



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL  
AGUA RESIDUAL DE LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, DESPUÉS  
DE SU TRATAMIENTO.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**PRESENTA:**

Cruz Martinez Eunice

**JURADO DE EXAMEN**

DIRECTORA: I. BQ. Tapia Torres Paulette

ASESOR: M. EN C. Almazán Ruiz Francisco Javier

ASESORA: M. EN C. Arauz Torres Yennifer Paola

SINODAL: M. EN C. Maldonado Arellano Ana Lilia

SINODAL: I.Q. Matias Garduño Consuelo



CIUDAD DE MÉXICO

2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, DESPUÉS DE SU TRATAMIENTO.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**  
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
 CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
 FORMATO F-5



**OFICIO DE FECHA DE EXAMEN**

**QFB GRACIELA ROJAS VÁZQUEZ**  
 JEFA DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
 Presente

Le comunico que al alumno: **CRUZ MARTINEZ EUNICE** con número de cuenta **415096670** de la carrera **INGENIERÍA QUÍMICA** se le ha fijado el día **25 de Noviembre de 2022** a las **11:00 hrs.**, para presentar la réplica oral de su examen profesional, que tendrá lugar en esta facultad, ante el siguiente jurado:

CARGO	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. EN C. MALDONADO ARELLANO ANA LILIA	
VOCAL	LIC. TAPIA TORRES PAULETTE	
SECRETARIO	I.Q. MATIAS GARDUÑO CONSUELO	
SUPLENTE	M. EN C. ARAUZ TORRES YENNIFER PAOLA	
SUPLENTE	M. EN C. ALMAZAN RUIZ FRANCISCO JAVIER	

El título del trabajo escrito que se presenta es:

ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, DESPUÉS DE SU TRATAMIENTO.

En la modalidad de: **TESIS**

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
 CDMX, a 14 de Octubre de 2022

**DR. VICENTE JESÚS HERNÁNDEZ ABAD**  
 DIRECTOR DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES ZARAGOZA



## DEDICATORIAS

*"Un trabajo en equipo hace que el sueño funcione".*

*-Kim Namjoon*

Este trabajo está dedicado a las personas que han sido mi equipo desde que tengo memoria y que son lo más importante en mi vida: MI FAMILIA.

A MI PAPÁ **FRANCISCO CRUZ** por su esfuerzo y apoyo para que a lo largo de este camino nunca me faltara nada, por darme lo mejor y enseñarme que para por conseguir mis metas tengo que esforzarme y trabajar muy duro para lograrlo, gracias por ser un extraordinario papá.

A MI MAMÁ **CRISTINA MARTINEZ** por siempre estar para mí, por ser mi pilar más fuerte, por apoyarme a cumplir este sueño y porque sin lugar a dudas gracias a ti soy lo que soy ahora, gracias por esforzarte para que nunca me falte nada, gracias por ser una madre maravillosa.

Pero sobre todo **MUCHAS GRACIAS** por no soltarme y por ser mí más gran ejemplo a seguir, por su apoyo incondicional, por la confianza que me han brindado, por enseñarme a ser mejor persona cada día y el amor que me han dado a lo largo de mi vida. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes. Los Amo.

A MIS HERMANOS **ALEJANDRO** y **NOEMI CRUZ** porque aunque peleemos siempre están para mí, por soportar mis cambios de humor, por sacarme sonrisas cuando en realidad lo necesitaba, por su apoyo y amor. Gracias.

A MIS SOBRINAS **MI KATY** y **MI CAMI** porque han sido el mejor regalo que me ha dado mi hermano y que inconscientemente me alegran mis días con sus ocurrencias.

Y por último a una persona no menos importante pero que también fue un aliciente para cumplir esta meta, en memoria de Mi Tío **FELIX** QEPD.

**¡GRACIAS INFINITAS!**

*"Cuales quiera que sean los resultados, vamos a intentarlo".*

*— Jung Hoseok*



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente a **Dios** por permitirme la vida, la salud y darme las fuerzas necesarias para poder concluir esta etapa de mi vida.

A MIS ABUELITAS **MARIA ANTONIO** y **CAMILA MARTINEZ**, porque aun en la distancia están para apoyarme y hacerme saber el amor y cariño que me tienen.

A MIS ABUELITOS **BALTAZAR Y TAURINO** que aunque ya no están conmigo siempre los tengo presentes porque gracias a ellos hoy tengo una familia.

Al resto de mi familia tanto paterna y la materna que siempre me estuvieron motivando para poder culminar esta etapa de mi vida y por sus muestras de cariño.

A **ITZEL** por también estar en este proceso y por darme la oportunidad de ser tía.

A mi casa de Estudios la **Universidad Nacional Autónoma De México** pero en especial a la **Facultad De Estudios Superiores Zaragoza**, por brindarme el espacio para educarme y ser una profesional.

*“El arte de enseñar es el arte de ayudar al descubrimiento”*

*-Anónimo*

Mis más sinceros agradecimientos a mis sinodales:

Primeramente a mi directora de tesis la profesora **Paulette Tapia Torres**, gracias por confiar en mí y ayudarme a realizar este proyecto, pero sobre todo por brindarme su amistad y ayuda durante esta etapa de mi vida transmitiéndome sus conocimientos con paciencia y cariño.

A mi asesor el profesor **Francisco Javier Almazán Ruiz** por brindarme su amistad, por siempre apoyarme con mis dudas cuando se lo requería, por confiar en mí y ser un gran apoyo en la realización de este proyecto al transmitirme sus conocimientos.

Y por último pero no menos importante a mis asesoras, las profesoras **Yennifer Paola Arauz Torres**, **Ana Lilia Maldonado Arellano** y **Consuelo Matias Garduño**, por brindarme su apoyo, por su tiempo, paciencia y sobre todo por sus conocimientos que enriquecieron este trabajo, ¡**Gracias!**



*"Siempre estuvieron ahí para ayudarme a recordar cuál es mi esencia"*

*- Park Jimin*

Y por último agradezco a todas esas personas que también han sido parte de este camino a MIS AMIGOS:

A los que han estado conmigo desde un comienzo, **Jonathan, Ivonne, Dra. Laura**, gracias por su compañía, apoyo, cariño y por regalarme momentos de felicidad.

A mis amigos desde de la prepa que no me ha dejado, que siempre está al pendiente de mí y que también han sido un gran apoyo, **Mariana, Estefanía, Roberto, Laura y Alondra**.

A los amigos que me regalo la Facultad y que han aligerado el estrés y lo pesado que en algún momento se llegaba a tornar este camino, a los que desde un inicio me brindaron su amistad y ayuda **Fer, Bren, Dani, Uli, Zai y Vian**, a los que tuve el gusto de conocer en el camino **Gio, Esme, Esteban, Karen, Andrea, Miguel y Marlen**, gracias por seguir conmigo, por todo el cariño que me han brindado, porque han sido un gran apoyo y sin ustedes la carrera no hubiera sido lo mismo.

Y por último quiero agradecer a una persona que ha sido una inspiración para mí y que aunque es posible que no leas esto quiero hacerlo porque gracias a tus anécdotas sé que cuando uno persigue un sueño lo puede lograr, sacrificando algunas cosas, desvelándote, trabajando duro, pero que sin lugar a dudas cada desvelo y sacrificio valdrá la pena si pones el corazón en ello y si te apoyas en tu familia y amigos, que puede que la gente diga que no puedes y que no lo lograras, pero que uno le tiene que demostrar lo contrario perseverando en la meta. Gracias **PJM**.

**¡MUCHAS GRACIAS POR TODO!**

**EUNICE CRUZ MARTINEZ**

*"Este es el comienzo de un nuevo capítulo."*

*— Jeon Jungkook*



## Tabla de contenido

ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	9
.....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
.....	12
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES .....	13
1.1 Agua.....	13
1.1.1 Aguas residuales.....	15
.....	25
CAPÍTULO 2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	26
2.1 Definición de tratamiento de aguas residuales .....	26
2.1.1 Etapas de tratamiento de aguas residuales .....	26
2.1.2 Tipos de tratamientos de aguas residuales.....	30
2.2 Evaluación de la calidad del agua después de su tratamiento .....	32
CAPÍTULO 3. NORMATIVIDAD Y CALIDAD DEL AGUA .....	34
3.1 Calidad.....	34
3.2 Calidad del Agua.....	35
3.3 Normatividad.....	44
.....	56
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	57
.....	58
JUSTIFICACIÓN .....	59
.....	60
OBJETIVOS:.....	61
Objetivo General: .....	61
Objetivos Específicos:.....	61
.....	62
METODOLOGÍA.....	63
Metodología teórica.....	63
Agua residual de la FES Zaragoza .....	71



ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA, DESPUÉS DE SU TRATAMIENTO.

---



Metodología experimental.....	72
.....	88
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	89
CONCLUSIONES .....	100
.....	103
MEJORAS Y RECOMENDACIONES.....	104
BIBLIOGRAFÍA.....	107
.....	117
ANEXOS .....	118



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tipos de agua y sus características</i>	14
<i>Tabla 2. Tipos de Aguas Residuales y sus características</i>	16
<i>Tabla 3. Composición típica del agua residual doméstica bruta</i>	24
<i>Tabla 4. Características de las etapas o niveles del tratamiento de aguas residuales</i>	29
<i>Tabla 5. Especificaciones sanitarias físicas</i>	40
<i>Tabla 6. Especificaciones sanitarias químicas</i>	41
<i>Tabla 7. Especificaciones sanitarias microbiológicas</i>	41
<i>Tabla 8. Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas</i>	42
<i>Tabla 9. Escala de clasificación de la calidad del agua para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) Y Sólidos Suspendidos Totales</i>	43
<i>Tabla 10. Puntos de muestreo dentro de la FES Zaragoza, Campus II</i>	73
<i>Tabla 11. Características de las aguas residuales de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (Campus II)</i>	74
<i>Tabla 12. Preparación de las disoluciones de las muestras con solución salina</i>	78
<i>Tabla 13. Resultados de UFC por muestra</i>	90
<i>Tabla 14. Identificación de microorganismos en puntos de muestreo</i>	92
<i>Tabla 15. Datos para Curva-Calibración</i>	93
<i>Tabla 16. Resultados obtenidos en la toma de Muestreo F (Humedal)</i>	94
<i>Tabla 17. Resultados obtenidos en la toma de Muestreo F (Humedal)</i>	95
<i>Tabla 18. Resultados obtenidos en la toma de Muestreo D (Laboratorios de IQ)</i>	95
<i>Tabla 19. Resultados obtenidos en la toma de Muestreo C (Planta piloto)</i>	95



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Molécula de Agua _____	13
Ilustración 2. Características de las aguas residuales _____	17
Ilustración 3. Autoclave _____	65
Ilustración 4. Identificación de los puntos de muestreo dentro del Campus _____	72
Ilustración 5. Medición del pH de una muestra de agua utilizando un potenciómetro ____	75
Ilustración 6. Medición de la temperatura de una muestra de agua _____	76
Ilustración 7. Preparación del medio de cultivo M-Endo Agar _____	77
Ilustración 8. Secuencia de imágenes de la preparación del medio de cultivo M-Endo Agar _____	78
Ilustración 9. Técnica de sembrado en caja _____	79
Ilustración 10. Toma de la muestra para sembrar _____	79
Ilustración 11. Siembra del inóculo _____	80
Ilustración 12. Conteo de UFC en cajas Petri _____	80
Ilustración 13. Técnica de sembrado en tubo _____	81
Ilustración 14. Siembra por estría en tubo _____	81
Ilustración 15. Identificación de presencia de organismos coliformes en los tubos ____	82
Ilustración 16. Identificación de presencia de organismos coliformes en los tubos ____	82
Ilustración 17. Tubos con muestras en el digestor _____	83
Ilustración 18. Tubos con muestras después del proceso de digestión _____	84
Ilustración 19. Cálculo de la absorbancia en el espectrofotómetro _____	84
Ilustración 20. Montaje del equipo Soxhlet para extracción _____	86
Ilustración 21. Obtención de grasas y aceites al término de la extracción _____	87
Ilustración 22. Identificación de color en muestra de agua _____	87
Ilustración 23. <i>Pseudomona</i> en agar _____	90
Ilustración 24. <i>Klebsiella</i> en agar _____	91
Ilustración 25. Identificación de color en muestra de agua del punto de muestreo C ____	97
Ilustración 26. Identificación de color en muestra de agua del punto de muestreo F ____	97
Ilustración 27. Etapas de tratamiento propuestas _____	102
Ilustración 28. Técnicas propuestas a realizar _____	105



# INTRODUCCIÓN



## INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento vital para la vida de los seres vivos en el planeta, por lo que los temas referentes a su uso y reusó, son de gran importancia hoy en día a nivel mundial. La contaminación del agua constituye uno de los problemas ambientales de mayor gravedad e importancia, dado que representa una amenaza para la humanidad porque puede generar enfermedades o incluso la muerte de los seres vivos.

El tratamiento de aguas residuales es un proceso que tiene como objetivo, generar agua libre de contaminantes orgánicos e inorgánicos; misma que debe garantizar la protección de la salud pública y el medio ambiente.

Analizar y evaluar la calidad del agua de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza después de su tratamiento; es una parte importante en el desarrollo de esta investigación; cuyo propósito es contribuir a la sustentabilidad de este medio tan importante, además de asegurar que el agua se puede reutilizar en otras actividades, ya que está libre de bacterias o microorganismos que dañan la salud, y principalmente cumple con los estándares de calidad establecidos por la normatividad mexicana.

Cuando hacemos un análisis y evaluación de las aguas tratadas, es necesario revisar los parámetros que determinan su calidad. Estos parámetros se clasifican en cuatro grupos: físicos, químicos, biológicos, y radiológicos; los cuales están establecidos por la normatividad mexicana: Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEEPA), Ley de Aguas Nacionales (LAN), Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMAN), Normas Oficiales Mexicanas (NOM'S) y Normas Mexicanas (NMX'S).



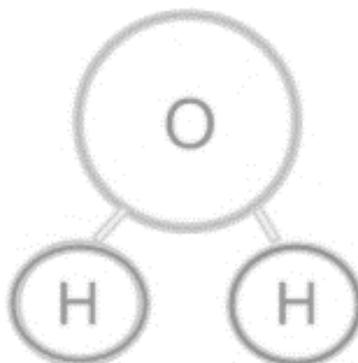
# CAPÍTULO 1

# ANTECEDENTES

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Agua

Se puede describir al agua como un líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (como se observa en la Ilustración 1) (ASALE & RAE, 2021); y que, mediante la formación de ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos.



**Ilustración 1. Molécula de Agua**

El agua es el elemento vital para la vida de los seres vivos en el planeta, ya que dependemos de él para realizar la mayoría de nuestras actividades de gran importancia (uso: doméstico, agrícola, industrial, etc.).

Existen diferentes tipos de agua en función a su origen (ríos, mares, lagos, pluviales, etc.), características químicas, físicas o biológicas, como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1. Tipos de agua y sus características**

<b>Agua</b>	<b>Características</b>
<b>Potable</b>	Es el agua apta para el consumo humano, recibe un tratamiento adecuado convirtiéndola en limpia, transparente, sin olores o sabores desagradables y libre de contaminantes.
<b>Dulce</b>	Es aquella que se encuentra naturalmente en la superficie de la Tierra en capas de hielo, humedales, lagunas, lagos, ríos y arroyos; y bajo la superficie como agua subterránea en acuíferos y corrientes bajo tierra, posee una baja concentración de sales y sólidos disueltos, es útil para el riego, así como para diferentes actividades industriales.
<b>Salada</b>	Se encuentra en los océanos y los mares de la Tierra, tiene una concentración de sales minerales disueltas entorno al 35%.
<b>Salobre</b>	Es agua con una salinidad entre el agua dulce y el agua de mar, su salinidad no está definida con precisión, es común encontrarla en la desembocadura de los ríos; donde el líquido se mezcla con el agua proveniente de los ríos y de la lluvia.
<b>Dura</b>	Es aquella que contiene un alto nivel de minerales disueltos, como el magnesio y calcio.
<b>Blanda</b>	Es el agua en la que se encuentran disueltas mínimas cantidades de sales, llega a la superficie gracias a la precipitación.
<b>Destilada</b>	Es purificada a través de un procedimiento denominado destilación, es completamente libre de sal diluida.
<b>Negras</b>	Es agua contaminada con heces u orina, provenientes de los sistemas de drenaje.
<b>Grises</b>	Son aguas de menor contaminación resultado del uso doméstico. Compuestas por materia orgánica e inorgánica y microorganismos, son reutilizables.
<b>Bruta</b>	Es el agua que no ha recibido ningún tratamiento, entra a una planta de tratamiento para convertirse en aguas de uso posterior, las podemos encontrar en fuentes y reservas naturales de aguas superficiales y subterráneas.
<b>Residual</b>	Son aguas cuya composición y calidad original han sido afectadas como resultado de su utilización, están afectadas por la influencia antropogénica, provienen de uso municipal, industrial, agropecuario, entre otros.

En los últimos años la demanda de agua ha incrementado, trayendo consigo uno de los problemas más importantes relacionados con su uso: la contaminación de



aguas municipales, industriales, entre otras; son consecuencia de descargas sin previo tratamiento.

