



Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Planeación Urbana y Regional



Propuesta de tratamiento para las aguas que alimentan la presa José Antonio Alzate afectadas por la transferencia de sustancias contaminantes de las actividades antrópicas, proyectando una remoción del 90% de eficiencia.

## **TESIS**

Para obtener el Título de Licenciada en Ciencias Ambientales

PRESENTA

Sulma García González

DIRECTOR DE TESIS

Dr. En C. A. Eduardo Campos Medina

Toluca, Estado de México

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>PLANTEAMIENTO.....</b>	<b>8</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>12</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>16</b>
<b>CONTAMINACIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1 Contaminación .....	17
1.2 Contaminación de suelo, aire y agua .....	18
1.2.1 Suelo.....	18
1.2.2 Aire .....	20
1.2.3 Agua.....	21
1.3 Contaminación del agua.....	22
1.4 Tipos de contaminantes .....	25
1.4.1 Contaminantes Orgánicos .....	25
1.4.2 Contaminantes Inorgánicos .....	26
1.5 Efectos de los contaminantes .....	27
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>32</b>
<b>TRATAMIENTOS DEL AGUA.....</b>	<b>32</b>
2.1 Tratamientos Físicoquímicos.....	33
Coagulación química .....	34
Precipitación química.....	34
Oxidación-Reducción.....	34
Desinfección .....	35
Adsorción .....	35
2.2 Tratamientos Avanzados.....	35
2.2.1 Procesos no fotoquímicos .....	36
Ozonización .....	36
Oxidación electroquímica.....	36

Proceso de Fenton.....	37
2.2.2 Procesos fotoquímicos .....	38
Ultravioleta de vacío .....	38
Fotocatálisis.....	38
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>40</b>
<b>PRESA JOSÉ ANTONIO ALZATE.....</b>	<b>40</b>
3.1 Delimitación de la presa José Antonio Alzate .....	41
3.2 Descripción de las Condiciones Sociales y Económicas de la localidad de Tlachaloya Primera Sección .....	43
3.3 Problemática de la presa José Antonio Alzate .....	44
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>48</b>
<b>LEGISLACIÓN AMBIENTAL EN MATERIA DE CALIDAD DEL AGUA .....</b>	<b>48</b>
4.1. Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del Agua .....	49
4.2. Parámetros fisicoquímicos a considerar en el estudio de la calidad del agua de la presa José Antonio Alzate.....	53
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>57</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
5.1 Caracterización de las actividades antrópicas realizadas en zonas aledañas al cauce que alimenta a la presa José Antonio Alzate .....	58
5.2 Insumos utilizados en la ejecución de las actividades antrópicas aledañas al río Lerma .....	61
5.3 Alteraciones en la calidad del agua derivadas de la transferencia de elementos no naturales en su composición.....	63
5.4 Observaciones recolectadas en recorrido de campo.....	66
5.5 Obtención de parámetros fisicoquímicos a través de pruebas de laboratorio.....	74
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>79</b>
<b>GENERACIÓN DE PROPUESTA DE TRATAMIENTO .....</b>	<b>79</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>87</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos de la contaminación de suelos .....	19
Tabla 2. Tipos generales de contaminantes del agua .....	24
Tabla 3. Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua .....	28
Tabla 4. Ejemplos de aplicación del proceso de Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales. ....	37
Tabla 5. Prácticas laborales realizadas en zonas aledañas al cauce del río Lerma .....	59
Tabla 6. Suministros utilizados por giro laboral .....	61
Tabla 7. Efectos en la calidad del agua derivados de la transferencia de sustancias contaminantes .....	64
Tabla 8. Evaluación de resultados experimentales obtenidos en base a las Normas Oficiales Mexicanas en materia de calidad de agua.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de Investigación .....	14
Figura 2. Mapa de ubicación de la presa José Antonio Alzate .....	42
Figura 3. Presa José Antonio Alzate y el río Lerma .....	66
Figura 4. Pastoreo de ganado en zonas aledañas a la presa .....	67
Figura 5. Asentamientos cercanos a la presa .....	68
Figura 6. Depósito de residuos sólidos en la presa José Antonio Alzate.....	69
Figura 7. Transporte en lancha en la presa Alzate.....	70
Figura 8. Contaminación del agua .....	70
Figura 9. Depósito de residuos cercanos a la presa Alzate.....	71
Figura 10. Residuos inorgánicos en cuerpos de agua .....	72
Figura 11. Lirio acuático dentro de la presa .....	72
Figura 12. Muestras de agua presa José Antonio Alzate y río Lerma .....	73
Figura 13. Arribo de Pelicanos a la presa José Antonio Alzate .....	74
Figura 14. Modelo de tratamiento Electrofenton propuesto.....	81
Figura 15. Tren de tratamiento propuesto para el caudal que abastece la presa José Antonio Alzate.....	84

## INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales en nuestro país se encuentran bajo un estado de presión que incrementa día con día, trayendo consigo problemáticas ambientales que repercuten negativamente en la población; estas problemáticas van desde cambio de uso de suelo, cambio climático, extinción de especies, contaminación de aire y agua, entre otros.

Respecto a la problemática ambiental del agua, los recursos hídricos son imprescindibles para el desarrollo de la vida, sin embargo, a través del tiempo éstos han sido contaminados de manera significativa dificultando el uso de los mismos.

De acuerdo a CONAGUA (2006) la mayor parte de los cuerpos de agua superficiales reciben la descarga de aguas residuales sin tratamiento ya sea de origen industrial o municipal provocando grados variables de contaminación que afectan el uso del agua para otras actividades.

Además, SEMARNAT (2002) menciona que en México del agua utilizada en servicios urbanos o industriales solo cerca del 20% es tratada, lo que implica disminución en la cantidad de agua disponible para uso humano y aumento en la cantidad de agua contaminada.

De esta manera se afecta directamente la calidad de vida del ser humano, y el bienestar de los ecosistemas que dependen de este recurso; los cuales albergan gran variedad de especies animales y vegetales propiciando así, afectaciones al desarrollo de los mismos.

El presente estudio bajo el principal objetivo de las Ciencias Ambientales al comprender la relación sociedad-naturaleza muestra y analiza la situación en la cual se encuentra la presa José Antonio Alzate, un cuerpo de agua contaminado a causa de la descarga de aguas residuales.

Este escenario de contaminación es del tipo de conflictos en el que, el estudiante de la Licenciatura en Ciencias Ambientales puede participar activamente ya que, éste implica la recopilación de información y el empleo de técnicas de laboratorio, el análisis del grado de polución presente, los entes y sustancias que la propician,

así como las consecuencias que en base a ello se producen en el medio social y ambiental.

Además, que al tener esta disciplina un enfoque multidisciplinario que permite poder nutrirse de otras disciplinas de conocimiento, fue posible poder proponer una medida de solución que ayude a mejorar la calidad del agua de este lugar propiciando la obtención de beneficios no solo ambientales sino también de carácter social que favorezcan a las poblaciones futuras.

## RESUMEN

Los cuerpos de agua son en la actualidad los mayores receptores de aguas residuales industriales y domésticas, el problema radica cuando estas no llevan consigo un tratamiento previo, o el otorgado no resulta ser eficiente provocando la contaminación de los recursos hídricos receptores.

La presa José Antonio Alzate ubicada en el municipio de Toluca, es uno de los cuerpos de agua que presenta un grado superlativo de contaminación debido a que recibe la descarga de aguas residuales, al ser el primer cuerpo de agua receptor del cauce del río Lerma.

Cabe señalar que en este río se vierten sustancias residuales de varias actividades antrópicas que se desarrollan a lo largo de su cauce, como son del tipo domésticas, industriales y agropecuarias. Esto lleva a establecer que el tipo de sustancias disueltas en el agua son de dos tipos: orgánicas (colorantes, pigmentos, solventes, conservadores, residuos farmacéuticos, etc.) e inorgánicas (referido a metales alcalinos, alcalinotérreos y metales pesados).

Esta realidad, incentivó a desarrollar este tema de investigación, para lo cual se llevó a cabo la recopilación de información bibliográfica relacionada con las actividades antrópicas que se efectúan en la zona de estudio. Además, se realizó trabajo de campo y se recolectaron muestras de agua para posteriormente ser analizadas en laboratorio.

Previamente se habían planteado relaciones de presencia de sustancias cuyo origen era de dichas actividades y el grado de contaminación del agua, para comprobar estos planteamientos se cuantificaron de las muestras de agua, los parámetros fisicoquímicos como lo fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, grasas para comprobar la presencia de sustancias orgánicas. Así como también se midieron las concentraciones de metales como hierro, plomo y cromo. Estos análisis permitieron proponer como alternativa de solución un proceso de oxidación avanzada a fin de contribuir a la remoción de contaminantes presentes en este cuerpo de agua.

## PLANTEAMIENTO

La contaminación es una de las problemáticas más grandes que ha surgido a través del tiempo y ha tomado gran importancia debido a las repercusiones negativas que se han generado a través de ella, las cuales, se encuentran afectando de manera directa al ser humano. Si bien desde épocas antiguas se ha presentado cierto grado de contaminación en el mundo, en las últimas décadas ésta ha incrementado considerablemente debido al aumento de actividades productivas realizadas por el ser humano en las que se tienen como resultado desechos contaminantes que al ser arrojados a la naturaleza traen consigo afectaciones tanto en el medio ambiente como en la calidad de vida del mismo.

Dichos contaminantes, son resultado de la ejecución de actividades diarias que tienen como finalidad satisfacer ciertas necesidades. La interacción entre sustancias contaminantes y ambiente traen consigo efectos negativos sobre el agua, aire y suelo, esto debido a la naturaleza tóxica que tienen las mismas.

Respecto a la contaminación del agua, una de las principales actividades contaminantes es aquella afín a la producción industrial la cual se presenta principalmente en los parques industriales. En estos lugares la diversidad de giros de las empresas es extensa, ya que se puede encontrar desde industria de manufactura, hasta farmoquímica, de polímeros, metal-mecánica, alimenticia entre otros.

En todas estas actividades se generan de manera cotidiana, sustancias residuales provenientes de los procesos de producción; dichas sustancias se incorporan al agua residual de la empresa la cual debe ser tratada previamente a fin de minimizar la cantidad de contaminantes presentes en ella ya que usualmente posterior a ello, éstas son transferidas a ríos o cuerpos de agua adyacentes a las instalaciones industriales.

De esta manera resulta importante el que se otorgue tratamiento previo a la descarga de aguas residuales, sin embargo, no en todos los casos las empresas



llevan a cabo este proceso y el agua residual al ser descargada tiene consigo una gran cantidad de sustancias químicas contaminantes.

Las sustancias químicas derivadas de los diferentes giros industriales que son transferidas a los cuerpos de agua generan efectos nocivos en la flora y fauna que se encuentra dentro y cerca de estos sitios. Esto se debe a que los organismos vivos tienden a almacenar dichas sustancias en sus estructuras y por su estrecha interrelación con el hombre, la contaminación del agua puede provocar daños a la salud del mismo.

En el Valle de Toluca, existen diversos parques industriales, uno de ellos es el Parque Industrial Lerma, el cual tiene asentadas empresas de diversos giros. La mayoría de ellas conducen sus aguas residuales a la planta tratadora Reciclagua Ambiental S.A de C.V, que de acuerdo a la información presentada en su página web opera a 185 empresas del corredor industrial del Valle de Toluca y del Parque Industrial Lerma.

Sin embargo, a través del tiempo pobladores de las localidades y municipios por los que atraviesa el cauce del río Lerma han mencionado que éste, debido al grado de contaminación que presenta les ha traído consecuencias negativas en diversos ámbitos.

