas y residuales:*

Si la muestra contiene partículas o materia orgánica requiere un tratamiento previo al análisis. Se recomienda llevar a cabo una digestión con ácido nítrico - ácido sulfúrico o ácido nítrico - ácido perclórico y ajustar posteriormente el pH de la disolución a un valor de 9, utilizando disolución de amoníaco.

*Titulación de muestras:*

Colocar 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.

Añadir 1 ml ó 2 ml de disolución amortiguadora (generalmente un mL es suficiente para alcanzar un pH de 10,0 a 10,1).

Añadir una cantidad adecuada (0,2 g) del indicador eriocromo negro. La muestra debe tomar un color vino rojizo.

Titular con la disolución de EDTA 0,01 M agitando continuamente hasta que desaparezcan los últimos matices rojizos. Añadir las últimas gotas con intervalos de 3 s a 5 s. En el punto final la muestra cambia de color rojizo a azul.

### **Cálculos**

Calcular la dureza total como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Dureza total expresada como } CaCO_3 \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B) \cdot C \cdot 1000}{D} \quad \text{Ecuación 1}$$

*Donde:*

- A,** son los ml de EDTA gastados en la titulación en la muestra;
- B,** son los ml de EDTA gastados en la titulación en el blanco (si fue utilizado);
- C,** son los mg de  $CaCO_3$  equivalentes a 1 ml de EDTA, y
- D,** son los ml de muestra.



La preparación de todos los reactivos usados en este método debe efectuarse bajo una campana de extracción. Consulte las hojas de seguridad sobre manipulación y disposición de estos.

5.2.2.2.2. NMX-AA-030-SCFI-2012 ANÁLISIS DE AGUA – “MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, (DQO) RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. – MÉTODO DE PRUEBA – PARTE 1 – MÉTODO DE REFLUJO ABIERTO”

### Control de calidad

Cada laboratorio que utilice este método debe operar un programa de control de calidad formal, que cumpla con lo establecido en la norma NMX-AA-115-SCFI-2001, vigente.

### Valoración del *Sulfato ferroso amoniacal (FAS) en concentración alta y baja*

Estas disoluciones deberán ser valoradas previamente a su uso, de la siguiente manera:



**Figura 10.** *Equipo que se ocupará para realizar el DQO (Propia, 2023).*

Diluir 10.0 ml de disolución de dicromato de potasio  $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,040 \text{ mol/L}$  o  $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,0040 \text{ mol/L}$  (véase Nota) con aproximadamente 100 ml de ácido sulfúrico 4 mol/L. Titular la disolución con el sulfato ferroso amoniacal para ser valorada usando 2 ó 3 gotas de ferroína como indicador.



**NOTA:** En la preparación de este reactivo para la valoración del Sulfato ferroso amoniacal,  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (FAS) debe emplearse una sal de dicromato de potasio con una pureza igual o superior al 99,95 %; o bien un material de referencia certificado.

La concentración de cantidad de sustancia (  $c$  ), expresada en moles por litro, del sulfato ferroso amoniacal está dada por la siguiente expresión.

$$C_{(FAS)} = \frac{V(K_2Cr_2O_7) \cdot C(K_2Cr_2O_7) \cdot 6}{V_{(FAS)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$C_{(FAS)}$ , es la concentración del sulfato ferroso amoniacal en mol/L;

$V_{(FAS)}$ , es el volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal consumido en ml;

$c(K_2Cr_2O_7)$ , es la concentración de cantidad de sustancia de dicromato de potasio en mol/L;

$V(K_2Cr_2O_7)$ , es el volumen de la disolución de dicromato de potasio, 10.0 ml, y

6, es el factor de equivalencia: 1 mol de dicromato de potasio es equivalente a 6 moles de FAS.

### **Medición**

#### ***Digestión de la muestra***

Se emplea un equipo para la digestión de la muestra tal como se muestra en la foto.

Introducir reactivos y muestras a analizar en los viales, perfectamente limpios, en las cantidades siguientes, mostradas en la tabla 23:

**Tabla 23.** Información de digestión de la muestra en la experimentación (*Propia, 2023*).

<b>Reactivo</b>	<b>Sulfato de mercurio</b>	<b>Dicromato 0.25N</b>	<b>Reactivo de ácido sulfúrico</b>	<b>Muestra</b>
	<b>(gr)</b>	<b>(ml)</b>	<b>(ml)</b>	<b>(ml)</b>

Cantidad	0.1	2.5	7.5	5
----------	-----	-----	-----	---

El sulfato de mercurio sólido puede medirse con una pequeña cuchara calibrada a tal efecto, tomando en cuenta que 100 mg de la sal pueden acomplejar 10 mg de iones cloruro. Si la muestra de agua contiene iones cloruro a concentraciones mayores, la cantidad de sal a añadir será mayor considerando que la relación de pesos del sulfato de mercurio y de los iones cloruro es de 10 a 1. Los blancos preparados por calentamiento tienden a sobrecalentarse y ebullición violentamente. Para evitarlo se aconseja añadir a los viales con los blancos pequeñas esferas, capilares o trozos de cristal. Una vez preparados los viales se introducen en el sistema de digestión que estará programado para calentar a 150°C (temperatura de ebullición del sulfúrico de la disolución 2.2) durante 120 minutos, que finalizan con una señal de alarma del aparato. Se extraen los viales y se dejan enfriar en un soporte metálico adecuado.

### **Valoración de la muestra.**

Seguir los siguientes pasos:

- Verter el contenido de cada vial en un Erlenmeyer de boca ancha. Lavar al vial con agua destilada 3-4 veces y verterlo en el Erlenmeyer.
- Añadir 6 gotas del indicador de ferroína.
- Después de dejar enfriar el contenido del erlenmeyer es valorado con la disolución estándar de sulfato ferroso amónico hasta que el color verde-azul (foto izquierda) cambia a naranja (foto derecha)
- Anotar el volumen gastado (en ml) de disolución de sulfato ferroso amónico gastado, que será empleado para la determinación de la DQO.



(a)



(b)



**Figura 11.** (a) Aspecto de la disolución antes de la valoración. (b) Aspecto de la disolución después de la valoración (Propia, 2023).

**Valoración de la disolución estándar de sulfato ferroso amónico.**

Hay que valorar la disolución de sulfato ferroso amónico cada vez que se realiza un análisis de DQO ya que cambia con el tiempo. Esta valoración será tomada en cuenta en el cálculo de la DQO. Para valorar esta disolución introducir en un erlenmeyer la siguiente disolución de dicromato mostrada en la tabla 24:

**Tabla 24.** Información acerca de la valoración de la disolución estándar de sulfato ferroso amónico (Propia, 2023).

Disolución de dicromato 0.25N	Agua destilada	Ácido sulfúrico concentrado
2.5 ml	25 ml	7.5 ml

Después de enfriar se realiza la valoración de la disolución de Fe<sub>(II)</sub> hasta obtener el color naranja. Se emplea el volumen usado en mL para determinar el factor de corrección, F<sub>c</sub>. Si la valoración es exacta, se necesitan 5 ml de la disolución de Fe<sub>(II)</sub> para valorar la disolución de dicromato, o bien un volumen mayor si la normalidad de la disolución de Fe<sub>(II)</sub> es menor. El factor de corrección,  $F_c = \frac{5}{n}$ , donde n es el número de mL empleados realmente.

**Evaluación del blanco.**

Se prepara un blanco que consiste en añadir los mismos reactivos que a las muestras, pero a agua destilada. El volumen de agua destilada y el resto del proceso a aplicar (digestión, enfriamiento y valoración) es el mismo que el de las muestras.

**Resultados y cálculo de la DQO.**

Se emplea la siguiente expresión:

$$DQO, \frac{mg}{L} = \frac{[(b-a) \cdot 8000 \cdot N \cdot F_c]}{V}$$

Ecuación 2



*Donde:*

**b**, es el volumen de la disolución de Fe (II) gastado en la valoración del blanco (ml);

**N**, es la normalidad de la disolución de Fe (mg/L);

**V**, es el volumen de la muestra (ml);

**a**, es el volumen gastado en la valoración de la muestra (ml);

**n**, es el volumen de disolución de sulfato ferroso amónico gastado en la valoración de la disolución de dicromato (ml), y

$F_c$ , es el factor de corrección,  $F_c = \frac{V}{n}$  (ml).

Se debe anotar el resultado obtenido para poder realizar el cálculo necesario. Todos los volúmenes se expresan en ml.

A partir de los resultados, se necesitó anotar los valores obtenidos de *a* como el valor de resultado de la DQO.



# CAPÍTULO VI

## 6. Resultados y Discusión

### 6.1. Resultados

#### 6.1.1. Captación de agua pluvial

##### 6.1.1.1. Plan de muestreo

##### 6.1.1.1.1. Identificación del lugar de muestreo

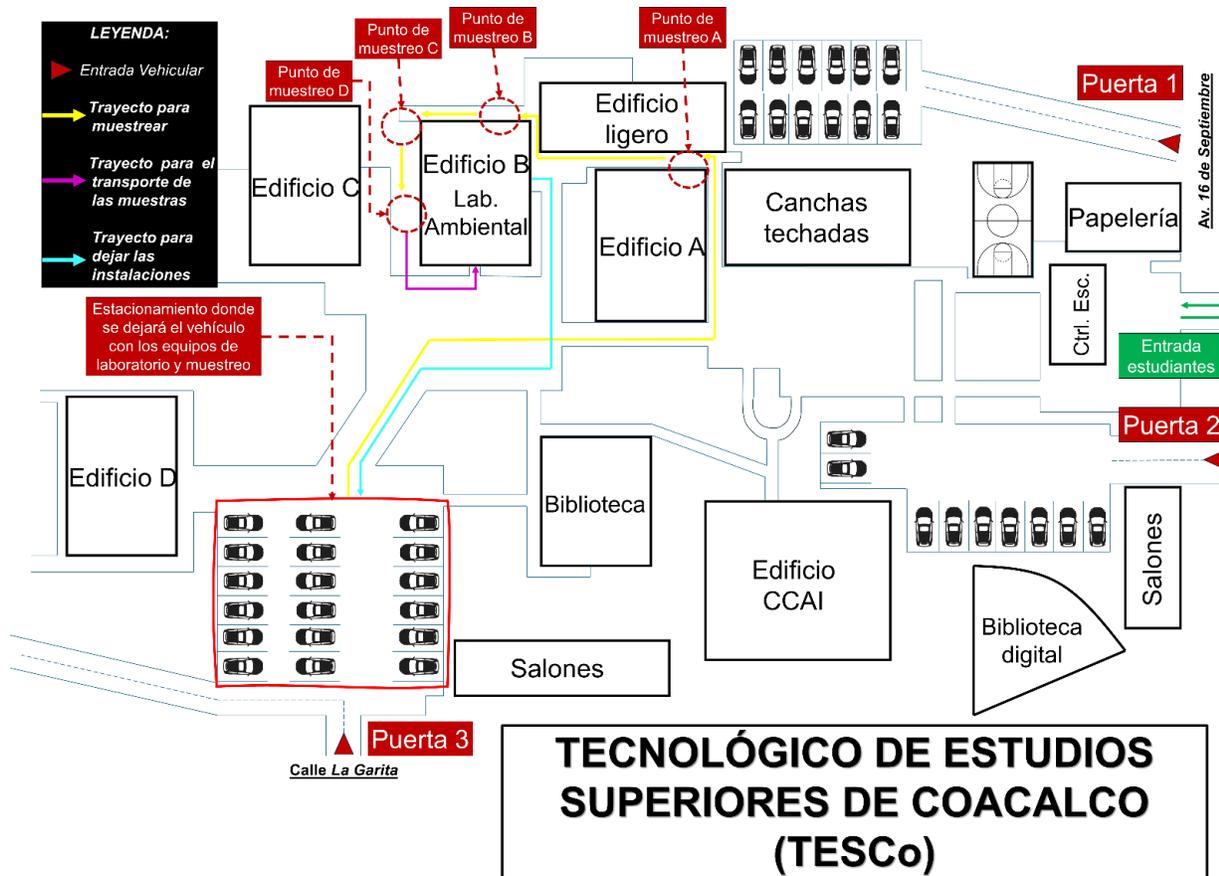
La captación de agua pluvial se realizó dentro del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, que se encuentra ubicado en Av. 16 de Septiembre No. 54, 55700 San Francisco Coacalco, México. En la siguiente figura, se muestra la vista satelital del plantel, que se obtuvo a partir de Google Earth y corresponde a la imagen más reciente de cómo se visualiza el tecnológico en la actualidad. Se debe entender que la escuela cuenta con varias entradas y salidas del plantel, así como varios estacionamientos y edificios que podrían servir como áreas de captación, pero para proponer un plan de muestreo que sea acertado y certero, se buscó la posibilidad de elaborar un recorrido lo más corto posible para los muestreadores.



**Figura 12.** Vista satelital del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (*Google Earth, 2024*).

Como se menciona en la metodología, se necesita mencionar algunos datos importantes que se requieren en un plan de muestreo. Las entradas y salidas del plantel, el o los lugares donde se estacionará el vehículo donde se transportan los equipos de laboratorio, muestreo y hasta las mismas muestras; y el trayecto que se realizará desde que se entra al lugar del muestreo hasta que

se sale de él, se muestran en la figura 13, la cual ejemplifica cómo es que se llevará a cabo el plan de muestreo.



**Figura 13.** Croquis del TESCO con el plan de muestreo marcado (Propia, 2024).

Al tratarse de un muestreo de agua pluvial, no existen tomas de muestreo, cárcamos o canales que puedan ayudar a realizar el muestreo, por lo que se obvió esta parte de la metodología entendiendo que en donde se realiza el muestreo es en zonas que se encuentran al fácil acceso del muestreador, sin la necesidad de ocupar escaleras o el uso de equipo de protección personal (EPP) para realizarlo. Esto se hizo con el motivo de facilitar el procedimiento a la hora del muestreo y porque en el momento en el que se realizó el proyecto, fue imposible que se diera acceso a zonas en las cuales no estaba permitido el paso a los muestreadores.

En el caso de este proyecto, se necesitaron un total de dos muestreadores, el primero se dedicaba a tomar la muestra en los recipientes esterilizados y medir las variables que eran necesarias al



momento, mientras que el segundo muestreador se encargaba de anotar los datos pertinentes en una bitácora.

#### 6.1.1.1.2. Selección de puntos de muestreo

La selección de los puntos de muestreo se debe hacer en base a varios factores que aseguren una representatividad fidedigna de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua muestreada. Al tratarse de agua pluvial la que se busca muestrear, es difícil poder seleccionar puntos de muestreo en lugares susceptibles a contaminación, con fugas frecuentes o carentes de protección, ya que la precipitación se distribuye de manera uniforme y no tiene preferencia alguna por una zona específica u otra para precipitar. Al hablar de que se busca implementar la propuesta del sistema de captación en el *edificio B*, dentro del TESCO, no existe mucha variabilidad que se pueda tomar en cuenta para poder establecer varios puntos de muestreo que aseguren una distribución uniforme de estos. Por más que se alejen los puntos de muestreo, si se ubican dentro del plantel, las características del agua muestreada serán las mismas. Por lo contrario, si se disponen los puntos de muestreo a kilómetros de distancia, es posible que si se encuentren diferencias fisicoquímicas y microbiológicas en el agua pluvial recolectada.