### **1.1.1 Aguas residuales**

Las aguas residuales son de composición variada provenientes de diversas descargas, por ejemplo: municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso.

El agua residual contiene una cierta cantidad de flora bacteriana que, tras un tiempo de incubación, actúa degradando la materia orgánica contenida en el agua residual.

#### **1.1.1.1 Tipos de aguas residuales**

Existen diferentes tipos de aguas residuales que se encuentran clasificadas según el origen de procedencia, como se observa a continuación (Ver Tabla 2):

**Tabla 2. Tipos de Aguas Residuales y sus características**

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>
<b>Agua residual doméstica</b>	Es aquella que provienen de los desechos de una comunidad (hogares, instituciones, negocios, entre otros), están compuestas por materia orgánica y microorganismos, desechos fecales, detergentes, grasas, sólidos, entre otros.
<b>Agua residual municipal o urbana</b>	Es aquella que proviene del drenaje de una ciudad o población que a su vez está compuesta por aguas de lluvia, contaminadas por materia orgánica, patógenos, nutrientes, objetos de gran tamaño en estado de suspensión, grasas, aceites, desechos fecales, entre otros.
<b>Agua residual industrial</b>	Es aquella que como su nombre lo indica, proviene de las descargas industriales (proceso, limpieza, etc.), su composición depende del tipo de industria, proceso o actividad en el que fue utilizada.
<b>Agua residual agrícola</b>	Es aquella que proviene de labores agrícolas en las zonas rurales. Es una mezcla de aguas de riego y aguas de corriente de lluvia; contienen contaminantes de origen orgánico, químico, microorganismos, entre otros.
<b>Agua residual pecuaria</b>	Es aquella que proviene de labores ganaderas, están compuestas por gran cantidad de contaminantes, como sólidos en suspensión, generados por las excretas de los animales, químicos limpiadores con presencia de sustancias contaminantes.
<b>Aguas negras</b>	Son aguas compuestas únicamente por desechos fecales (orina y heces); por lo que contienen alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos.
<b>Aguas grises</b>	Son aquellas que provienen de uso doméstico (lavamanos, duchas y lavadoras), y contienen una carga máxima de productos de aseo personal y detergencia.

### 1.1.1.2 Características de las aguas residuales

El agua residual se puede caracterizar en agentes físicos, químicos y biológicos (Ver Ilustración 2).

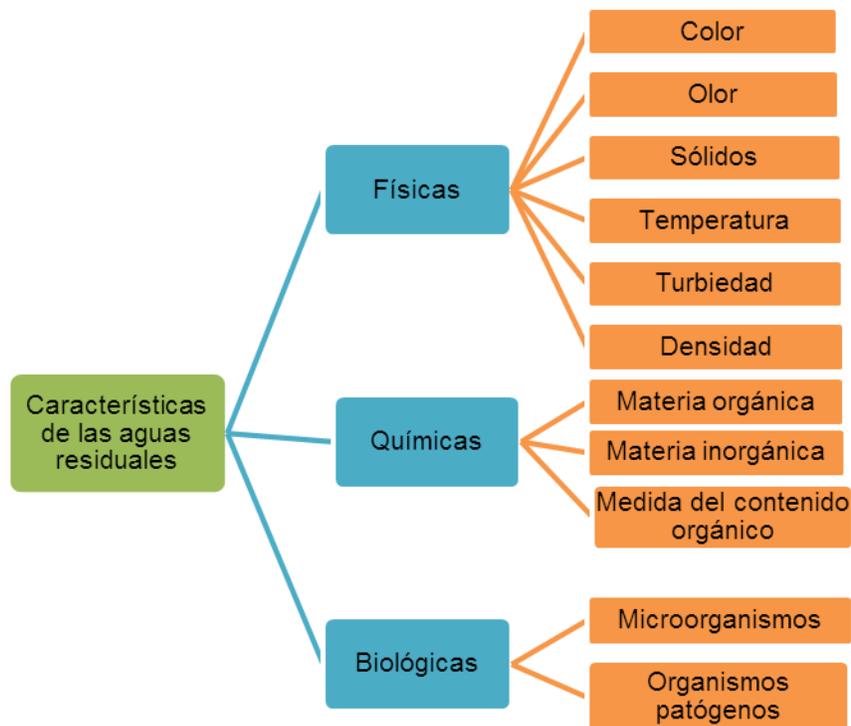


Ilustración 2. Características de las aguas residuales

### ➤ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Son las características que permiten identificar el aspecto del agua residual. El más importante es el contenido total de sólidos; el cual abarca la materia en suspensión, materia sedimentable, materia coloidal y materia disuelta. Otras características físicas importantes, son: color, olor, temperatura, turbiedad y densidad.

- **Sólidos Totales**

Se definen como, la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de 103 - 105°C. Los sólidos sedimentables se expresan en ml/L, y constituyen una medida de cuantificación aproximada a la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria correspondiente al agua residual. Los sólidos totales pueden clasificarse, en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido, por un

filtro de superficie que físicamente fuerza el agua a través de una membrana o filtro de cartucho o por un filtro de profundidad también conocido como filtro de lecho profundo.

- **Color**

El agua residual suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al prolongar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado, se desarrollan condiciones próximas anaerobias en el agua; lo que provoca el cambio gradual de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. El color gris, gris oscuro o negro del agua residual, es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias, a partir de los metales presentes en el agua residual.

- **Olor**

Normalmente, los olores se producen debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor desagradable. El olor más característico del agua residual séptica, se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno (huevo podrido) que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

- **Temperatura**

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, esto se debe a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores a ella durante los meses más calurosos del verano.

- **Turbiedad**

La turbiedad, es la medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua. Es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Su medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra, y la intensidad registrada en una suspensión de referencia a las mismas condiciones.



- **Densidad**

Se define densidad de un agua residual, como: masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{kg/m}^3$ . La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales, es prácticamente la misma que la del agua, en igualdad de condiciones de temperatura.

➤ **CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

Son las características que permiten identificar cuando existe un cambio en la composición original del agua. Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, al igual que los gases presentes. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado, dado su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- **Materia Orgánica**

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de una agua residual de concentración media, son de naturaleza orgánica. Sólidos de origen animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), grasas y aceites (10%). Otro compuesto orgánico con muy importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina.

El agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas; por ejemplo: agentes tensoactivos, contaminantes orgánicos prioritarios, compuestos orgánicos volátiles y pesticidas de uso agrícola.

- **Materia Inorgánica**

Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las



concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua; por ejemplo: pH, cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fósforo, azufre, algunos otros compuestos tóxicos inorgánicos y algunos metales pesados como: níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio.

### ➤ Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son: nitrógeno ( $N_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), y metano ( $CH_4$ ). Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Los gases de principal interés son:

1. Oxígeno disuelto: es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura y pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.).
2. Sulfuro de hidrógeno: se forma por la reducción biológica de sulfatos y por la descomposición de materia orgánica. Representa un problema importante en los sistemas de alcantarillado y drenaje, ya que, a pesar de su olor desagradable, es un gas sumamente tóxico que puede causar la muerte y en contacto con la humedad produce ácido sulfúrico, ocasionando corrosión en los sistemas de aguas residuales.
3. Metano: se forma por la descomposición de la materia orgánica. Debido a su alta combustibilidad; es importante contar con medidas de precaución (ventilación adecuada) que eviten el peligro de explosión que este puede generar.



### ➤ **Medida del Contenido Orgánico**

Los diferentes métodos para medir el contenido orgánico pueden clasificarse en dos grupos:

1. Métodos empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores a 1 mg/L, los cuales incluyen los siguientes ensayos de laboratorio: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Carbono Orgánico Total (COT).
2. Métodos empleados para determinar las concentraciones en un intervalo de 0.001 mg/L a 1 mg/L, en este grupo se emplean métodos instrumentales que incluyen la cromatografía de gases y la espectroscopia de masa.

### ➤ **CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

Estas características nos ayudan a identificar los principales grupos de microorganismos biológicos y organismos patógenos presentes en las aguas residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos.

#### ➤ **Microorganismos**

Los principales grupos de organismos presentes en las aguas residuales se clasifican en: *eucariotas*, *eubacterias* y *arqueobacterias*.

- Bacterias: se pueden clasificar como *eubacterias*, *procariotas*, *unicelulares* y de acuerdo a su forma se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas; son de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, un ejemplo de ellas es la *Escherichia coli*.
- Hongos: son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimio heterótrofos; son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera, pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos, resulta de gran importancia su participación en los procesos de degradación de la materia orgánica, dado que

sin ella el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

- Algas: su presencia puede afectar el valor del agua de abastecimiento, porque puede originar problemas de olor y de sabor, además pueden alterar el valor de las aguas superficiales, debido al crecimiento de ciertas especies de peces y formas de vida acuáticas.
- Protozoos: son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta. Tienen una importancia vital, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua, capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.
- Plantas y animales: se toma en consideración a los gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos que puedan causar alguna afectación o peligro a la salud.
- Virus: son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA), con una capa de recubrimiento proteico.

#### ➤ **Organismos patógenos**

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad del aparato intestinal, como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son: bacterias, virus, protozoos y el grupo de los helmintos.

#### **1.1.1.3 Componentes del agua residual**

La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales.

Es de gran importancia recordar que existirá una variación significativa en la composición de las aguas residuales; esto dependerá del tipo de agua que se esté



analizando y la utilización que se le dio anteriormente; por ejemplo, las aguas residuales domésticas están constituidas por aproximadamente el 99.9% de agua y un 0.1% de sólidos suspendidos; de los cuales, el 70% son orgánicos y el 30% son inorgánicos como arenas sales y metales. Este 0,1% de sólidos es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada. En la Tabla 3, se puede observar la composición típica del agua residual doméstica bruta.

Los principales contaminantes de las aguas residuales son el nitrógeno y fósforo, compuestos orgánicos, bacterias, coliformes fecales, materia orgánica, entre muchos otros (Jiménez, et al., 2010).

Por otro lado, las aguas residuales contienen sales minerales disueltas y microcontaminantes procedentes del uso doméstico y urbano. Las aguas residuales provenientes de limpieza contienen materias sólidas inorgánicas en suspensión, junto con materias orgánicas solubles e insolubles, y otras sustancias propias de la vida urbana; como son los compuestos fenólicos y de plomo debidos a los escapes de los vehículos de motor, insecticidas provenientes de jardines, detergentes, etc.

La materia orgánica de las aguas residuales domésticas está formada por proteínas, grasas y aceites, carbohidratos, urea y moléculas orgánicas sintéticas, entre las que se encuentran los microcontaminantes. Asimismo, en ellas van numerosos microorganismos, siendo la mayoría de ellos patógenos.

**Tabla 3. Composición típica del agua residual doméstica bruta**

Contaminantes	Unidades	Concentración <sup>a</sup>		
		Débil	Mediana	Mediana
<b>Sólidos Totales (ST)</b>	mg/L	390	720	1230
<b>Disueltos Totales (SDT)</b>	mg/L	270	500	860
<b>Fijos</b>	mg/L	160	300	520
<b>Volátiles</b>	mg/L	110	200	340
<b>Sólidos en Suspensión Totales (SST)</b>	mg/L	120	210	400
<b>Fijos</b>	mg/L	25	50	85
<b>Volátiles</b>	mg/L	95	160	315
<b>Sólidos Sedimentables</b>	mg/L	5	10	20
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno, 5 días, 20°C (DBO<sub>5,20°C</sub>)</b>	mg/L	110	190	350
<b>Carbón Orgánico Total (COT)</b>	mg/L	80	140	260
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/L	250	430	800
<b>Nitrógeno (Total como N)</b>	mg/L	20	40	70
<b>Orgánico</b>	mg/L	8	15	25
<b>Amoniaco libre</b>	mg/L	12	25	45
<b>Nitritos</b>	mg/L	0	0	0
<b>Nitratos</b>	mg/L	0	0	0
<b>Fosforo (Total como P)</b>	mg/L	4	7	12
<b>Orgánico</b>	mg/L	1	2	4
<b>Inorgánico</b>	mg/L	3	5	10
<b>Cloruros<sup>b</sup></b>	mg/L	30	50	90
<b>Sulfato<sup>b</sup></b>	mg/L	20	30	50
<b>Aceite y Grasa</b>	mg/L	50	90	100
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles (COV<sub>s</sub>)</b>	mg/L	<100	100-400	>400
<b>Coliformes Totales</b>	No./100mL	10 <sup>6</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>
<b>Coliformes Fecales</b>	No./100mL	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>
<b>Quistes de Cryptosporidium</b>	No./100mL	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>1</sup>	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>2</sup>
<b>Quistes de Giardia Lamblia</b>	No./100mL	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>1</sup>	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>3</sup>

<sup>a</sup> Débil se basa en un caudal aproximado de aguas residuales de 750 L/capita·d (200gal/capita·d (per capita por día)). Mediana se basa en un caudal aproximado de aguas residuales de 460 L/capita·d (120gal/capita·d (per capita por día)). Fuerte se basa en un caudal aproximado de aguas residuales de 240 L/capita·d (60gal/capita·d (per capita por día)).

<sup>b</sup> Los valores deben aumentarse según la cantidad de constituyente presente en el agua doméstica. Expresado en mg/L = g/m<sup>3</sup>.

Nota. De Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition), por Metcalf & Eddy, 2003, p. 186, Mc Graw Hill.



# **CAPÍTULO 2**

# **TRATAMIENTO DE**

# **AGUAS RESIDUALES**



## **CAPÍTULO 2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **2.1 Definición de tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales o proceso de depuración, es un procedimiento que tiene como propósito principal remover los contaminantes presentes en el agua residual, orgánicos e inorgánicos; que pueden estar presentes como partículas en suspensión o disueltas, adquiriendo como finalidad la obtención de agua que garantice la protección de la salud pública y el medio ambiente. Por otro lado, se busca que esta agua cumpla con los estándares de calidad establecidos por la normatividad, permitiendo la reutilización de la misma en otras actividades, para que de esta manera se pueda evitar la escasez de la misma en un futuro.

#### **2.1.1 Etapas de tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales puede incluir varias etapas y la selección de las mismas dependerá de: características, origen, grado y costo de purificación deseado, entre otros aspectos. Aunque la depuración de las aguas residuales se puede realizar mediante procesos naturales; estos requieren de un tiempo prolongado, por lo que se busca que, a través de las diferentes etapas o niveles de tratamiento, el proceso natural se vuelva acelerado y controlado. Dichas etapas o niveles son:

##### **✓ Tratamiento preliminar**

Como su nombre lo indica es el tratamiento que se realiza antes del tratamiento primario, en esta etapa se eliminan los residuos de gran o mediano tamaño; por ejemplo: trapos, ramas, arenas, grasas, aceites, piedras, plásticos o animales muertos, etc. Teniendo como propósito regular el caudal y sus características, para que estos no causen problemas de mantenimiento u operación en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares.

Para llevar a cabo esta etapa se pueden utilizar: cribas, tamices, rejillas, desarenadores, etc.



### ✓ **Tratamiento primario**

Esta etapa tiene como objetivo eliminar una parte de los sólidos en suspensión y materia orgánica del agua residual; por ejemplo: detergentes, grasas, aceites, espumas, etc.

Este proceso se realiza en tanques de sedimentación, ocupando la fuerza de gravedad como principio, para separar los sólidos del líquido. Típicamente el tratamiento primario remueve alrededor del 60% de los sólidos suspendidos del agua residual cruda y un 35% de Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ). (Vega, 2012)

### ✓ **Tratamiento primario avanzado**

Es considerada una etapa físico-química, ya que se lleva a cabo mediante la adición de productos químicos, logrando una mejor eliminación de sólidos en suspensión y materia orgánica de las aguas residuales.

Este tratamiento tiene eficiencias medias de 55 a 65%. (SEMARNAT, 2009)

### ✓ **Tratamiento secundario**

En esta etapa se elimina la materia orgánica biodegradable (en suspensión o solución) y sólidos en suspensión; para ello se utilizan métodos biológicos, los cuales se dividen en dos grupos: anaerobios y aerobios.

- Anaerobios: tienen una baja tasa de síntesis bacteriana, es decir, una baja producción de lodos de desecho.
- Aerobios: se utiliza una gran cantidad de energía del sustrato en la síntesis celular, por lo que existe una mayor generación de biomasa como lodo no estabilizado.

### ✓ **Tratamiento secundario con eliminación de nutrientes**

Esta etapa tiene como objetivo eliminar sustancias orgánicas biodegradables, sólidos en suspensión y nutrientes (nitrógeno y fósforo), para ello aparte de utilizar métodos biológicos anaerobios y aerobios se utilizan métodos anóxicos.

- Anóxicos: permiten la eliminación del nitrógeno presente en el agua residual mediante la transformación del nitrógeno del nitrato, en nitrógeno gas.

Los principales tratamientos que se utilizan para la eliminación de nutrientes son: nitrificación y desnitrificación para la eliminación de nitrógeno y eliminación de fósforo.