Ejemplo de ello son los pobladores de San Mateo Atenco quienes de acuerdo a Ríos (2021) en diversas ocasiones han denunciado la presencia de metales pesados en el agua, que al ser vertida en los terrenos de cultivo ha generado grandes afectaciones a la actividad agrícola además de provocar daños en la flora, fauna y salud humana debido a que mencionan, se han presentado problemas de cáncer y otras enfermedades derivadas de la alta contaminación. Por ello los habitantes de dicha localidad han solicitado que Reciclagua emita un informe técnico acerca de cómo se lleva a cabo su operación y los posibles efectos presentes en su funcionamiento.

Una de las localidades que debido a esta situación se encuentra siendo afectada es Tlachaloya Primera Sección ya que la presa José Antonio Alzate, uno de los cuerpos de agua cercanos a la misma se alimenta de las aguas del río Lerma.

Alvarado (2017) menciona que “El río Lerma está siendo contaminado por la descarga de aguas residuales urbanas y de descargas industriales del corredor Toluca-Lerma, residuos de fertilizantes y plaguicidas provenientes de zonas agrícolas además de arrastrar material sedimentable con un alto grado de contaminación a la presa José Antonio Alzate.” (p.1)

Por su parte García (2021) menciona que de acuerdo a vecinos de la comunidad de Tlachaloya “La presa José Antonio Alzate, en otro tiempo era espacio de orgullo en materia ambiental, no solo ha perdido su brillo, hoy crecen los metros de terreno para el pastoreo por la disminución en su captación de agua. Su cercanía con los brazos del río Lerma ha convertido al embalse en espacio de descarga de aguas negras y residuos sólidos, con graves afectaciones a la comunidad.” (p.1)

Alvarado (2017) refirió que investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana demostraron que “la presa Alzate tiene alto contenido de mercurio, cadmio, cobre, manganeso, plomo, zinc, arsénico y bario” (p.1).

De acuerdo a lo expuesto con anterioridad resulta importante el proponer alternativas de solución a dicha problemática, es por ello que en el presente trabajo de investigación se plantea desarrollar una propuesta de tratamiento para dicho cuerpo de agua. Ésta consiste en desarrollar un tren de tratamiento donde se empleen técnicas de remoción de contaminantes que sea fácil de operar, accesible económicamente y compatible ambientalmente; con ello se espera remover la mayor cantidad de contaminantes disueltos y mejorar la calidad del agua del sitio.

## JUSTIFICACIÓN

A causa de la problemática de contaminación del agua derivado de actividades antropogénicas e industriales en el Valle de Toluca, en especial del Parque Industrial Lerma; se ha confirmado que las aguas del río Lerma contienen diversos contaminantes disueltos cuyo origen radica en dichas actividades.

Debido a que el agua del río abastece a la presa José Antonio Alzate que se encuentra ubicada en la localidad de Tlachaloya del municipio de Toluca; la calidad del agua de dicha presa se ha visto deteriorada a causa de ello, afectando así la calidad de vida de la población que a raíz de esta situación ha sufrido cambios en su vida cotidiana y afectaciones por problemas de salud.

El propósito inicial de la construcción de dicha presa fue el almacenamiento de agua para riego agrícola, sin embargo, derivado de las malas condiciones que presenta el agua que ahí se encuentra, ésta no cuenta con las condiciones adecuadas para dicho uso debido a la presencia de contaminantes disueltos en ella.

Derivado de lo anterior, es necesario realizar un análisis de la actividad antrópica y las sustancias químicas presentes en el agua del lugar de estudio para corroborar que la calidad de la misma es deficiente ya que, en base a fuentes bibliográficas y visita de campo puede observarse una mala calidad del agua en dicho sitio; así también se podrán recopilar datos acerca de los parámetros fisicoquímicos en materia de calidad del agua en base a la normatividad ambiental vigente.

Con esta investigación se pretende documentar datos acerca del estado bajo el cual se encuentra la presa José Antonio Alzate y el cauce que la alimenta, los contaminantes presentes en el agua, las actividades que los generan y una propuesta de tratamiento que mejore la calidad del agua.

## **HIPÓTESIS**

Mediante el análisis de la relación actividad antrópica y transferencia de sustancias contaminantes disueltas en las aguas que alimentan la presa José Antonio Alzate en la localidad de Tlachaloya, se generará una propuesta de tratamiento que removerá el 90% de esta polución.

## **OBJETIVO GENERAL**

Generar una propuesta de tratamiento de las aguas que alimentan la presa José Antonio Alzate en la localidad de Tlachaloya que sugiera una remoción del 90% de los contaminantes disueltos, mediante el análisis de la relación actividad antrópica-transferencia de contaminantes que se vierten en el cauce señalado.

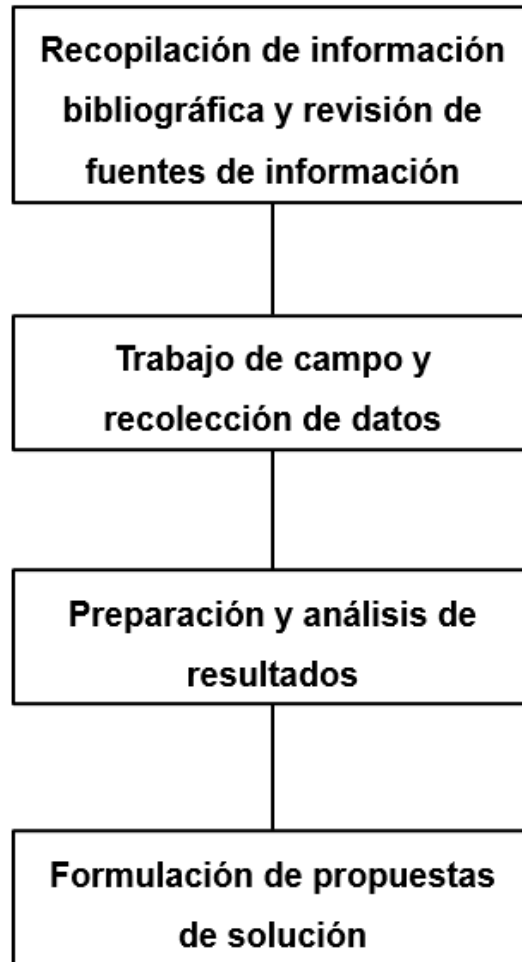
## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir los términos relacionados a la contaminación del agua y tipos de contaminantes.
- Recopilar información bibliográfica acerca de los tratamientos a los que comúnmente es sometida el agua para la remoción de contaminantes.
- Identificar la legislación ambiental correspondiente en materia de calidad del agua.
- Caracterizar la zona de estudio de la localidad de Tlachaloya Primera Sección y la presa José Antonio Alzate, tomando en consideración las actividades humanas que se realizan colindantemente a la corriente que alimenta dicha presa.
- Establecer los tipos de sustancias contaminantes que se vierten en la corriente que abastece la presa y los efectos adversos que se propician con estas actividades.
- Con base en estos resultados y la evaluación en campo, formular una propuesta de solución que contribuya a la remoción de contaminantes en el

efluente que alimenta la presa José Antonio Alzate que permita obtener un mejoramiento en la calidad del agua de dicho cuerpo de agua.

## METODOLOGÍA

Las actividades que se realizaron en esta investigación, se dividen en cuatro etapas plasmadas en la Figura 1 que se presenta a continuación.



**Figura 1. Metodología de Investigación**

Elaboración propia del autor, 2022

## **Descripción de Actividades**

**Recopilación de información bibliográfica y revisión de fuentes de información.** Se definirán aquellos términos relacionados a la contaminación de suelo, aire y agua, así como de los tipos de contaminantes y los tratamientos a los que se somete el agua para su descontaminación. Así también se presentará información relacionada a la Presa José Antonio Alzate y la localidad de Tlachaloya Primera Sección y se describirán las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que serán tomadas como base para establecer la calidad del agua de la zona de estudio.

**Trabajo de campo y recolección de datos.** A través de trabajo de campo se podrá recopilar información acerca de las actividades antrópicas que se realizan en parques industriales y comunidades cercanas al cauce del río Lerma que alimenta a la presa José Antonio Alzate, así como la toma de muestras de agua para su posterior análisis en laboratorio.

**Preparación y análisis de resultados.** En este apartado se plasmarán y discutirán los resultados obtenidos por medio del trabajo de campo y los parámetros fisicoquímicos obtenidos a través de pruebas de laboratorio.

**Formulación de propuestas de solución.** Con base en la información y datos obtenidos en los apartados anteriores se procederá a formular una propuesta de solución que contribuya a la mejora de la calidad del agua de la zona de estudio.

# **CAPÍTULO I**

# **CONTAMINACIÓN**



En el presente capítulo se aborda una de las problemáticas ambientales más importantes causadas por el ser humano y la cual incrementa día con día: la contaminación; esta se encuentra inmersa en tres de las esferas ambientales más importantes para el desarrollo de la vida humana: suelo, aire y agua.

Para ello, dicho capítulo se divide en cinco partes; en la primera se conceptualiza el término contaminación a través de diversas fuentes con la finalidad de dimensionar y comprender el significado de éste. La segunda parte otorga un panorama general acerca de la contaminación forjada en el suelo, aire y agua debido a que éstas son las áreas que presentan mayor presión afectando así sus procesos y trayendo consigo repercusiones a los diversos actores que se desarrollan en ellas.

La tercera parte se enfoca en una de las esferas abordadas anteriormente: el agua; esto a través de la recopilación de información sobre cómo se lleva a cabo su contaminación y las causas y consecuencias que esto provoca en los seres vivos. La cuarta parte es dedicada a los tipos de contaminantes existentes en el agua, clasificados en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos.

Por último, se presentan los efectos generados por los contaminantes hacia los cuerpos de agua, medio ambiente y seres vivos.

## **1.1 Contaminación**

Para poder comprender el significado de contaminación se recopiló información de diversas fuentes en donde los autores la definen bajo distintos enfoques los cuales se presentan a continuación.

Bajo un enfoque químico, la contaminación “se entiende como un alto nivel de una sustancia química que afecta de un modo adverso al medio natural” (Rodríguez, 2015, p.12).

La Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (UNEA, 2017) define la contaminación: “Como la introducción en el medio ambiente de sustancias o

energía cuyos efectos ponen en peligro la salud humana, los recursos naturales y los ecosistemas” (p.4).

Otra de las definiciones encontradas es la otorgada por la Real Academia Española (RAE, s/f) que menciona es la “Introducción directa o indirecta, mediante la actividad humana, de sustancias, vibraciones, calor o ruido en la atmósfera, el agua o el suelo que pueden tener efectos perjudiciales para la salud humana o la calidad del medioambiente, o que pueden causar daño a los bienes materiales o deteriorar o perjudicar el disfrute u otras utilidades legítimas del medio ambiente.” (p.1)

El concepto de contaminación que será utilizado para esta investigación es el otorgado por la Real Academia Española ya que, resalta a la actividad humana como responsable de la contaminación e incorpora los efectos y daños que ésta puede causar en el medio social y natural.

## **1.2 Contaminación de suelo, aire y agua**

Recursos como el suelo, aire y agua son indispensables para los seres vivos como plantas y animales ya que cumplen como hábitat o permiten las condiciones necesarias para el desarrollo de la vida. Además, al ser humano le proporcionan materias primas necesarias para poder llevar a cabo sus actividades diarias y procesos de producción.

### **1.2.1 Suelo**

Jiménez (2017) define al suelo como “un sistema abierto, complejo, autoorganizativo, estructural y polifuncional. Constituye uno de los recursos más importantes, dado que realiza multitud de funciones, entre las que destaca la producción de alimentos y, en general, su papel como sostén de la vida en el globo terráqueo” (p.3).