Una mejor opción para el plan de muestreo es, por un lado, el distribuir un número total de cuatro puntos de muestreo a lo largo de donde se ubicaría el sistema de captación propuesto en el proyecto, y por el otro, proponer un número total de cuatro puntos de muestreo. El motivo es cuatro es el número de muestras simples que se tienen que sacar en base a la metodología que se está siguiendo (esto se explica más adelante en el apartado de *Frecuencia de muestreo*). Aunque se buscó, encarecidamente, el poder captar agua en el techo del edificio donde se busca implementar el sistema, fue imposible proponer los puntos de muestreo y realizarlos, ya que no se contaba con el permiso de la administración del tecnológico para poder acceder a áreas del techo en el que pudieran entrar los muestreadores. Esto dificultó la realización del proyecto, por lo que se tuvo que buscar una solución pronta que pudiera ser satisfactoria a la hora de presentar los resultados. El lugar donde se buscaba disponer los equipos para la recolección de agua de lluvia se muestra en la figura 14.



(a)



(b)

**Figura 14.** (a) Fotografía tomada del techo del edificio B, donde se buscaba disponer uno de los captadores. (b) Fotografía de la misma parte del techo, pero tomada desde abajo (**Propia, 2024**).

Los puntos que se seleccionaron, como se menciona anteriormente, fueron cuatro y se ejemplifican en la lista siguiente, usando las fotografías de la 15 a la 18, como una referencia de en donde se establecieron estos puntos de muestreo. El equipo que se muestra en las imágenes para recolectar el agua de lluvia no fue el utilizado a la hora final de realizar el muestreo. El equipo que se ocupó se menciona en la parte de **materiales y métodos** de este proyecto, en la sección de materiales ocupados en la *captación de agua pluvial*.

### **Primer punto de muestreo**

El primer punto de muestreo se localizó en frente de la planta potabilizadora de agua, ubicada en *edificio ligeros*, y a lado del *edificio A*, tal y como se muestra en la figura 13. El equipo que se utilizó para la recolección de la muestra fue ubicado en un registro de agua para uso y contacto humano, como se muestra en la figura 15.



**Figura 15.** Fotografía del muestreador, colocando el equipo de muestreo, en el punto de muestreo A (*Propia, 2024*).

### **Segundo punto de muestreo**

El segundo punto de muestreo fue ubicado en el registro que se encuentra en la parte posterior del *edificio B*, tal y como se muestra en la figura 16, que se muestran a continuación:



(a)

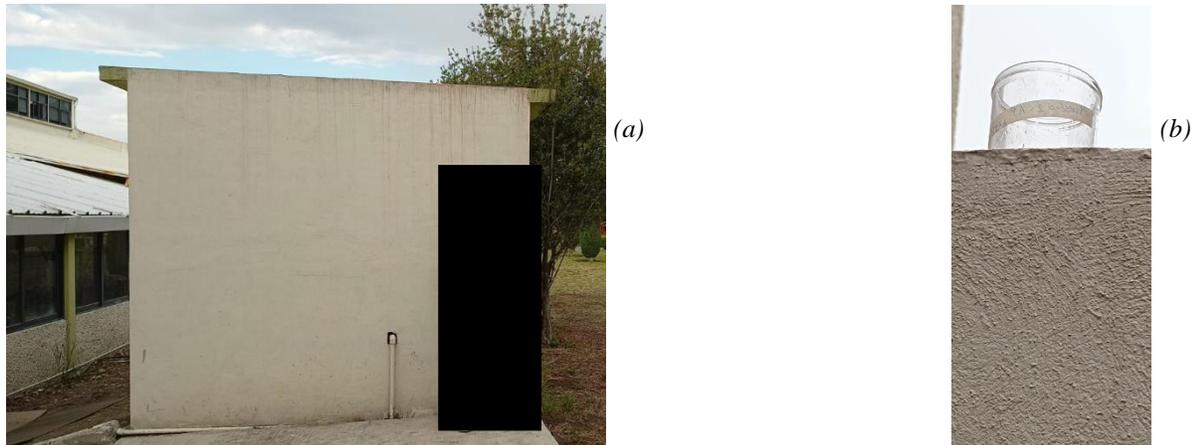


(b)

**Figura 16.** (a) Punto de muestreo B. (b) Equipo de captación dispuesto en el punto de muestreo B (*Propia, 2024*).

### **Tercer punto de muestreo**

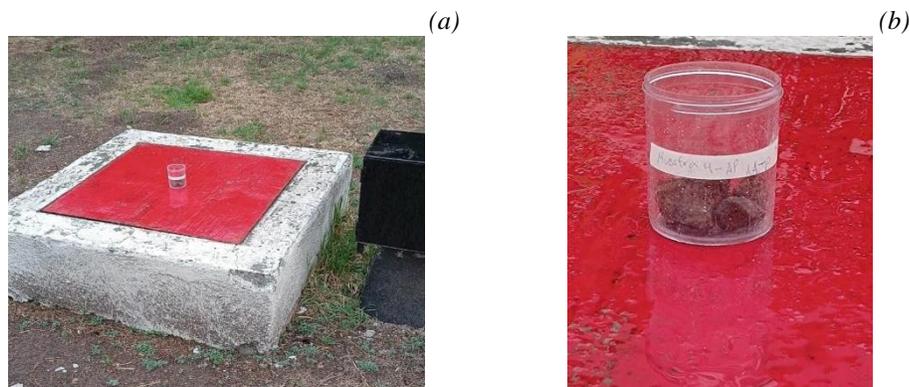
El tercer punto de muestreo se encontraba al finalizar las escaleras que dan a las áreas verdes que se encuentran entre el *edificio B* y el *edificio C*, en la parte posterior del edificio en donde está el *laboratorio de Ingeniería Ambiental*. El equipo para el muestreo se dispuso arriba de una caseta de electricidad al final de las escaleras mismas. En la figura 17 se muestra en lugar donde se encontraba ubicado el colector.



**Figura 17.** (a) Caseta donde se ubica el punto de muestreo C. (b) Punto de muestreo C con el colector (*Propia, 2024*).

### Cuarto punto de muestreo

El último punto de muestreo se puso en las mismas áreas verdes que se describen en el punto de muestreo anterior, que se encuentran entre el edificio B y C, en un registro de agua ubicado a lado de un poste de luz. La figura 18 ejemplifica en donde se dispuso el equipo de muestreo.



**Figura 18.** (a) Punto de muestreo D. (b) Colector en el punto de muestreo D (*Propia, 2024*).



#### 6.1.1.1.3. Frecuencia de muestreo

Con respecto a la frecuencia de muestreo, en la metodología se mencionaba que era necesario plantear cuantas muestras simples se necesitaba en base a las horas por día en las que operaba en proceso generador de la descarga. En el caso específico del agua pluvial, no se cuenta con un proceso que genere las descargas de agua, por lo que se tomaría en cuenta a la lluvia como el proceso generador y a la duración de la tormenta como las horas por día en las cuales se genera dicha agua.

En la tabla 21, se muestra la información en la cual se puede tomar cuantas muestras simples son necesarias para la cantidad de horas en el que el proceso está funcionando. En este caso, se toma una duración de la tormenta de entre 4 a 8 horas aproximadamente, por lo cual es necesario tener un número mínimo de 4 muestras simples para realizar los cálculos pertinentes.

La metodología también menciona que debe existir, para un proceso generador de descarga de entre 4 a 8 horas, un intervalo de 1 a 2 horas entre la toma de muestras simples, pero esto es imposible de realizar ya que muchas veces la lluvia no vuelve a reincidir otra vez en el mismo día. Para este caso, se buscó captar las 4 muestras simples necesarias en un período o lapso no mayor a una semana de diferencia, por lo cual se obtuvieron las cuatro muestras en una misma semana. La identificación de cada una de las muestras, su etiquetado y su preservación se hablarán en el siguiente apartado.

#### 6.1.1.1.4. Identificación de la muestra

En la identificación de las muestras, se siguió al pie de letra la metodología que se ocupó para la realización del proyecto, pero en vez de mencionar a los puntos de muestreo como puntos de descarga, se utilizará las referencias más notables de cada uno de los puntos de muestreo para poder identificarlos de una manera más fácil.

En la identificación se añadió el apartado de volumen de precipitación, para que, en conjunto del dato de la duración de la tormenta, que es de 4 horas aproximadamente, se pueda obtener los caudales de cada una de las muestras simples y anotarlos en la bitácora en el momento del muestreo.

Esto se realizó para obtener valores pluviométricos que después sirvieron para realizar los cálculos del *Volumen de Muestra Compuesta* (VMC). Esto se retomará más adelante en el apartado de *cálculos* de esta sección de *resultados*.

En el apartado de *técnica de preservación de la muestra*, se siguieron las indicaciones que se muestran en la tabla 22, la cual menciona que tipo de técnica se debe aplicar dependiendo del tipo de análisis a efectuar y la duración de la muestra con este tipo de preservación antes de su análisis.

En la figura 19, la fotografía (a) muestra parte del material que se utilizó para la realización de los muestreos, y la fotografía (b) muestra la refrigeración que se ocupaba para la muestra a la cual se le iba a realizar un análisis microbiológico, pero prácticamente fue el mismo tipo de técnica de conservación que se le realizó a las demás muestras.



**Figura 19.** (a) Fotografía que muestra el equipo que se utilizó para el muestreo. (b) Refrigeración utilizada en la muestra para los análisis microbiológicos (*Propia, 2024*).

### **Primera muestra**

- ✓ *Punto de muestreo:* A
- ✓ *Identificación del punto de muestreo:* En el registro enfrente de la potabilizadora
- ✓ *Número de la muestra:* 1
- ✓ *Fecha y hora de muestreo:* Lunes, 26 de junio de 2023/19:34 horas



- ✓ *Temperatura de la muestra:* 18 °C
- ✓ *Volumen de precipitación:* 1000 ml
- ✓ *Nombre del muestreador:* Juan Pablo Alarcón Arroyo
- ✓ *pH:* 7.00
- ✓ *Olor y color:* Inoloro e incoloro
- ✓ *Tipo de análisis a efectuar:* Dureza total
- ✓ *Técnica de preservación a utilizar:* Refrigerar de 4 a 10 °C y en la oscuridad (con esto puede llegar a durar la muestra hasta 14 días)

Las etiquetas de la muestra se realizan después del muestreo y se hace en los laboratorios especializados. En la figura 20, se muestra el momento de etiquetado de las muestras.



**Figura 20.** Fotografía del momento de etiquetado de las muestras (*Propia, 2024*).

### **Segunda muestra**

- ✓ *Punto de muestreo:* B
- ✓ *Identificación del punto de muestreo:* En el registro en la parte posterior del edificio B
- ✓ *Número de la muestra:* 2
- ✓ *Fecha y hora de muestreo:* Martes, 27 de junio de 2023/21:38 horas
- ✓ *Temperatura de la muestra:* 20 °C



- ✓ *Volumen de precipitación:* 750 ml
- ✓ *Nombre del muestreador:* Juan Pablo Alarcón Arroyo
- ✓ *pH:* 6.00
- ✓ *Olor y color:* Inoloro e incoloro
- ✓ *Tipo de análisis a efectuar:* Dureza total
- ✓ *Técnica de preservación a utilizar:* Refrigerar de 4 a 10 °C y en la oscuridad (con esto puede llegar a durar la muestra hasta 14 días)

### **Tercera muestra**

- ✓ *Punto de muestreo:* C
- ✓ *Identificación del punto de muestreo:* Arriba de la caseta a un lado del edificio B
- ✓ *Número de la muestra:* 3
- ✓ *Fecha y hora de muestreo:* Miércoles, 28 de junio de 2023/19:48 horas
- ✓ *Temperatura de la muestra:* 22 °C
- ✓ *Volumen de precipitación:* 3000 ml
- ✓ *Nombre del muestreador:* Juan Pablo Alarcón Arroyo
- ✓ *pH:* 7.00
- ✓ *Olor y color:* Inoloro e incoloro
- ✓ *Tipo de análisis a efectuar:* DQO
- ✓ *Técnica de preservación a utilizar:* Refrigerar de 4 a 10 °C y en la oscuridad (con esto puede llegar a durar la muestra hasta 48 horas)

### **Cuarta muestra**

- ✓ *Punto de muestreo:* D
- ✓ *Identificación del punto de muestreo:* En el registro a lado del poste de luz, en medio del edificio B y C
- ✓ *Número de la muestra:* 4
- ✓ *Fecha y hora de muestreo:* Jueves, 29 de junio de 2023/17:32 horas
- ✓ *Temperatura de la muestra:* 19 °C



- ✓ *Volumen de precipitación:* 400 ml
- ✓ *Nombre del muestreador:* Juan Pablo Alarcón Arroyo
- ✓ *pH:* 7.00
- ✓ *Olor y color:* Inoloro e incoloro
- ✓ *Tipo de análisis a efectuar:* Microbiológico – *Organismos Coliformes Totales*
- ✓ *Técnica de preservación a utilizar:* Refrigerar de 4 a 10 °C y en la oscuridad (con esto puede llegar a durar la muestra hasta 24 horas)

#### 6.1.1.1.5. Cálculos – Obtención del Volumen de Muestra Compuesta (VMC)

Para calcular y obtener el *Volumen de Muestra Compuesta* necesario para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua muestreada, se necesitan primero ciertos datos que se ocuparán en los cálculos pertinentes. Primero se necesitará obtener el *volumen total que es necesario para realizar los análisis* que se requieren, el cual puede ser obtenido a través de la información proporcionada por la tabla 22. En este caso se ocuparán, para los análisis del agua pluvial captada, un total de **2.525** L de muestra, los cuales se obtuvieron a partir de las cuatro muestras simples recolectadas. La *duración de la tormenta* es necesaria para poder utilizarla en el cálculo de los caudales de cada una de las muestras simples, el cual fue un mínimo de **4** horas, y, por último, en conjunto con los *volúmenes de precipitación*, que se apuntaron al momento de realizar cada muestra simple, se obtienen los *caudales* de cada una de las lluvias respectivamente.

Con estos datos, y partir de la fórmula 1, mostrada en el apartado de *metodologías*, para la sección de *captación de agua pluvial*, se calcula el *volumen de muestra simple* de cada muestra realizada para poder obtener el *volumen de muestra compuesta*, que debe ser igual al volumen total necesario para realizar los análisis pertinentes.

En la tabla 25 se muestran los resultados que se obtuvieron a partir de los cálculos realizados. Cabe destacar, que el volumen de muestra compuesta es el mismo que el volumen necesario para realizar los análisis.



**Tabla 25.** Resultados de los cálculos para la obtención del Volumen de Muestra Compuesta (VMC) a partir de los muestreos de agua pluvial (Propia, 2024).