### ✓ **Tratamiento terciario**

Es la etapa que viene después de la aplicación previa de los tratamientos preliminar, primario y secundario. Tiene como objetivo la eliminación de sólidos en suspensión residuales, materia orgánica remanente no biodegradable y en algunos casos nutrientes. Es necesario cuando se deben cumplir condiciones de descarga estrictas o cuando el agua está destinada a un reúso específico.

Entre los principales tratamientos de este tipo se citan: ultrafiltración, microcribas, nitrificación biológica, nitrificación-desnitrificación biológica, desnitrificación biológica por etapas separadas, remoción de fósforo, cloración al punto de quiebre, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, adsorción con carbón, lodos activados con adición de carbón activado en polvo, oxidación química, precipitación química y volatilización. (SEMARNAT, 2009)

### ✓ **Tratamiento avanzado**

En esta etapa se busca eliminar los materiales disueltos y suspendidos sobrantes del tratamiento biológico normal, para poder reutilizar el agua en diversas

aplicaciones. En la Tabla 4 se dan a conocer las características de las etapas del tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 4. Características de las etapas o niveles del tratamiento de aguas residuales**

Etapa o nivel	Mecanismos	Contaminantes removidos	Equipos o procesos utilizados	% de eficiencia
<b>Preliminar</b>	Físico	Sólidos de gran o mediano tamaño (plásticos, trapos, basura, etc.). Grasas y aceites.	1. Tamices 2. Rejillas 3. Microfiltros 4. Desarenadores 5. Desgrasadores 6. Trituradores	No existe una remoción significativa. SS: <10 % DBO: <10 % Coliformes: ≈ 0 % Nutrientes: ≈ 0 %
<b>Primario</b>	Físico	Sólidos en suspensión. Materia orgánica flotante.	1. Tanques de sedimentación 2. Decantadores 3. Tanques sépticos 4. Tanque Imhoff 5. Sistemas de flotación por aire disuelto	SS: 40-60 % DBO: 30-40 % Coliformes: 30-40 % Nutrientes: < 20 %
<b>Primario avanzado</b>	Físico y Químico	Sólidos en suspensión. Materia orgánica.	1. Adición de químicos (sales con cationes de alta relación carga/masa ( $Fe^{3+}$ , $Al^{3+}$ ) junto con polielectrólitos orgánicos) 2. Tanques de sedimentación y mezclado	SS: 70-85 % DBO: 45-55 % Coliformes: 60-90 % Nutrientes: 20 %N; 50-95 % P
<b>Secundario</b>	Biológico o Químico	Materia orgánica biodegradable (en suspensión o solución). Sólidos en suspensión. Nutrientes. Patógenos.	1. Reactores biológicos aerobios 2. Reactores biológicos anaerobios 3. Filtros percoladores 4. Discos biológicos rotativos 5. Sistemas de membranas	SS: 60-99 % DBO: 60-99 % Coliformes: 60-99 % Nutrientes: 10-50 %

<b>Terciario</b>	Biológico o Químico	Sólidos en suspensión residuales.	1.Ultrafiltración	
		Materia orgánica remanente no biodegradable	2.Microcribas	
		Nutrientes.	3.Nitrificación biológica	SS:
		Contaminantes específicos.	4.Nitrificación-Desnitrificación biológica	> 99 %
			5.Desnitrificación biológica por etapas separadas	DBO:
			6.Cloración	> 99 %
			7.Ósmosis inversa	Coliformes:
			8.Lodos activos	> 99,9 %
		Nutrientes: > 90 %		

Nota. Adaptado de "PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN PAISES EN DESARROLLO", de P. Torres, 2012, Revista EIA, ISSN 1794-1237 (18), p. 118 (<http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n18/n18a10.pdf>). Adaptado de Compendio de Estadísticas Ambientales 2009, por SEMARNAT, 2009 ([https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2009/compendio\\_2009/10.100.8.236\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet8434.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2009/compendio_2009/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServlet8434.html)).

### 2.1.2 Tipos de tratamientos de aguas residuales

Para lograr el objetivo del tratamiento de aguas residuales se hace uso de un conjunto de tratamientos, operaciones o procesos unitarios de tipo físico, químico y biológico, que serán seleccionados en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada.

- **Tratamientos físicos**

Son aquellos en los que se aplican fuerzas físicas, para realizar la separación de los contaminantes del agua, en ocasiones dependen de las propiedades físicas de los residuos; por ejemplo: volumen, viscosidad, dureza, etc.

Las principales operaciones físicas presentes en el tratamiento de aguas residuales son:

- Tamizado
- Desbaste
- Sedimentación
- Flotación
- Filtración
- Mezclado
- Floculación
- Homogenizado de caudales



- **Tratamientos químicos**

Son aquellos en los que se adicionan compuestos químicos, provocando que estos reaccionen con algunas propiedades de los residuos, de igual manera en ocasiones llegan a depender de las propiedades químicas de algunos contaminantes; por ejemplo: oxidación, reducción, toxicidad, etc.

Las principales operaciones químicas presentes en el tratamiento de aguas residuales son:

- Precipitación
- Desinfección
- Adsorción
- Ósmosis inversa
- Decoloración
- Coagulación
- Intercambio iónico
- Ultrafiltración

- **Tratamientos biológicos**

Son aquellos en los que se aplican procesos biológicos que ayuden a eliminar los sólidos coloidales y estabilizan la materia orgánica, generalmente se emplean microorganismos; por ejemplo: bacterias, hongos, algas, protozoos, etc. Estos se encargan de convertir la materia en sólidos sedimentables.

Los principales procesos biológicos presentes en el tratamiento de aguas residuales son:

- Procesos aerobios
- Procesos anaerobios



## **2.2 Evaluación de la calidad del agua después de su tratamiento**

Es importante recordar que el agua residual presenta diferentes componentes contaminantes de gran importancia que deben ser tratados, y que de acuerdo a la concentración en la que se encuentren se realizará la elección de un sistema de tratamiento; cuyo objetivo es depurar un agua residual y lograr mediante la integración de operaciones (físicas) y procesos (químicos y biológicos) unitarios, la calidad deseada del agua tratada.

Por lo que, para llevar a cabo un tratamiento de agua residual efectivo es necesario conocer e identificar las características físicas, químicas y biológicas del tipo de agua residual a tratar, con la finalidad de establecer el método de depuración más adecuado que garantice la remoción de los contaminantes presentes en la misma; además de que después de su adecuado tratamiento, se deberá someter a un segundo análisis con objetivo de alcanzar una calidad de agua requerida de acuerdo a la normatividad (de descarga) o por el tipo de reutilización a la que será destinada.



# **CAPÍTULO 3**

# **NORMATIVIDAD Y**

# **CALIDAD DEL AGUA**



## CAPÍTULO 3. NORMATIVIDAD Y CALIDAD DEL AGUA

### 3.1 Calidad

El concepto de calidad ha presentado durante décadas diferentes definiciones, debido al enfoque o la actividad a la que esté dirigido. Etimológicamente proviene del término griego *kalos*, que significa “lo bueno, lo apto”, y también de la palabra latina *qualitatem*, que significa “cualidad” o “propiedad”. (Nava, 2006)

Algunos de los principales exponentes definen a la calidad de la siguiente manera: *Juran (1990) mencionaba, que la palabra calidad tiene múltiples significados, pero a la vez la definía como las características de un producto que se basan en las necesidades del cliente y en la ausencia de deficiencias del mismo, brindándole satisfacción al cliente. Shewhart (1997) la define como, el resultado de la interacción de dos dimensiones: dimensión subjetiva (lo que el cliente quiere) y dimensión objetiva (lo que se ofrece). Deming (1989) la definía como, el conjunto de elementos que buscaban la satisfacción del cliente.*

Aunque la calidad tiene como finalidad satisfacer las necesidades de los clientes, también está ampliamente relacionada con el **cumplimiento y la funcionalidad** de los requisitos de un producto como lo indica la Norma ISO 9000:2015: “*la calidad es el grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos*”.

Por consiguiente, se puede definir a **la calidad como el cumplimiento de los requisitos o parámetros de un producto, servicio o proceso establecidos por un cliente o norma.**



### 3.2 Calidad del Agua

La calidad del agua es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. (SINA, 2021)

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y la cantidad misma de agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación. (Dirección General de Estadística e Información Ambiental, 2002)

Para evaluar la calidad del agua se debe ubicar en el contexto del uso probable que tendrá, dicha evaluación se logra mediante la medición de diferentes parámetros que permiten determinar el grado de contaminación de la misma, asimismo los parámetros se clasifican en: físicos, químicos, biológicos y radiológicos.

Los parámetros son los siguientes:

#### → Color

Se refiere al valor numérico expresado en por ciento de luminancia y pureza, longitud de onda dominante y tono; obtenido de la medición de la luz transmitida, después de eliminar los sólidos suspendidos y las partículas pseudocoloidales.

#### → Olor y sabor

Son propiedades organolépticas subjetivas.

Las combinaciones de los compuestos pueden causar intensidades de olor o desarrollar características que no pueden ser previstas por los olores de las sustancias individuales.

#### → Turbiedad

Se mide como la capacidad que tiene el agua para transmitir luz, comparando la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas.



### → **Temperatura**

Potencial o grado calorífico referido a un cierto cuerpo.

### → **Conductividad**

Es la propiedad que adquiere el agua de conducir la corriente eléctrica cuando tiene iones disueltos.

### → **pH**

Se define en términos de la actividad relativa de los iones de hidrógeno en la disolución, mide la acidez o la alcalinidad del agua.

### → **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar biológicamente la materia orgánica de una muestra de agua, a una temperatura estandarizada de 20°C. Si la medición se realiza al quinto día, el valor se conoce como DBO<sub>5</sub>, mientras que, si ésta es tomada luego de que la muestra se ha estabilizado, el valor obtenido se conoce como DBO<sub>u</sub>.

Se expresa en miligramos de oxígeno disuelto por litro (mg O<sub>2</sub>/L).

### → **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es una medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable, mediante el uso de un fuerte oxidante en una muestra de agua.

Sus unidades son miligramos de oxígeno disuelto por litro (mg O<sub>2</sub>/L). Su valor siempre será mayor o igual al obtenido en los ensayos de DBO.

### → **Nitrógeno en nitratos**

El nitrato es un contaminante común que se encuentra en el agua y que puede provocar efectos nocivos si se consume en altos niveles.

El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos.



Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados.

#### → **Oxígeno disuelto**

Es la cantidad de oxígeno gaseoso, en forma de  $O_2$ , disuelto en una solución acuosa. Su concentración es inversamente proporcional a la temperatura del agua. Puede expresarse en miligramos por litro de oxígeno disuelto, o porcentualmente, en función de la concentración de saturación del agua a la temperatura medida.

#### → **Alcalinidad**

Se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo ( $OH^-$ ), como son las bases fuertes, y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos; contribuyen también en forma importante a la alcalinidad los carbonatos y fosfatos. La presencia de boratos y silicatos en concentraciones altas también contribuyen a la alcalinidad del medio. Una medida de la alcalinidad total del medio es la cantidad de ácido fuerte que es necesario añadir a una muestra para llevar el pH a un valor predeterminado coincidente con el vire del naranja de metilo.

#### → **Coliformes fecales**

El grupo de los coliformes está asociado a la flora intestinal de los humanos y animales de sangre caliente. Es usado como indicador de la presencia potencial de organismos patógenos aerobios o anaerobios facultativos capaces de crecer en un medio líquido de lactosa, con producción de ácido y gas en un período de 24h a  $44,5\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ .

#### → **Coliformes totales**

Es el conjunto de todos los coliformes.



Organismos aerobios o anaerobios facultativos capaces de crecer a 35 °C en un medio líquido de lactosa, con producción de ácido y gas en un período de 48h.

Los coliformes fecales forman parte de los mismos y además existen especies de coliformes presentes de forma natural en el ambiente. Su presencia es un indicador de potencial contaminación.

La relación entre los coliformes totales y fecales sirve para determinar si la contaminación del agua es humana o animal.

#### → **Dureza total**

Se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio.

Es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales como las unidades de transferencia de calor.

Se expresa en mg/L CaCO<sub>3</sub>.

#### → **Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)**

Los tensoactivos entran en las aguas limpias y residuales principalmente por descarga de residuos acuosos del lavado doméstico e industrial de ropa y otras operaciones de limpieza.

Un alto contenido de detergentes en agua puede provocar formación de espuma, toxicidad para la vida acuática y crecimiento desmesurado de la flora acuática por el aporte de fosfatos.

#### → **Sólidos suspendidos**

Es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 µm secado y llevado a masa constante a una temperatura de 105 °C ± 2 °C.



### → Fosfatos totales

Estos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos órgano fosfatados. Estas formas de fosfatos provienen de una gran cantidad de fuentes, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas.

### → Cloruros

El ión cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, su presencia es necesaria en aguas potables.

Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora, en forma importante la calidad del suelo.

### → Grasas y aceites

Son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos, de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como solvente.

En la medición de grasas y aceites no se mide una sustancia específica, sino un grupo de sustancias con unas mismas características fisicoquímicas (solubilidad). Entonces la medición de grasas y aceites incluye ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano.

La medición de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos.

### → Sólidos disueltos

Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5  $\mu\text{m}$  a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua, un efluente o un proceso de varias formas, en plantas potabilizadoras por ejemplo los análisis de sólidos disueltos son importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento del agua.

### → Nitrógeno amoniacal

El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Es un producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados.

Las aguas superficiales no deben contener normalmente amoniaco. En general, la presencia de amoniaco libre o ion amonio se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa.

Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos, es importante el monitoreo y control de descargas del mismo al ambiente.

En las tablas presentadas a continuación se puede observar algunos límites permisibles de los parámetros, los cuales están establecidos por la normatividad.

**Tabla 5. Especificaciones sanitarias físicas**

PARÁMETROS	LÍMITE PERMISIBLE	UNIDADES
<i>Turbiedad<sup>a</sup></i>	4.0	UNT
<i>pH</i>	6.5 a 8.5	Unidades de pH
<i>Color verdadero</i>	15	UC

a El límite permisible para Turbiedad será de 3.0 UNT a partir del segundo año posterior a la entrada en vigor de la presente Norma.

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, Secretaría de Salud, 2021, Diario Oficial de la Federación, ([http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0)).

**Tabla 6. Especificaciones sanitarias químicas**

PARÁMETROS	LÍMITE PERMISIBLE	UNIDADES
Cianuros totales	0.07	mg/L
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	500.00	mg/L
Fluoruros como F <sup>-a</sup>	1.50	mg/L
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	0.50	mg/L
Nitrógeno de nitratos (N-NO <sub>3</sub> -)	11.00	mg/L
Nitrógeno de nitritos (N-NO <sub>2</sub> -)	0.90	mg/L
Sólidos disueltos totales	1000.00	mg/L
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	400.00	mg/L
Sustancias activas al azul de metileno	0.50	mg/L

a El límite permisible para fluoruros será de 1.50 mg/L para todas las localidades y se ajustará de conformidad con la tabla de cumplimiento gradual Tabla 3 de este inciso 5.3

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, Secretaría de Salud, 2021, Diario Oficial de la Federación, ([http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0)).

**Tabla 7. Especificaciones sanitarias microbiológicas**

PARÁMETROS	LÍMITE PERMISIBLE	UNIDADES
<i>E. coli</i> o Coliformes termotolerantes	<1.1 ó No detectable	NMP/100 mL
	<1	UFC/100 mL
	Ausencia	Ausencia o Presencia/100mL
<i>Giardia lamblia</i>	Ausencia	Quistes/20L

Nota 1. El organismo responsable debe seleccionar uno de los dos parámetros para su análisis: *E. coli* o coliformes termotolerantes (coliformes fecales).

Nota 2. Las unidades de medida (NMP/100mL; UFC/100mL; Ausencia o Presencia/100mL) corresponden a los tres métodos de prueba aceptados para el cumplimiento de esta Norma.

Nota 3. *Giardia lamblia* debe determinarse sólo en caso de que el agua provenga de fuente superficial o que la fuente tenga influencia de agua superficial.

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, Secretaría de Salud, 2021, Diario Oficial de la Federación, ([http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0)).



**Tabla 8. Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas**

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1997, Diario Oficial de la Federación, ([https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311363/NOM\\_003\\_SEMARNAT.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311363/NOM_003_SEMARNAT.pdf)).

Actualmente para evaluar la calidad del agua se ha decidido utilizar tres parámetros indicadores de la misma, que muestran la influencia humana desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciable. (SEMARNAT, 2013)

Los parámetros son los siguientes: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). La DBO<sub>5</sub> y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua proveniente principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática.

Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana; hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa.