El mismo autor menciona también que el suelo funciona como un filtro que regula los flujos de materia y energía y debido a ello este puede contaminarse de manera natural o por la acción humana provocando así, este pierda sus funciones.

En cuanto a la definición de contaminación del suelo menciona que “Se define como suelo contaminado aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los estándares que se determinen por el Gobierno.” (Jiménez, 2017, p.7)

Se tienen dos tipos de contaminación de suelo; la natural debido a procesos naturales y la antropogénica que es causada por el hombre. Dentro de los posibles efectos que puede provocar la contaminación de suelos, se encuentran las que se muestran a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1. Efectos de la contaminación de suelos**

<b>Agrícola</b>	<b>Industrial</b>	<b>Urbano</b>	<b>Ambiental</b>
Afecta a la fertilidad de los suelos, tendiendo a su disminución.	Afecta a los acuíferos con productos químicos peligrosos.	Afecta a la salud pública.	Afecta al paisaje, provocando su degradación.
Afecta el rendimiento y producción de cultivos, tendiendo a su disminución.	Afecta a los ecosistemas provocado cierto desequilibrio ecológico.	Afecta a los drenajes.	Afecta a los microorganismos que viven en el suelo, provocando un desequilibrio en su hábitat.

Adaptado de Introducción a la contaminación de suelos (p.15-16), por R. Jiménez, 2017, Mundi-Prensa.

**Continuación Tabla 1. Efectos de la contaminación de suelos**

<b>Agrícola</b>	<b>Industrial</b>	<b>Urbano</b>	<b>Ambiental</b>
Afecta la calidad de los cultivos, tendiendo a su degradación.	Afecta el entorno tras la liberación de gases contaminantes.	Afecta a las fuentes de agua potable, contaminándolas.	Afecta a la flora y fauna del suelo, provocando un desequilibrio en su estatus.
		Afecta al entorno provocando mal olor y liberación de gases	Afecta a las aguas superficiales, freáticas o cauces fluviales, contaminándolos.
		Afecta en la gestión de residuos.	Afecta a los ciclos biogeoquímicos, modificándolos.

Adaptado de Introducción a la contaminación de suelos (p.15-16), por R. Jiménez, 2017, Mundi-Prensa.

### 1.2.2 Aire

Desde el punto de vista de Manahan (2007) la contaminación del aire es un problema que se ha presentado desde la antigüedad pero que a través del tiempo ha crecido considerablemente, siendo así que ésta puede presentarse de forma local: menos escala como lo es una ciudad; regional: por ejemplo, un área metropolitana y global: que refiere a una escala mundial.

Como todo tipo de contaminación esta trae consigo consecuencias negativas en diferentes aspectos, dentro de los cuales se presentan afectaciones en la salud del ser humano. El autor señalado con anterioridad mencionó algunos aspectos sobre ello “Las partículas atmosféricas inhaladas a través del tracto respiratorio pueden dañar la salud. Las partículas relativamente grandes, son retenidas en la cavidad nasal y en la faringe, mientras que las partículas más pequeñas alcanzan los pulmones, donde quedan retenidas o, si son todavía más pequeñas, pasan a los fluidos corporales.

El sistema respiratorio puede ser dañado directamente por la materia particulada que entra al sistema sanguíneo o al linfático, a través de los pulmones.

Adicionalmente, el material particulado o los componentes solubles de él pueden transportarse a los órganos alejados de los pulmones y pueden tener un efecto perjudicial sobre estos órganos. Las partículas desalojadas del tracto respiratorio son llevadas en gran medida hacia el tracto gastrointestinal.” (p.403)

### 1.2.3 Agua

El término agua tiene diversos conceptos los cuales van desde el uso coloquial hasta el tecnicado. Tal es el caso del concepto otorgado por la Real Academia Española (2014) el cuál define al agua como “Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales.” (p.13)

García, Darío, Marín, Guzmán, Verdugo, Domínguez, Vargas, Panizzo, Gómez y Cortes (2010) definen este término como un “compuesto con características únicas, de gran significación para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural” (p.115).

Con base en las definiciones presentadas con anterioridad, el concepto que le otorgaremos al término agua es que es aquella sustancia que en cualquiera de sus estados carece de olor, color y sabor, es decir se puede encontrar en un estado más o menos puro y puede ser utilizada por los organismos vivos y el ser humano.

### 1.3 Contaminación del agua

El Fondo para la educación y la educación ambiental (FCEA, 2015) mencionó respecto a la contaminación del agua que “El agua está contaminada cuando los agentes contaminantes repercuten negativamente en su calidad para el consumo humano, para usos posteriores o para el bienestar de los ecosistemas. Es la contaminación que ocurre en cualquier espacio que alberga agua: ríos, lagos, acuíferos o incluso el mar” (p.1)

Por su parte Da Ros (1995) señaló que “el agua se considera contaminada cuando se altera su composición o condición natural por una degradación instantánea o paulatina de su calidad, hasta dejar de ser apta para el uso previsto” (p.25).

De esta manera podemos definir a la contaminación del agua como el estado en el que la composición del agua es alterada y se deteriora su calidad provocando que ésta no sea lo suficientemente apta para el fin para el que se pretende ser utilizada.

El agua es un recurso indispensable para actores sociales y económicos que basan sus procesos en la utilización de la misma, tal como es el caso de la industria que hace uso de ella para poder elaborar productos como alimentos, ropa, artículos de higiene personal, etc.; que son utilizados por el ser humano para satisfacer sus necesidades. Este elemento es muy susceptible de contener sustancias ajenas a su estructura original debido al estado de presión en el que se encuentra, trayendo consigo la alteración de su composición.

Dichos aspectos que generan alteraciones en la composición del agua, se denominan contaminantes. Un contaminante, como mencionó Jiménez (2005) es un “exceso de materia o energía (calor) que provoque daño a los humanos, animales, plantas, y bienes, o bien, que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua” (p.39).

Estos contaminantes provienen de diversas fuentes como argumenta Hernández (2005) emanan de tres sectores; el primero es el social debido a la generación de

residuos, el segundo es el sector agropecuario con el uso de agroquímicos para la producción agrícola y por último el industrial que ejerce el mayor grado de contaminación al generar aguas residuales.

La idea anteriormente mencionada es apoyada por otro autor quien define estos aspectos de la siguiente manera:

Contaminación de origen urbano: Es el resultado del uso del agua en viviendas, actividades comerciales y de servicios, lo que genera aguas residuales, que son devueltas al receptor con contenido de residuos fecales, desechos de alimentos y, en la actualidad, con un incremento de productos químicos.

Contaminación de origen agrícola: Es el resultado del uso de plaguicidas, pesticidas, biocidas, fertilizantes y abonos, que son arrastrados por el agua de riego, llevando consigo sales compuestas de nitrógeno, fósforo, azufre y trazas de elementos organoclorados que pueden llegar al suelo por lixiviado y contaminar las aguas subterráneas.

Contaminación de origen industrial: Es una de las que produce un mayor impacto por la gran variedad de materiales y fuentes de energía que pueden aportar al agua: materia orgánica, metales pesados, incrementos de pH y temperatura, radiactividad, aceites, grasas, etc. (Target Asesores e Innovación y Cualificación, 2016, p.128)

Por otro lado, según el modo en que se produce la contaminación del agua, González (2007) la clasifica en dos tipos; originada por fuentes fijas que es “cuando existen sitios puntuales de descargas generalmente continuas de aguas residuales” y originada por fuentes no fijas o difusas que surge “cuando existe una multiplicidad de pequeñas fuentes de descarga, cuyos aportes no son localizados ni continuos, y cuyo acceso a los cursos o cuerpos de agua es por derrame o filtración a través de los suelos” (p.22).

Estos contaminantes traen consigo graves afectaciones a los cuerpos de agua ya que, en muchas ocasiones al no desintegrarse, estos se adhieren en la estructura

de la flora y fauna que habita en el lugar y que en muchas ocasiones es consumida por el ser humano provocando daños a la salud.

De esta manera también se disminuye la disponibilidad de agua para consumo humano ya que resulta aún más difícil dar tratamiento a la misma para que pueda ser utilizada.

A continuación, se presenta la Tabla 2 que muestra las afectaciones que provoca la contaminación del agua en distintos ámbitos.

**Tabla 2. Tipos generales de contaminantes del agua**

<b>Tipo de contaminante</b>	<b>Impacto</b>
Elementos traza	Salud, biota acuática, toxicidad
Metales pesados	Salud, biota acuática, toxicidad
Metales enlazados orgánicamente	Transporte de metales
Radionúclidos	Toxicidad
Contaminantes inorgánicos	Toxicidad, biota acuática
Asbesto	Salud humana
Nutrientes de algas	Eutrofización
Sustancias que dan acidez, alcalinidad, salinidad (en exceso)	Calidad del agua, vida acuática
Contaminantes orgánicos traza	Toxicidad
Medicamentos, anticonceptivos, etc.	Calidad del agua, vida acuática
Bifenilos policlorados	Posibles efectos biológicos
Plaguicidas	Toxicidad, biota acuática, fauna
Residuos de petróleo	Efectos en la fauna, contaminación visual
Alcantarillado, residuos humanos y de animales	Calidad del agua, niveles de oxígeno
Materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno	Calidad del agua, niveles de oxígeno
Patógenos	Efectos en la salud

Adaptado de Introducción a la química ambiental (p.146), por S. E. Manahan, 2007, Reverté.



## Continuación Tabla 2. Tipos generales de contaminantes del agua

Tipo de contaminante	Impacto
Detergentes	Eutrofización, fauna, contaminación visual
Compuestos carcinógenos químicos	Incidencia de cáncer
Sedimentos	Calidad del agua, vida acuática, fauna
Sustancias que dan sabor, olor y color	Calidad del agua, vida acuática, contaminación visual

Adaptado de Introducción a la química ambiental (p.146), por S. E. Manahan, 2007, Reverté.

### 1.4 Tipos de contaminantes

Se tienen diversos tipos de sustancias o materiales los cuales generan contaminación sobre cuerpos de agua, estos materiales son denominados contaminantes; de acuerdo a Mateo (2007) los contaminantes son formas de energía, productos químicos o seres vivos que al encontrarse presentes pueden causar daños.

Según Ramos, Sepúlveda y Villalobos (2005) el agua residual tiene en su contenido dos tipos de contaminantes que de acuerdo a su naturaleza química se dividen en materia orgánica y materia inorgánica. “Las primeras son importantes porque generalmente son compuestos hidrofóbicos con solubilidad escasa en agua, poseen una actividad biológica marcada y son de difícil detección. Las inorgánicas modifican, a bajas concentraciones, el sabor y la dureza, algunas representan riesgos tóxicos” (p.91)

#### 1.4.1 Contaminantes Orgánicos

Los contaminantes orgánicos son definidos por Weinberg (2009) como “sustancias químicas tóxicas que contaminan el medio ambiente en todas las regiones del mundo. Se acumulan en los tejidos del cuerpo de la fauna silvestre y de las

personas, causan discapacidades y enfermedades en los seres humanos y alteran los ecosistemas sensibles” (p.7)

Otros autores indican que “Son compuestos químicos resistentes a la degradación fotolítica, biológica y química. Las propiedades tóxicas de estas sustancias perduran durante largo tiempo en el ambiente y pueden recorrer enormes distancias antes de almacenarse en los tejidos grasos, particularmente en los peces y mamíferos marinos, además de que tienden a concentrarse cada vez más a medida que se transmiten a través de las cadenas tróficas.” (Martínez y Gavilán, 2004, p.5)

Desde la posición de Jiménez (2005) los contaminantes orgánicos se dividen en las siguientes categorías:

- Compuestos naturales que producen olor y sabor
- Compuestos sintéticos de origen industrial que causan olor y sabor o son tóxicos
- Precursores naturales para la obtención de subproductos durante la desinfección
- Subproductos generados por la desinfección

Así también se pueden encontrar detergentes, agroquímicos y orgánicos volátiles por mencionar algunos que dificultan los procesos de tratamiento del agua que contiene estas sustancias debido a que se degradan de forma lenta.