<u><b>NMX-AA-3-1980 "MUESTREO"</b></u>				
<b>Datos</b>			<b>Unidades</b>	
<b><math>VMC_{necesario}</math></b>		2.525	<b>L</b>	
<b>Duración de la tormenta</b>		14400	<b>s</b>	
<b>Factor de conversión</b>				
1	<b>L</b>	<i>equivale</i>	1000	<b>mL</b>
1	<b>m<sup>3</sup></b>	<i>equivale</i>	1000	<b>L</b>
<b>Número de muestreos</b>	<b>Volúmenes de precipitación registrados en cada lluvia (mL)</b>	<b>Volúmenes de precipitación registrados en cada lluvia (L)</b>	<b>Caudales de cada una de las lluvias donde se tomaron las muestras (L/s)</b>	<b>Volumen de muestra simple de cada muestreo (L)</b>
<b>1</b>	1000	1	6.9444E-05	0.4903
<b>2</b>	750	0.75	5.20833E-05	0.3677
<b>3</b>	3000	3	0.000208333	1.4709
<b>4</b>	400	0.4	2.77778E-05	0.1961
<b>TOTAL</b>			0.0003576	2.525



6.1.2. Análisis de laboratorio

6.1.2.1. Microbiológicos

6.1.2.1.1. Organismos Coliformes Totales

**Tabla 26.** Resultados de los cálculos de la confirmación de organismos coliformes totales por método del Número Más Probable (NMP) en tubos múltiples (Propia, 2024).

<b><u>NMX-AA-SCFI-2015 ANÁLISIS DE AGUA – “ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y Escherichia coli – MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES (CANCELA A LA NMX-AA-42-1987).”</u></b>		
<b>N° de tubos positivos</b>	2	
<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	
<b>mL de muestra en tubos negativos</b>	18.1	<b>mL</b>
<b>mL de muestra en todos los tubos</b>	18.3	<b>mL</b>
<b>Número más probable (NMP) de <u>Organismos Coliformes Totales</u></b>	10.9892	<b><math>\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}</math></b>

Cómo se logra apreciar en la tabla 26, los resultados de la confirmación de Organismos Coliformes Totales fueron de **10.9892**  $\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}$ , lo que en comparativa con la tabla 11, del apartado de *especificaciones sanitarias* para el agua, menciona que está por encima de la normatividad mexicana de calidad hídrica. Esto puede deberse a varios motivos, pero la principal razón puede deberse a, por un lado, una contaminación cruzada existente en el momento de la realización del experimento, o por el otro, a que existe un arrastre de contaminantes y microorganismos en las áreas de captación y en los equipos de muestreo, debido a las fuertes corrientes de aire que ocurren por las lluvias. Al tratarse de zonas que se encuentran expuestas al medio ambiente y no 100% estériles, puede existir la posibilidad de una mínima presencia de materia orgánica y



microorganismos que pueden sobrevivir en el agua hasta un promedio de 24 horas. Debido a esto, en el apartado de *Tren de tratamiento*, en esta misma sección de resultados, se propone una cloración por contacto en una cisterna de almacenamiento, justo antes de la distribución o su uso, para que la gran parte de estos microorganismos pueda ser eliminada con eficiencia y rapidez. Aun así, esta presencia mínima que pudiera quedar no sería de gran problema porque, recordemos, el uso y destino final del agua tratada es para uso de contacto indirecto humano, por lo que la gran mayoría de actividades para la que se destinaría el agua sería para riego de áreas verdes, aseo de los baños y pisos de estos.

Se agregará información pertinente al tratamiento por cloración en la parte de los anexos. Esto corresponde a las curvas de cloración simple que se realizaron en su momento para el trabajo de obtención de título de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, realizado hace un par de años. Junto con él, se agregarán una serie de gráficas de cloración y un estimado promedio de cuanto se tiene que agregar de cloro por cada 100 ml de muestra.

6.1.2.2. *Fisicoquímicos*

6.1.2.2.1. *Dureza Total*

**Tabla 27.** Resultados de los análisis de dureza total realizados a las muestras de agua pluvial (*Propia, 2024*).

<u><b>NMX-AA-072-SCFI-2001</b></u>		
<u><b>ANÁLISIS DE AGUA – “DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-072-1981)”</b></u>		
<i>Datos</i>		<i>Unidades</i>
<i>A</i>	1	<b>mL</b>
<i>B</i>	0	<b>mL</b>
<i>C</i>	0.0010009	<b>gr CaCO<sub>3</sub></b>
<i>D</i>	25	<b>mL</b>
<b>Dureza Total expresada como CaCO<sub>3</sub> (mg/L)</b>	0.0400	<b>mg/L</b>



En la tabla 27, se muestran los resultados que se obtuvieron a partir de la experimentación de la dureza total que tiene el agua de lluvia captada. Los valores muestran un resultado de **0.0400 mg/L** de sales que pueden estar presentes en la precipitación pluvial de la zona. Aunque es un valor muy bajo, y se encuentra dentro de los *Límites Permisibles* que establece la normatividad mexicana, es una realidad que se encuentran presentes y debe existir un motivo para ello. Una razón que podría explicar esta contaminación es el arrastre de contaminantes, partículas de tierra, polvo y minerales que puede existir, gracias a los fuertes vientos en temporadas de sequía, así como los provocados por las fuertes lluvias. Estas partículas pueden llegar a sedimentarse en los techos cuando el viento se calma, generando una capa de tierra y polvo, que después, es arrastrada por las primeras lluvias a los sistemas de captación, para posteriormente aparecer en los análisis fisicoquímicos del agua pluvial muestreada. También, los muestreadores, no se encuentran cubiertos al 100%, por lo que permanecen en contacto constante con el medio ambiente, pudiéndose prestar a que exista una contaminación cruzada, la cual hace reflejo en los resultados de dichos análisis.

#### 6.1.2.2.2. Demanda Química Oxígeno (DQO)

En la tabla 28, se puede observar los valores que resultaron de la experimentación de la Demanda Química de Oxígeno realizada al agua de lluvia que se recolectó en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco. En él, se observa un valor de 0.00 mg/L de oxígeno disuelto en la muestra. Esto quiere decir, que el agua pluvial posee una nula parte de oxígeno disuelto disponible para que el medio pueda oxidar la materia orgánica presente en el agua. Aunque los resultados anteriores muestran que, si existe una fracción de microorganismos presentes en el agua pluvial muestreada, esto no quiere decir que el agua de lluvia necesariamente lleva estos contaminantes en sí misma. Los resultados que se obtuvieron por parte de la experimentación microbiológica se pudieron haber dado gracias a una contaminación cruzada al momento del desarrollo del experimento. Se puede entender que, si el valor de la DQO es alto, es porque existe materia orgánica que puede ser oxidado por el medio, por lo tanto, podemos relacionar la existencia de esta mayoría orgánica con la presencia de microorganismos que la ocupen, junto con el oxígeno disuelto, para poder realizar su metabolismo. Si al realizar la prueba de DQO, sale un valor casi nulo, y al momento de realizar la prueba microbiológica, salen resultados positivos, es posible que la fuente de contaminación no



provenza de la misma lluvia, si no que exista un factor externo que esté contaminando esa muestra, ya sea por medio del aire, el medio ambiente o por un error al momento de la experimentación.

**Tabla 28.** Resultados de los análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) realizados al agua pluvial muestreada (Propia, 2024).

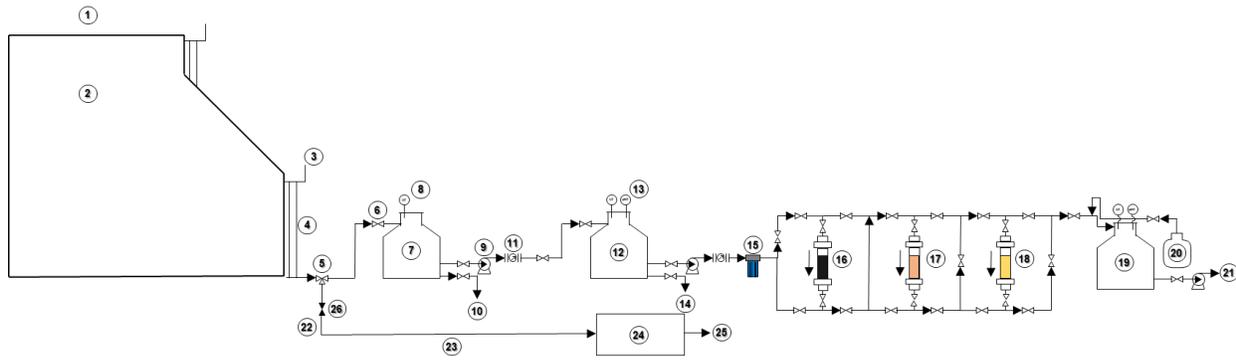
<u><b>"NMX-AA-030-SCFI-2012"</b></u>		
<u><b>ANÁLISIS DE AGUA – “MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, (DQO) RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. - MÉTODO DE PRUEBA - PARTE 1 - MÉTODO DE REFLUJO ABIERTO - (CANCELA A LA NMX-AA-030-SCFI-2001).”</b></u>		
<b>Datos</b>		<b>Unidades</b>
<b>a</b>	4.4	<b>mL</b>
<b>b</b>	4.4	<b>mL</b>
<b>N</b>	0.2041	<b>mg/L</b>
<b>V</b>	5	<b>mL</b>
<b>n</b>	3.7	<b>mL</b>
<b>Fc</b>	1.3513514	<b>mL</b>
<b>DQO</b>	0.0000	<b>mg/L</b>



### 6.1.3. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo comienza en la *zona de captación* (1), la lluvia cae en el techo del *edificio B* (2) y es dirigida a través de las *canaletas* (3) al sistema de tratamiento. El agua baja por medio de las *bajantes* (4) hacia una *válvula de 3 vías* (5) la cual permite el paso del afluente. Antes de entrar al primer tratamiento, el agua tiene que pasar por una *válvula de paso* (6). El primer tratamiento es conocido como *tanque de primeras aguas* (7), el cual tiene como función, por un lado, el capturar las aguas de las primeras lluvias, y por el otro, sedimentar el material proveniente de estas primeras aguas. Existe un *medidor de nivel de agua (indicador y transmisor)* (8) que mide la salinidad o acidez con la que viene el agua de lluvia, y en el fondo del tanque existe una *línea de desagüe de primeras aguas* (10) para eliminar las aguas cargadas de sedimentos. Después del primer tratamiento, el agua pasa por una *bomba presurizadora* (9) la cual lleva el agua a través de un *medidor de flujo/toma de muestra* (11) para ser dirigida hacia el *tanque de pretratamiento* (12), el cual tiene un *medidor de pH (indicador y transmisor)* (13). Este tanque, como el anterior, posee una *línea de desagüe de sólidos sedimentados* (14) que puedan llegar a quedar en el fondo de éste, y que no hayan sido eliminados en el tratamiento anterior. Después, el agua vuelve a pasar por una bomba presurizada y un medidor de flujo/toma de muestra, para terminar en un *filtro para sedimentos* (15), el cual elimina las partículas restantes en el agua. El tratamiento empieza con un *filtro de carbón activado* (16), eliminando contaminantes no deseados; y malos olores, colores y sabores del agua de lluvia. Continúa con un *filtro de resinas de intercambio iónico* (17) el cual se encarga de otorgarle iones (sales) al agua para regular su pH, y con el mismo motivo, pasa por el siguiente *filtro de resinas de intercambio aniónico* (18) para quitarle ciertas sales que queden en el agua. Para finalizar, el agua llega a un *tanque de cloración* (19), con la función de desinfectar el agua y eliminar todo tipo de organismo patógeno existente en el agua, creando un porcentaje de cloro residual el cual sigue cumpliendo con su función de desinfección. El tanque es suministrado por otro *tanque de cloro industrial* (20), que se encuentra a un lado del tanque de cloración. Terminando el tratamiento, el agua está lista para la *distribución* (21). El sistema, a su vez, tiene una *línea secundaria de emergencia* (22) la cual redirige el agua excedente del sistema para que esté mismo no se desborde. Pasa por una *válvula de alivio* (26) la cual se asegura de no retornar las aguas pasado este punto, llegando a la *canaleta de cemento* (23), que es el drenaje de agua

pluvial y que atraviesa todo el tecnológico por en medio. Su destino es el *desfogue al aire libre* (24) que se encuentra entre el edificio CCAI y la biblioteca digital. Finalizando su trayecto en el *drenaje municipal* (25).



**Figura 21.** Diagrama de flujo del Sistema de Captación de Agua de Lluvia (Propia, 2024).

Donde:

- |  |   |
|--|---|
| 1. Área de captación                                 | 14. Desagüe de sólidos sedimentados               |
| 2. Edificio B  | 15. Filtro para sedimentos                        |
| 3. Canaleta  | 16. Filtro de carbón activado                     |
| 4. Bajante   | 17. Resina de intercambio iónico                  |
| 5. Válvula de tres vías                              | 18. Resina de intercambio aniónico                |
| 6. Válvula de paso                                   | 19. Tanque de cloración                           |
| 7. Tanque de primeras aguas                          | 20. Tanque de cloro                               |
| 8. Medidor de nivel de agua (indicador y transmisor) | 21. Distribución                                  |
| 9. Bomba   | 22. Línea secundaria de emergencia                |
| 10. Desagüe de primeras aguas                        | 23. Canaleta de cemento (drenaje de agua pluvial) |
| 11. Medidor de flujo                                 | 24. Desfogue al aire libre                        |
| 12. Tanque de pretratamiento                         | 25. Drenaje municipal                             |
| 13. Medidor de pH (indicador y transmisor)           | 26. Válvula de alivio                             |



6.1.4. Tren de tratamiento

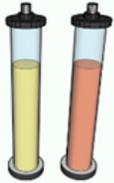
6.1.4.1. Descripción del tren de tratamiento

La siguiente propuesta de tratamiento toma en cuenta los diferentes resultados que se obtuvieron a partir de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al agua de lluvia captada en el Municipio de Coacalco de Berriozábal, Estado de México. Estos resultados, que fueron bajas cantidades de sales y microorganismos, y nula presencia de materia orgánica, nos muestran que existe una pequeña cantidad de contaminación en las aguas pluviales muestreadas, pero estas características la hacen apta para un tipo de fin o destino final para contacto indirecto con la piel. Es por esta razón que se propone el siguiente tren de tratamiento, con los siguientes equipos descritos en la tabla 29, los cuales son descritos en detalle, tanto su funcionamiento y su función dentro del tren de tratamiento.

**Tabla 29.** Propuesta de tren de tratamiento que será implementado en el diseño del Sistema de Captación de Agua de Lluvia, implementado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (SCALL TESCo) (Propia, 2024).