**Tabla 9. Escala de clasificación de la calidad del agua para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO) Y Sólidos Suspendidos Totales**

CRITERIO (mg/L)	CLASIFICACIÓN	COLOR
<b>DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)</b>		
DBO <sub>5</sub> ≤ 3	EXCELENTE No contaminada	AZUL
3 < DBO <sub>5</sub> ≤ 6	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia organica biodegradable	VERDE
6 < DBO <sub>5</sub> ≤ 30	ACEPTABLE Con indicio de contaminacion. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARILLO
30 < DBO <sub>5</sub> ≤ 120	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
DBO <sub>5</sub> > 120	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	ROJO
<b>DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)</b>		
DQO ≤ 10	EXCELENTE No contaminada	AZUL
10 < DQO ≤ 20	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia organica biodegradable y no biodegradable	VERDE
20 < DQO ≤ 40	ACEPTABLE Con indicio de contaminacion. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARILLO
40 < DQO ≤ 200	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
DQO > 200	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	ROJO
<b>SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)</b>		
SST ≤ 25	EXCELENTE Clase de excepción, muy buena calidad	AZUL
25 < SST ≤ 75	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservacion de comunidades acuaticas y el riego agricola restringido	VERDE
75 < SST ≤ 150	ACEPTABLE Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condicion regular para peces. Riego agricola restringido	AMARILLO
150 < SST ≤ 400	CONTAMINADA Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido	NARANJA
SST > 400	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces	ROJO

Fuente: Subdirección General Técnica, CONAGUA



### 3.3 Normatividad

La Normatividad hace referencia al conjunto de normas que se aplican a una determinada materia o actividad, con el fin de regular y garantizar valores, cantidades y características mínimas o máximas en el diseño, producción o servicio de los bienes de consumo entre personas morales y/o personas físicas.

La actividad normalizadora se entiende como la consolidación del conocimiento que es recabado a través de consultas realizadas entre expertos de una rama o actividad productiva. Es un documento mediante el cual los sectores interesados (entre los cuales están, fabricantes, usuarios y gobierno) acuerdan las características técnicas deseables en un producto, proceso o servicio. (Secretaría de Economía, 2016)

En México la normatividad es aplicada mediante Normas Oficiales Mexicanas (NOM) las cuales son de carácter obligatorio, elaboradas por Dependencias del Gobierno Federal y Normas Mexicanas (NMX) de ámbito primordialmente voluntario, promovidas por la Secretaría de Economía y el sector privado, a través de los Organismos Nacionales de Normalización. (Secretaría de Economía, 2016)

Las aguas residuales tienen que cumplir con ciertas características fisicoquímicas y bacteriológicas que determinan la calidad de la misma para poder ser reutilizadas después de su tratamiento y esto se logra cumpliendo las leyes y normas que establece la normatividad mexicana.

Las principales leyes que reglamentan el uso y la calidad del agua son las siguientes:

- **Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEEPA):** publicada en 1988 y actualizada en 2021, establece los criterios para el “Aprovechamiento Sustentable del Agua y los Ecosistemas Acuáticos” en los artículos 88-97 y para la “Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos” en los artículos 117-133.



- **Ley de Aguas Nacionales (LAN):** publicada en 1992 y actualizada en 2020, representa el principal marco de referencia legislativo que emana del artículo 27 constitucional, relativo al uso o aprovechamiento del agua y sus bienes.
- **Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMAN):** establece las cuotas de los derechos de uso y de descargas a los cuerpos de agua, además menciona los lineamientos de calidad del agua de acuerdo con su uso.

Por otro lado, las principales normas que reglamentan el uso y calidad del agua son las siguientes:

➤ **NOM-127-SSA1-2021**

**"SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN".**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.



➤ **NOM-001-SEMARNAT-2021**

**QUE ESTABLECE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS**

**Objetivo y campo de aplicación**

La Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales.

Es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales en cualquier tipo de cuerpo receptor propiedad de la Nación.

La Norma no aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes destinados exclusivamente para aguas pluviales ni a las descargas que se vierten directamente a sistemas de drenaje y alcantarillado municipales.

➤ **NOM-002-ECOL-1996**

**QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.



➤ **NOM-003-ECOL-1997**

**QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reusó.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reusó o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

➤ **NOM-179-SSA1-2020**

**AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DISTRIBUIDA POR LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma establece las disposiciones sanitarias que deben observar los organismos responsables, a fin de mantener la calidad del agua para uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento de agua.

Esta Norma es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los organismos responsables de los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano.



➤ **NMX-AA-005-SCFI-2013**

**ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE GRASAS Y ACEITES RECUPERABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece un método de análisis para la medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Es de aplicación nacional.

➤ **NMX-AA-006-SCFI-2010**

**ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE MATERIA FLOTANTE EN AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas.

➤ **NMX-AA-007-SCFI-2013**

**ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la medición de la temperatura, cuando se usan instrumentos de medición directa o instrumentos que indican expansiones o fuerzas proporcionales en los cambios de temperatura, en aguas naturales crudas no salinas (epicontinentales, subterráneas y pluviales), en aguas salinas (marinas, costeras, de estuarios, esteros, marismas y



subterráneas), aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales en el intervalo comprendido entre 0 °C y 45 °C.

Para su uso doméstico, como fuente de abastecimiento de agua potable, público urbano, recreativo con y sin contacto directo, riego agrícola, pecuario, acuacultura, industrial y protección de la vida acuática marina y de agua dulce y descarga en cuerpos receptores y alcantarillado municipal o reúso. Es de aplicación nacional.

➤ **NMX-AA-008-SCFI-2016**

**ANÁLISIS DE AGUA. - MEDICIÓN DEL pH EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. - MÉTODO DE PRUEBA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana es de aplicación nacional y establece el método de prueba para la medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, en el intervalo de pH 0 a pH 14 y en un intervalo de temperatura de 0 °C a 50 °C.

➤ **NMX-AA-012-SCFI-2001**

**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece dos métodos de prueba para la determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales utilizando las técnicas de ácido modificada y la electrométrica.

Esta norma mexicana es aplicable para el análisis de aguas naturales, residuales y residuales tratadas.



➤ **NMX-AA-017-1980**

**AGUAS. - DETERMINACION DE COLOR.**

**Objetivo y campo de aplicación**

La presente Norma establece el método de prueba espectrofotométrico para la determinación de color en aguas.

➤ **NMX-AA-030/2-SCFI-2011**

**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA - PARTE 2 - DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO – MÉTODO DE TUBO SELLADO A PEQUEÑA ESCALA**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana especifica un método para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO-TS) usando el método de tubo sellado. La prueba es empírica y aplicable a cualquier muestra acuosa, que incluye todo tipo de agua residual y de desecho industrial. Esta norma es de aplicación nacional.

El método es aplicable a muestras sin diluir con un valor de DQOTS hasta 1 000 mg/L y una concentración de masa de cloruro que no exceda 1 000 mg/L. Las muestras con valores de DQO-TS mayores requieren ser diluidas previamente. Para muestras con valor bajo de DQO, la precisión de la medición se reduce y el límite de detección es afectado con una disminución en la sensibilidad del método.

Las muestras con una alta concentración de cloruro necesitarán ser diluidas antes del análisis para dar una concentración de masa de cloruro de aproximadamente 1 000 mg/L o menor.



El método oxida casi todos los tipos de compuestos orgánicos y la mayoría de los agentes reductores inorgánicos. Tiene un límite de detección (4,65 veces la desviación estándar por lote de un blanco o de una referencia de muy bajo nivel) de 6 mg/L para detección espectrofotométrica a 600 nm, y 15 mg/L para detección de titulación como se reporta por un laboratorio cuando compara las técnicas fotométricas con las de titulación usando un equipo de prueba comercial con un intervalo de hasta 1 000 mg/L.

La sección de esta norma mexicana sobre titulación, es aplicable a muestras que presentan un color atípico o turbiedad después de la etapa de digestión.

➤ **NMX-AA-034-SCFI-2015**

**ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método para la medición de sólidos y sales disueltas y aplica para aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Es de aplicación nacional.

➤ **NMX-AA-036-SCFI-2001**

**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.



➤ **NMX-AA-038-SCFI-2001**

**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el procedimiento para la determinación en campo y en el laboratorio de la turbiedad en muestras de agua residual, residual tratada y natural, en un intervalo de trabajo de 0,01 a 40 UNT, pudiendo incrementar este intervalo, realizando diluciones de muestras con concentraciones mayores de 40 UNT.

➤ **NMX-AA-039-SCFI-2001**

**ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM) EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de sustancias activas al azul de metileno en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.



➤ **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**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta 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. Es de aplicación nacional.

Este método puede ser aplicado a todos los tipos de agua, incluyendo aquellos que contienen cantidades apreciables de materia suspendida.

➤ **NMX-AA-072-SCFI-2001**

**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.



➤ **NMX-AA-073-SCFI-2001**

**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES EN  
AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO  
DE PRUEBA**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

➤ **NMX-AA-083-1982**

**ANÁLISIS DE AGUA.- DETERMINACIÓN DE OLOR**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método para la determinación de olor (que es una propiedad que afecta al sentido del olfato) en agua y un sistema para la clasificación de olores.

El método es aplicable a aguas naturales y residuales para la determinación de intensidades de olor en términos de índice de intensidad de olor o número umbral de olor.

El método puede usarse en el control de la calidad de aguas naturales o tratadas, estableciendo la efectividad de los procedimientos de tratamiento, y para determinar fuentes de contaminación o fugas en procesos industriales.



➤ **NMX-AA-093-SCFI-2018**

**ANÁLISIS DE AGUA-MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN  
AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. -MÉTODO  
DE PRUEBA**

**Objetivo y campo de aplicación**

Ésta es de aplicación nacional y especifica un método para la medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

➤ **NMX-AA-113-SCFI-2012**

**ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DEL NÚMERO DE HUEVOS DE HELMINTO  
EN AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS POR OBSERVACIÓN  
MICROSCÓPICA – MÉTODO DE PRUEBA**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta norma mexicana establece el método para la cuantificación e identificación de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas con el fin de evaluar la calidad del agua y la eficiencia de los sistemas de tratamiento de la misma. Es de aplicación nacional.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En vista del gran impacto ambiental que se ha generado en los últimos años por causa de las descargas de aguas residuales que contienen un alto grado de contaminantes, resulta de gran importancia tener un control de la calidad del agua, a la hora de verter en las descargas municipales o para su reusó en otras actividades; por otra parte, nos aseguramos de cumplir con la normatividad legal y no crear alteraciones medioambientales que puedan dañar la salud de la comunidad.



# JUSTIFICACIÓN



## JUSTIFICACIÓN

Actualmente el crecimiento poblacional a nivel global ha traído consigo la demanda de producción de bienes y servicios básicos los cuales requieren del agua como materia prima ocasionando una sobreexplotación a los mantos acuíferos y una mayor generación de aguas residuales que no son tratadas en su totalidad y que al ser descargadas representan un alto grado de contaminación a los cuerpos de agua, esta situación tiene como una de las principales consecuencias el desabasto de este líquido vital en algunas localidades, por lo que en este trabajo tiene como objetivo primordial realizar un análisis y justificación de la calidad obtenida en el agua residual antes y después del tratamiento físico y biológico, con tomas diversificadas correspondientes a puntos de muestro dentro de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, campus II; con el propósito de establecer un conjunto de técnicas y/o métodos relacionados con la normatividad aplicable, que contribuyan a prevenir y controlar la contaminación que es generada por el uso de un medio tan necesario como lo es el agua, y que es utilizada como parte del desarrollo en las actividades estudiantiles y de primera necesidad, que son llevadas a cabo dentro de la Facultad.

Analizar la calidad del agua residual es parte importante en el desarrollo de esta investigación, ya que se pretende contribuir a la sustentabilidad de este medio tan importante además de asegurar a la comunidad Zaragozana que el agua que este ocupando esté libre de bacterias o microorganismos que dañen a su salud.



# OBJETIVOS



## **OBJETIVOS:**

### **Objetivo General:**

Analizar y justificar la calidad obtenida en el agua residual en diversos puntos de muestreo dentro de la FES Zaragoza, Campus II.

### **Objetivos Específicos:**

1. Estudiar e interpretar la normatividad considerada para la determinación de la calidad del agua.
2. Desarrollar e identificar la calidad del agua, a partir del muestreo establecido en la FES Zaragoza, Campus II.
3. Evaluar la calidad obtenida del agua, proveniente de los diferentes puntos de muestreo de campus II, FES Zaragoza.
4. Analizar y proponer las etapas del tratamiento, que acrediten la calidad del agua de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II.



# METODOLOGÍA



## METODOLOGÍA

### Metodología teórica

En este apartado se describirán los métodos y actividades a realizar que ayudarán a alcanzar los objetivos planteados, y poder determinar la calidad del agua de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (Campus II).

#### ✓ **Identificación de los puntos de muestreo**

Para comenzar con el análisis primeramente se tiene que realizar la identificación de los puntos de muestreo, la elección de dichos puntos está relacionada con los objetivos que se desean alcanzar y la información que se desea obtener.

#### ✓ **Toma de muestras**

Después de identificar los puntos de muestreo se realizara la toma de muestras en base de la NMX-AA-003-1980, en este proceso se deberá obtener una pequeña masa de un material cuya composición o volumen represente con exactitud a todo el material muestreado, como se tiene que llevar un control de las muestras tomadas es necesario que los frascos en los que se recolectan las muestras estén debidamente etiquetados; otro factor importante que se tiene que considerar en este proceso, es la conservación y almacenamiento de la muestra, normalmente se recomienda que las muestras sean analizadas lo más pronto posible para evitar que estas presenten alteraciones en su composición, pero en caso de que no se pueda analizar en el momento se recomienda que estas se conserven a una temperatura de 4°C y que no excedan los 3 días de almacenamiento.

Las técnicas de recolección y preservación de las muestras son de gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis.



Los tipos de muestras pueden ser variados entre los que encontramos:

- Muestras simples: tomadas en un tiempo y lugar determinado, para su análisis individual.
- Muestras compuestas: obtenidas por mezcla y homogenización de muestras simples recogidas en el mismo punto y en diferentes tiempos.
- Muestras integradas: obtenidas por mezcla y homogenización de muestras simples recogidas en diferentes puntos, simultáneamente.

Por otro lado, las técnicas de recolección y preservación de las muestras pueden variar de acuerdo al análisis que se desea realizar, pero es importante tomar en cuenta que para un examen microbiológico se recomienda tomar muestras simples; y para un análisis físico-químico, se aconseja que sean muestras integradas. A continuación, se realizan algunas recomendaciones para la toma de muestras:

1. Una vez tomada la muestra, se recolecta en frascos ámbar y guardar en contenedores cuya finalidad es evitar el contacto con la luz, realizando el análisis antes de que transcurran 6 horas.
2. Se podrá demorar el análisis hasta 24 horas, cuando haya sido conservada a 4°C.
3. Como precaución, cuando se considere que el agua a analizar contenga trazas de cloro, cloraminas u ozono, será necesario neutralizar su efecto bactericida en el momento del muestreo; para ello, antes de esterilizar el frasco se añadirá cantidad suficiente de solución de tiosulfato sódico. Esta solución se puede añadir sistemáticamente a todos los frascos, pues en caso que el agua no tenga cloro, el tiosulfato a esas concentraciones no posee efectos nocivos sobre el contenido bacteriano del agua.

✓ **Esterilización del material.**

Asimismo, se realizará la esterilización del material, la cual tiene como principal objetivo eliminar todo microorganismo presente en el material. Todos los equipos e instrumentos de laboratorio son propensos a ser contaminados por microorganismos, por dicha razón es necesario la esterilización si se desea un uso correcto de estos, de acuerdo a las normativas sanitarias. Entre los métodos físicos puede señalarse la esterilización que se lleva a cabo por el método de *calor húmedo*, con la ayuda de un equipo llamado “autoclave” modelo 25X-1, este dispositivo permite realizar el proceso de esterilización con alta presión y vapor, que mata microorganismos, incluidos virus y bacterias peligrosos, así como todas sus formas de esporas, tiene una capacidad de 25 litros, calentador eléctrico por inmersión, control automático de temperatura, fabricada en aluminio, pedestal de soporte para canastilla en el interior en acero inoxidable, interruptor de encendido/apagado y luz piloto, manómetro de control de vapor, válvula de seguridad de exceso de presión, válvula de control, presión de trabajo entre 17 y 21 Psi para esterilización, 1050 watts de consumo.



**Ilustración 3. Autoclave**



### ✓ Técnicas utilizadas para determinar la calidad del agua

Posteriormente se comenzará con la determinación de la calidad del agua, en este proceso es recomendable empezar a trabajar con algunas técnicas de los parámetros fisicoquímicos (color, olor, pH, conductividad eléctrica, DQO, OD, coliformes fecales, etc.) y también priorizar los biológicos (como se mencionó anteriormente) después de un tiempo de almacenamiento de la muestra las características de la misma pueden alterarse; a continuación, se describirán las técnicas por nivel de prioridad:

- ❖ MATERIAL FLOTANTE: Se vierte un volumen de la muestra a través de una malla filtrante. El informe depende de la presencia o ausencia de materia flotante retenida en la malla.
- ❖ CLORO TOTAL: Comenzar colectando un volumen de muestra, posteriormente ajustar el pH utilizando disoluciones de hidróxido de sodio y/o ácido sulfúrico, agitar la muestra, dejar sedimentar y filtrar con papel filtro cualitativo. Posteriormente proceder a valorar, adicionando disolución indicadora de cromato de potasio a la muestra. Luego comenzar con la valoración con disolución patrón de nitrato de plata hasta el vire, de amarillo a naranja rojizo, manteniendo un criterio constante en el punto final. Por último, titular un blanco con las muestras.
- ❖ OLOR: Una muestra de agua se diluye con agua libre de olor hasta obtener una dilución que tenga lo que se define como, un olor mínimo perceptible. El método se hace por dos o más analistas. Uno hace diluciones y el otro determina las intensidades de olor. Las muestras son analizadas generalmente en orden creciente de concentración del odorante, aunque no en una secuencia consecutiva de diluciones, hasta que el olor es percibido. El analista hace la prueba seleccionando la muestra olorosa entre tres matraces, dos de los cuales contienen agua libre de olor. El olor se mide sin tener en cuenta materia suspendida o materiales inmiscibles en la muestra. Se toma como un hecho el que no existe un valor absoluto de olor y que la



prueba se usa como comparación únicamente. La prueba se efectúa a 21.3 K (40°C).