#### 1.4.2 Contaminantes Inorgánicos

Respecto al tipo de contaminantes inorgánicos, el FCEA (2007) sostiene que son “Diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).” (p.1)

Ramos, *et al.* (2005) mencionaron que existe una gran variación de contaminantes inorgánicos que alteran la calidad del agua; éstos provienen de las rocas y minerales que se disuelven al entrar en contacto con el agua. Otro de los factores que provoca el incremento de materia orgánica es la evaporación de agua de los efluentes; es por ello que es necesario determinar la presencia y cantidad de estos materiales en el agua para poder saber si ésta es apta para su uso o no, de acuerdo al que se le pretenda dar.

Algunos aspectos que dichos autores consideran se deben determinar para utilizar el agua respecto a lo expuesto con anterioridad son: “el potencial hidrógeno (pH), alcalinidad, nitrógeno y sus formas, fósforo, azufre, metales pesados, compuestos inorgánicos tóxicos, gases como oxígeno disuelto, metano y ácido sulfhídrico” (p.122).

### **1.5 Efectos de los contaminantes**

Kramer (2006) señaló que aún que los ríos tienen cierta capacidad para asimilar los contaminantes que son vertidos en ellos, en muchas ocasiones debido a la gran cantidad de estos presentes en ellos, se genera la proliferación de algas, bacterias y vida vegetal que propician la eutrofización generando alteraciones al ecosistema. Así también se afecta a la vegetación y a la fauna que habita en el lugar ya que “las mutaciones y esterilidad que provocan en los animales al comer la vegetación que crece sobre estos terrenos contaminados, pueden conducir a la destrucción irreversible de comunidades naturales enteras y a la permanente degradación de los paisajes” (p.153).

Por otro lado, la contaminación por sustancias químicas genera graves consecuencias en los ríos ya que llevan consigo productos tóxicos como son los desechos generados por la industria, minería, ácidos, metales pesados, entre otros. Estas sustancias no solo generan afectaciones en el momento que son introducidas en el ambiente si no que se acumulan en él y dañan al mismo a futuro.

El FCEA (2017) estableció que la contaminación del agua representa serios problemas a nivel ambiental y en materia de salubridad, esto deriva a su vez problemas en los ecosistemas y la salud pública. Así también, las afectaciones que se presentan en los ecosistemas van a depender de las características del contaminante y del valor otorgado al recurso afectado ya sea por su valor económico, ambiental o cultural.

A continuación, se presenta la Tabla 3 que describe las afectaciones que algunos contaminantes generan sobre el agua, así como la fuente de la cual provienen. Es importante señalar que dicha tabla tiene una relación directa entre las actividades que realiza el hombre, las sustancias que son incorporadas como residuos y los efectos negativos que generan en el cuerpo de agua o fase acuosa.

**Tabla 3. Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua**

<b>Contaminantes y procesos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuentes</b>
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua se origina de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.

Adaptado de La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y en el mar (p.11), J. Escobar, 2002, Archivo PDF.

**Continuación Tabla 3. Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua**

<b>Contaminantes y procesos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuentes</b>
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales.	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos generados de la combustión de petróleo. Compuestos orgánicos persistentes como compuestos órgano edtánicos de pinturas antinrustantes.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola.
Químicos traza y compuestos farmacéuticos	Desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidos necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos con disruptores endocrinos y carcinogénicos.	Industria química y farmacia.
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas e inorgánicas, se originan de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.

Adaptado de La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y en el mar (p.11), J. Escobar, 2002, Archivo PDF.

**Continuación Tabla 3. Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua**

<b>Contaminantes y procesos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuentes</b>
Desechos nucleares	Incluye una gama amplia de radio núcleos utilizados en fines pacíficos.	Plantas nucleares, fallout radioactivo, ensayos nucleares, desechos hospitalarios, desechos industriales.
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados, También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecer de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y municipales.

Adaptado de La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y en el mar (p.11), J. Escobar, 2002, Archivo PDF.

Como puede constatarse el tipo de sustancias que muestra la Tabla 3, son de tipo orgánico e inorgánico y todas ellas son vertidas a la fase acuosa (cuerpo de agua natural o aguas residuales) como resultado de las actividades antrópicas que lleva a cabo la sociedad para satisfacer sus necesidades cotidianas.

Sin embargo, a la par de esta satisfacción de necesidades se debe hacer una reflexión de cuáles son los efectos adversos de estas sustancias en la calidad del agua. El origen es diverso, desde residuos municipales, domésticos hasta nucleares; esta heterogeneidad de residuos da al cuerpo de agua contaminada un escenario complicado para tratar de remediar y revertir esta contaminación.

De ahí que sea importante señalar que dependiendo del tipo de contaminantes que se detecten en el cuerpo de agua conlleva a una reflexión profunda por parte de los especialistas para diseñar, ensayar e implementar las propuestas de tratamiento para estos medios acuáticos contaminados por el hombre.

# **CAPÍTULO II**

# **TRATAMIENTOS**

# **DEL AGUA**



Derivado del creciente problema de contaminación del agua, a través del tiempo se han empleado diversas técnicas que contribuyan a la remoción de contaminantes, cada una lleva a cabo distintos procesos en base al tipo de sustancias que se desea remover y a las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo.

En este capítulo se presenta información acerca de los tratamientos otorgados al agua para su descontaminación. Para ello, dicho apartado es dividido en dos partes. La primera consiste en aquellos tratamientos a los que es sometida el agua contaminada comúnmente. La segunda recopila información de aquellos tratamientos que son más avanzados como lo son procesos de oxidación avanzada (POA).

Existen éstas y otras técnicas para el tratamiento del agua, que han surgido a través del tiempo debido a la necesidad de mejorar la calidad del agua para su uso. La elección de alguna de ellas depende del alcance de la investigación, la naturaleza de los contaminantes que se desea remover y las ventajas y desventajas que implica el uso de ésta.

## **2.1 Tratamientos Fisicoquímicos**

Debido a la creciente problemática de la contaminación del agua, es necesario otorgar tratamiento a las aguas residuales emanadas de distintas fuentes con el fin de descontaminar o bien, minimizar los agentes contaminantes que se encuentran presentes en ellas y así evitar posibles repercusiones en el ambiente.

Para ello, a través del tiempo se han generado diversos procesos que pretenden contribuir a este fin, como lo son los procesos fisicoquímicos. Algunos de ellos se describen de manera breve a continuación.

### Coagulación química

De acuerdo a Marín (2013) es un proceso químico donde se desestabilizan coloides y aquellos reactivos químicos fungen como coagulantes para llevarla a cabo.

Así mismo, menciona que las partículas que pueden estar presentes en el agua residual generalmente son menores de  $1,0\ \mu\text{m}$  y su forma puede ser esférica, elíptica, disco y en formas indeterminadas debido a la presencia de microorganismos. Se tienen tres tipos de coloides presentes en líquidos: hidrofóbicos, hidrofílicos y coloides asociados.

“Los dos primeros tipos definen a partículas que son, o bien débil o bien fuertemente atraídas por el agua respectivamente. En cuanto al tercer tipo se trata de aglomeraciones entre partículas coloidales y otras moléculas del tipo de tensoactivos, detergentes y aceites y grasas, que se agregan en forma de micelas.”  
(p.3)

### Precipitación química

Manahan (2007) indicó que la precipitación química es usada para el tratamiento de residuos peligrosos principalmente para eliminar iones de metales pesados en agua.

### Oxidación-Reducción

Este tipo de procesos “Se llevan a cabo entre un agente oxidante y otro reductor e implican intercambio de electrones entre ellos y modificación de sus cargas eléctricas. El agente oxidante se reduce a su vez, con lo que gana electrones o pierde cargas positivas, mientras el agente reductor se oxida perdiendo electrones o ganando cargas positivas” (Marín, 2013, p.39)

## Desinfección

La Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud en 1989 describe que la desinfección es una operación que asegura protección contra el riesgo de infecciones de origen hídrico y este debe aplicarse cuando el agua se encuentra contaminada o no puede garantizarse la calidad de la misma. En la desinfección química del agua los reactivos químicos más comunes son el cloro y el ozono.

## Adsorción

Rodríguez, McLaughlin y Pennock (2019 como se citó en Navarro, Vela y Navarro, 2007) afirman que la adsorción es “un proceso mediante el cual las moléculas de un fluido interactúan con un sólido y son retenidas en el sólido durante un tiempo” (p.40).

Viades (2013) menciona que se tienen dos aspectos a considerar 1) la termodinámica, la cual es el efecto que genera la adsorción sobre la energía interfacial del sistema en equilibrio y 2) la cinética, que es la rapidez del proceso. En la adsorción se tiene un adsorbato el cual es el agente que se pega en la superficie y un adsorbente que es donde se lleva a cabo la adsorción.

## 2.2 Tratamientos Avanzados

Los procesos de oxidación avanzada denominados (POA) son tratamientos utilizados para la descontaminación del agua. Los POA en muchas ocasiones resultan ser tratamientos de costo elevado, sin embargo, se ha demostrado que al ser combinados con procesos biológicos o de adsorción, se tiene mayor eficiencia económica debido al ahorro de energía y productos químicos.

“Los POA se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes, que involucran la

generación y uso de especies poderosas transitorias, principalmente el radical hidroxilo (OH•)” (Monge, Silva y Bengoa, 2018, p.10).

Dichos procesos se clasifican en dos categorías, fotoquímicos y no fotoquímicos.

### 2.2.1 Procesos no fotoquímicos

Los procesos no fotoquímicos hacen uso de distintas formas de energía originando especies muy reactivas; dentro de ellos podemos encontrar los siguientes:

#### Ozonización

Esta es una técnica que cuenta con una gran variedad de aplicaciones dentro de las cuales se encuentran “la desinfección, oxidación de micro contaminantes orgánicos recalcitrantes (fármacos, pesticidas, contaminantes fenólicos, entre otros), oxidación de contaminantes inorgánicos (hierro, manganeso y sulfitos), eliminación de color y sabor, potabilización de aguas y depuración de aguas residuales” (Monge, *et al*, 2018.p.17).

Dicho autor menciona que la eficacia de este proceso depende del tipo de contaminación del agua ya sea química o biológica, así como del tiempo y la concentración a la que se exponga el ozono. Así mismo, el ozono puede otorgar tratamiento a especies químicas que contengan oxígeno, nitrógeno, azufre o fósforo. Esto permite poder transformar ciertas sustancias en especies que pueda ser biodegradadas con mayor facilidad.

#### Oxidación electroquímica

Méndez, Briceño y González (2009) sostienen que es una técnica que permite la eliminación y regeneración de especies ya que utiliza como materia prima un reactivo limpio que consiste en la energía eléctrica o vector de descontaminación ambiental. Este proceso permite tratar una gran variedad de efluentes industriales aun que estos sean altamente tóxicos y es sumamente efectivo en aquellos que tengan bajo grado de biodegradabilidad.

Así también, al ser aplicada en corrientes no biodegradables permite que éstas puedan ser biodegradables y se les pueda aplicar alguna otra técnica de tratamiento biológico.