<i>Ordenamiento</i>	<i>Tratamiento</i>	<i>Diseño en 3D</i>	<i>Diseño en 2D</i>	<i>Descripción</i>	<i>Función en el tren de tratamiento</i>
<b><u>1ro</u></b>	<b>Cisterna de sedimentación</b>			La sedimentación es un proceso por el cual se logra sedimentar partículas suspendidas de gran tamaño existentes en el agua a tratar. Estas partículas, por efecto de la gravedad y su gran tamaño, sedimentan en el fondo de los tanques sedimentadores y después son removidas a través de un <u>desazolve</u> del fondo del tanque. Los sedimentos extraídos se pueden disponer a una empresa para su disposición final.	Su función es la de sedimentar las partículas que provienen del área de captación, que son arrastradas por las primeras lluvias de las temporadas.



<p><b><u>2do</u></b></p>	<p><b>Filtro para sedimentos</b></p>			<p>Este filtro es ocupado para <b>retener</b> impurezas de ciertos tamaños, que quedan como residuos en el agua en anteriores tratamientos y evitan que estos pasen a los siguientes por medio de la <u>filtración</u>.</p>	<p>Filtrar impurezas restantes del agua proveniente del primer tanque (tanque de primeras aguas).</p>
<p><b><u>3ro</u></b></p>	<p><b>Filtro de carbón activado</b></p>			<p>El carbón activado sirve para eliminar impurezas, partículas de gran tamaño y otros tipos de contaminantes que existen en el agua a tratar. Gracias a los espacios intermoleculares que existen entre los poros del material, este es capaz de <b>retener</b> una gran variedad de contaminantes. También ayuda a eliminar el mal olor, mal color, y si el agua tiene un destino final potable, el mal sabor del agua tratada.</p>	<p>Ayuda a eliminar partículas que no hayan sido eliminadas por el filtro pulidor, así como la turbiedad y pestilencia existente en el agua pluvial.</p>
<p><b><u>4to</u></b></p>	<p><b>Filtros de resinas de intercambio iónico</b></p>			<p>Las resinas de intercambio iónico se encargan de intercambiar iones sales del agua a tratar para mejorar su dureza, haciéndola más <i>dura</i> o blanda, dependiendo de cuál sea la necesidad de esta. Esto ocurre por la adición o eliminación de iones como calcio o magnesio del agua a través de un proceso complicado fisicoquímico de <u>electrostaticidad</u>, por el cual las cargas electroestáticas de los iones de los filtros y</p>	<p>Ayuda a regular el pH ácido con el que proviene el agua de lluvia. Esto debido a la lluvia ácida provocada por las industrias cercanas y la cercanía a la vialidad <i>La López Portillo</i>.</p>



				del medio, se atraen o se repelen. Esto ayuda al pH y a su conductividad.	
<b>5to</b>	<b>Tanque de cloración</b>			<p>La cloración compuesta tiene como función principal el <u>oxidar</u>, indirectamente, la fracción de materia orgánica existente en el agua a tratar para convertirla en ácido hipocloroso (que se crea a través de la disolución del cloro en el agua). Cuando el <i>amonio</i> agregado entra en contacto con el <i>ácido hipocloroso</i>, se crean compuestos como <u>monocloraminas</u>, <u>dicloraminas</u>, y <u>tricloraminas</u>, que funcionan como cloro residual que continúa con la eliminación de la materia orgánica. Con respecto a los microorganismos, estos compuestos actúan como un agente desinfectante del agua tratada, limpiándola de estos patógenos.</p>	<p>Se requiere por la presencia de microorganismos en las pruebas microbiológicas realizadas al agua pluvial. Aunque su presencia no sea del todo exacta, si es necesario incluir un proceso de cloración para tener una calidad del agua aceptable.</p>

6.1.4.2. *Tabla de tratamientos sugeridos por la NOM-127-SSA1-1994*

La tabla 30 muestra los tratamientos sugeridos por la NOM-127-SSA1-1994, la cual nos menciona los tipos de tratamientos que se deben utilizar en perspectiva de los contaminantes que se encuentran presentes en el agua a tratar.



**Tabla 30.** *Tabla de tratamientos sugeridos por la normatividad mexicana vigente, en base a los contaminantes presentes en el agua a tratar (SSA, 2021).*

<b>Tratamientos sugeridos por la NOM-127-SSA1-1994</b>		
<b>Contaminación microbiológica</b>	<i>Bacterias, helmintos, protozoarios y virus</i>	Deben desinfectarse con cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta;
		Plata iónica o coloidal;
		Coagulación-sedimentación-filtración;
		Filtración en múltiples etapas.
<b>Características físicas y organolépticas</b>	<i>Color, olor, sabor y turbiedad</i>	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración;
		Adsorción en carbón activado.
<b>Constituyentes químicos</b>	<i>Arsénico</i>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración;
		Intercambio iónico;
		Ósmosis inversa.
	<i>Aluminio (bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo)</i>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración;
		Intercambio iónico;
		Ósmosis inversa.
	<i>Cloruros</i>	Intercambio iónico;
		Ósmosis inversa;
		Evaporación;
	<i>Dureza</i>	Ablandamiento químico;
		Intercambio iónico;
	<i>Fenoles o compuestos fenólicos</i>	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración;
		Adsorción en carbón activado;
Oxidación con ozono;		
<i>Hierro y/o manganeso</i>	Oxidación-filtración;	
	Intercambio iónico;	
	Ósmosis inversa.	



<i>Fluoruros</i>	Alúmina activada;
	Carbón de hueso; Ósmosis inversa.
<i>Hidrocarburos aromáticos</i>	Oxidación-filtración;
	Adsorción en carbón activado.
<i>Mercurio</i>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración;
	Adsorción en carbón activado granular;
	Ósmosis inversa (cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/L); Adsorción en carbón activado en polvo (cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/L).
<i>Nitratos y nitritos</i>	Intercambio iónico;
	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración;
<i>Nitrógeno amoniacal</i>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración;
	Desgasificación;
	Desorción en columna.
<i>pH (potencial de hidrógeno)</i>	Neutralización.
<i>Plaguicidas</i>	Adsorción en carbón activado granular.
<i>Sodio</i>	Intercambio iónico.
<i>SDT</i>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración;
	Intercambio iónico.
<i>Sulfatos</i>	Intercambio iónico;
	Ósmosis inversa.
<i>SAAM</i>	Adsorción en carbón activado.
<i>Trihalometanos</i>	Oxidación con aireación u ozono;
	Adsorción en carbón activado granular.
<i>Zinc</i>	Evaporación;
	Intercambio iónico.

### 6.1.5. Componentes del SCALL TESCO

A continuación, se van a presentar como están constituidos los componentes de la propuesta del Sistema de Captación de Agua de Lluvia que se busca implementar en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (SCALL TESCO). En las imágenes, se utilizaron capturas del diseño en 3D del sistema, proveniente del renderizado que se hizo para darle una mejor presentación al diagrama. Después de la presentación de los componentes del sistema, se muestra una imagen de representación del sistema, pero en 2D. Lo que se busca es ejemplificar cómo es que funciona el sistema si llegase a ser implementado en el tecnológico. El cálculo de las potencias de las bombas, el consumo de energía y el listado de los materiales con sus costos, es mostrado en los siguientes apartados.



La lluvia es captada en primer lugar por la *primera zona de captación* (1), dirigiéndose hacia las *primeras canaletas* (2) del sistema y siendo redireccionadas por las *primeras bajantes* (3)(4) hacia la siguiente zona de captación.



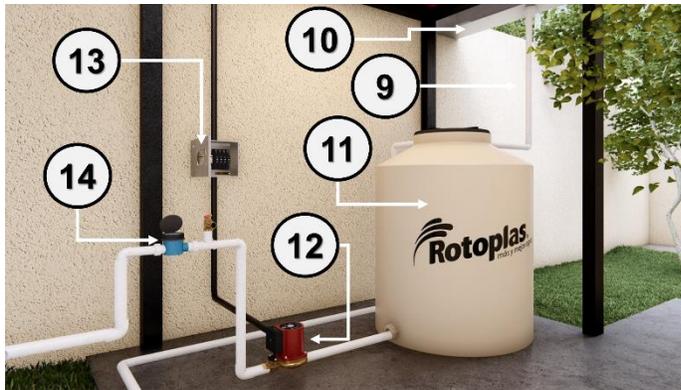
En la *segunda zona de captación* (5), parte del agua que fue captada en la primera área, así como agua nueva es llevada al primer tratamiento. La pendiente funciona como una caída natural que ayuda a dirigir el agua.



Las *segundas canaletas* (6) tienen como función principal el captar el agua proveniente de la primera y segunda zona de captación para llevarlas aguas abajo. Por otro lado, la *tercera zona de captación* (7) se encarga de captar el agua que cae en



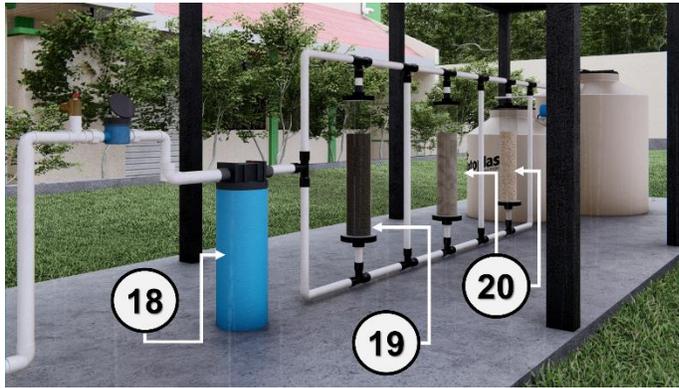
el techo que se encuentra por encima del sistema de tratamiento. Toda el agua que fue captada en la primera y segunda zona de captación son llevadas por la *segunda bajante* (8) hacia el tren de tratamiento.



En este caso, el primer paso del tratamiento es el *tanque de primeras aguas* (11). Parte del agua que cayó en la tercera zona captación, se dirige a las *terceras canaletas* (10) y la *tercera bajante* (9) la cual tiene el mismo destino que las aguas más arriba.



El *panel de control* (13) tiene la función de controlar las *bombas* (12)(16) y las luces del sistema. El *medidor de flujo* (14)(17) se encarga de medir el caudal entrante al *tanque de pretratamiento* (15).



El tren de tratamiento principal consta de un primer *filtro para sedimentos* (18) que se encarga de impurezas en el agua, ayudado por un segundo *filtro de carbón activado* (19) y por último pasa por unas *resinas de intercambio iónico* (20) para el pH del agua.



El paso final en el tratamiento es el *tanque de cloración* (23), en él, a través de una cloración compuesta, el *tanque de cloro* (21) suministra y desinfecta el agua para su posterior uso y distribución (24). Este se dosifica a través de un dispensador automático (22).

**Figura 22.** Capturas de pantalla del sistema en 3D (Propia, 2024).

Para tener una mejor idea de cómo se vería el sistema a nivel del suelo, se agregan unas imágenes extra para ejemplificar, que se muestran en la figura 23.



**Figura 23.** (a) Interior de uno de los pasillos del sistema. (b) Tanque de pretratamiento (Propia, 2024).

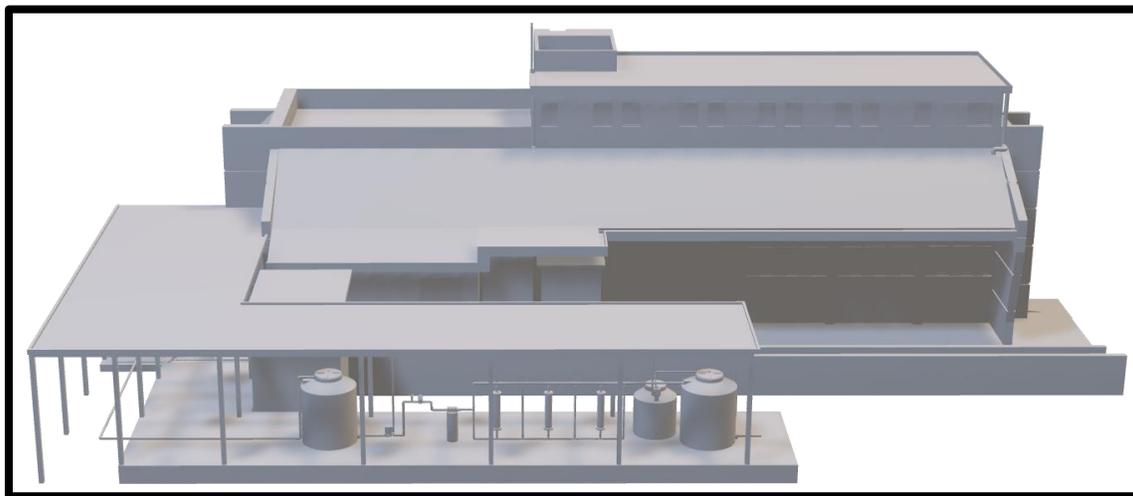
La figura 24 nos da una mejor perspectiva de cómo se vería el sistema desde fuera de él.



**Figura 24.** (a) Vista a un lado del sistema de tratamiento. (b) Vista por el otro lado (*Propia, 2024*).

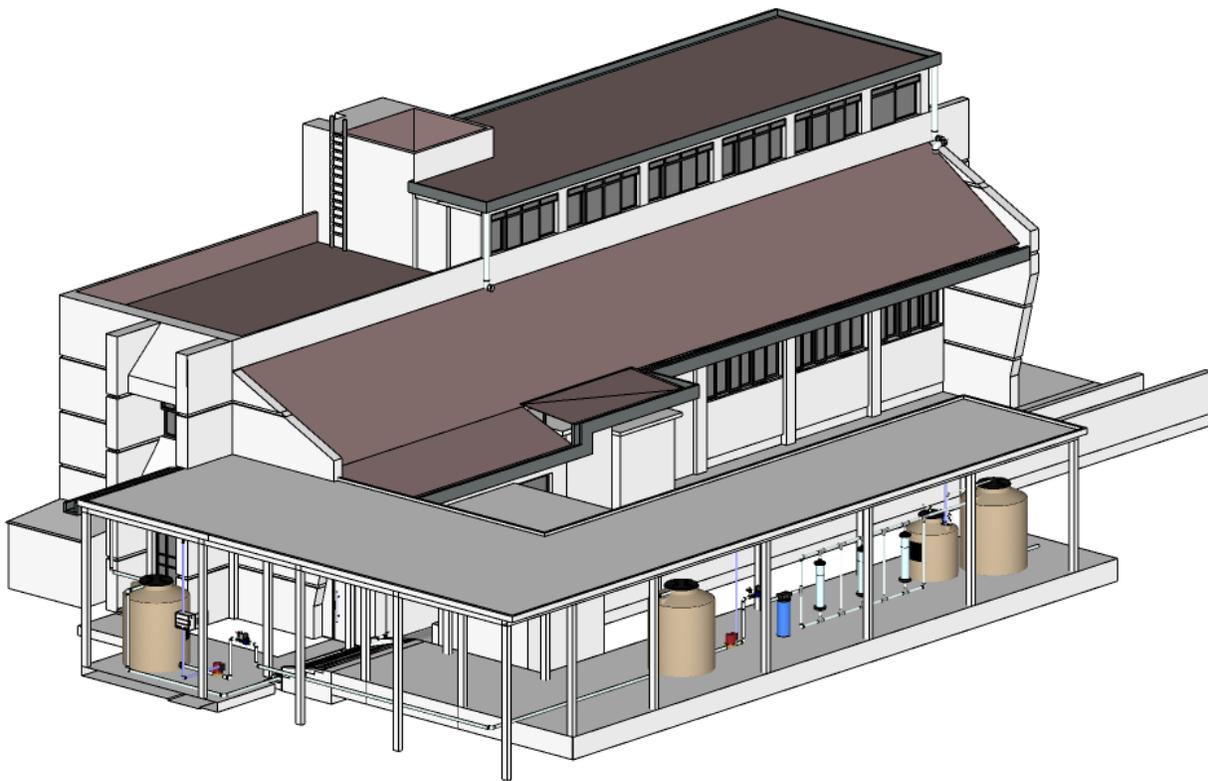
*6.1.5.1. Vistas generales, en 3D e isométricas del SCALL TESCO*

En el apartado anterior se explicó, paso a paso, cómo es que funciona el sistema de captación y tratamiento, y cuáles son sus fases en cada parte de este mismo. Una vez que se entendió el funcionamiento y sus componentes, es necesario dar al lector una vista más general de cómo estaría dispuesto la propuesta que se está presentando en este trabajo, tanto en vistas panorámicas, objetos en 3 dimensiones y vistas isométricas que ayuden a dar una mejor visión de lo que se plantea. A continuación, se propone el diagrama en 3D, correspondiente a la figura 25, del sistema de captación y tratamiento para tener una mejor idea de lo que se está hablando.