- ❖ pH: Primeramente, recolectar un volumen de muestra homogéneo y representativo, empleando un potenciómetro (previamente calibrarlo con soluciones buffer de pH conocido) que ayuda a determinar el pH de la muestra.
- ❖ TEMPERATURA: Es posible realizar la medición directamente del agua en las descargas o recolectar un volumen de muestra homogéneo y representativo, sumergiendo inmediatamente el termómetro, hasta la marca de inmersión parcial o hasta una graduación apropiada si el termómetro es de inmersión total. Aplicar ligeros movimientos circulares por lo menos durante 1 min hasta que la lectura del termómetro se estabilice. Si la temperatura de la muestra difiere en más de 5 °C de la del ambiente, repetir el muestreo.
- ❖ TURBIEDAD: La determinación puede realizarse en el sitio de muestreo empleando un turbidímetro portátil o en el laboratorio, recolectar un volumen de muestra homogéneo y representativo, empleando un turbidímetro el cual previamente debe ser calibrado de acuerdo al manual de operación del equipo, para después proceder a medir la turbiedad de la muestra.
- ❖ CONDUCTIVIDAD ELECTROLITICA/IÓNICA: Empezar recolectando un volumen de muestra homogéneo y representativo, empleando un conductímetro previamente calibrado proceder a medir la conductividad de la muestra.
- ❖ OXÍGENO DISUELTO: El oxígeno disuelto se reduce por la presencia de  $Mn^{2+}$  a pH elevado. Donde el  $MnO_2(s)$  es un precipitado café. Posteriormente titular la muestra con una solución de  $Na_2S_2O_3$ .
- ❖ ACIDEZ Y ALCALINIDAD:
  - Acidez: Recolectar un volumen de muestra homogéneo y representativo, seguidamente pretratar las muestras para asegurarse



- de que se encuentran libres de presencia de cloro residual y iones metálicos hidrolizables o cationes polivalentes en su forma reducida. Por último realizar dos titulaciones para obtener el valor de la acidez.
- Alcalinidad: Colocar un volumen de la muestra en un matraz Erlenmeyer y titular con la disolución valorada de ácido. Seguidamente adicionar gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo y continuar con la titulación hasta alcanzar el vire.
  - ❖ COLIFORMES FECALES: Iniciar recolectando un volumen de muestra homogéneo y representativo, mezclar la muestra para lograr una distribución uniforme de los microorganismos, realizar diluciones e inocular alícuotas en el medio presuntivo. Después utilizar placas previamente preparadas que contengan el medio de cultivo solidificado. Posteriormente depositar en la superficie del agar 0,1 ml de la muestra o de cada dilución. Luego de realizar la descarga de la muestra, se procederá a extenderla sobre toda la superficie de las placas, usando un asa bacteriológica (asa de kolle) estéril y por último esperar de 2 a 3 minutos a que se seque el inóculo. Una vez que las colonias han crecido, puede ser necesario su confirmación. Si el medio es sólido y se encuentra en superficie la muestra a sembrar (placa Petri), tomar una pequeña porción de cultivo mediante un ligero roce con el asa bacteriológica. El recuento en placa es el método más utilizado para la determinación del número de células viables o unidades formadoras de colonias (UFC).
  - ❖ HUEVOS DE HELMINTO: Para empezar, se recolecta un volumen determinado de muestra en garrafones de tapa hermética previamente desinfectados con hipoclorito de sodio, es importante seguir las medidas de seguridad para evitar cualquier riesgo de infección. Este método de análisis se basa en la diferencia de densidades entre los huevos de helminto, las demás sustancias presentes en las aguas residuales, y las que se agregan para permitir la separación. El método comprende los procesos de



sedimentación, flotación, decantación y la técnica bifásica para recuperar los huevos de helminto y efectuar el conteo.

- ❖ **SÓLIDOS DISUELTOS:** Este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sólidos disueltos, así como la cantidad de materia orgánica contenidos en las muestras mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, a temperaturas específicas; en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.
  - **Sólidos suspendidos:** Colocar papel filtro en el crisol de porcelana (Gooch), pesar el crisol, tomar la muestra y aplicar vacío, colocar el crisol en la estufa, pasar el crisol al desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante, colocar la muestra en la mufla y volver a colocar el crisol en la estufa; a continuación, pasar al desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante.
  - **Sólidos totales:** Pesar la cápsula de porcelana previamente puesta a peso constante, agregar la muestra de agua, evaporar a sequedad la muestra, colocar la cápsula de porcelana en la estufa, colocar la cápsula en el desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante, colocar la cápsula de porcelana en la mufla y volver a colocar la cápsula en la estufa posteriormente en el desecador y por último determinar su peso hasta alcanzar peso constante.
- ❖ **SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM):** Iniciar recolectando un volumen de muestra en envases de polietileno y preservar con ácido sulfúrico concentrado hasta obtener un pH igual a 2; este método se basa en la formación de un par iónico extractable en cloroformo de color azul por la reacción del azul de metileno catiónico y un tensoactivo aniónico incluyendo al sulfonato de alquilbenceno lineal, otros sulfonatos y ésteres de sulfonatos. La muestra se acidificará y se mezclará con una disolución de azul de metileno. El par iónico hidrofóbico que se formará se extraerá



con cloroformo. Los extractos de cloroformo serán lavados con una disolución ácida para remover los pares iónicos menos hidrófobos (con coeficientes de partición bajos) que pueden formarse por sustancias que interfieren potencialmente. El cloroformo retiene los pares iónicos altamente hidrófobos. La intensidad del color azul presente en la fase orgánica se medirá espectrofotométricamente a una longitud de onda de 652nm y es proporcional a la cantidad de surfactantes aniónicos presentes en la muestra.

- ❖ DQO: Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos serán oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se colocará a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Después de la digestión, el dicromato no reducido se medirá espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.
- ❖ GRASAS Y ACEITES: Comenzar recolectando un volumen de muestra homogéneo y representativo, en este método se adsorberán las grasas y aceites mediante un equipo de extracción por recirculación empleando hexano como disolvente. Una vez terminada la extracción se evaporará el hexano y se pesará el residuo que ha quedado en el recipiente; siendo este valor, el contenido de grasas y aceites.
- ❖ COLOR: En primer lugar, recolectar un volumen de muestra homogéneo y representativo, dejar reposar para que se sedimenten los sólidos en suspensión. Después separar el sobrenadante de la muestra y seguidamente verterlo en las celdas limpias del espectrofotómetro. Finalmente determinar los valores de transmitancia/absorbancia de la muestra.
- ❖ DUREZA TOTAL: Primeramente, recolectar un volumen de muestra homogéneo y representativo, poner las muestras de agua residual y agua potable en matraces Erlenmeyer separados. Agregar solución



amortiguadora para dureza total  $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_4\text{OH}$ , pH 10. Posteriormente agregar indicador, negro de eriocromo T y proceder a titular con una solución de EDTA 0.01 M hasta cambio de color (violeta - azul).

### **Agua residual de la FES Zaragoza**

Como se mencionó en el Capítulo 1 el agua residual tiene diferentes orígenes de procedencia, lo cual permite identificarla y caracterizarla, para este caso de estudio, se hará un análisis del agua residual de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, con tomas correspondientes a diversos puntos de muestreo dentro de la misma.

Debido a que la FES Zaragoza es una institución, el agua residual que genera se puede considerar de diferentes tipos, como lo es el tipo doméstica; pues está compuesta por materia orgánica y microorganismos, desechos fecales, detergentes, grasas, sólidos, entre otros desechos que genera la comunidad; pero como la misma proviene de diferentes actividades, entre las que se destacan las pertenecientes a las prácticas que se realizan en los laboratorios de las diferentes carreras (IQ, QFB, Biología, Medicina, Enfermería y Odontología), también se puede considerar del tipo industrial, dado que en las carreras del área Químico Biológicas, trabajan con reactivos y por último se puede considerar urbana, teniendo en cuenta que puede estar compuesta por las aguas de lluvia y algunos desechos que estas pueden arrastrar a las tomas (tierra, hojas, entre otros).

Como se mencionó anteriormente aunque se pueden identificar diferentes puntos de muestreo de agua residual dentro de la Facultad también es importante tener en consideración que debido a que estos puntos proceden de diferentes actividades relacionadas con experimentos de laboratorio (lavar el material), para limpieza, agua de proceso o las generadas como aguas negras, no siempre es posible obtener agua dado que en algunas ocasiones las áreas no siempre se encuentran en funcionamiento (debido a la programación de actividades experimentales de laboratorio y planta piloto).

Actualmente no se cuenta con un tratamiento para las aguas residuales que se generan en la Facultad, pero se conocen algunas características de ellas, mencionadas en la Tabla 11.

## Metodología experimental

### ➤ IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

En el caso de la FES Zaragoza se hizo un análisis del agua residual del Campus II, se delimitaron 7 puntos de gran importancia, no siempre era posible obtener agua dado que en algunas ocasiones las áreas no siempre se encontraban en funcionamiento (actividades experimentales de laboratorio y planta piloto) y; por lo tanto, esto minimizaba la cantidad a obtener del agua previamente utilizada.

A continuación, se muestran algunas imágenes de los puntos de muestreo con los que se trabajó en la institución:



Ilustración 4. Identificación de los puntos de muestreo dentro del Campus

**Tabla 10. Puntos de muestreo dentro de la FES Zaragoza, Campus II**

	<b>Muestreo A</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Edificio de Tecnologías de Ingeniería Química.</li><li>• Agua proveniente de los laboratorios de ingeniería química.</li></ul>
	<b>Muestreo B</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Edificio de Tecnologías de Ingeniería Química.</li><li>• Agua proveniente de los equipos de planta piloto (filtro prensa) y laboratorios de QFB.</li></ul>
	<b>Muestreo C</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Edificio de Tecnologías de Ingeniería Química.</li><li>• Agua proveniente de los equipos de planta piloto (intercambiadores de calor).</li></ul>
	<b>Muestreo D</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Edificio de Laboratorios L-4.</li><li>• Agua proveniente de los laboratorios correspondiente al edificio L-4 (Ingeniería Química y QFB).</li></ul>
	<b>Muestreo E</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gimnasio.</li><li>• Agua pluvial.</li></ul>
	<b>Muestreo F</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Humedal.</li><li>• Agua pluvial y proveniente del edificio de Unidad de Investigación multidisciplinaria.</li></ul>
	<b>Muestreo G</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Humedal carpas.</li><li>• Agua pluvial y proveniente del edificio de Unidad de Investigación multidisciplinaria.</li></ul>

Conforme a la experimentación realizada en el laboratorio se logró el análisis y la obtención de algunos valores de contaminantes presentes en el agua residual de

la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, como se puede observar en la Tabla 11 que se muestran a continuación:

**Tabla 11. Características de las aguas residuales de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (Campus II)**

Características	Límite permisible (servicio al público con contacto directo)	Límite permisible (servicio al público con contacto indirecto u ocasional)	Valor experimental obtenido	Punto de muestreo
<b>Color* (a considerar)</b>	Pureza del 15%*	-	Verdoso, grisáceo y negro. (Evaluación visual)	C y F
<b>pH</b>	6-9*	-	7-8	F
<b>Olor</b>	-	-	Descomposición	C y F
<b>Grasas y aceites</b>	15 (mg/l)**	15 (mg/l)**	0.5-2.0 (g)- (500-2000 mg/l)	C, D y F
<b>Coliformes fecales</b>	240 (NMP/100ml)**	1000 (NMP/100ml)**	Incontable (UFC/100ml)	C, E y F
<b>DQO</b>	180*	-	717 (mg/L)	F
<b>Temperatura</b>	35 (°C)*	-	20°C	C y F

Nota. \* NOM-001-SEMARNAT-2021

\*\* NOM-002-SEMARNAT-1996

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

(- Sin valor)

A continuación, se describen los métodos que se utilizaron de manera experimental para determinar la calidad del agua en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (campus II).

#### ➤ OLOR

Se tomó una muestra de agua de 500mL y se colocó en un vaso de precipitado para posteriormente percibir el olor de la misma.

#### ➤ pH

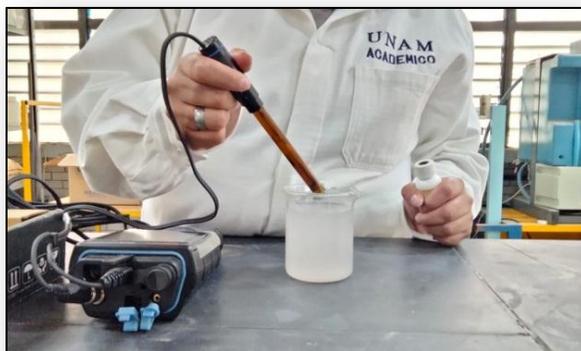
Primeramente, se tomó una muestra de 500mL de agua; posteriormente se vació en un vaso de precipitado.

Se realizó un análisis previo de pH con la ayuda de una tira indicadora de pH, humedeciendo la tira con la muestra de agua y con la ayuda de la escala de colores indicada en la caja de las tiras, se efectuó la estimación del valor.

Una vez obtenido el valor de pH con la tira, se procedió a la selección de las disoluciones patrón de referencia las cuales están en función del pH de la muestra obtenido con las tiras.

Posteriormente se calibró el electrodo del potenciómetro en el intervalo requerido, usando las disoluciones patrón de referencia y siguiendo las instrucciones del fabricante.

Una vez que el equipo se encontró calibrado y verificado correctamente, se procedió a realizar la medición de la muestra problema, sumergiendo el electrodo, agitando levemente, esperando a que la lectura de pH se estabilizara, siguiendo la recomendación de registrar al menos tres lecturas, entre cada medición. Se enjuago el electrodo de pH con agua destilada, secando cuidadosamente con toallas absorbentes para las siguientes determinaciones. Evaluando que las variaciones de las tres lecturas obtenidas no variaran más de 0,02 unidades de pH.



**Ilustración 5. Medición del pH de una muestra de agua utilizando un potenciómetro**

### ➤ TEMPERATURA

Con la muestra previamente tomada (500mL), se colocó en un vaso de precipitado y se sumergió un termómetro, hasta la marca de inmersión parcial o hasta una graduación apropiada si el termómetro es de inmersión total. Al mismo tiempo se aplicaron ligeros movimientos circulares por lo menos durante 1min hasta que la lectura del termómetro se estabilizó, por recomendación se registraron al menos tres lecturas.



**Ilustración 6. Medición de la temperatura de una muestra de agua**

### ➤ COLIFORMES FECALES

Primeramente, se preparó el medio de cultivo Agar M-Endo, comenzando por hacer una solución de 10.37g de agar en 250mL de agua purificada, se llevó a calentamiento y agitación durante un minuto para disolver completamente el agar, posteriormente se llevó la solución a una autoclave durante 15min a 121°C.



**Ilustración 7. Preparación del medio de cultivo M-Endo Agar**

Seguidamente, se prepararon los tubos de ensayo y las cajas Petri con Agar, cuando el Agar se enfrió, se prosiguió a verter en las cajas Petri, aproximadamente agregando 15mL de agar en cada caja, dejando gelificar a temperatura ambiente. En el caso de los tubos se colocaron de manera inclinada para que el agar se enfriara y gelificara de esta forma.