#### Proceso de Fenton

Rodríguez y Barrera (2020) indican que “La formación de radicales hidroxilos a través de la reacción que ocurre entre iones ferroso y peróxido de hidrógeno. Los radicales formados, tienen un elevado potencial de oxidación y pueden atacar sustratos orgánicos e inducir efectos como la desmineralización, desfenolización, decoloración, desintoxicación y la eliminación de DQO en aguas residuales.” (p.201).

Generalmente este proceso es utilizado en la industria, por ello se presenta a continuación la Tabla 4 Ejemplos de aplicación del proceso de Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales, que muestra algunos ejemplos del proceso.

**Tabla 4. Ejemplos de aplicación del proceso de Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales.**

Industria	Tipo de agua residual
Textil	Del procesamiento textil, conteniendo principalmente colorantes y agentes de lixiviación (W. Bae, H, 2015)
Petroquímica	De la refinería de petróleo, compuestos fenólicos. (USP technologies, 2015 y US Peroxide LLC, 2009)
Química	Contenido en compuestos fenólicos (US Peroxide, LLC 2009)
Maderera	De las instalaciones de tratamiento de madera, fenoles, naftoles y cresoles. (US Peroxide, LLC, 2009)

Adaptado de Manual técnico de procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales, (p.36-37), por S. Monge et al., 2018, Archivo PDF.

**Continuación Tabla 4. Ejemplos de aplicación del proceso de Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales.**

Industria	Tipo de agua residual
Aeronáutica	De la pintura, trazado de líneas y mantenimiento de aeronaves, cloruro de metileno, pentaclorofenol y nitrofenoles. (US Peroxide, LLC, 2009)
Producción de aceite de oliva	De almazaras, compuestos fenólicos y alto pH debido al uso de soda cáustica para la limpieza de la maquinaria (N. Amaral-Silva, 2016)
Producción de detergentes	Del proceso, con gran cantidad de sólidos suspendidos totales y surfactantes (R.C. Martins, 2011)

Adaptado de Manual técnico de procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales, (p.36-37), por S. Monge et al., 2018, Archivo PDF.

### 2.2.2 Procesos fotoquímicos

Algunos de los procesos fotoquímicos usados en la depuración de aguas residuales son los siguientes:

#### Ultravioleta de vacío

Torres (2014) declara que la radiación ultravioleta de vacío (UVV) es usada en contaminantes de aguas y corrientes de aire con alto contenido de humedad, para compuestos que son difíciles de oxidar. El proceso aprovecha la radiación de longitud de onda menor a 190 nm. Esto provoca que la excitación con estas longitudes, degrade la materia orgánica en fase condensada y gaseosa.

#### Fotocatálisis

Bermejo (2018) sostiene que “La fotocatalisis es una reacción fotoquímica que convierte la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador, consiste en un material semiconductor que acelera la velocidad de reacción.

Por medio de la fotocatalisis se puede eliminar la mayor parte de los contaminantes presentes en las zonas urbanas: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, compuestos orgánicos volátiles (VOCs), CO, metil mercaptano, formaldehido, compuestos orgánicos clorados, compuestos polis aromáticos, entre otros.” (p.7)

**CAPÍTULO III**

**PRESA JOSÉ**

**ANTONIO ALZATE**



El presente capítulo aborda información acerca de la presa José Antonio Alzate, en él se encuentran datos acerca del año y propósito de su edificación, así como las problemáticas que desde tiempo atrás y hasta ahora se han presentado en ella

Así también, se describen algunos de los aspectos sociales y económicos que caracterizan a la localidad de Tlachaloya Primera Sección, una de las localidades en las que se encuentra presente este cuerpo de agua.

### **3.1 Delimitación de la presa José Antonio Alzate**

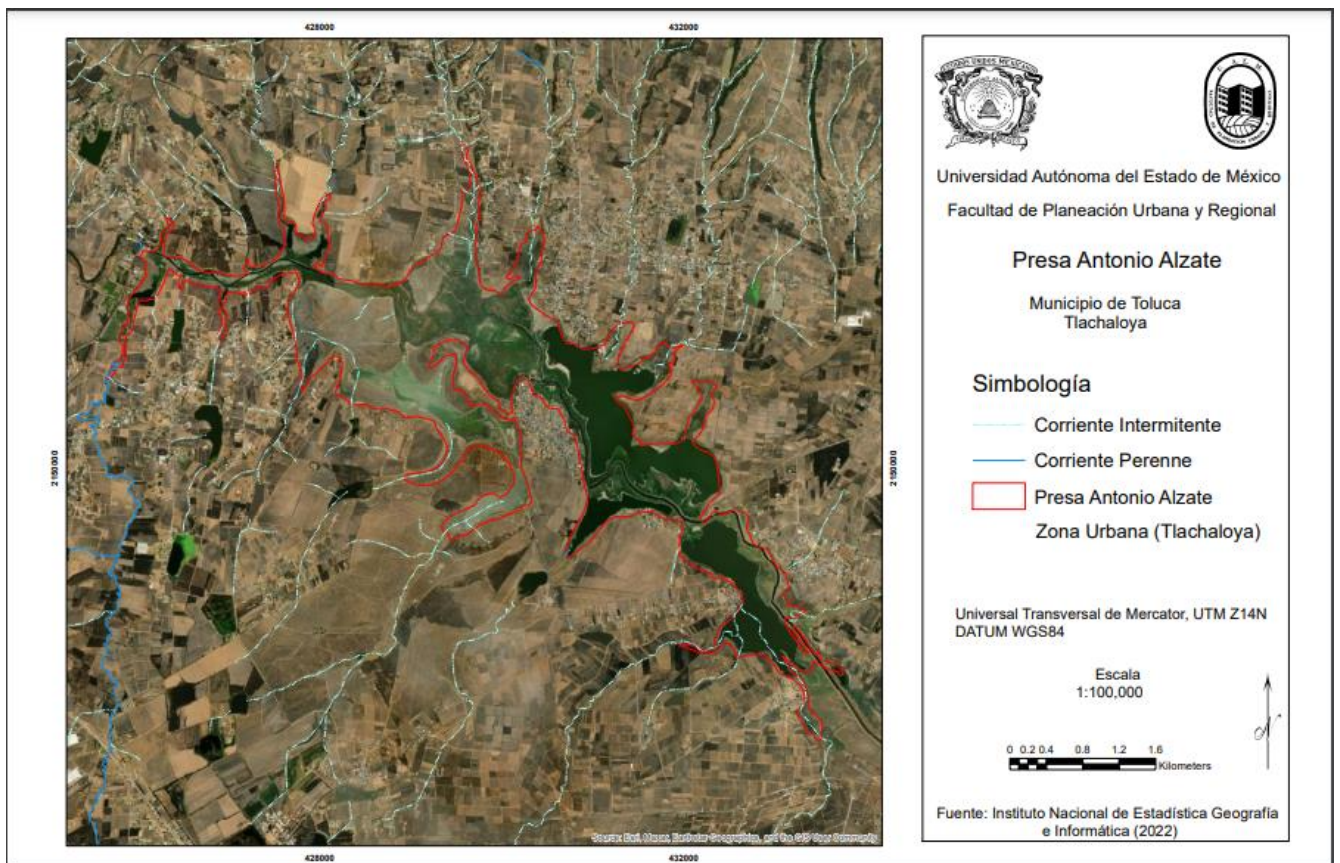
En un plan de manejo emitido por la Comisión estatal de Parques Naturales y la Fauna (CEPANAF,2006) se menciona que la presa Alzate se encuentra dentro de la Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate la cual se ubica en el centro-norte de la Cuenca Alta del Río Lerma en el estado de México donde principalmente se ubican los municipios de Toluca, Temoaya y Jiquipilco. Ésta limita al norte con la Subcuenca Tributaria Arrollo Sila, al sur con las Lagunas de Chignahuapan, al este con la del Río Mayorazgo y al oeste con la Subcuenca Arroyo Almoloya y Afluentes del curso medio del río Lerma.

En lo que corresponde al municipio de Toluca, Garrido y García (1997) declaran que la presa José Antonio Alzate se encuentra aproximadamente a unos 30 km aguas abajo del puente Toluca-México que es el sitio de descargas principales del corredor industrial Toluca-Lerma. Se estima que un 50% del influente a la presa no es tratado previamente esto se compone de aguas residuales domesticas e industriales, propiciando así una calidad deficiente del agua en dicha presa.

Derivado de lo anterior, aquellos asentamientos que se encuentran en mayor contacto con este sitio se encuentran siendo afectados debido a la mala calidad que presenta el agua de la presa. Ejemplo de un lugar que no se encuentra ajeno a esta situación es la localidad de Tlachaloya Primera Sección ubicada al norte del municipio de Toluca la cual se encuentra dividida por la presa José Antonio Alzate

propiciando así que ésta cuente con dos secciones. La ubicación de la presa se muestra en la Figura 2 que corresponde al mapa de ubicación.

En dicho mapa se pueden visualizar las zonas urbanas que están ubicadas de manera colindante a la presa. Si se toma como referencia el Norte del mapa; el cauce que abastece la presa viene del Sur (interpretándose que es el conducto que constituye parte del Río Lerma y llega a la presa), tocando de manera aleadaña pequeñas zonas urbanas.



**Figura 2. Mapa de ubicación de la presa José Antonio Alzate**

### **3.2 Descripción de las Condiciones Sociales y Económicas de la localidad de Tlachaloya Primera Sección**

La Localidad de Tlachaloya Primera Sección cuenta con “4, 898.74 hectáreas, que representan el 11.66% de la superficie total del Municipio” (H. Ayuntamiento de Toluca, 2011, p.7).

Limita con los municipios de Temoaya y Almoloya de Juárez y su nombre proviene del náhuatl Tlachaloyan que significa “lugar desde donde se mira” debido a la presencia de su cuerpo de agua que tiempo atrás era un lugar de hermosa vista y lleno de vida.

Como expresa Arzate, Flores y Yépez (2020) en 1698 Tlachaloya aparece en documentos oficiales como uno de los cinco pueblos otomí del corregimiento de Toluca.

INEGI reportó en el censo realizado en el año 2010 que en Tlachaloya se tenía una población total de 3,563 habitantes y que de estos 1,781 eran hombres mientras que los 1,782 restantes eran pertenecientes al sexo femenino; 2052 de la población son adultos y 178 son mayores de 60 años. Sobre acceso al seguro social disponen 1926 habitantes.

Así también se contaba con 706 viviendas particulares habitadas de las cuales “35 consisten de un cuarto solo y 15 tienen piso de tierra” (mipueblo.mx, 2010, p.1).

De acuerdo a INEGI (2010) del total de viviendas 668 tenían instalaciones sanitarias fijas y 639 se encontraban conectadas a la red pública. Con luz eléctrica disponían 702 viviendas y 57 hogares contaban con una o más computadora mientras que, 296 tenían una lavadora y 656 disfruta de una o más televisiones propias.

El grado de rezago social “es considerado como bajo” de acuerdo a SEDESOL (2013, p.1).

Respecto a la escolaridad “245 personas entre los 15 y 20 años de edad no acudieron a la escuela, sin embargo, solo 202 no saben leer ni escribir bien. (...) Así el tiempo medio en cual un habitante visita la escuela resulta en 7 años” (mipueblo.mx, 2010, p.1).

El uso de suelo “predominantemente es la agrícola, con un 97.25%, cultivando principalmente maíz.” (Machicao,2013, p.21)

Dentro de las actividades productivas que se desarrollan en la localidad se encuentra la agricultura, la ganadería, y la separación y quema de cable y otros residuos para por medio de ellos poder obtener otros subproductos que puedan comercializar. Esta última actividad teniendo en cuenta a Machiacao (2013) tuvo su auge a partir del año 2000.