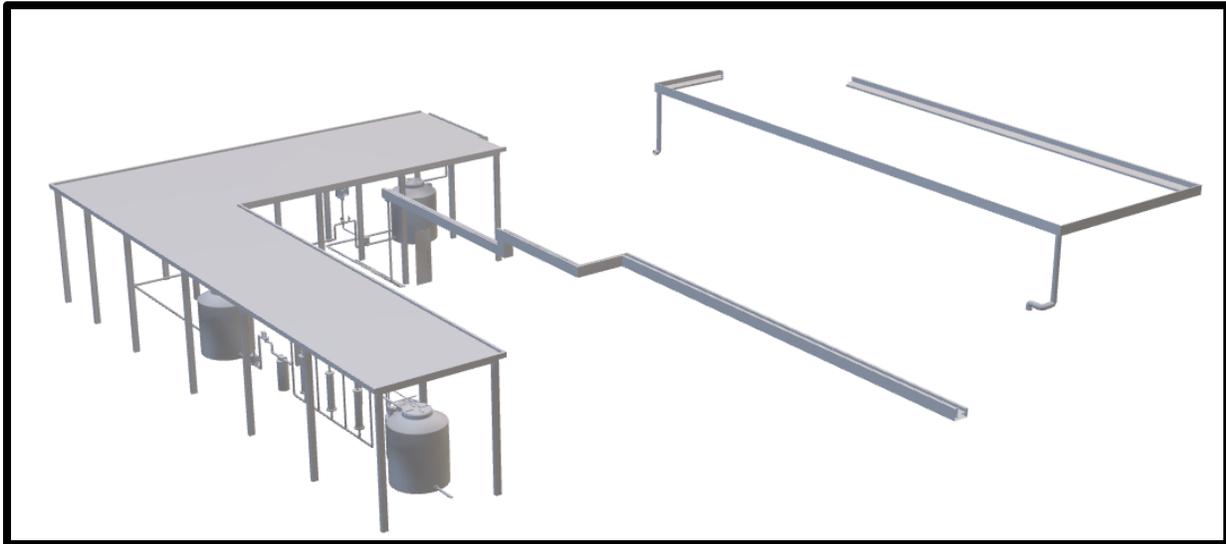
**Figura 25.** Vista de águila del sistema, junto con el edificio, en 3D (*Propia, 2024*).

El sistema, en sí mismo, no es tan extenso o complejo, realmente está compuesto por una serie de canaletas, tuberías, bajantes, conexiones eléctricas y equipos de bombeo o tratamiento que realizan su función de tratar el agua, dirigirla o darle energía al sistema. Pero es entendible que para quien no está familiarizado con el tema, pueda ser difícil ponerlo en contexto. Las siguientes figuras pretenden poner al lector en una visión más general de como se ve el sistema ya diseñado y renderizado con ciertas texturas, para que se pueda entender cada parte del sistema. La figura 26 muestra una *vista de águila* del sistema.



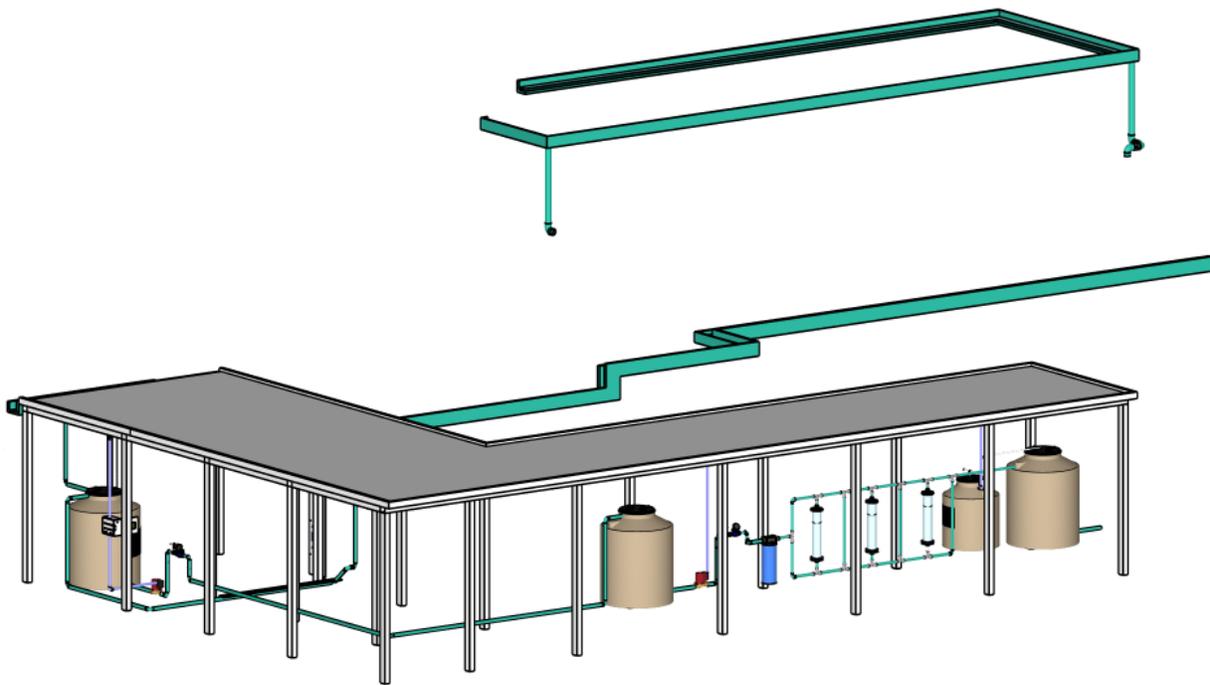
**Figura 26.** Vista de águila del sistema, junto con el edificio, en 2D (Propia, 2024).

Como se mencionaba anteriormente, es difícil entender cómo este entramado de tuberías, canaletas y bajantes está compuesto dentro del sistema, en el siguiente espacio se utiliza para mostrar, tanto en la figura 27, como en la figura 28, la red hidráulica y eléctrica de todo el sistema.



**Figura 27.** Vista de águila del sistema, la red hidráulica y eléctrica, sin el edificio, en 3D (Propia, 2024).

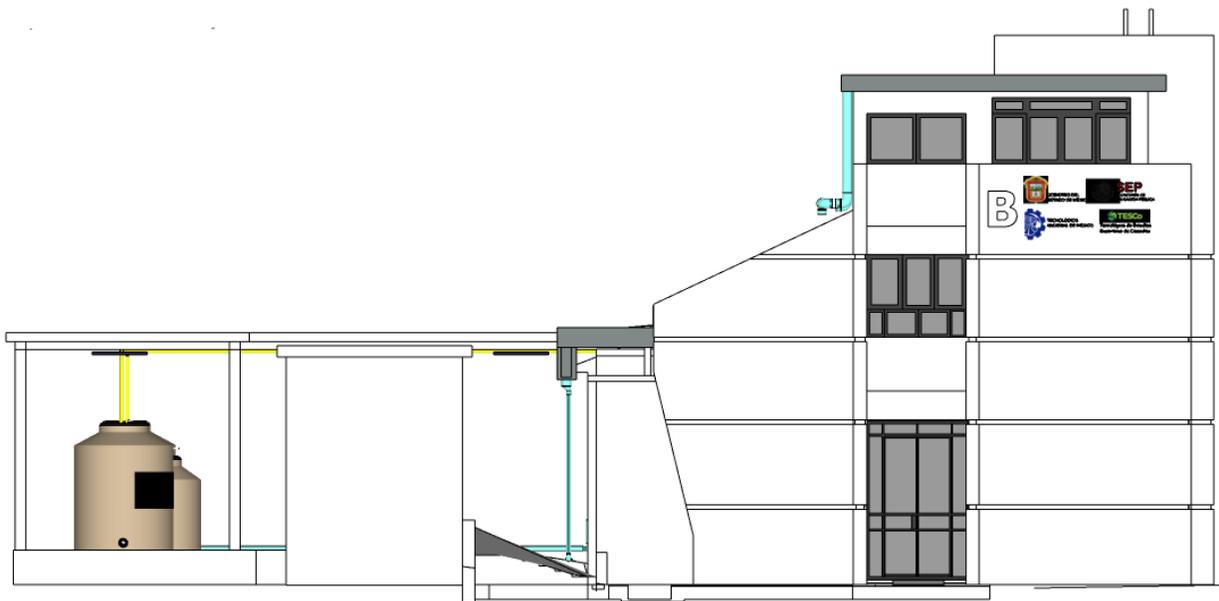
En la figura 28 se muestra todo el sistema hidráulico y eléctrico del sistema en dos dimensiones. Por un lado, se muestra la red que sigue el agua en color turquesa, y por el otro, la red eléctrica en color púrpura.



**Figura 28.** Vista de águila del sistema, la red hidráulica y eléctrica, sin el edificio, en 2D (Propia, 2024).

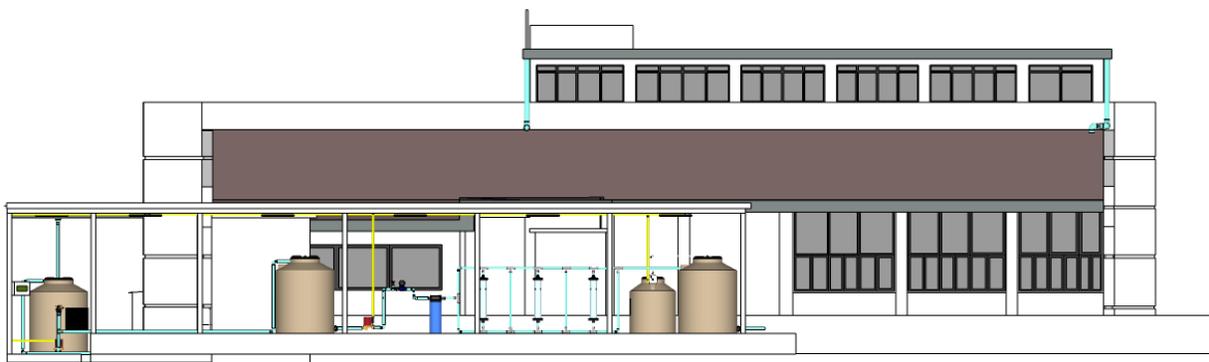
Con las vistas isométricas de cada ángulo del sistema se pretende mostrar cómo es que se compone cada línea del sistema, es por eso por lo que se muestran cuatro imágenes, cada una correspondiente a cada lado del edificio en donde está implementado.

En la figura 29 se muestra la vista frontal del edificio con el sistema. En él, se ejemplifica la línea eléctrica de color amarillo, y la línea hidráulica de color azul.



**Figura 29.** Vista frontal del edificio con el sistema (*Propia, 2024*).

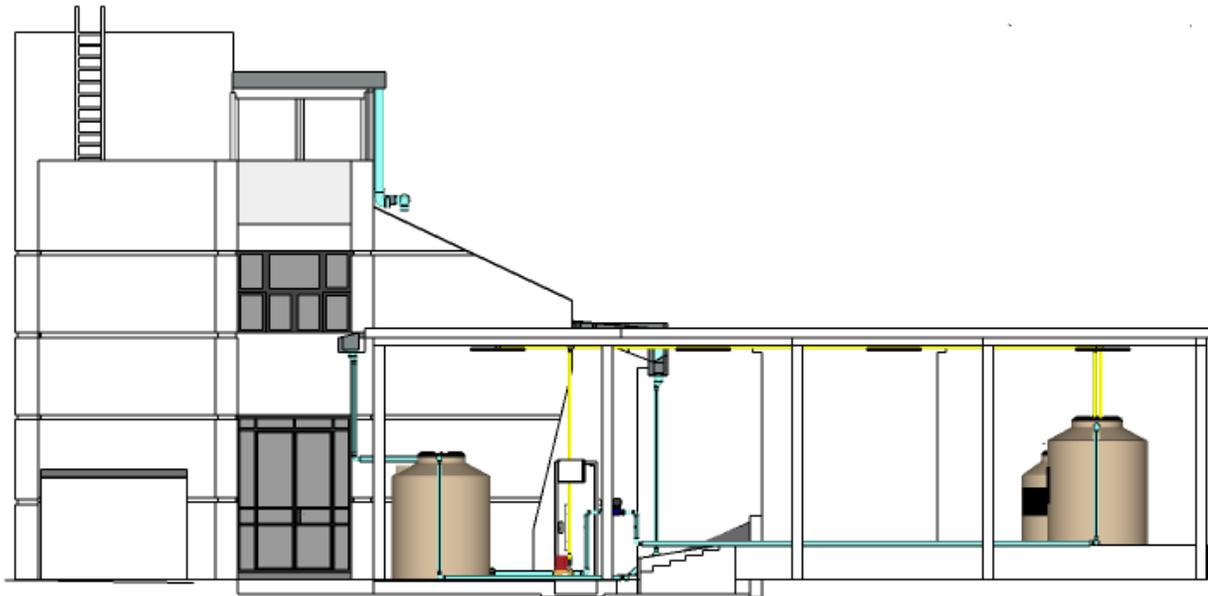
En la figura 30 se muestra la vista lateral del edificio, centrándose en el sistema de tratamiento.



**Figura 30.** Vista lateral del edificio con el sistema (*Propia, 2024*).

El sistema en esta vista se ve de una manera más detallada, las líneas amarillas que caen de arriba corresponden a las instalaciones eléctricas de las luces LED.