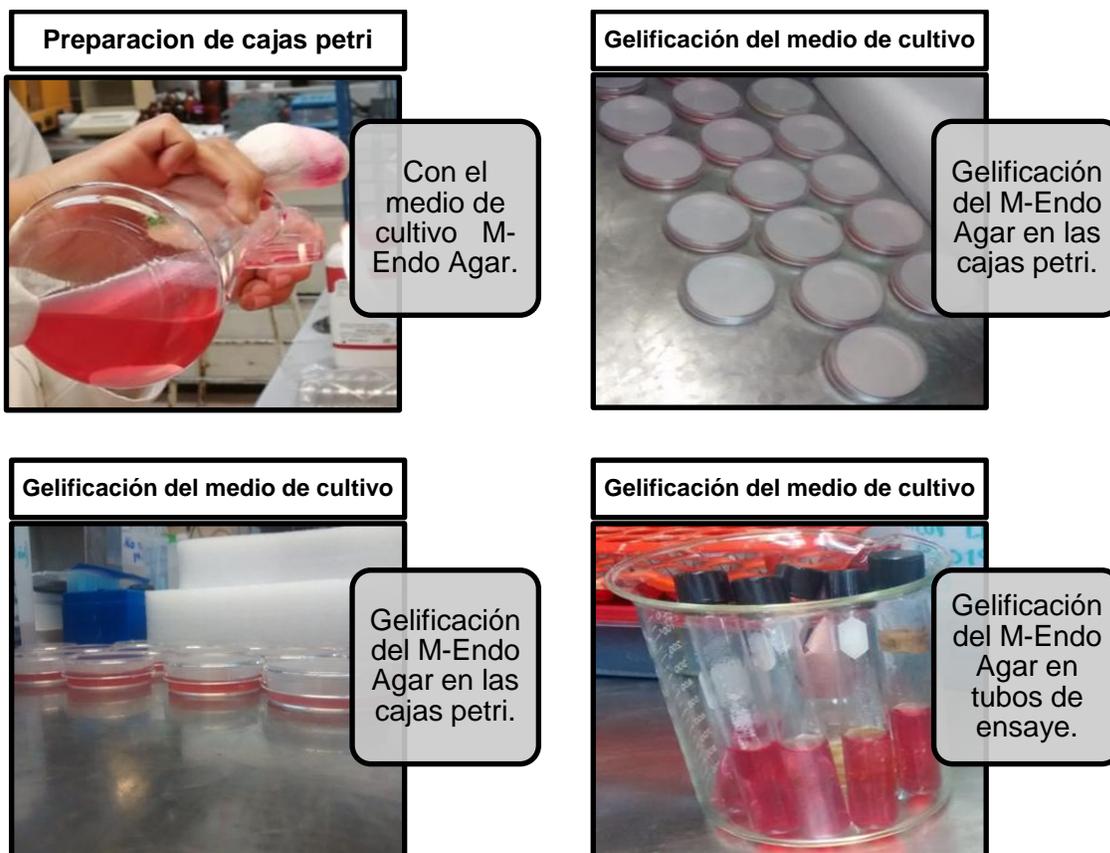


Ilustración 8. Secuencia de imágenes de la preparación del medio de cultivo M-Endo Agar

❖ Siembra por vertido en placa

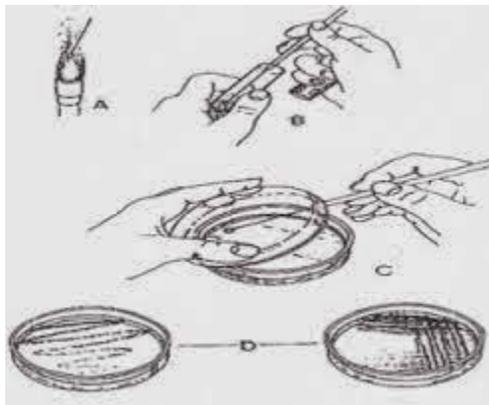
Inicialmente se prepararon las disoluciones de las muestras con solución salina en tubos de ensayo, de la siguiente manera:

**Tabla 12. Preparación de las disoluciones de las muestras con solución salina**

Muestra	Disolución (solución salina)
M1	Directa
M2	1:10
M3	1:100

De acuerdo con las muestras en los tubos de ensayo previamente realizados, se tomó un mililitro de la muestra, vertiendo dentro de la placa, cuidando que todo se lleve a cabo en un medio estéril con la ayuda de un mechero Bunsen; por otra

parte, se flamearon las bocas de los tubos antes de tomar la muestra con una pipeta y después de tomarla, se realizó la siembra (manteniendo condiciones de inocuidad, asegurando que no se presentara contaminación en ninguno de los casos). El líquido de la muestra se vertió y se extendió por toda la placa con ayuda de una varilla de vidrio (asa Drigalsky); finalmente se tapó la caja para que el incubamiento se llevara a cabo por 48 hrs. Se realizó el mismo procedimiento para todas las muestras.



**Ilustración 9. Técnica de sembrado en caja**



**Ilustración 10. Toma de la muestra para sembrar**



Ilustración 11. Siembra del inóculo

Por último, se realizó el conteo de Unidades Formadora de Colonias (UFC) por placa, después de 48hrs de la siembra.

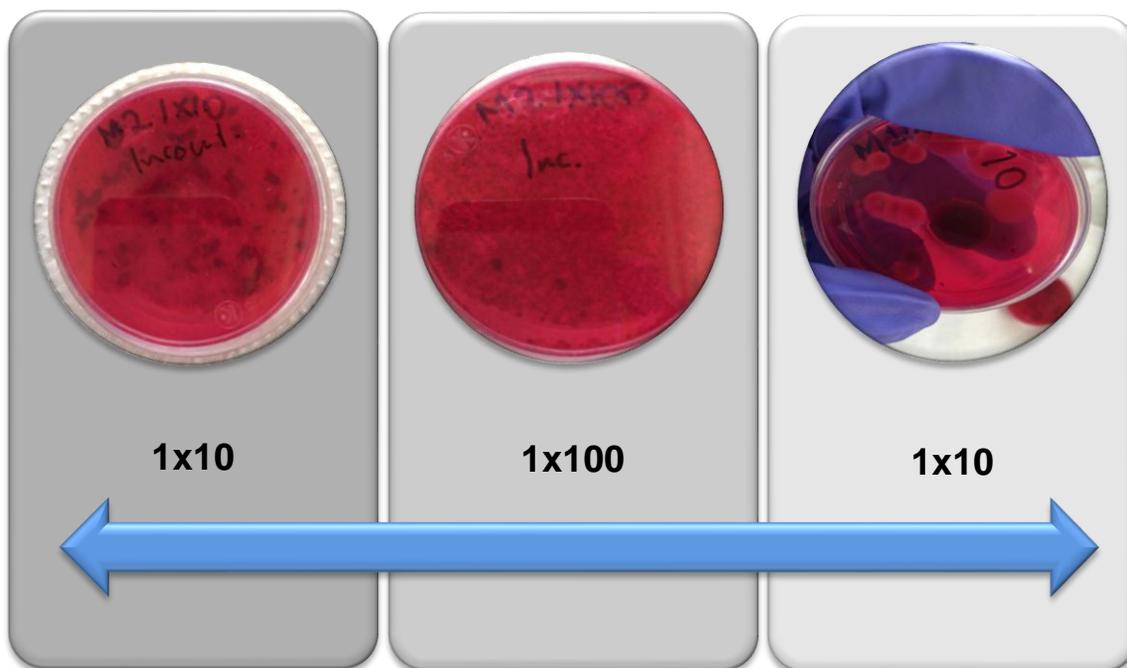


Ilustración 12. Conteo de UFC en cajas Petri

❖ Siembra por estría en tubo

Después de 48 hrs de incubación de las placas con las muestras se realizó la siembra en los tubos. En un medio estéril con ayuda de un mechero se tomó un asa bacteriológica, posteriormente se flameo unos segundos para poder tomar el

inóculo de la caja, después se flameo una vez más, destapando el tubo donde se tenía el agar inclinado se realizó una siembra por estría, introduciendo el asa que contenía el inóculo, se agito el asa suavemente sobre la superficie del agar con movimientos de zigzag, ascendiendo desde el fondo hasta la parte superior del medio. Se flameo la boquilla del tubo por última vez y se tapó. Realizando el mismo procedimiento en todos los tubos utilizando las diferentes muestras.



**Ilustración 13. Técnica de sembrado en tubo**



**Ilustración 14. Siembra por estría en tubo**

Cincuenta y cuatro horas después de la siembra (Ilustraciones 15 y 16) en tubo, se realizó una revisión a los tubos para identificar la presencia de organismos coliformes.



**Ilustración 15. Identificación de presencia de organismos coliformes en los tubos**



**Ilustración 16. Identificación de presencia de organismos coliformes en los tubos**

➤ DQO

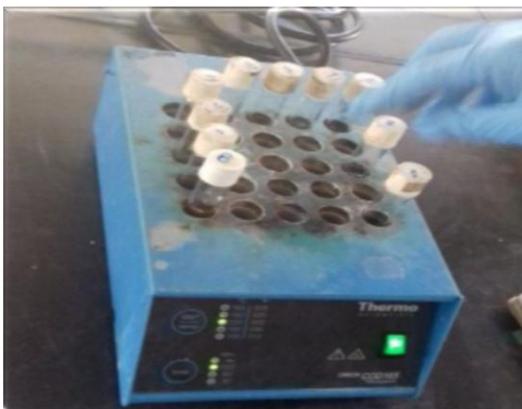
Primeramente, se precalentó a 150°C el digestor de DQO (colocándolo en una campana de extracción de gases).

A continuación, se añadieron en los tubos de reacción 1,5mL de la disolución de digestión, tomando cuidadosamente 2,5mL de muestra previamente homogeneizada y colocando dentro de los tubos de reacción.

Después se añadieron cuidadosamente 3,5mL de la disolución de digestión respectiva, cerrando inmediatamente los tubos para evitar que se escaparan los vapores, asegurando que estén herméticamente cerrados. Suavemente se invirtieron los tubos varias veces destapando después de cada inversión para liberar la presión (utilizando guantes aislantes).

Adicionando 2,5mL de agua en un tubo para la determinación del blanco de reactivos.

Posteriormente se colocaron todos los tubos en el digestor previamente calentado a 150°C por 2h (se supervisaron los tubos, destapando cada 15min aproximadamente para liberar la presión); después se retiraron los tubos del digestor, dejando que los tubos se enfriaran a temperatura ambiente, permitiendo que cualquier precipitado se sedimentara.



**Ilustración 17. Tubos con muestras en el digestor**



**Ilustración 18. Tubos con muestras después del proceso de digestión**

Con las muestras obtenidas del proceso de digestión se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 600nm en el espectrofotómetro, previamente calibrado.



**Ilustración 19. Cálculo de la absorbancia en el espectrofotómetro**

Para la determinación de DQO se necesitó desarrollar y obtener la curva calibración previamente, de acuerdo al sistema a evaluar y utilizando de apoyo la siguiente ecuación (reportando en mg/L): pendiente, intercepto y coeficiente de regresión:



$$y=mX+b.....Ec. 1$$

Dónde:

y= señal medida/ absorbancia leída a 600nm

m= pendiente de la recta

X= concentración del analito

b= ordenada al origen

#### ➤ GRASAS Y ACEITES

Se comenzó filtrando la muestra por medio de un embudo Büchner colocando por anticipado papel filtro.

Posteriormente se retiró el papel filtro doblándolo con cuidado con la ayuda de unas pinzas y se colocó dentro del cartucho de celulosa. Después se procedió a limpiar el embudo Büchner, con algodón que previamente se humedecido con hexano, dicho algodón también fue agregado al cartucho de celulosa, enseguida el cartucho se incorporó en el equipo de extracción.

A continuación, se colocaron perlas de ebullición y 50mL de hexano en el matraz bola. Ya que el matraz se encontró listo se procedió a montar perfectamente el equipo de extracción por recirculación, haciendo uso de sílice para mantener un sellado total.



#### **Ilustración 20. Montaje del equipo Soxhlet para extracción**

Enseguida se encendió la manta de calentamiento, manteniendo una temperatura controlada. Mientras el calentamiento era llevado a cabo se presentó un llenado de reactivo en la parte superior del equipo de extracción, mientras se controlaba la temperatura del reflujo.

Cuando se presentó la primera recirculación a través del capilar del equipo de extracción se comenzó a tomar el tiempo y a contar el número de recirculaciones que se presentaron.

De acuerdo con la Norma (NMX-AA-005-SCFI-2013), que indica que en 1h se necesita obtener un número total de 80 recirculaciones para la determinación.

Una vez terminada la extracción se recuperó la mayor cantidad del disolvente y se evaporó el remanente.



**Ilustración 21. Obtención de grasas y aceites al término de la extracción**

El recipiente de extracción libre de disolvente se colocó en un desecador hasta que alcanzo la temperatura ambiente.

Por último, se pesó el recipiente de extracción y por diferencia de masa fueron medidos las grasas y aceites recuperables.

#### ➤ COLOR

Con la muestra de agua previamente tomada (500mL), se colocó en un vaso de precipitado para posteriormente determinar el color de la muestra de manera visual.



**Ilustración 22. Identificación de color en muestra de agua**



# ANÁLISIS DE RESULTADOS



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de la metodología experimental mencionada en el apartado anterior, donde se determinó la calidad del agua residual en diferentes puntos de muestreo dentro de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (campus II), mediante la aplicación de algunos métodos físico-químicos y biológicos, se logró obtener los resultados que se presentan a continuación con un análisis de los mismos.

### ➤ OLOR

De acuerdo con la metodología experimental se pudo percibir un olor a descomposición en las muestras, atribuyendo dicho olor a la presencia de diferente materia orgánica en el agua.

### ➤ pH

Mediante la medición del pH de las muestras se obtuvo un valor de 7-8 que en comparación con el valor teórico se determina que es un valor aceptable ya que se encuentra en el rango que se establece en la bibliografía como se puede observar en la tabla 11.

### ➤ TEMPERATURA

Realizando la medición de la temperatura de las muestras se obtuvo que el agua analizada se encontraba a temperatura ambiente (20°C), aunque en comparación con el valor teórico establecido por la normativa se encontraba 15°C por debajo, el valor obtenido representa un valor aceptable porque se encuentra en el rango comprendido entre 0 °C y 45 °C, por lo mismo se estableció que el agua se encontraba en un rango de temperatura favorable.

### ➤ COLIFORMES FECALES

Conforme al tiempo de incubación en el que se encontraron las cajas Petri y la cantidad de muestra sembrada se logró obtener un número UFC por caja, a continuación, se presentan los datos obtenidos durante la metodología experimental en los periodos correspondientes a 48 y 102 horas, posteriormente a la siembra en placa:

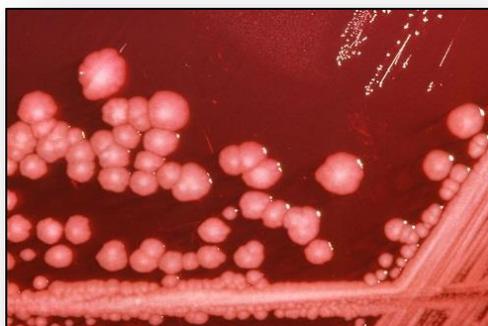
**Tabla 13. Resultados de UFC por muestra**

MUESTRA	Punto de muestreo	UFC (48 HRS)	UFC (102 HRS)	E. COLI	OBSERVACIONES
M1 D	E	21	46	7	Contaminada con hongos
M1 1:10	E	10	12	4	Contaminada con hongos
M1 1:100	E	7	8	4	Contaminada con hongos
M2 D	C	Incontable	Incontable	Incontable	Sin observaciones
M2 1:10	C	Incontable	Incontable	Incontable	Sin observaciones
M2 1:100	C	Incontable	Incontable	Incontable	Sin observaciones
M7 D	F	90	95	-----	Presencia de <i>Pseudomona</i> y <i>Klebsiella</i>
M7 1:10	F	12	22	-----	Presencia de <i>Pseudomona</i> y <i>Klebsiella</i>

Con los resultados obtenidos se puede notar la presencia de coliformes en las muestras de agua, mostrando así las entero-bacter que presenta: *Escherichia Coli* y *Klebsiella*. Dichas bacterias se pueden encontrar en el intestino del hombre, de los animales, en el suelo, las plantas, etc.

Algunas de sus principales características son:

- *Pseudomonas*: Colonias grandes, irregulares, rugosas o lisas, mucoides, secas o gelatinosas. Incoloras.



**Ilustración 23. *Pseudomona* en agar**

- *Klebsiella*: Colonias grandes, irregulares, mucoides de color rosado.



**Ilustración 24. *Klebsiella* en agar**

Estos microorganismos sirven como indicadores de contaminación fecal, además de que son buenos indicadores de un proceso o de un estado sanitario poco satisfactorio. Con base a los resultados se puede observar que en las aguas residuales de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (Campus II), se determinó un alto crecimiento de microorganismos coliformes fecales y de microorganismos de *Escherichia Coli*.

En la siguiente tabla, se realiza una comparación de los puntos de muestreo con crecimiento de microorganismos de mayor a menor grado de contaminación.