### **3.3 Problemática de la presa José Antonio Alzate**

La edificación de presas a través del tiempo ha sido símbolo de prestigio y modernidad, además representan beneficios para las comunidades que se encuentran asentadas en las zonas cercanas a éstas; sin embargo, también en algunos casos traen consigo diversas afectaciones.

Un ejemplo de esta situación se encuentra en la comunidad de Tlachaloya perteneciente al municipio de Toluca ya que, como argumenta Arzate, *et al.* (2020) inicialmente este pueblo otomí se asentó a orillas del cauce del río Lerma, que tiempo atrás transportaba agua limpia y cristalina lo cual propiciaba la proliferación de peces, aves, vegetación lacustre y la humedad que proporcionaba el río en parcelas aledañas permitía el cultivo de maíz, frijol y calabaza. Propiciando así las condiciones necesarias para el desarrollo de dicha comunidad en donde se dedicaban a la agricultura, la pesca, la recolección y la caza.

Sin embargo, fue en el año 1962 cuando por medio de un decreto presidencial se construyó la presa José Antonio Alzate primer embalse que concentraría agua del río Lerma y traería consigo beneficios económicos.

De acuerdo a Rosas, Barceló, Bussy y López (2010) la presa Alzate fue construida como control de avenidas y para el aprovechamiento del río Lerma y con el fin de evitar desbordamientos del río en época de lluvias, así como para almacenar agua de riego agrícola.

Por su parte, Alonso (2008) mencionó que la presa se construyó en la década de los setenta para albergar una capacidad de 33.5 millones de m<sup>3</sup> de agua y cuenta con una dimensión de 5 mil 146 km<sup>2</sup> con una longitud de cauce de 177 km y que de acuerdo a estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se asegura que esta presa es el cuerpo de agua más contaminado del Estado de México ya que recibe aguas residuales de 2,500 industrias debido a que es alimentada por el cauce del río Lerma.

Esto debido a la creación de diversos parques industriales que dirigen sus aguas residuales al cauce de este río causando una gran problemática en materia de contaminación del agua lo que provocó que las condiciones iniciales por las que se asentó a sus orillas la comunidad de Tlachaloya desaparecieran, ya que sostiene Arzate, *et al.* (2020) del medio lacustre obtenían ranas, peces, acociles, patos silvestres, quelites, malvas, quintoniles, nabos, vinagreras, papas de agua, entre otros alimentos que formaban parte de su dieta diaria, pero debido a que ya no se tienen las condiciones para la proliferación de estas especies, ahora la comunidad tiene la necesidad de adquirir éstos y otros alimentos para su consumo.

A causa de ello, la forma de vida cambió drásticamente ya que, al ahora tener que destinar una remuneración económica para poder subsistir, las actividades económicas a las que se dedicaban pasaron a segundo plano y fue entonces cuando hombres y mujeres se vieron obligados a salir a zonas externas de la comunidad para emplearse como trabajadoras domésticas, obreros, trabajos de construcción, etc.

Además, las aguas residuales que son descargadas López, Barceló, Solís, Bussy y Ávila (2008) señalan que contienen nutrientes que estimulan el crecimiento de vegetales acuáticos propiciando así a la eutrofización, lo cual puede contener o acumular compuestos tóxicos que atribuyen aún más a los problemas ambientales y de salud.

De hecho, “recibe descargas de aguas negras sin ningún tratamiento previo y aguas pluviales aportadas tanto por el río Lerma y demás escurrimientos tributarios” (Oso Ingeniería S.A. de C.V., 2012, p.11).

A pesar de ello, otros autores aseveran que “Es empleada como reserva de agua para irrigación durante los meses de noviembre a abril y como depósito vacío para el control de inundaciones durante los meses de mayo a octubre. Maneja un caudal que fluctúa entre los 2 m<sup>3</sup>/s en época de estiaje y los 40 m<sup>3</sup>/s en época de lluvias. “(Rosas, et al., 2010, p.114)

Respecto a la presencia de metales García, Díaz, Quentin, Ávila, Tejeda, y Zarazúa (2007) argumentan que la mayor concentración de cobre se encuentra en la zona Este de la presa mientras que el zinc y plomo se ubican hacia la parte Norte y Este de la misma; el magnesio, titanio y fierro se acumulan al Sur.

Y derivado de la presencia de estos metales “Se ha modificado la temperatura hasta en tres grados centígrados; también la concentración de sales, minerales, oxígeno y pH (potencial de hidrógeno) del agua, así como del sedimento, ocasionando la extinción de especies animales y vegetales como el plancton, el neuston, los bentos y el neuston, encargado de limpiar el agua de forma natural.” (Alvarado, 2008, p.1)

Aunado a lo anterior, mediante visita de campo se pueden observar depósitos de basura en el perímetro y dentro de la zona. En el año 2011 el H. Ayuntamiento de Toluca reportó en un Atlas de Riesgo realizado, que el tiradero de mayor consideración se encontraba entre la calle Miguel Hidalgo el cual propiciaba la contaminación de aguas y tierras y representaba un foco de infección para la población.

Esta situación también ha propiciado que el transporte en lancha se vea afectado ya que este medio es usado para llegar a Tlachaloya Segunda Sección la cual se encuentra hacia el otro extremo de la presa, de esta manera el atravesar en lancha para poder llegar a este sitio resulta ser más rápido a diferencia de tener que llegar por medio de transporte terrestre y tener que rodear la zona pasando por otros poblados, lo que implica inversión de mayor tiempo. Sin embargo, debido a los depósitos de basura, esta actividad ya no resulta del todo agradable para la población ya que como revela González (2021) en una entrevista realizada a uno de los lugareños quien menciona textualmente que “desde hace tiempo cruzar en

lancha ya no es posible, se juntan botes de pet, bolsas de plástico, flota de todo, hasta animales putrefactos” (p.1).

Derivado de los escenarios planteados anteriormente, se han presentado problemas de salud en la población, desde el punto de vista de Arzate, *et al.* (2020) se padece de enfermedades respiratorias, problemas en la piel y ojos, enfermedades gastrointestinales e incluso hay quienes afirman problemas de cáncer.

Esta problemática ha prevalecido a lo largo del tiempo y al paso del mismo ha ido en incrementó. Es por ello que se han tratado de llevar a cabo algunas acciones al alcance de la población para poder mitigarla sin embargo, no se ha tenido éxito en las mismas; tal es el caso de jornadas de limpieza que se han llevado a cabo para poder remover los desechos sólidos presentes pero como se menciona no han sido efectivos debido a la falta de participación de los pobladores y a que se menciona, las autoridades correspondientes no han llevado a cabo acciones que contribuyan a contrarrestar dicha situación; esto en correspondencia con lo mencionado por González (2021) en entrevista con los lugareños “Nadie hace nada por mejorar las condiciones, y la verdad, ya es una cochinateda esta laguna o presa, como le llamen. Siempre huele mal, da mal aspecto a la comunidad, pero gente que gobierna va y viene, nos prometen cosas, pero nadie cumple. Nosotros tampoco participamos” (p.1).

**CAPÍTULO IV**  
**LEGISLACIÓN**  
**AMBIENTAL EN**  
**MATERIA DE**  
**CALIDAD DEL**  
**AGUA**



Este capítulo se encuentra dividido en tres secciones; en la primera se puede encontrar un panorama general de las Normas Oficiales Mexicanas acerca de la calidad del agua y un esbozo breve del contenido de las mismas.

En el segundo apartado se definen algunos parámetros fisicoquímicos considerados en las normas descritas con anterioridad. Y por último se muestra información acerca de la actividad económica que realizan algunas de las empresas de los parques industriales del municipio de Lerma; así como también la relación de los parámetros fisicoquímicos que serán considerados para el caso de esta investigación derivado de las actividades que llevan a cabo dichas empresas.

#### **4.1. Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del Agua**

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Esta norma tiene como objetivo proteger la calidad del agua en el territorio mexicano a fin de que ésta pueda ser empleada en distintos usos. Para ello debe ser aplicada obligatoriamente a aquellos actores que realizan la descarga de aguas residuales.

Para llevar a cabo la aplicación de esta norma, en ella se señalan aspectos tales como el número de muestras y cada cuanto éstas deben ser tomadas. También se mencionan especificaciones donde se incluyen los valores que deben ser considerados como límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados, cianuros, coliformes fecales y parásitos presentes en ríos (uso en riego agrícola, uso público urbano, protección de vida acuática), embalses naturales y artificiales (uso en riego agrícola, uso en público urbano), aguas costeras (explotación pesquera, navegación y otros usos, recreación, estuarios), suelo (uso en riego agrícola, humedales naturales).

Los responsables de descargas municipales deben cumplir de manera gradual y progresiva con la norma de acuerdo a los rangos de población que se señalan en

ella. Por su parte los responsables de descargas no municipales deben basarse en la carga contaminante expresada en demanda bioquímica de oxígeno o sólidos suspendidos totales.

En el caso de que las descargas ya sea municipales o no, rebasen los límites máximos permisibles correspondientes, los responsables de su emanación deben presentar un programa de acción u obras que permita llevar a cabo el control y disminución de contaminantes presentes en las mismas; dicho programa deberá ser presentando a la Comisión Nacional del Agua.

Así mismo el responsable de la descarga de aguas residuales llevará a cabo un monitoreo mensual, trimestral o semestral de acuerdo a los parámetros que le correspondan para verificar que estas descargas se encuentren dentro de los valores permitidos.

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

El objetivo de la presente norma es prevenir y controlar la contaminación de las aguas nacionales y proteger la infraestructura de estos sistemas; y es aplicada a aquellos responsables de emanar aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Para poder determinar el valor de los parámetros en este tipo de descargas se menciona la frecuencia en que debe ser llevado a cabo el muestreo considerando las horas por día en las que opera el proceso generador de descargas, el número de muestras simples y el intervalo en que deben ser tomadas.

Los límites máximos permisibles en este tipo de descargas se establecen en promedio mensual y diario en miligramos por litro y los parámetros que se manejan son grasas y aceites, sólidos sedimentables (éstos en mililitros por litro), arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y zinc. No debe

ser permitida la descarga de materiales o residuos peligrosos en los sistemas de alcantarillado.

Aquellos responsables de las descargas están obligados a realizar los análisis técnicos de las mismas para determinar el promedio diario o mensual y verificar estén dentro del rango de límites que manifiesta la NOM. Así también estos registros deben ser conservados por lo menos de tres años anteriores a la toma de muestras actual.

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

Esta NOM tiene como objetivo proteger el medio ambiente y la salud de la población por lo que es de carácter obligatorio para las entidades públicas que son responsables de su tratamiento y reúso. Si el servicio al público lo otorgan terceros ésta será aplicable para ellos desde la producción, reúso, conducción y transporte.

Contiene los límites máximos permisibles en los tipos de reúso de servicios al público con contacto directo y servicios al público con contacto indirecto u ocasional. Los parámetros que se marcan son coliformes fecales, huevos de helminto, grasas y aceites, DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica) y SST (Sólidos Suspendidos Totales).

Las entidades públicas responsables del tratamiento de aguas residuales están sujetos a llevar a cabo el monitoreo del tratamiento de las aguas y asegurar se encuentren dentro del rango de los límites permitidos. Se deben conservar los registros de los últimos tres años en caso de que esta información sea requerida.

También se menciona la cantidad de muestreos que deben ser llevados a cabo para la determinación de coliformes fecales, huevos de helminto y metales pesados y cianuros en días representativos mensualmente.

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

Dicha Norma es aplicada en todo el territorio nacional para aquellos sistemas de abastecimiento ya sea públicos o privados y toda persona física o moral que la distribuya.