En la figura 31, se muestra la parte posterior del edificio, junto con el sistema de captación y tratamiento, esta vista es importante porque nos da la visión principal de por donde se guía cada línea del sistema. Por un lado, la línea eléctrica, que es la amarilla, va por encima de los tratamientos, porque es la que da energía a las luces LED del sistema, así como a las bombas que alimentan a los tanques y a los filtros. Por el otro lado, la línea azul, que es la hidráulica, pasa por en medio de todo el diagrama porque es la que lleva el afluente a su tratamiento.



**Figura 31.** *Visita posterior del edificio con el sistema (Propia, 2024).*

Para finalizar, en la figura 32, se muestra el lado lateral del edificio donde se encuentran los salones que dan hacia el edificio A. Esta vista lateral muestra poco del sistema, pero nos da una idea de cómo se limita el mismo en el edificio B.





**Figura 32.** Vista lateral del edificio con el sistema (Propia, 2024).

6.1.6. Cálculo de potencia de bombas y consumo de energía

El cálculo de las potencias de las bombas se hace a través de un método el cual incluye el obtener el caudal del flujo de agua a tratar, la altura de acción de la bomba y otros factores de conversión, que nos permiten obtener el valor de la potencia real de las mismas, así como su consumo energético por hora. Lo mismo se hace para el consumo energético que se obtiene por el uso de luces LED a través del sistema de tratamiento. En la siguiente tabla, se muestra el consumo total energético realizado por las bombas y luces LED, y su consumo total por hora que esté encendido el sistema.

**Tabla 31.** Tabla de cálculos para obtener las potencias reales de bombas y los consumos de energía por uso de bombas y luces LED (Propia, 2024).

<b>Consumo de energía por bombas</b>									
Bombas	Y (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	hb (m)	Pb (Hp)	M	P real por bomba (Hp)	P real por bomba (W)	Total de bombas (W)	Facturación eléctrica (kWh)
2	98	0.0017	1	0.1666	0.8	0.2083	155.2920	310.5841	0.3106
<b>Consumo de energía por focos LED</b>									
Luces LED	P por metro (W/m)	Longitud de tira LED (m)	P real por foco (W)	Total de focos (W)	Factor de conversión	Facturación eléctrica (kWh)			
9	5	4.8	24	216	1000	0.216			
<b>Consumo TOTAL de energía (W) del SCALL TESCo</b>									
<b>526.5841</b>									
<b>Consumo TOTAL de energía por hora (kWh) del SCALL TESCo</b>									
<b>0.5266</b>									



### 6.1.7. Cotización del proyecto por fases de construcción

En este apartado se propone una cotización aproximada de los costos en general del proyecto. La cotización está dividida por fases preliminares, de instalación hidráulica y eléctrica. Pero se puede entender que esta cotización solo es un aproximado de lo que podría llegar a costar el proyecto si se implementa. La cotización fue realizada a través del programa conocido como *Neodata*, el cual tiene como función ser una herramienta de cotización, ya sea de precios unitarios, o por importe, de cada una de las fases de construcción de un proyecto arquitectónico civil. La base de datos que se ocupó para la cotización fue la actualizada a la fecha de marzo de 2024, la cual es la más actual, ya que esta misma se actualiza de manera semestral.

En la cotización, se puede observar que el apartado de la instalación de los filtros para el tratamiento está en blanco y esto tiene un motivo. Cuando se realizó el diseño en 3D del proyecto, en el tratamiento, se ejemplificó esta parte del sistema con filtro que tienen el mismo diseño que los filtros ocupados en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales que se encuentra en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (PPTAR\_TA-PP-450). Esta planta de tratamiento de aguas residuales fue diseñada única y exclusivamente, para el tecnológico, por la empresa *Entropía Humana*, S.A. de C.V., con la intención de que tuviera un enfoque dinámico y didáctico para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental. Pero su propósito jamás fue el de funcionar como una planta de tamaño y funcionamiento industrial, por lo que, soporta un flujo muy pequeño (su flujo de tratamiento no es continuo). Si se desea realizar una cotización más certera, se debería pensar que los filtros que se ocuparán para el tratamiento, son filtros creados a partir de fibra de vidrio, con sus especificaciones técnicas mencionadas en la tabla (), dentro de los cuales se encontrará el material de tratamiento (ya sea carbón activado o las resinas de intercambio iónico). La tabla mencionada anteriormente contiene algunos de los materiales y equipos, que no son especificados en la cotización, pero si se encuentran agregados. Materiales como arena y grava para la mezcla mortero, las varillas para el castillo u otros específicos para el apartado de la construcción, se toman en cuenta dentro de la cotización.



**Tabla 32. Cotización del proyecto por fases (Propia, 2024).**

<b>2H STUDIO, S.A. DE C.V.</b>			
<b>Cliente:</b>	Alarcón Arroyo Juan Pablo		
<b>Concurso No.</b>	NA	<b>Fecha:</b>	17/04/2024
<b>Obra:</b>	Instalación de un Sistema de Captación Agua Pluvial (SCALL) en el edificio B. Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo).	<b>Duración:</b>	NA
		<b>Inicio Obra:</b>	NA
		<b>Fin Obra:</b>	NA
		<b>DOCUMENTO</b>	
<b>Lugar:</b>	Calle José Santos Chocano 32, 54900, Tultitlán de Mariano Escobedo, Estado de México, México.		ART 45 A.IX RLOPySRM

**PRESUPUESTO DE OBRA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
<b>Preliminares</b>					
	Limpia y deshierbe del terreno, incluye: quema de yerba, y acopio de basura, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	60.0000	\$15.22	\$913.20
	Desmontaje de lámina galvanizada o pintada, hasta una altura de 10.00 m., incluye: destornillado, descenso, acarreo hasta el almacén del sitio, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	8.5000	\$22.45	\$190.83
<b>TOTAL Preliminares</b>					<b>\$1,104.03</b>
<b>Instalación H.</b>					
	Canalón de lámina galvanizada cal. 22 con un desarrollo de 1.00 m, con refuerzos de ángulo de fierro, incluye: materiales, acarreos, cortes, soldadura, mano de obra, equipo y herramienta.	M	43.5000	\$469.97	\$20,443.70
	Salida sanitaria Pluvial. sin ventilación, a base de tubería de PVC, incluye: un codo de 90°x 4", 3 m. de tubo de 4", incluye: materiales, instalación, mano de obra, pruebas, equipo y herramienta.	SAL	3.0000	\$838.26	\$2,514.78
	Tubo de PVC hidráulico de 25 mm RD-13.5 extremos lisos, incluye: suministro de materiales, acarreos, instalación, pruebas, mano de obra, equipo y herramienta.	M	40.0000	\$96.62	\$3,864.80
	Tinaco de bicapa 1100 litros c/acces Rotoplas, Incluye: suministro, instalación, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	3.0000	\$3,919.12	\$11,757.36
	Tinaco de bicapa 450 litros c/acces Rotoplas, Incluye: suministro, instalación, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$2,966.67	\$2,966.67
	Instalación de filtro para sedimentos Foset FILA-P1 , Incluye: suministro, instalación, pruebas, mano de obra,	PZA	1.0000	\$1,837.53	\$1,837.53



equipo y herramienta.

**TOTAL, Instalación H.**

**\$43,384.84**

**Techado**

Piso de 10 cm acabado estriado para rampa vehicular, de concreto F'c= 150 kg/cm2, incluye: suministro de materiales, acarreo, nivelación, cimbrado de fronteras, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	60.0000	\$626.11	\$37,566.60
Estructura metálica (IPR 12x12x96.7 kg/m) incluye: materiales, acarreo, cortes, trazo, habilitado, soldadura, aplicación de primer anticorrosivo, montaje, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	128.0000	\$994.00	\$127,232.00
Lámina 100% acrílica para cubierta, incluye: materiales, acarreo, elevación, fijación, sellado, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	60.0000	\$803.73	\$48,223.80
Instalación Lámpara Plafón LED de Sobreponer 24 W, Luz de Día, Interiores, No atenuable, LED integrado, con balastro electrónico tipo industrial en tira continua hasta 6 m. de altura, incluye: mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	9.0000	\$11,505.43	\$103,548.87
Instalación de Filtros de tratamiento (Carbono activado, Resinas de intercambio iónico-catión y resinas de intercambio iónico-anión) Incluye: suministro, instalación, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000		
<b>TOTAL Techado</b>				<b>\$316,571.27</b>

**TOTAL, DEL PRESUPUESTO MOSTRADO SIN IVA:**

**\$361,060.14**

**IVA 16.00%**

**\$57,769.62**

**TOTAL, DEL PRESUPUESTO MOSTRADO:**

**\$418,829.76**

(\* CUATROCIENTOS DIECIOCHO MIL OCHOCIENTOS VEINTINUEVE PESOS 76/100 M.N. \*)

### 6.1.8. Lista de equipos y sus especificaciones técnicas

El siguiente listado incluye los equipos a utilizar en la instalación del sistema de captación, la cual incluye una pequeña descripción de los equipos y sus especificaciones técnicas correspondientes. Cabe destacar que estos equipos si son tomados en cuenta dentro de la cotización anterior de los costos de la obra, solo que no se encuentran desglosados para su lectura, ya que se tomaron en cuenta dentro del software desde el cual se realizó la cotización del proyecto.

**Tabla 33.** Lista de equipos utilizados en el sistema y sus especificaciones técnicas (*Propia, 2024*).

<i>Código</i>	<i>Material o equipo</i>	<i>Marca</i>	<i>Descripción</i>	<i>Especificaciones técnicas</i>	<i>Cantidad</i>
<u>QODIF</u>	Centro de carga Square D	Schneider Electric	Un centro de carga QO que tiene como función el ser un tablero de distribución en	Gabinete de acero gris NEMA 1,	1



			instalaciones eléctricas. Son ideales para instalaciones en construcciones pequeñas como departamentos o casas. Contaría con dos pastillas o interruptores automáticos, uno para la iluminación y otro para los equipos de tratamiento y bombeo. Cuando se realice el mantenimiento de alguna de las líneas, no será necesario suspender el tratamiento o el quedarse sin luz al realizarlo.	Terminales de aluminio estañado, 50A, 120/240 VCA, 60 Hz, Temperatura de operación -5/40 °C, Peso 13.1 kg.	
<u>103355</u>	Bomba presurizadora	TRUPER	Es una bomba que permite la succión de líquido, a una presión constante, gracias a un detector de flujo. Sirve para uso doméstico y es de fácil instalación.	1/6 HP, Flujo máx 25 L/min, Altura máx 9 m, Diámetro 1/2" NPT, Presión máx 13 psi, Temperatura máx 80°C.	2
<u>49215</u>	Filtro para sedimentos	Foset	Filtro pulidor que retiene sedimentos de partículas sólidas como tierra y arena, evitando que éstas mismas obstruyan equipos y tuberías.	Micras de filtración 25, Presión de operación $0.2 \frac{kg}{cm^2}$ , Vida útil 3 a 6 meses, Diámetro de rosca 3/4 - 14 NTP, Temperatura 4.4/52°C, Peso 1.1174 gr.	1
<u>PKT 0948-1</u>	Tanques fibra de vidrio	PURIKOR	Tanque fabricado a partir de fibra de vidrio, robusto y resistente, que sirve para almacenar un material que servirá como medio filtrante.	Presión máx 150 psi, Temperatura 1/50°C, Capacidad material filtrante 28.32 L, Volumen 44.6 L, Peso 7.7 kg.	3
<u>PK CARBÓN N 1240</u>	Carbón activado	PURIKOR	Elimina el cloro libre existente después de un tratamiento de cloración, partículas orgánicas y otros sedimentos presentes en el agua. Ayuda a eliminar el mal olor, color y sabor del agua para tratar.	Tamaño de partícula 12x40, Radio medio del poro 0.78 nm, pH 8.0 - 9.5, Temperatura 55°C, Humedad 4%, Cenizas totales 4%.	1
<u>PK-RESINA-CA</u>	Resina catiónica	PURIKOR	Sirve como un suavizador y regenerador de sales para el afluente. Contiene un alta pureza y alta eficiencia en la regeneración de este. Ayuda a la recuperación de capacidad de intercambio iónico.	Retención de humedad 45-50%, rango medio de tamaño de partículas 0.315 - 1.25 mm, Temperatura 120 °C, pH 0 -	1



				14, Peso 22.6 kg.	
<u>PFA400</u> <u>MB</u>	Resina aniónica	Purolite	Sirve para la desmineralización de afluentes, creando un agua más suave, ofreciendo alta capacidad operativa y buena resistencia a la contaminación orgánica. Se destaca por su regeneración más eficiente y es ocupada para aplicaciones industriales. El tipo de resina que se ocupará será tipo 2.	Retención de humedad 48 - 54%,  Diámetro promedio de partículas 570 micrómetros, Temperatura 100 °C,  Densidad específica 1.08.	1
<u>E10VXB</u>	Bomba dosificadora	STENNER PUMPS	Bomba dosificadora de velocidad variable y potenciómetro ajustable, ideal para aplicaciones livianas. Su diseño es de fácil apertura y ofrece un rápido reemplazo del tubo de bombeo.	Peso 1.8 kg, Caudal de bombeo 4.5 a 52.9 L/día, Presión 25 psi, Voltaje 50/60 Hz, Diámetro tubo de succión 1/4"	1
-	Cloro industrial	IQUISA	Ocupado principalmente para la desinfección de medios líquidos, reduciendo la fracción de microorganismos presentes en el agua a tratar. Asegura su idoneidad para su uso y entrada al medio ambiente.	Pureza 99.5%, Humedad 40 ppm,  Tamaño del cilindro 65 kg.	1
<u>24PTLLE</u> <u>DC65MV</u> <u>N</u>	Lámpara Plafón LED	Tecnolite	Lámpara LED de sobreponer, para interiores, que de una luz calidad de día, perfecta para alumbrar cualquier tipo de instalación, con un muy bajo consumo energético, y una gran duración en tiempo de vida.	Tensión nominal 100 - 240 V, Consumo de potencia 24 W, Consumo de corriente 0.24 A, Temperatura de color 6500 K, Temperatura -20/40 °C, Horas de vida 15000 hr.	9



## 6.2. Discusiones

### 6.2.1. Comparación de resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial muestreada (antes del tratamiento), con respecto a los Límites Permisibles que se muestran en la NOM-127-SSA1-2021

Terminando de analizar la sección de los resultados, se puede concluir que el agua pluvial que precipita en el municipio de Coacalco de Berriozábal, Estado de México, es un agua que es apta para el uso y destino en actividades con contacto indirecto humano. Esto quiere decir, que el agua no posee una gran cantidad de contaminantes que la hace prácticamente inutilizable. Si se comparan los Límites Permisibles que establece la NOM-127SSA1-2021, la cual trata sobre los LP de la calidad del agua para uso y consumo humano (y que es la que compete en este ámbito) se denotará que los valores provenientes de los análisis fisicoquímicos no superan a los de la normatividad, exceptuando el caso de los análisis microbiológicos, superándolos por encima de aproximadamente 11 unidades, con respecto a la norma.