**Tabla 14. Identificación de microorganismos en puntos de muestreo**

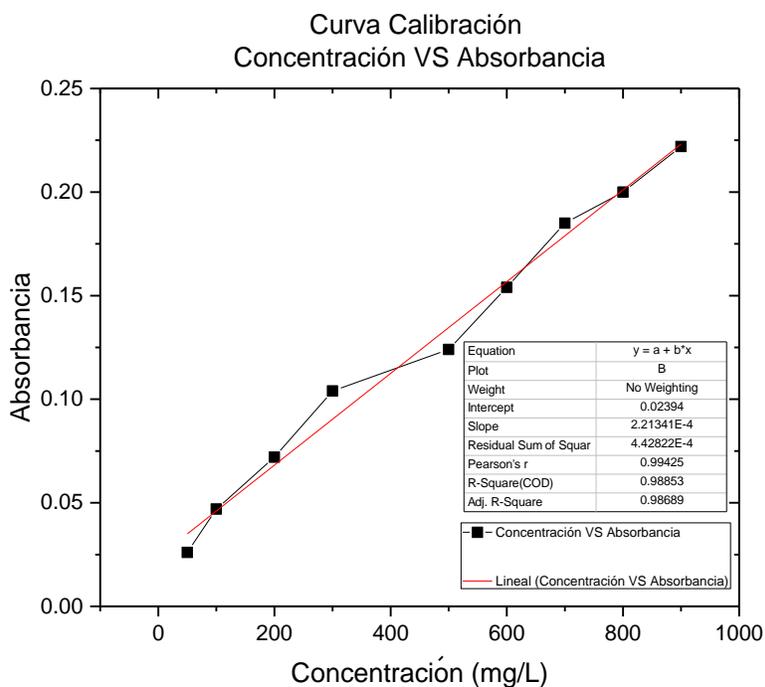
PUNTO DE MUESTREO	MICROORGANISMOS IDENTIFICADOS
<p><b>Muestreo E. Gimnasio</b></p>	<p><i>E. Coli</i></p> 
<p><b>Muestreo C. Laboratorios IQ, QFB y Planta Piloto</b></p>	<p><i>E. Coli</i></p> 
<p><b>Muestreo F. Humedal</b></p>	<p><i>Pseudomona y Klebsiella</i></p> 

➤ DQO

Se logró el análisis y la obtención de algunos valores de DQO para el punto de muestreo F, como se puede observar en la Tabla 15 que se muestran a continuación:

**Tabla 15. Datos para Curva-Calibración**

Tubo	Absorbancia	Concentración (mg/L)
1	0,026	50
2	0,047	100
3	0,072	200
4	0,104	300
5	0,124	500
6	0,154	600
7	0,185	700
8	0,200	800
9	0,222	900



**Gráfico 1. Curva calibración.**



Como se puede observar en el Gráfico 1, al obtener la función lineal el valor de  $R^2$  es muy próximo a 1, lo cual hace que los valores obtenidos en el espectrofotómetro resulten muy favorables.

Por último, se calculó el valor del DQO:

$$y = mX + b$$

$$y = \text{absorbancia}$$

$$y = 0,147nm$$

Despejando X

$$0,147 = 0,0001X + 0,0753$$

$$0,147 - 0,0753 = 0,0001X$$

$$\frac{0,147 - 0,0753}{0,0001} = X$$

$$X = 717 \frac{mg}{L} = DQO$$

### ➤ GRASAS Y ACEITES

En el caso de las grasas y aceites mediante la experimentación se obtuvo los siguientes valores:

**Tabla 16. Resultados obtenidos en la toma de Muestreo F (Humedal)**

Muestra 1						
Tiempo (minutos)	Recirculaciones	Volumen de muestra (ml)	Volumen de Hexano (ml)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Cantidad de Grasas y Aceites (g)
60	78	50	50	119.4717	120.1053	0.6336

Con base al análisis realizado, se obtuvo como resultado una cantidad de grasas y aceites de 0.63 g con un total de 78 recirculaciones. Este resultado se debe a la

condición del agua, ya que a simple vista se observa su tonalidad verde en comparación con las otras muestras.

**Tabla 17. Resultados obtenidos en la toma de Muestreo F (Humedal)**

<b>Muestra 2</b>						
Tiempo (minutos)	Recirculaciones	Volumen de muestra (ml)	Volumen de Hexano (ml)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Cantidad de Grasas y Aceites (g)
60	83	50	50	101.0320	102.8934	1.8614

Los resultados obtenidos en la muestra 2, se presentaron con un total de 83 recirculaciones en la cual se presentó un resultado de 1.8614g. de grasas y aceites. Cabe mencionar que esta es la sección con más cantidad de grasa obtenida, debido a la condición y al uso que se le da a dicha agua residual.

**Tabla 18. Resultados obtenidos en la toma de Muestreo D (Laboratorios de IQ)**

<b>Muestra 3</b>						
Tiempo (minutos)	Recirculaciones	Volumen de muestra (ml)	Volumen de Hexano (ml)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Cantidad de Grasas y Aceites (g)
60	81	50	50	119.4217	121.1053	1.6836

En el análisis número 3, se dio como resultado un total de 81 recirculaciones, con la cantidad de grasas y aceites de 1.6836 g. La cantidad obtenida nos indica que el agua residual de esta sección tiene un grado de contaminación elevado.

**Tabla 19. Resultados obtenidos en la toma de Muestreo C (Planta piloto)**

<b>Muestra 4</b>						
Tiempo (minutos)	Recirculaciones	Volumen de muestra (ml)	Volumen de Hexano (ml)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Cantidad de Grasas y Aceites (g)
60	79	50	50	119.3798	120.1321	0.7523

Los resultados obtenidos en el análisis de la muestra 4 se llevaron a cabo con un total de 79 recirculaciones, obteniendo como resultado un valor de 0.7523 g de



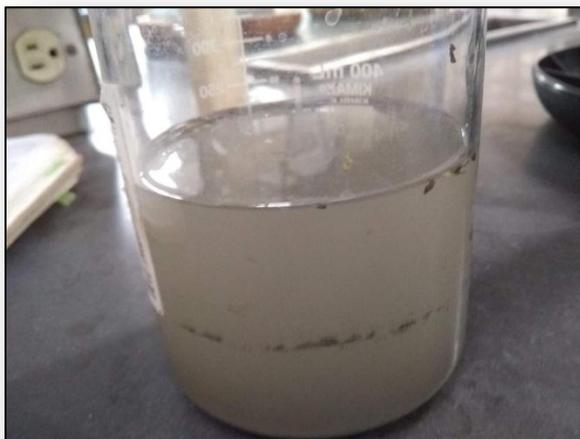
grasas y aceites. La cantidad obtenida de grasas fue baja, por tanto, el grado de contaminación es menor y su tratamiento es más simple.

De acuerdo con al número de recirculaciones establecidas en la norma (NMX-AA-005-SCFI-2013) dicho valor corresponde a 80 recirculaciones con un tiempo de 1 hora, como puede observar en los resultados presentados existieron variaciones en el número de recirculaciones debido a problemas presentes en la experimentación. Como punto máximo se presentó un total de 83 recirculaciones y como mínimo 78. Esto se debe a que la toma de muestras se realizó en secciones diferentes, por lo que cada muestra de agua contiene diferentes características, obteniendo como resultado la variación en el número de recirculaciones para la determinación de grasas y aceites. Algunos de los parámetros que pudieron afectar la experimentación son: temperatura de reflujo, presión, tiempo, turbidez entre otras variables externas. Cabe mencionar que el rendimiento de reacción está ligado a las condiciones en los que se desarrolla; por lo tanto, se dice que lograr una extracción 100% eficiente es imposible.

La muestra 2 presentó mayor cantidad de grasas y aceites, esto se debe a que en esta sección se contienen peces, los cuales pueden cambiar drásticamente la composición del agua debido a los desechos biológicos que estos producen en su entorno. Posteriormente tenemos la muestra 3, la cual corresponde a los Laboratorios de I.Q; esta contiene menor cantidad de grasas y aceites debido a los desechos que se vierten al drenaje, como: reactivos, soluciones y grasas que han sido desechadas por medio de prácticas de laboratorio. Mediante el análisis de resultados se pudo determinar con base en el valor de grasas y aceites obtenido que las muestras correspondientes al # 1 y 4 presentara un tratamiento de agua residual más sencillo en comparación con el tratamiento aplicable a las muestras # 2 y 3.

➤ COLOR

Por último para la identificación de color se realizó de manera visual, notando que las muestras presentaban una variación de color dependiendo del punto de muestreo, por ejemplo: verdoso, grisáceo y negro.



**Ilustración 25. Identificación de color en muestra de agua del punto de muestreo C**



**Ilustración 26. Identificación de color en muestra de agua del punto de muestreo F**



Analizando las características que se observan en la Tabla 11 y realizando una comparación de los valores experimentales y teóricos, se puede determinar que el agua residual de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (campus II), contiene un gran número de contaminantes presentes en la misma; por esta razón, no se cumple con la normatividad vigente para su reusó o vertimiento al sistema de drenaje. Identificando que el único valor que cumple con los límites permisibles que establece la normatividad es el pH; ya que los demás valores se encuentran por encima de los límites máximos permisibles establecidos por las normas oficiales: NOM-001-SEMARNAT-2021, NOM-002-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1997.



# CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

Primeramente, mediante el estudio e identificación de las técnicas propuestas para determinar la calidad del agua de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (campus II) se adquirió un conocimiento amplio de dichas técnicas, estableciéndolas como importantes para implementarlas en la determinación de la calidad del agua de las muestras que se deseaba analizar.

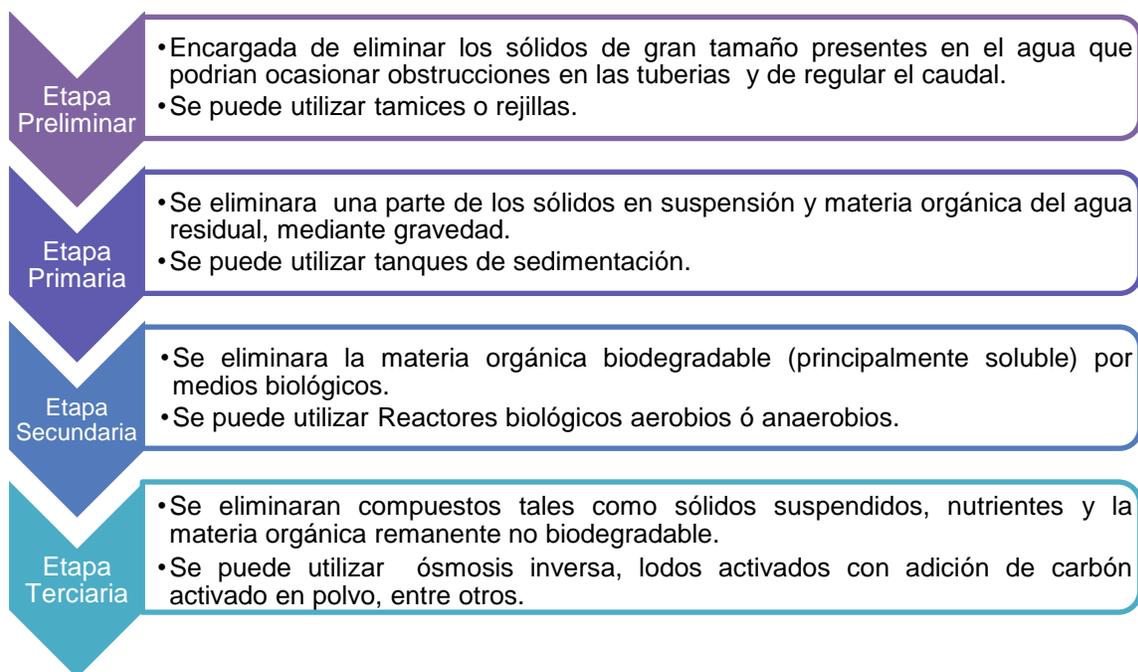
En relación al muestreo, de todas la tomas que logramos identificar se consideraron para analizar 4 puntos identificados como: muestreo B, C, E y F, de acuerdo con los resultados obtenidos se identificó y caracterizo el agua de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (Campus II), concluyendo que el agua perteneciente a los puntos analizados contiene un alto grado de contaminación determinando que esto se debe a como se estudió en el capítulo 1 el agua es utilizada en diferentes actividades (prácticas de laboratorio, uso sanitario, actividades relacionadas con la limpieza, entre otras).

Es importante mencionar que durante el desarrollo del trabajo experimental se encontraron inconvenientes relacionados con la contingencia sanitaria que delimitaron la realización de la experimentación y análisis de algunas técnicas, en virtud de se evaluaron técnicas de características físicas como el olor esta técnica permitió determinar las fuentes de contaminación tomando en consideración la intensidad del olor que genera las combinaciones de los compuestos que se encuentran en las muestras logrando identificar la magnitud de contaminación presente en el agua, la determinación del valor del pH ayudo a identificar el grado de toxicidad presente en el agua, la temperatura dicho parámetro indicativo permitió la identificación de actividad biológica, química y física en las muestras de agua, obteniendo una perspectiva de la calidad de las mismas y por último el color este parámetro permitió la determinar de presencia de materia orgánica natural en las muestras de agua. Asimismo, las técnicas correspondientes a las características químicas como el DQO que se empleó para medir e identificar la concentración de la materia orgánica en las muestras y en grasas y aceites estos parámetros indicaron el grado de contaminación del agua en relación con el uso



que se le dio, obteniendo como resultado la composición del agua (ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano). Por último, se trabajó una técnica para las características biológicas que es la determinación de presencia de coliformes en las muestras es un parámetro de gran importancia que permitió obtener un indicador de contaminación ya que al detectar la presencia de estos organismos se puede determinar el grado de patogenicidad y afectación que se puede causar en los receptores del agua.

Finalmente de acuerdo con los resultados obtenidos se obtuvo una perspectiva general de la calidad del agua y de la composición que presentan las muestras que se lograron analizar, en vista de esto se determina que las técnicas de análisis de calidad del agua son adecuadas para ser aplicadas y de esta manera lograr un mejor control de la misma, en relación al tratamiento de las aguas residuales; identificando las etapas más factibles que garanticen la calidad del agua son las que se muestran en la ilustración 27. Las primeras tres etapas (preliminar, primaria y secundaria) son necesarias de implementar en un tratamiento de aguas residuales; y la cuarta etapa (terciaria) es considerada, debido a que es un proceso que refina y pule el agua antes de que sea reutilizada o descargada en un cuerpo de agua, además de que también se refiere al tratamiento de efluentes para llevarlos a un estándar de alta calidad.



**Ilustración 27. Etapas de tratamiento propuestas**

Por otro lado que se pueden realizar algunas mejoras que nos ayuden a perfeccionar la calidad del agua para que se pueda hacer un reusó de la misma.



# MEJORAS Y RECOMENDACIONES



## MEJORAS Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se realizó un análisis de la calidad del agua ejecutando solo algunas técnicas; por lo que es conveniente recomendar otras más (técnicas) que cumplan con la calidad del agua, y que a su vez para su desarrollo se considere el material y reactivos necesarios para su implementación.

La primera técnica recomendada es la determinación de cloro total debido a que el cloro presente en el agua, actúa como un desinfectante e inactivador de microorganismos que dañan la salud generando enfermedades. Es importante saber qué cantidad se encuentra presente en el agua puesto que en altas concentraciones puede causar daños a las estructuras metálicas (tuberías) o afectar la calidad del suelo evitando el crecimiento de flora.

De acuerdo con la NMX-AA-038-SCFI-2001 la determinación de la turbiedad juega un papel importante en la determinación de la calidad del agua, debido a que a partir de este parámetro se predice el cómo y cuándo, se debe tratar el agua.

La determinación de la acidez y la alcalinidad son utilizadas en el control de procesos del tratamiento de aguas, principalmente para determinar si el agua puede ser utilizada como agua de riego, la determinación de las mismas nos indicara que tan ácida y la concentración de ciertos componentes; por ejemplo: hidróxidos o carbonatos presentes en el agua.

La determinación de sólidos totales (disueltos y suspendidos) se considera de importancia debido a que la mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua son sólidos; los cuales pueden afectar la calidad del agua de diferentes maneras, y además de que su determinación es considerada de carácter simple.

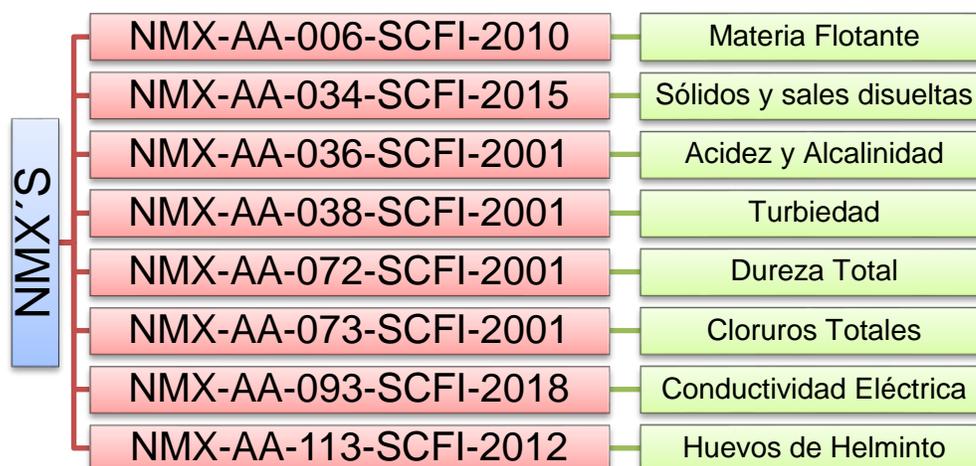
La determinación de la dureza total presente en agua también es importante, debido a que mide la capacidad que tendrá el agua para producir incrustaciones en tuberías debido a la presencia de sales a partir de los iones calcio y magnesio.

También se puede considerar la determinación de material flotante en virtud de que es una técnica simple de realizar y resulta importante para llevar a cabo un control y tratamiento a la hora de la descarga del agua.

Otra determinación que se puede contemplar es la conductividad electrolítica o eléctrica, esta determinación nos ayuda a medir la concentración de solutos ionizables presentes en el agua.