Establece los límites permisibles respecto a características microbiológicas dentro de las cuales se encuentra el parámetro de organismos coliformes fecales y E. coli. También se encuentran las características físicas y organolépticas que abarca los límites de color, olor y sabor, así como turbiedad.

Por su parte, en las características químicas podemos encontrar diversos parámetros, algunos de ellos son aluminio, cianuros, cromo, fierro, manganeso, potencial de hidrógeno, plaguicidas, metoxicloro, sulfatos, zinc, entre otros.

Respecto a las características radioactivas se encuentra la radiactividad alfa global y la radiactividad beta global.

También establece los tratamientos específicos que deben de ser aplicados para la potabilización del agua de acuerdo a su contaminación por las características y parámetros mencionados con anterioridad.

En este caso se menciona que los métodos de prueba bajo la responsabilidad de los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento para uso y consumo humano y estos métodos deben ser aprobados por la autoridad competente; a diferencia de las NOM mencionadas con anterioridad que marcan diversas Normas Mexicanas (NMX) donde se menciona de manera puntual cómo deben llevarse a cabo dichos métodos.

## **4.2. Parámetros fisicoquímicos a considerar en el estudio de la calidad del agua de la presa José Antonio Alzate**

En la opinión de Bautista (2015) las empresas de acuerdo a su actividad o giro se clasifican en: industriales, comerciales y de servicios. Las primeras se dedican a la producción de bienes por medio de la transformación y extracción de materias primas. Las empresas comerciales tienen como función principal la compra-venta de productos que han sido terminados. Y por último las de servicio como bien lo dicen, su función es prestar algún servicio ya sea con o sin fines lucrativos.

Tomando en cuenta lo anterior y en base a la información presentada en la página web del municipio de Lerma, se han podido conocer las actividades que llevan a cabo algunas empresas; de esta manera se han agrupado de la siguiente manera.

- Empresas industriales. De acuerdo a la información recopilada, las actividades realizadas por las empresas son más afines a esta categoría. De esta manera podemos encontrar empresas dedicadas a la rama de:

### a) Alimentos

En este apartado se pueden encontrar empresas que realizan funciones como producción de capsulas de gelatina blanda, fabricación de saborizantes y colorantes, elaboración de productos lácteos y pan, así como sus derivados.

### b) Automotriz

Llevan a cabo la manufactura, compra, venta y reparación de equipo para la industria del mantenimiento automotriz, así como la producción de autopartes.

### c) Bebidas

Se pueden encontrar empresas principalmente dedicadas a la distribución de bebidas, producción y fabricación o envasado de ron y otras bebidas destiladas.

### d) Calzado

Fabricación de casquillo para zapato de seguridad.

e) Ensamble

Realizan actividades como la fabricación de equipo de bombeo, fabricación y ensamble de andamios y pararrayos, así como ensamble de cinturones de seguridad.

f) Electrónica

Se lleva a cabo la fabricación de material y accesorios eléctricos, fabricación de plantas de luz, toda clase de lámparas y otros varios.

g) Higiene personal

De manera general las empresas de este tipo realizan la elaboración de productos de perfumería y productos de belleza.

h) Imprenta

Se ejecutan actividades como imprenta y encuadernación de artículos de papelería, decoración y pintado de botellas de vidrio, impresión de playeras, impresión en serigrafía y todo tipo de publicidad.

i) Mobiliario y equipo

Fabricación, almacenaje, distribución e instalación y venta de toda clase de muebles de madera y plástico.

j) Papel

Las principales actividades que se realizan son fabricación y transportación de papel.

k) Pinturas

Generalmente se lleva a cabo la fabricación de pinturas e impermeabilizantes.

#### l) Plásticos

Se ejecutan actividades como la fabricación y comercialización de productos de polietileno, la fabricación de molduras y tapas de plástico para perfumería y cosméticos.

#### m) Químicas

Las actividades que se realizan son generalmente elaboración de productos aromático, fabricación y formulación de plaguicidas y medicamentos, elaboración y distribución de productos químicos y materias primas para la industria de la cosmetología.

#### n) Textiles

Se ejecuta la fabricación de telas de punto, corte y confección de ropa íntima y otras prendas de vestir, fabricación, compra, venta, distribución, importación y exportación de hilados y tejidos, telas para tapicería automotriz, fabricación de hilos de algodón y fibras sintéticas.

- Empresas comerciales:

De manera jerárquica, en segundo lugar podemos encontrar empresas de giro comercial dentro de las cuales se realizan actividades como compra y venta de productos agropecuarios, la comercialización de refacciones y motores de combustión interna a diésel, compra venta de artículos para mascotas, acuarios y de madera aserrada, distribución de insumos industriales, limpiadores y lubricantes, compra venta de gasolinas, diésel, aceites, aditivos y lubricantes así como la comercialización de juguetes.

- Empresas de servicio:

Por último, tenemos empresas de servicio que fungen como bodega de impermeabilizantes y pintura, bodega de producto base agua, ofrecen servicios de mantenimiento de hornos industriales, taller mecánico y hojalatería y pintura, oficinas y bodega para productos fitosanitarios, comercio al por mayor de ropa,

tratamiento de residuos hospitalarios, biológicos y medicamentos caducos urbanos e industriales.

De esta manera con base a la información recopilada y presentada en capítulos anteriores, se ha adjudicado parte de la contaminación del agua de la presa Alzate a la mala calidad de las aguas que la alimentan debido a que al cauce de la misma se vierten aguas residuales de origen industrial y municipal. Es por ello que tomando como referencia la información mostrada anteriormente, los parámetros fisicoquímicos que se consideran necesarios para el estudio de la calidad del agua de dicha zona son los siguientes:

- 1.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- 2.-Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- 3.- Metales pesados
- 4.- Grasas y aceites
- 5.- Potencial de Hidrógeno (pH)
- 6.- Temperatura
- 7.- Oxígeno disuelto
- 8.- Coliformes Fecales



# **CAPÍTULO V**

# **RESULTADOS**

En este capítulo se encuentran los resultados obtenidos a través de la recopilación de información, recorrido de campo y pruebas de laboratorio realizadas en la zona del río Lerma y la presa José Antonio Alzate donde se obtuvieron datos acerca de la actividad antrópica que en estos sitios se realiza y las repercusiones que estas actividades generan en nuestra zona de estudio. Así también, fue posible obtener parámetros fisicoquímicos que permitieron poder determinar el estado de la calidad del agua de la presa.

### **5.1 Caracterización de las actividades antrópicas realizadas en zonas aledañas al cauce que alimenta a la presa José Antonio Alzate**

Para poder delimitar la zona de estudio fue tomado como base el plan de manejo publicado en 2006 por la Comisión estatal de Parques Naturales y la Fauna (CEPANAF) el cual menciona que dicha presa pertenece a la Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate ubicada en el centro-norte de la Cuenca Alta del río Lerma donde a su vez se ubican el municipio de Temoaya, Toluca y Jiquipilco. Sus límites hacia el norte son con la Subcuenca Tributaria Arrollo Sila, al sur encontramos las Lagunas de Chignahuapan, al este el Río Mayorazgo y al oeste la Subcuenca Arroyo Almoloya y afluentes del curso medio del río Lerma.

Mediante recorrido de campo se pudo ratificar que el cauce de la Presa José Antonio Alzate es abastecido por el río Lerma, es por ello que en base a lo observado y a los resultados de estudios mencionados en capítulos anteriores, se prevé que el agua que es transportada es de mala calidad.

A través de la información bibliográfica que ha sido recopilada y el recorrido de campo realizado, fue posible constatar las actividades antrópicas que se realizan diariamente en los parques industriales ubicados en algunos de los municipios por los que atraviesa el cauce del río Lerma. Dicha información puede observarse en la Tabla 5.

**Tabla 5. Prácticas laborales realizadas en zonas aledañas al cauce del río Lerma**

<b>Municipio o Localidad</b>	<b>Giro laboral</b>	<b>Número</b>
Lerma	Alimentos	10
	Calzado	5
	Conservadores	3
	Cosméticos y Perfumes	5
	Elaboración Azúcar	3
	Fabricación Plásticos	5
	Fabricación de Papel	5
	Fabricación de Vidrio	1
	Fabricación Pesticidas	2
	Fabricación de Productos Químicos Orgánicos	5
	Fabricación de Resinas	2
	Farmacéuticas	5
	Metal Mecánica	10
	Textil	15
San Mateo Atenco	Adhesivos	1
	Alimentos	3
	Bebidas Alcohólicas	1
	Concreto	2
	Cosméticos	1
	Fabricación de Plásticos	3
	Farmacéuticos	1
	Metal Mecánica	7
	Textiles	4
Toluca	Alimentos	10
	Bebidas Azucaradas	3
	Bebidas Alcohólicas	3
	Fabricación de Plásticos	7
	Fabricación de jabones	3
	Fabricación de Papel	4
	Farmacéuticas	4
	Fábrica de Cobre	1
	Fábrica de Aluminio	1
	Metal Mecánico	12

Elaboración propia del autor, 2022

**Continuación Tabla 5. Prácticas laborales realizadas en zonas aledañas al cauce del Río Lerma**

Zona o área recorrida	Giro laboral	Número
Toluca	Pieles	5
	Pigmentos	3
	Productos Químicos	10
	Textil	10
Tlachaloya	Agrícola	n/a
	Comercial	n/a
	Ganadera	n/a

Elaboración propia del autor, 2022

De acuerdo a la información presentada en la tabla anterior es posible apreciar las distintas actividades que se llevan a cabo en Lerma, San Mateo Atenco, y Toluca, municipios del Estado de México por donde cursa el cauce del río Lerma. Dentro de estas, se pueden observar distintos giros destacando en número aquellas actividades en donde se lleva a cabo elaboraciones textiles, metal mecánico, alimentos, fabricación de plásticos, farmacéuticos y fabricación de papel.

Por su parte, en la localidad de Tlachaloya se pueden encontrar actividades agrícolas, ganaderas y comerciales en las cuales no fue posible colocar el número correspondiente debido a la poca información documentada que no permitió estimar el número de propietarios que brindan estas actividades. Respecto a la actividad agrícola debemos considerar el insumo de fertilizantes y pesticidas que a su vez generan residuos derivados de las distintas actividades que se llevan a cabo con ellos; mientras que la actividad ganadera usualmente emplea complementos alimenticios que también generan residuos derivados de los mismos.

Por último, respecto a la actividad de comercio cabe señalar que aun que solo son de distribución de productos, en este proceso también se propician residuos que generan impacto. Recordando que en la localidad gran parte de la población se dedica a la recolección, destajo, venta y distribución de subproductos derivados de aparatos electrónicos y domésticos.

## 5.2 Insumos utilizados en la ejecución de las actividades antrópicas aledañas al río Lerma

Para el estudio de los insumos es importante considerar que dichas sustancias son de dos tipos:

- 1) Tipo orgánico: estructura a base de carbono y con compuestos de distinta estructura y complejidad
- 2) ) Tipo inorgánico: considerados fertilizantes, sales, y ácidos.

En la Tabla 6 se ejemplifica la relación de los suministros que son mayormente utilizados en cada giro laboral indicado en la Tabla 5.