Como bien ya se ha mencionado anteriormente en este trabajo, ese aumento en los valores de los resultados microbiológicos se puede deber a otros factores externos que pueden no estar relacionados con una existente contaminación microbiológica proveniente del exterior o el ambiente. Aunque ciertamente, es muy difícil saber la proveniencia de estos contaminantes, es una realidad que existen en el agua pluvial, y que con la constante contaminación que existe por parte del ser humano y las industrias, no parece una locura pensar que pueden existir microorganismos patógenos viajando libremente en la atmósfera, a la espera de un huésped. Es por eso, y por otros motivos, que se toma la precaución de imponer un tratamiento de desinfección en la propuesta de tratamiento del agua de lluvia, ya que de esta manera se asegura una calidad y fidelidad del efluente que se pretende entregar a la institución.

**Tabla 34.** *Tabla de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos comparados con los Límites Permisibles postulados en la NOM-127-SSA1-2021 (Propia, 2024).*



Parámetro que se analiza	Normas utilizadas para los análisis	Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial antes del tratamiento		Comparación con la NOM-127-SSA1-2021 de los resultados que se deben obtener después del tratamiento	
		Límite Permissible	Unidades	Límite Permissible	Unidades
Enumeración de Coliformes Totales, Coliformes Fecales (Termotolerantes) y <i>Escherichia coli</i>	NMX-AA-042-SCFI-2015	10.99	$\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}$	< 1.1 ó No detectable	$\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}$
Dureza Total	NMX-AA-072-SCFI-2001	0.04	mg/L	500.00	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-AA-030-SCFI-2012	0.00	mg/L	0.00	mg/L

6.2.2. Comparación de resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial muestreada (antes del tratamiento), con respecto a los Límites Permisibles que se muestran en la NOM-001-SEMARNAT-2021, la NOM-002-ECOL-1996 y la NOM-003-ECOL-1997.

Los resultados que se comparan son los que se obtuvieron a partir de la captación del agua, por lo que, la comparación se realiza desde la perspectiva del agua, antes del tratamiento. No se realiza una comparación de resultados, después del tratamiento, ya que el proyecto es una *propuesta de diseño* de un Sistema de Captación de Agua Pluvial. La propuesta para la eliminación de los contaminantes del agua pluvial, mostrada en apartados anteriores, es teórica, por lo que los resultados que se pueden obtener, después del tratamiento, pueden ser muy diferentes a los esperados en la realidad.



6.2.2.1. *Comparación de resultados con la NOM-001-SEMARNAT-2021*

La NOM-001-SEMARNAT-2021 trata acerca de los Límites Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Aunque esta norma trata acerca de límites de contaminantes, en aguas residuales, es importante comparar los resultados que se obtuvieron de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial muestreada, con estos mismos, para saber que tan contaminada puede estar esta agua de lluvia, y tener marcos de referencia que nos permitan conocer, con más profundidad, la calidad del agua captada.

La tabla 35 muestra la comparación de los resultados del agua pluvial muestreada, en comparación con la NOM-001-SEMARNAT-2021. Los valores que se muestran en la tabla son los que hacen referencia a los Límites Permisibles, de valores instantáneos, con respecto al *riego de áreas verdes*.

**Tabla 35.** *Tabla de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos comparados con los Límites Permisibles postulados en la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Propia, 2024).*

<b>NOM-001-SEMARNAT-2021. "Que establece los Límites Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación".</b>				
Parámetro que se analiza	Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial antes del tratamiento		Comparación con la NOM-001-SEMARNAT-2021 de los resultados que se deben obtener después del tratamiento	
	Límite Permisible	Unidades	Límite Permisible	Unidades
Enumeración de Coliformes Totales, Coliformes Fecales (Termotolerantes) y Escherichia coli	10.99	$\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}$	250	$\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}$
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	0	mg/L	60	mg/L



La comparación muestra que los resultados que se obtuvieron a partir de las muestras de agua pluvial captada, con respecto a los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, están por debajo de los Límites Permisibles estipulados por la normatividad vigente. La interpretación que se puede obtener es que el agua pluvial que cae en el municipio posee una contaminación mucho menor que la que se puede encontrar en un agua residual descargada en cuerpos receptores propiedad de la nación.

#### 6.2.2.2. *Comparación de resultados con la NOM-002-ECOL-1996*

La NOM-002-ECOL-1996 trata acerca de los Límites Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Los límites de contaminantes que muestra la norma están relacionados, mayormente, con la contaminación de grasas, aceites, sólidos sedimentables y metales pesados, pero ninguno está relacionado con los parámetros de los análisis que se realizaron al agua pluvial muestreada. El motivo por el cual no se encuentran estos parámetros en la norma es porque son mencionados en la NOM-001-SEMARNAT-2021, ya que esta norma es consecuente de la norma anterior.

#### 6.2.2.3. *Comparación de resultados con la NOM-003-ECOL-1997*

Con respecto a la NOM-003-ECOL-1997, que establece los Límites Permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, esta norma se enfoca en parámetros de calidad relacionados con microorganismos, quistes y huevos de parásitos, que pueden estar en las aguas residuales. Su presencia significa un riesgo para la salud humana y el ambiente, pero al existir una gran variedad de estos mismos, la norma solo considera a los coliformes fecales (medidos como Número Más Probable en 100 mililitros de muestra,  $\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}$ ) y los huevos de helminto (medidos en huevos por litro, h/L).

Para este caso, se utilizarán los valores estipulados para el tipo de reúso de *servicios al público con contacto indirecto u ocasional*. Los valores que se reportan son por promedio mensual, no valores instantáneos, como en las anteriores normas.

**Tabla 36.** *Tabla de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos comparados con los Límites Permisibles postulados en la NOM-003-ECOL-1997 (Propia, 2024).*



**NOM-003-ECOL-1997. "Que establece los Límites Permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público".**

Tipo de reúso	Parámetro que se analiza	Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua pluvial antes del tratamiento		Comparación con la NOM-001-SEMARNAT-2021 de los resultados que se deben obtener después del tratamiento	
		Límite Permisible	Unidades	Límite Permisible	Unidades
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	Coliformes fecales	10.99	$\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}$	1,000	$\frac{NMP}{100 \text{ mL de muestra}}$



# CAPÍTULO VII



## 7. Conclusiones y Perspectivas

### 7.1. Conclusiones

México se suma a uno más de los países del mundo que enfrenta una de las problemáticas, modernas y difíciles, que azotan al mundo por completo. No existe un país en el mundo al cual no le afecte la escasez de agua y la falta de tecnologías que ayuden a proporcionar un recurso hídrico con la calidad con la que nos la entrega el planeta tierra. La contaminación, es una barrera que se sigue expandiendo a través de este pequeño pedazo de tierra que llamamos hogar y nos quedan cada vez menos horas para llegar al momento del “juicio final”, en el cual se determinará cuál será el futuro que le destinará a la raza humana. Aun uniendo nuestros esfuerzos y poniendo cada quien, de su granito de arena, es una tarea ya casi imposible el poder resarcir el daño que hemos ocasionado al planeta y muchas veces, el único pensamiento que queda en nuestra mente es el esperar un milagro de la vida para poder salvarnos.

Aunque el panorama parece pesimista, y la esperanza de un nuevo mañana se hace menos prominente, aún existe tiempo para poder cambiar parte de lo somos, apoyando a las nuevas mentes, jóvenes que podrían ser, o no, la nueva esperanza del mañana.

Con esta pequeña reflexión, se abre un paréntesis en cuestión a cómo las universidades y planteles educativos tienen una responsabilidad con este nuevo mañana, instruyendo a las mentes jóvenes e impulsándolos para poder generar este tan soñado cambio con el que solo ahorita nos queda imaginar. Y es aquí donde entra el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, una institución que funciona como un centro de reunión para muchos otros planteles del TecNM y que busca ser una punta de lanza en nuevas y novedosas investigaciones y proyectos científicos.

El implementar nuevas políticas, sociales o ambientales, tecnologías verdes y el estar conectado con una nueva sociedad emergente, debería ser prioridad, y más que eso, debería ser un lema de la institución. Una implementación, como lo podría ser un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, un Sistema de Captación de Agua Pluvial, una Planta Potabilizadora de Agua, y muchos otros sistemas más, son un claro ejemplo del camino que se debe seguir en estos tiempos tan turbios y oscuros.



Yendo al caso más específico, los temas que se tratan dentro de este proyecto de titulación de Maestría en *Sistemas Ambientales* no son más que la implementación de tecnologías que, a largo plazo, podrían solventar una problemática que ha existido, existe y existirá, por muchos años venideros. Y que, al resolverla, se podría posicionar esta institución, como uno de los tecnológicos con mayor entendimiento y aplicación, en estos temas ambientales.

La infraestructura hidráulica pluvial la posee el tecnológico, los recursos sobran, el clima favorece a lluvias de mucha precipitación y duraderas durante el año, y existen mentes jóvenes que se preocupan por el futuro y proponen nuevas ideas para solventar problemáticas ambientales existentes. De implementar este proyecto, u otros de la misma índole, se podría hablar hasta de ingresos verdes, que no solo aliviaría gastos administrativos existentes en la escuela, sino que también daría un estatus y empoderamiento a los estudiantes que asisten a esta universidad.

Los trabajos que se realizaron durante esta tesis no son más que un parteaguas para las demás generaciones, sirviendo de inspiración, para que nuevos jóvenes se animen a adentrarse en estos temas y propongan soluciones nuevas que mentes como la mía, la de mis profesores o adultos que me rodean, no pudieron proponer.

Parte del trabajo arquitectónico, ingenieril, de investigación y ambiental, nos muestran que la implementación de un SCALL dentro del tecnológico, en el edificio B, podría ser posible, más aún, teniendo en cuenta, que, aunque la inversión inicial es alta, no es tan grande como lo podría ser en otros proyectos que incluyan implementar un sistema así en una institución, y los beneficios a largo plazo serían mucho mayores que esta inversión de dinero.

Los problemas que existen gracias a las grandes lluvias, como desbordamientos, inundaciones de avenidas principales, contaminación de los mantos acuíferos por parte de la infiltración pluvial a través de los suelos, la mezcla de contaminantes de las aguas residuales negras con las aguas residuales pluviales y la pérdida de estas mismas a través del pésimo sistema de drenaje, podrían ser solucionados, en menor medida y poco a poco, con la implementación de un Sistema de Captación de Agua Pluvial en el TESCO.

Muchos podrían ser los beneficios, poco puede ser el tiempo que nos quede, solo depende de nosotros si es que realmente queremos que ese cambio suceda, ¿Tú te apuntarías a que esto suceda?



## 7.2. Perspectivas

Como se menciona en la conclusión, este trabajo de propuesta no es más que un parteaguas para que otros jóvenes puedan continuar con este trabajo, añadiendo diferentes apartados a este gran “rompecabezas” al cual le llamo *Sistema de Captación de Agua Pluvial*. Dentro del proyecto, aún quedan apartados sin resolver, como lo podría ser una captación, análisis y entendimiento mucho mayor, y más extenso, del agua pluvial que precipita en el municipio. Aún queda mucho por saber acerca de la contaminación que rodea a esta agua de lluvia, como lo podría ser la presencia de metales pesados u otros microorganismos, que no se pudieron detectar al momento de realizar la experimentación para esta tesis, ya sea por la falta de equipo, material y reactivos dentro del laboratorio, o por la falta de tiempo, pero esto, más que ser una desventaja, es un área de oportunidad para que nuevas mentes se sumen al proyecto y lo completen con sus propias aportaciones. Situaciones como el manejo integral de los residuos de la construcción del sistema y su mantenimiento podrían servir como otro proyecto de titulación de licenciatura de la carrera en *Ingeniería Ambiental*, e implementar una zona que sirva como área de estudio meteorológico para el municipio de Coacalco de Berriozábal, no suena como una mala idea. Esto es, porque en Coacalco, no existe una estación meteorológica, que permita estudiar, medir, y anotar valores pluviométricos necesarios para el diseño e implementación de un Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techo.

Este pequeño proyecto, fue inicialmente pensado para abarcar todo el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, pero debido a la gran inmensidad de la institución, se tuvo que reducir la visión, delimitando su implementación, solo en el edificio B. Peor podría ser una buena tarea el buscar como poder implementar este mismo sistema de gestión a cada edificio de la universidad, o por el contrario, generar un sistema general para toda la institución, que posea conexiones o ramificaciones a otros sistemas de tratamientos que puedan existir en el tecnológico, como un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, o hasta la misma Planta Potabilizadora.



# CAPÍTULO VIII



## 8. Referencias citadas

- AVISO POR EL CUAL SE DAN A CONOCER LAS REGLAS DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA COSECHA DE LLUVIA 2024. Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 1268, Ciudad de México, México, 3 de enero de 2024. [dea27c1ecea48a1f475a28cd9c578271.pdf \(cdmx.gob.mx\)](https://www.gob.mx/cdmx/documentos/dea27c1ecea48a1f475a28cd9c578271.pdf).
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). Visitado en 2024. [Comisión Nacional del Agua | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/comision-nacional-del-agua).
- GOOGLE EARTH. Visitado en 2024. [Google Earth](https://www.google.com/earth/).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMACIÓN (INEGI). Visitado en 2024. [Instituto Nacional de Estadística y Geografía \(INEGI\)](https://inegi.org.mx/).
- SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. (1980). AGUAS RESIDUALES.- MUESTREO (NMX-AA-003-1980). DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. [Microsoft Word - NMX-AA-003-1980.doc \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/normas-actuales/documentos/microsoft-word-nmx-aa-003-1980-doc).
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA. (2012). ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.- MÉTODO DE PRUEBA - PARTE 1 - MÉTODO DE REFLUJO ABIERTO (NMX-AA-030/1-SCFI-2012). DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. [Microsoft Word - NMX-AA-030-1-SCFI-2012.docx \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/normas-actuales/documentos/microsoft-word-nmx-aa-030-1-scfi-2012-docx).
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA. (2015). ANÁLISIS DE AGUA - ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALIS (TERMOTOLERANTES) Y *Escherichia coli* - MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES (NMX-AA-042-SCFI-2015). DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. [NORMA MEXICANA \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/normas-actuales/documentos/norma-mexicana).
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA. (2001). ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (NMX-AA-072-SCFI-2001). DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. [Microsoft Word - NMX-AA-072-SCFI-2001.doc \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/normas-actuales/documentos/microsoft-word-nmx-aa-072-scfi-2001-doc).



- Secretaría de Salud [SSA]. (2021). NOM-127-SSA1-2021: AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LÍMITES PERMISIBLES DE LA CALIDAD DEL AGUA. Ciudad de México: SSA. [NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano \(segob.gob.mx\)](#).
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (1996). NOM-001-SEMARNAT-1996: ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES. Ciudad de México: SEMARNAT. [semarnat001.pdf \(itesm.mx\)](#).
- Secretaría de Salud [SSA]. (1993). NOM-014-SSA1-1993: PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PÚBLICOS Y PRIVADOS. Ciudad de México: SSA. [DOF - Diario Oficial de la Federación](#).
- OBJETIVOS Y METAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS). Visitado en 2024. [Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible \(un.org\)](#).
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). Visitado en 2024. [La Organización | Naciones Unidas](#).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Visitado en 2024. [Organización Mundial de la Salud \(who.int\)](#).
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURAL (SEMARNAT). Visitado en 2024. [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#).