Por último, es recomendable trabajar con la técnica de los Huevos de Helminto, determinando la presencia de helmintos en agua, lo cual representa un riesgo para la salud humana, y aunque se encuentren presentes en bajas concentraciones pueden ocasionar enfermedades gastrointestinales.

Como se mencionó en un principio las técnicas mencionadas anteriormente son las que se considera de más relevancia a contemplar para tener un buen control de calidad del agua, debido a que mediante estas podemos saber cuáles son los contaminantes presentes en ella, y a su vez determinar que tratamiento es el más viable e identificar posteriormente, en que actividades puede ser reutilizada.



**Ilustración 28. Técnicas propuestas a realizar**

En lo que respecta al tratamiento de aguas, se recomienda realizar previamente una evaluación de las etapas del sistema propuesto (de acuerdo a la propuesta mencionada en conclusiones) a escala laboratorio, que ayude a determinar que este es funcional y posteriormente se obtenga el agua tratada e identificar si esta agua cumple con los estándares de calidad establecidos por la normatividad, y a su vez ser utilizada como agua de uso sanitario como alternativa para el lavado de material de laboratorio o como agua de riego.



# BIBLIOGRAFÍA



## BIBLIOGRAFÍA

¿Qué es calidad? En el contexto de la norma ISO 9001 calidad. Sistemas de Gestión de Calidad según ISO 9000. (2012). Iso9001calidad.com. <https://iso9001calidad.com/que-es-calidad-13.html>

A.J. Englande, Peter A. Krenkel, Waste Water Treatment and Water Reclamation, Encyclopedia of Physical Science and Technology, 2003, Pages 639-670

Agua. (2022). Normas Mexicanas. Gob.mx. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/normas-mexicanas-83266>

Agua. (2022). SEMARNAT. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2009/compendio\\_2009/10.100.8.236\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet8434.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2009/compendio_2009/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServlet8434.html)

ASALE, R., & RAE. (2021). *Diccionario de la lengua española RAE - ASALE*. "Diccionario de La Lengua Española" - Edición Del Tricentenario. <https://dle.rae.es/agua>

CAPÍTULO 2 2. AGUAS RESIDUALES: CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN. 2.1. Clasificación. (n.d.). <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>

De Diputados, C., Congreso De, D., Unión, L., & Ley, N. (n.d.). LEY FEDERAL SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN LEY FEDERAL SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN.



<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/107522/LEYFEDERALSOBREMETROLOGIAYNORMALIZACION.pdf>

Deming, W. Edwards; “Calidad, productividad y competitividad a la salida de la crisis”; Editorial Díaz de Santos; Madrid, 1989.

Desarrollo de rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) del sector Aguas Residuales de México. (2018). Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/461753/Aguas\\_residuales.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/461753/Aguas_residuales.pdf)

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO I Y II. Planta de tratamiento de aguas residuales de Xalapa I. (n.d.). <https://cmasxalapa.gob.mx/gom/wp-content/uploads/2018/11/DESCRIPCION-DEL-PROCESO-DEL-TRATAMIENTO-DE-AGUAS-RESIDUALES..pdf>

DOF - Diario Oficial de la Federación. (2022). Dof.gob.mx.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2063863&fecha=22/11/2000](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=22/11/2000)

El Medio Ambiente en México 2013-2014. (2013). SEMARNAT.  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_resumen14/06\\_agua/6\\_2\\_3.html#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20industriales%20son,%3B%20Figura%206.2.3.4\).](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_3.html#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20industriales%20son,%3B%20Figura%206.2.3.4).)



García, M., & López, J. (n.d.). AGUAS RESIDUALES. COMPOSICIÓN.  
[https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Gustavo Ortiz Rendón. (2015). Conceptos originales relevantes de la Ley de Aguas Nacionales. Tecnología Y Ciencias Del Agua, 7–13.  
<http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/705>

Índice de calidad del agua. (2022). Paot.org.mx. [https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/compendio\\_2000/03dim\\_ambiental/03\\_02\\_Agua/data\\_agua/RecuadroIII.2.2.2.htm](https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/03dim_ambiental/03_02_Agua/data_agua/RecuadroIII.2.2.2.htm)

Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. SEMARNAT. México. 2013.

Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. SEMARNAT. México. 2016.

ISO 9000 family — Quality management. (2021, September). ISO.  
<https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html>

Jiménez, B., Torregrosa, M., y Aboites, L. (2010). El agua en México: cauces y encauces. CONAGUA.  
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/elaguaenmexico-caucesyencauces.pdf>



Juran, Joseph M.; “Juran y la planificación de la calidad”; Editorial Díaz de Santos; Madrid, 1990.

Luisa, A., Velázquez, A., César, G., Calderón, M., Ana, C., & Tomasini, O. (n.d.). SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA (CNA) COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA (IMTA) FUNDAMENTOS TÉCNICOS PARA EL MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES. Recuperado Septiembre 29, 2022, de [https://cetis125.edu.mx/programasestudio/labquimico/fundamentos\\_tecnicos.pdf](https://cetis125.edu.mx/programasestudio/labquimico/fundamentos_tecnicos.pdf)

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>

Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition). Mc Graw Hill.

Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, Aguas Residuales.- Muestreo, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 1980, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166762/NMX-AA-003-1980.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013, ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE GRASAS Y ACEITES RECUPERABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria de Economía, 2014 , Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166764/nmx-aa-005-scfi-2013.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-006-SCFI-2010, ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE MATERIA FLOTANTE EN AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2010,



Diario Oficial de la Federación,  
(<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166765/NMX-AA-006-SCFI-2010.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013, ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria de Economía, 2014 , Diario Oficial de la Federación, ([http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa007-2014\\_01.pdf](http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa007-2014_01.pdf)).

Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016, ANÁLISIS DE AGUA.- MEDICIÓN DEL pH EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.- MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria de Economía, 2016, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2001, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166768/NMX-AA-012-SCFI-2001.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-017-1980, AGUAS. - DETERMINACION DE COLOR, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 1980, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166770/NMX-AA-017-1980.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA - PARTE 2 - DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO – MÉTODO DE TUBO SELLADO A PEQUEÑA ESCALA , Secretaria de Economía, 2013 , Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166775/NMX-AA-030-2-SCFI-2011.pdf>)

Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015, ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2015, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>).



Norma Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2001, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166776/NMX-AA-036-SCFI-2001.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2001, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166777/NMX-AA-038-SCFI-2001.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-039-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM) EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2001, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166779/NMX-AA-039-SCFI-2001.pdf>).

Norma Mexicana 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, Secretaria de Economía, 2016, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2001, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166788/NMX-AA-072-SCFI-2001.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2001, Diario Oficial de la Federación,



(<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166789/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-083-1982, ANALISIS DE AGUA.- DETERMINACION DE OLOR, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 1982, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166798/NMX-AA-083-1982.pdf>).

Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018, ANÁLISIS DE AGUA-MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. -MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2018, Diario Oficial de la Federación, ([http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/AA093-2018\\_06.pdf](http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/AA093-2018_06.pdf)).

Norma Mexicana NMX-AA-113-SCFI-2012, ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DEL NÚMERO DE HUEVOS DE HELMINTO EN AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS POR OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA – MÉTODO DE PRUEBA, Secretaria Economía, 2012, Diario Oficial de la Federación, (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166809/NMX-AA-113-SCFI-2012.pdf>).

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021, Diario Oficial de la Federación, ([https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022)).

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1997, Diario Oficial de la Federación, ([https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#:~:text=NORMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D002,que%20dice%3A%20Estados%20Unidos%20Mexicanos](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#:~:text=NORMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D002,que%20dice%3A%20Estados%20Unidos%20Mexicanos)).

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1998, Diario Oficial de la Federación, ([https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311363/NOM\\_003\\_SEMARNAT.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311363/NOM_003_SEMARNAT.pdf)).



Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN, Secretaría de Salud, 2019, Diario Oficial de la Federación, ([https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#:~:text=1.1%20Esta%20Norma%20establece%20los,de%20agua%20p%C3%BAblico%20y%20privados](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#:~:text=1.1%20Esta%20Norma%20establece%20los,de%20agua%20p%C3%BAblico%20y%20privados)).

Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-2020, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DISTRIBUIDA POR LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, Secretaría de Salud, 2019, Diario Oficial de la Federación, ([https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5603318&fecha=22/10/2020#:~:text=1.1%20Esta%20Norma%20establece%20las,sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5603318&fecha=22/10/2020#:~:text=1.1%20Esta%20Norma%20establece%20las,sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua)).

Normas Oficiales Mexicanas, N. (n.d.). Comisión Nacional del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>

PERSPECTIVES OF ANAEROBIC TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER IN DEVELOPING COUNTRIES. (n.d.). <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n18/n18a10.pdf>

Propiedades fisicoquímicas del agua y su significado biológico - Unidad de Apoyo Para el Aprendizaje. (2022). Unam.mx. [http://uapas2.bunam.unam.mx/ciencias/propiedades\\_fisicoquimicas\\_agua/](http://uapas2.bunam.unam.mx/ciencias/propiedades_fisicoquimicas_agua/)

Proteger, R., & Mejorar. (n.d.). Tratamiento de Aguas Residuales mapa de la plata. [https://www.belzona.com/es/solution\\_maps/wastewater/money\\_map.pdf](https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf)

Reinaldo, I., & García, H. (n.d.). CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE GALVANIZADO DE LÁMINA POR INMERSIÓN EN CALIENTE Asesorado por: M



SC. ING. GUILLERMO GARCÍA OVALLÉ Guatemala, junio de 2014.  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0375\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0375_MT.pdf)

Romero, J. (2010). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Secretaría de Economía. (2022). Competitividad y Normatividad / Normalización. Gob.mx. <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/competitividad-y-normatividad-normalizacion>

Semarnat - Calidad del agua. (2022). Paot.org.mx. [https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/04\\_Agua/4.6\\_Calidad/index.htm](https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.6_Calidad/index.htm)

SEMARNAT. (2022). Semarnat.gob.mx. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet28b9.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html)

SINA. (2022). Sistema Nacional de Información del Agua | SINA. Conagua.gob.mx. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=6>

Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas (Actualizado 2021). (2021, Agosto 11). Hidrotec. <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CAPITULO IV. (n.d.). [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lar/oropeza\\_b\\_vm/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo4.pdf)



TRATAMIENTO DEL AGUA Por: RAMÓN MERINO LOO. (n.d.).

[https://sedum.michoacan.gob.mx/download/foro\\_de\\_capacitacion\\_ambiental\\_emprerial/ss3-TRATAMIENTO-DE-AGUAS-RESIDUALES-Reparado.pdf](https://sedum.michoacan.gob.mx/download/foro_de_capacitacion_ambiental_emprerial/ss3-TRATAMIENTO-DE-AGUAS-RESIDUALES-Reparado.pdf)

Twenergy. (2020, Septiembre 9). Tipos de agua. Twenergy.

<https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/tipos-de-agua/>

Zarza, L. (2019, Octubre 17). ¿Cuántos tipos de agua hay? IAgua; iAgua.

<https://www.iagua.es/respuestas/cuantos-tipos-agua-hay>

Zarza, L. (2019, Octubre 28). ¿Qué son las aguas residuales? IAgua; iAgua.

<https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>



# ANEXOS



## ANEXOS

### Portadas y paginas principales de las normas utilizadas

## NOM'S

**NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.**

**Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- SALUD.- Secretaría de Salud.**

ALEJANDRO ERNESTO SVARCH PÉREZ, Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 3o, fracción XIII, 13, apartado A, fracción I, 17 bis, fracciones II y III, 116, 118, fracción II y 119, fracción II de la Ley General de Salud; 38, fracción II, 40, fracción I, 43 y 47, fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 209 a 213, 214, fracciones I, II, III y V, 215 a 225 y 227 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; así como 3, fracciones I, incisos n), o) y s), y II, 10, fracción IV del Reglamento de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y,

CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo previsto en el artículo 46, fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el 28 de junio de 2017, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, aprobó el anteproyecto de la presente Norma;

Que con fecha 6 de diciembre de 2019, en cumplimiento a lo previsto en el artículo 47, fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017, Agua para uso y consumo humano.

**NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.**

**Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.**

TONATIUH HERRERA GUTIÉRREZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 4o. párrafos quinto y sexto, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 32 Bis, fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o., fracciones V y XI; 36, fracciones I y II; 37, 37 TER, 117, fracciones I, IV y V, 118, fracciones I y II; 119 y 123 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 1, 2, 7, fracciones V y VII, 85, 86, fracciones I, III, IV y V; 88, 88 Bis, 92, fracciones II y IV; 113 y 119, fracciones I y II de la Ley de Aguas Nacionales; 38, fracción II, 40, fracción X, 41, 47, fracción IV, 51 párrafo primero y 73 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; Cuarto Transitorio de la Ley de Infraestructura de la Calidad; 133, 134, 135 y 139 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, 8, fracciones III, IV y V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y



# ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, DESPUÉS DE SU TRATAMIENTO.



## **NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL**

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracción V, 6o., 7o., 8o. fracciones II, VII y XII, 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción II, 119, 119 Bis, 121, 122, 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal; y

## **NORMA Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-2020, Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.

JOSÉ ALONSO NOVELO BAEZA, Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 3o, fracción XIII, 13, apartado A, fracción I, 17 bis, fracciones II y III, 116, 118, fracción II y 119, fracción II de la Ley General de Salud; 38, fracción II, 40, fracción I, 43 y 47, fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 209 a 213, 214, fracciones I, II, III y V, 215 a 225 y 227 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios y 3, fracciones I, incisos n, o y s, y II, así como 10, fracción IV del Reglamento de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios; y

Lunes 21 de septiembre de 1996

DIARIO OFICIAL

3

## **SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA**

**NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO.**

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones V y XI, 6o., 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción I, 119, 121, 126, 171 y 173 la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 118 fracción III y 122 de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

### **CONSIDERANDO**

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de enero de 1996, a fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezzanine planta alta, colonia Tacopac, Delegación Alvaro Obregón, código postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de agosto de 1996.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 22 de abril de 1996, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO**

### **INDICE**

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Muestreo
6. Métodos de prueba
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma



# NMX'S



SECRETARIA DE COMERCIO

Y

FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA MEXICANA

NMX-AA-003-1980

AGUAS RESIDUALES.- MUESTREO

*RESIDUAL WATERS.- SAMPLING*

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

NORMA MEXICANA

NMX-AA-005-SCFI-2013

**ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE GRASAS Y ACEITES RECUPERABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-005-SCFI-2000).**

WATER ANALYSIS - MEASUREMENT OF EXTRACTABLES FATS AND OILS IN NATURAL WATERS, WASTEWATERS AND TREATED WASTEWATERS - TEST METHOD



NORMA MEXICANA

NMX-AA-007-SCFI-2013

**ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA LA NMX-AA-007-SCFI-2000)**

WATER ANALYSIS - DETERMINATION OF TEMPERATURE IN NATURAL WATERS, WASTEWATERS AND TREATED WASTEWATERS – TEST METHOD

NORMA MEXICANA

NMX-AA-008-SCFI-2016

**ANÁLISIS DE AGUA.- MEDICIÓN DEL pH EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.- MÉTODO DE PRUEBA- (CANCELA A LA NMX-AA-008-SCFI-2011).**

WATER ANALYSIS.-MEASUREMENT OF pH IN NATURAL WATERS, WASTEWATERS AND TREATED WASTEWATERS.- TEST METHOD

SD/NEC-20160705110503214

ICS: 13.060.45



ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, DESPUÉS DE SU TRATAMIENTO.



**NORMA MEXICANA**

**NMX-AA-030/2-SCFI-2011**

**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA - PARTE 2 - DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO - MÉTODO DE TUBO SELLADO A PEQUEÑA ESCALA**

*WATER ANALYSIS - DETERMINATION OF THE CHEMICAL OXYGEN DEMAND, IN NATURAL, WASTEWATERS AND TREATED WASTEWATERS - TEST METHOD - PART 1 - DETERMINATION OF THE CHEMICAL OXYGEN DEMAND INDEX (ST-COD) - SMALL SCALE SEALED-TUBE METHOD.*



SECRETARIA DE COMERCIO

Y

FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA MEXICANA

NMX-AA-017-1980

AGUAS. - DETERMINACION DE COLOR

*WATERS-COLOR DETERMINATION*

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

**NORMA MEXICANA**

**NMX-AA-042-SCFI-2015**

**ANÁLISIS DE AGUA - ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALIS (TERMOTOLERANTES) Y *Escherichia coli* - MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES (CANCELA A LA NMX-AA-42-1987).**

*WATER ANALYSIS - ENUMERATION OF TOTAL COLIFORM ORGANISMS, THERMOTOLERANT FECAL COLIFORM ORGANISMS AND *Escherichia coli*- MULTIPLE TUBE (MOST PROBABLE NUMBER) METHOD*



SECRETARIA DE COMERCIO

Y

FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA MEXICANA

NMX-AA-083-1982

"ANÁLISIS DE AGUA.- DETERMINACION DE OLOR"

*"ANALYSIS OF WATER.- DETERMINATION FOR ODOR"*

DIRECCION GENERAL DE NORMAS