# CAPÍTULO IX



## 9. Productos de investigación

### 9.1. Carta de aceptación del proyecto en Congreso



León, Gto. 8 de abril de 2024

Estimado(a): Juan Pablo Alarcón Arroyo

Su trabajo enviado al XXI Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia, identificado con el número de registro **IN-0058/24** y titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE PLUVIAL EN TECHO (SCAPT) –  
ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO: TESCO**

Juan Pablo Alarcón Arroyo<sup>1</sup>

Otra. [juan\\_pablo\\_alarcon.iam@tesco.edu.mx](mailto:juan_pablo_alarcon.iam@tesco.edu.mx)

ha sido aceptado para su presentación en la modalidad de póster.

La clave del trabajo es **S2-ING10** y se presentará en la sesión 2 el día Miércoles 22 de mayo en el horario de 16:30 a las 18:30 horas en las instalaciones del Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.

Le recordamos que los reconocimientos por presentación de trabajos se entregarán después de comprobar su participación en la sesión correspondiente. Favor de verificar si así desea que aparezca el nombre de los autores del trabajo.

Mayor información puede ser obtenida en [www.cio.mx](http://www.cio.mx) en la sección de congresos y conferencias.

Sin otro motivo, reciba cordiales saludos.

Atentamente:

Dra. María Eugenia Sánchez Morales  
POR EL COMITÉ ORGANIZADOR  
[encuentro2024@cio.mx](mailto:encuentro2024@cio.mx)



9.2. Presentación modalidad cartel

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHO (SCAPT) - ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO: TESCO

**DIAGRAMA**

- 1 Área de captación
- 2 Edificio B
- 3 Canaletita
- 4 Bajante
- 5 Válvula de tres vías
- 6 Válvula de paso
- 7 Tanque de primeras aguas
- 8 Medidor de nivel de agua
- 9 Bomba
- 10 Desagüe de primeras aguas
- 11 Medidor de flujo
- 12 Tanque de pre tratamiento
- 13 Medidor de pH
- 14 Desagüe de sólidos
- 15 Filtro pulidor
- 16 Filtro de carbón activado
- 17 Resina de intercambio iónico
- 18 Resina de intercambio aniónico
- 19 Tanque de cloración
- 20 Tanque de cloro
- 21 Distribución
- 22 Línea secundaria de emergencia
- 23 Canaletita de cemento
- 24 Desfogaje al aire libre
- 25 Drenaje municipal
- 26 Válvula de alluto

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHO (SCAPT) - ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO : TESCO**  
**JUAN PABLO ALARCON ARROYO Y SUSANA LEZAMA ÁLVAREZ**  
 Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco  
 juan\_pablo\_alarcon.iam@tesco.edu.mx

**RESUMEN**

El TESCo empezó siendo una serie de edificios pequeños y salones que fungían como aulas de enseñanza. En esos tiempos, el requerimiento hidráulico no era complejo por el diseño de las instalaciones. Conforme fueron pasando los años, el plantel fue creciendo y con ello también lo hizo su demanda de agua. Al construir más edificios sobre el relieve de la montaña fue logrando que la presión que llegaba a los edificios más lejos fuera menor que la de los edificios más cercanos a la avenida. Esto generó con los años un problema de escasez que el instituto fue solucionando a través de la contratación de pipas para darle abasto a estos edificios que no contaban con agua. Los métodos utilizados en la investigación fueron: Cuantitativa, porque se requirió del análisis de resultados físico químicos-microbiológicos del agua pluvial; y Aplicada, por la utilización de guías de diseño oficiales, la implementación de software de diseño en 3D, la aplicación de encuestas para saber la percepción estudiantil y el uso de técnicas analíticas para conocer la viabilidad del proyecto en términos económicos-ambientales. La combinación de estos métodos nos permite crear estrategias para adaptar soluciones a las necesidades y condiciones específicas del plantel. Las interpretaciones que se obtuvieron de los resultados del agua pluvial, que fueron bajas cantidades de sales y microorganismos; y nula presencia de materia orgánica, la hacen ideal para uso final de consumo humano, aplicando la normatividad referente que garantiza el reúso de ésta en servicios al público con contacto indirecto.

**COMPONENTES**

**TREN DE TRATAMIENTO**

Filtro pulidor

CARBON ACTIVADO

Reinas de intercambio ionico

Cloro

**RENDERS**



9.3. Reconocimiento por participación en Congreso

XXI encuentro  
Participación de la  
**Mujer**  
en la  
**Ciencia**

22-24 MAYO 2024 León, Guanajuato

CONAHCYT  
COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

CIO  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA, A.C.

*Otorga el presente  
Reconocimiento  
por su valiosa participación a:*

Juan Pablo Alarcón Arroyo y Susana Lezama Álvarez  
Por el trabajo:  
**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE PLUVIAL EN TECHO (SCAPT) – ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO: TESCO**

**Dra. Amalia Martínez García**  
Directora General del CIO

**Dra. Cristina E. Solano Sosa**  
Investigadora Jubilada  
Representante del Comité Organizador

**María Elena Caso**  
Bióloga mexicana



# **CAPÍTULO X**



## 10. Anexos

### 10.1. Cálculo de caudales

El anexo A1 muestra los resultados de los cálculos realizados para obtener los caudales instantáneos utilizando las áreas de captación de cada edificio.

**Anexo A1.** *Cálculo de los caudales instantáneos de cada edificio del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (Propia, 2022).*

Edificio	Área de captación (m <sup>2</sup> )	Tc (hr)	Tp (hr)	Tb (hr)	Qp (m <sup>3</sup> /s)	Qp (Lps)
Edificio H	1194.12	0.0021	0.1159	0.3094	0.0017	1.7110
Cafetería	358.06	0.0021	0.1159	0.3094	0.0005	0.5130
Edificio C	1016.07	0.0021	0.1159	0.3094	0.0015	1.4559
Edificio E	1135.85	0.0021	0.1159	0.3094	0.0016	1.6275
Edificio D	1101.47	0.0021	0.1159	0.3094	0.0016	1.5782
Edificio B	1218.13	0.0021	0.1159	0.3094	0.0017	1.7454
Ligeros	1055.23	0.0021	0.1159	0.3094	0.0015	1.5120
Edificio A	1074.11	0.0021	0.1159	0.3094	0.0015	1.5390
Canchas techadas	750	0.0021	0.1159	0.3094	0.0011	1.0746
Edificio F	770.75	0.0021	0.1159	0.3094	0.0011	1.1044
Edificio CCAI	1122.89	0.0021	0.1159	0.3094	0.0016	1.6089
Edificio R	418.58	0.0021	0.1159	0.3094	0.0006	0.5998
<b>TOTAL</b>	<b>11215.26</b>				<b>0.0161</b>	<b>16.0696</b>



## 10.2. Diseño de canaletas y bajantes

El anexo B1 muestra los resultados de los cálculos realizados para obtener las medidas adecuadas para las canaletas y bajantes que se usarían dependiendo del edificio.

**Anexo B1.** Resultados de los cálculos para obtener las medidas de las canaletas y bajantes del sistema (*Propia, 2022*).

Edificios	Área de captación (m <sup>2</sup> )	Número de bajantes	Área por desaguar (m <sup>2</sup> )	Sección de canalón disponible (cm <sup>2</sup> )	Sección de canalón que se requiere (cm <sup>2</sup> )	Diámetro de bajante requerida (cm)
Edificio E	1135.85	8	141.9813	300	220	13.5
Edificio D	1101.47	8	137.6838	300	210	13.5
Edificio C	1016.07	8	127.0088	300	200	13.5
Edificio A	1074.11	8	134.2638	300	210	13.5
Edificio F	770.75	8	96.3438	300	190	13.5
Edificio R	418.58	2	209.2900	300	280	13.5
Edificio CCAI	1122.89	6	187.1483	300	260	13.5



### 10.3. Cálculo del volumen del tanque (método 1)

El anexo C1 muestra los resultados de los cálculos para obtener el volumen del tanque de almacenamiento, por método de diferencias acumulativas, el cual toma en cuenta la demanda diaria por persona (lppd), la precipitación mensual (en mm) del año 2001 al 2021, la población para un edificio de 100 personas y su demanda de agua. Este método no fue tomado en cuenta por los valores altos de volumen de almacenamiento resultantes.

**Anexo C1.** Resultados de los cálculos para obtener el volumen del tanque de almacenamiento (*Propia, 2022*).

Edificio	Área de techo (m2)	Diferencias acumulativas (m3)		Volumen del tanque de almacenamiento (m3)
		Máximo	Mínimo	
<b>Cafetería</b>	358.06	38.4	-203.4	241.8
<b>R</b>	418.58	60.5	-173.6	234.1
<b>Canchas</b>	750	148.8	-56.7	205.5
<b>F</b>	770.75	196.2	-0.4	196.6
<b>C</b>	1016.07	297.8	99.2	198.6
<b>Ligeros</b>	1055.23	259.4	73.4	186.0
<b>A</b>	1074.11	321.8	106.6	215.2
<b>D</b>	1101.47	333.1	110.1	223.0
<b>CCAI</b>	1122.89	342.0	112.9	229.1
<b>E</b>	1135.85	347.4	114.5	232.8
<b>H</b>	1194.12	309.7	102.9	206.8
<b>B</b>	1218.13	381.4	125.1	256.4



10.4. Demanda de agua y volumen de cisterna general (método 2)

El siguiente método que se utilizó para calcular el volumen del tanque de almacenamiento fue el que se muestra en el anexo D1. En él, se utilizó la dotación de agua propuesta por la normatividad mexicana y las áreas de captación de cada edificio del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco.

**Anexo D1.** Resultados de los cálculos para obtener el volumen del tanque de almacenamiento del sistema (*Propia, 2022*).

<b>Cálculo de la demanda de agua y volumen de cisterna general requerida</b>						
<b>Edificio</b>	<b>Área de captación (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pm anual (m/año)</b>	<b>Dotación (m<sup>3</sup>/persona/día)</b>	<b>Volumen de agua a recoger (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Volumen de la cisterna (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de la cisterna (Lt)</b>
Edificio H	1194.12	0.00522 5	0.05	6.2393	4.0069	4006.88
Cafetería	358.06	0.00522 5	0.05	1.8709	1.2127	1212.67
Edificio C	1016.07	0.00522 5	0.05	5.3090	3.4118	3411.82
Edificio E	1135.85	0.00522 5	0.05	5.9348	3.8121	3812.13
Edificio D	1101.47	0.00522 5	0.05	5.7552	3.6972	3697.23
Edificio B	1218.13	0.00522 5	0.05	6.3647	4.0871	4087.12
Ligeros	1055.23	0.00522 5	0.05	5.5136	3.5427	3542.69
Edificio A	1074.11	0.00522 5	0.05	5.6122	3.6058	3605.79



Canchas techadas	750	0.005225	0.05	3.9188	2.5226	2522.58
Edificio F	770.75	0.005225	0.05	4.0272	2.5919	2591.93
Edificio CCAI	1122.89	0.005225	0.05	5.8671	3.7688	3768.82
Edificio R	418.58	0.005225	0.05	2.1871	1.4149	1414.93
				58.5997	<b>TOTAL</b>	<b>37674.60</b>

### 10.5. Tren de tratamiento (cloración)

El anexo E1, E2 y E3 muestra los resultados de la experimentación de las valoraciones de cloro realizadas al agua pluvial muestreada, utilizando la metodología de una cloración simple para llevarla a cabo. En el anexo E4 se muestran los resultados de los cálculos para obtener el promedio de dosis de cloro necesaria a suministrar en 100 ml de muestra.

**Anexo E1.** Resultados de la primera experimentación para la valoración de cloro (*Propia, 2022*).

Cloración en agua pluvial #1				
	Yoduro (gr)	Vinagre (Ml)	Almidón (gr)	
	0.02	100	0.4	
Muestra	Dosis cloro (ml)	Tiempo inicial (min)	Tiempo final (min)	Tiosulfato gastado (ml)
1	0.5	03:45	04:15	0.2
2	0.6	03:47	04:17	0.2
3	0.7	03:49	04:19	0.3
4	0.8	03:51	04:21	0.5
5	0.9	03:53	04:23	0.4



6	1	03:55	04:25	0.3
7	1.1	03:57	04:27	0.2
8	1.2	03:59	04:29	0.1
9	1.3	04:01	04:31	0.2
10	1.4	04:03	04:33	0.3
11	1.5	04:05	04:35	0.4
12	1.6	04:07	04:37	0.1

**Anexo E2.** Resultados de la segunda experimentación para la valoración de cloro (*Propia, 2022*).

<b>Cloración en agua pluvial #2</b>				
	<b>Yoduro (gr)</b>	<b>Vinagre (ML)</b>	<b>Almidón (gr)</b>	
	0.02	0.1	0.4	
<b>Muestra</b>	<b>Dosis cloro (ml)</b>	<b>Tiempo inicial (min)</b>	<b>Tiempo final (min)</b>	<b>Tiosulfato gastado (ml)</b>
1	0.5	10:50	11:20	1
2	0.6	10:52	11:22	0.9
3	0.7	10:54	11:24	0.7
4	0.8	10:56	11:26	0.5
5	0.9	10:58	11:28	0.4
6	1	11:00	11:30	0.9
7	1.1	11:02	11:32	0.6
8	1.2	11:04	11:34	0.7
9	1.3	11:06	11:36	1
10	1.4	11:08	11:38	0.7



11	1.5	11:10	11:40	1
12	1.6	11:12	11:42	0.6

**Anexo E3.** Resultados de la tercera experimentación para la valoración de cloro (*Propia, 2022*).

Cloración en agua pluvial #3				
	Yoduro (gr)	Vinagre (ML)	Almidón (gr)	
	0.05	0.25	1	
Muestra	Dosis cloro (ml)	Tiempo inicial (min)	Tiempo final (min)	Tiosulfato gastado (ml)
1	0.5	11:45	12:15	0.4
2	0.6	11:47	12:17	0.3
3	0.7	11:49	12:19	0.1
4	0.8	11:51	12:21	0.1
5	0.9	11:53	12:23	0.3
6	1	11:55	12:25	0.2
7	1.1	11:57	12:27	0.1
8	1.2	11:59	12:29	0.3
9	1.3	12:01	12:31	0.1
10	1.4	12:03	12:33	0.1
11	1.5	12:05	12:35	0.5
12	1.6	12:07	12:37	0.3

**Anexo E4.** Resultados de los cálculos para el promedio de dosis de cloro necesaria a suministrar en 100 ml de muestra (*Propia, 2022*).



<b>Dosis de Cl promedio necesaria (ml)</b>		
<b>Cloración #1</b>	<b>Cloración #2</b>	<b>Cloración #3</b>
0.8	1.5	1.5
<b>TOTAL</b>		<b>1.27</b>