**Tabla 6. Suministros utilizados por giro laboral**

<b>Giro laboral</b>	<b>Suministros</b>
Alimentos	Conservadores
	Colorante
	Microorganismo
	Nitratos
	Sulfatos
	Bases
Adhesivos	Polímeros
	Catalizadores metálicos
Agrícola	Fosfatos
	Nitratos
	Sulfatos
Bebidas Alcohólicas	Sacarosa
	Ácidos orgánicos
	Sales de calcio
Bebidas Azucaradas	Azúcar
Concreto	Dispersiones de acrilato y resinas de acrilato
	Condensado de naftalina-formaldehído y éter policarboxilado
Conservadores	Sales
	Sulfatos
	Nitratos

Elaboración propia del autor, 2022

**Continuación Tabla 6. Suministros utilizados por giro laboral**

<b>Giro laboral</b>	<b>Suministros</b>
Conservadores	Fosfatos
	Compuestos orgánicos
Cosméticos y Perfumes	Compuestos orgánicos lineales y aromáticos
	Catalizadores
Calzado	Pegamentos
	Colorantes
Farmacéuticos	Compuestos orgánicos lineales
	Aromáticos
	Catalizadores metálicos
Fabricación de Plásticos	Polímeros
	Catalizadores metálicos
Fabricación de Pesticidas	Compuestos orgánicos lineales y aromáticos
	Catalizadores
Fabricación de vidrio	Zeolitas
	Carbonato de calcio
	Sales de boro
	silicio
	vanadio
Fabricación de Papel	Sosa
	Cloro
	Ácido sulfúrico
	Resinas
	Sulfuro de hidrógeno
	Zeolitas
	Carbonato de calcio
	Sales de boro
	Silicio
	Vanadio
Fabricación de Productos Químicos Orgánicos	Compuestos orgánicos lineales y aromáticos
	Catalizadores
	Ácidos
	Bases
	Sales
Fabricación de Resinas	Polímeros
	Catalizadores
Fabricación de Cobre	Cobre

Elaboración propia del autor, 2022

**Continuación Tabla 6. Suministros utilizados por giro laboral**

<b>Giro laboral</b>	<b>Suministros</b>
Fabricación de jabones	Sales
	Compuestos orgánicos
	Ácidos y bases
Fabricación de Aluminio	Aluminio
Ganadera	Complementos alimenticios para ganado
Metal Mecánica	Metales
	Sales
Pieles	Cromo
	Bases
	Ácidos
Pigmentos	Compuestos orgánicos
	Metales
Textiles	Colorantes
	Pigmentos
	Pegamentos

Elaboración propia del autor, 2022

La Tabla 6 permite observar que los suministros utilizados en la ejecución de las actividades antrópicas son de gran variedad y que, al ser utilizados en los diversos procesos de producción, estos son susceptibles a recibir transformaciones químicas que derivan nuevos compuestos químicos que habitualmente son dispersados como residuo en las aguas residuales. En algunos casos son solo algunas empresas quienes emplean un proceso de tratamiento previo para favorecer la remoción de contaminantes antes de realizar la descarga de aguas residuales en los cauces que colindan con el río Lerma.

### **5.3 Alteraciones en la calidad del agua derivadas de la transferencia de elementos no naturales en su composición**

En este apartado se examinó la naturaleza química de los residuos que se generan a través de los procesos de producción y cómo éstos impactan la calidad del agua cuando se transfieren a ella. Para ello, se llevó a cabo la elaboración de la Tabla 7

donde la información se presenta agrupada de manera general en base a las características de los compuestos residuales.

**Tabla 7. Efectos en la calidad del agua derivados de la transferencia de sustancias contaminantes**

<b>Analito</b>	<b>Origen del analito</b>	<b>Alteración de parámetros fisicoquímicos</b>
Compuestos Orgánicos lineales	Residuos por limpieza de reactor	Alteración en la DBO <sub>5</sub>
Compuestos Orgánicos Aromáticos	Residuos por limpieza de reactor	Alteración en la DQO
Sales de Metales	Residuos por limpieza de reactor	Altas concentraciones de metales pueden exceder los límites máximos permisibles en las NOM
Catalizadores	Residuos por limpieza de reactor	Altas concentraciones de metales pueden exceder los límites máximos permisibles en las NOM
Metales	Residuos por limpieza de reactor	Altas concentraciones de metales pueden exceder los límites máximos permisibles en las NOM
Ácidos Orgánicos	Residuos por limpieza de reactor	En base a la estructura se afecta a la DBO <sub>5</sub> y DQO
Jabones y detergentes	Residuos por limpieza de reactor	Evitan la oxigenación (O <sub>2</sub> ) al agua y retardan la oxidación de compuestos orgánicos sencillos
Bases y Ácidos inorgánicos	Residuos por limpieza de reactor	Alteración en el pH
Colorantes y Pigmentos	Residuos por limpieza de reactor	Afectan a la DBO <sub>5</sub> y DQO. Otorgan color al agua residual
Polímeros	Residuos por limpieza de reactor	Afectan a la DBO <sub>5</sub> y DQO
Azúcar (Glucosa y Sacarosa)	Residuos por limpieza de reactor y residuo urbano clandestino	Alteración en la DBO <sub>5</sub>
Aluminio	Residuos por limpieza de reactor	Puede exceder los límites permisibles de las NOM
Fosfatos, Nitratos y Sulfatos	Arrastre por escorrentía o lluvias a los cauces de agua	Altas concentraciones motivan el desarrollo de la Eutrofización
Adhesivos y pegamentos	Residuos por limpieza de reactor	Alteración de la DQO

Elaboración propia del autor, 2022



**Continuación Tabla 7. Efectos en la calidad del agua derivados de la transferencia de sustancias contaminantes**

<b>Analito</b>	<b>Origen del analito</b>	<b>Alteración de parámetros fisicoquímicos</b>
Complementos alimenticios	Arrastre por escorrentía o lluvias a los cauces de agua	En base a la estructura afectan a la DBO <sub>5</sub> y DQO
Adhesivos y pegamentos	Residuos por limpieza de reactor	Alteración de la DQO
Complementos alimenticios	Arrastre por escorrentía o lluvias a los cauces de agua	En base a la estructura afectan a la DBO <sub>5</sub> y DQO

Elaboración propia del autor, 2022

Derivado de la información presentada en la Tabla 7 se puede deducir que la transmisión de las sustancias residuales hacia el agua es derivada del proceso de limpieza de la maquinaria donde fueron procesados los productos referentes a la actividad industrial respectiva. Esto se debe al proceso de limpieza de maquinaria que debe llevarse a cabo en las empresas posterior a cada lote de producción.

Otro de los mecanismos de transmisión de sustancias es por medio de escorrentía donde se diluye a fosfatos, nitratos y complementos alimenticios empleados en la actividad agrícola y ganadera que se desarrolla en las zonas aledañas a la presa José Antonio Alzate.

En base a lo señalado con anterioridad, cuando esta clase de residuos se incorporan a los cuerpos de agua propician que la calidad del agua se deteriore; por ello las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994 establecen los límites permisibles para parámetros fisicoquímicos como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), potencial de hidrógeno (pH), Color, Metales Pesados, Concentración de Oxígeno [O<sub>2</sub>], Fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) y Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-1</sup>) que pueden ser obtenidos mediante pruebas de laboratorio.

En caso de no cumplir con los límites permisibles de estos parámetros se propicia que la calidad del agua de los cuerpos de agua receptores no sea adecuada para

consumo humano o alguna otra actividad y tampoco capaz de sostener la vida acuática que habita en ellos. Además de provocar que dichos cuerpos de agua se encuentren en un estado de vulnerabilidad que no les permita poder reponerse fácilmente ante la modificación de sus propiedades.

#### **5.4 Observaciones recolectadas en recorrido de campo**

En este apartado se muestran las Figuras de la 3 a 13 con algunos aspectos visuales relevantes observados en recorrido de campo realizado en la presa José Antonio Alzate. En la Figura 3 se muestra la cercanía de la presa Alzate y el río Lerma. En la imagen se identificaron las distintas tonalidades en el agua.



**Figura 3. Presa José Antonio Alzate y el río Lerma**

Toma propia del autor, 2022

En algunas zonas se puede apreciar el aspecto del agua más cristalino que en otras. El agua de río se muestra con aspecto más oscuro, burbujeante, turbio y desagradable en comparación con el agua que se encuentra en la presa.

Aún que la apariencia de esta fase acuosa no es del todo límpida debido a la presencia de sedimentos, basura y lirio acuático.

En la Figura 4 se puede observar a cabezas de ganado pastoreando cerca de la presa ya que pobladores de la localidad aún se dedican a la ganadería. De esta manera, aunado a que el cuerpo de agua presenta contaminación, la vegetación ubicada alrededor tiende absorberla y almacenar los contaminantes en su estructura. Finalmente, cuando estos vegetales son consumidos por el ganado se reflexiona que las sustancias contaminantes son transferidas a sus organismos.



**Figura 4. Pastoreo de ganado en zonas aledañas a la presa**

Toma propia del autor, 2022

Debido a que la construcción de la presa José Antonio Alzate dividió a la localidad de Tlachaloya en dos secciones, en la Figura 5 se observa que en algunas zonas del perímetro de la presa se encuentran asentamientos humanos con mayor cercanía a ésta, lo cual implica la existencia de grupos vulnerables a las afectaciones derivadas de la contaminación del lugar.

Propiciando que malos olores, proliferación de mosquitos y la acumulación de residuos sólidos, por mencionar algunos, generen afectaciones de salud en dicha población ya que como expresa Arzate, *et al.* (2020) se han presentado enfermedades gastrointestinales y respiratorias, así como enfermedades de piel y ojos.



**Figura 5. Asentamientos cercanos a la presa**

Toma propia del autor, 2022

En la Figura 6 se muestra que, aunado al problema de la contaminación del agua, en distintas zonas cercanas a la presa se pueden encontrar sitios de acumulación de basura que en su mayoría son de origen inorgánico. En la mayor parte de los casos estos residuos son arrastrados por el viento y terminan siendo depositados dentro de la presa.



**Figura 6. Depósito de residuos sólidos en la presa José Antonio Alzate**

Toma propia del autor, 2022

En la Figura 7 se aprecia que en el río Lerma y la presa José Antonio Alzate se encuentran lanchas debido a que éstas son usadas como medio de transporte para ir de Tlachaloya Primera Sección a Tlachaloya Segunda Sección ya que este recorrido resulta ser más rápido que tener que rodear toda la zona vía terrestre y demorar el doble de tiempo del que se invierte en lancha.

Años anteriores este medio también era utilizado como modo recreativo pues había quienes no necesariamente necesitaban transportarse y simplemente optaban por dar un paseo por la presa, sin embargo, esto actualmente ya no es así y de igual forma los traslados por este medio han disminuido considerablemente.



**Figura 7. Transporte en lancha en la presa Alzate**

Toma propia del autor, 2022

De manera visual se aprecia en la Figura 8 que el agua que se encuentra en la presa y principalmente en el río presenta un aspecto desagradable ya que su coloración oscura y burbujeante propicia el asumir que el agua que ahí se localiza, se encuentra bajo cierto nivel de contaminación y calidad del agua.



**Figura 8. Contaminación del agua**

Toma propia del autor, 2022

La Figura 9 muestra que cerca de la zona de estudio se encuentran diversos depósitos pequeños de residuos inorgánicos que contribuyen a la contaminación de la presa, además de deteriorar la belleza escénica del lugar y propiciar la generación de focos de infección.



**Figura 9. Depósito de residuos cercanos a la presa Alzate**

Toma propia del autor, 2022

En la Figura 10 se observa que también se puede encontrar residuos de origen inorgánico como neumáticos, esta clase de residuos son más difíciles de ser reciclados y reutilizados por lo que la población tiende a desecharlos en basureros, zonas lacustres y poco pobladas.



**Figura 10. Residuos inorgánicos en cuerpos de agua**

Toma propia del autor, 2022

La Figura 11 muestra que en la presa Alzate se tiene presencia de lirio acuático el cual es una especie invasora que disminuye el oxígeno e impide al paso de la luz a la profundidad; contribuyendo así al proceso de Eutrofización.

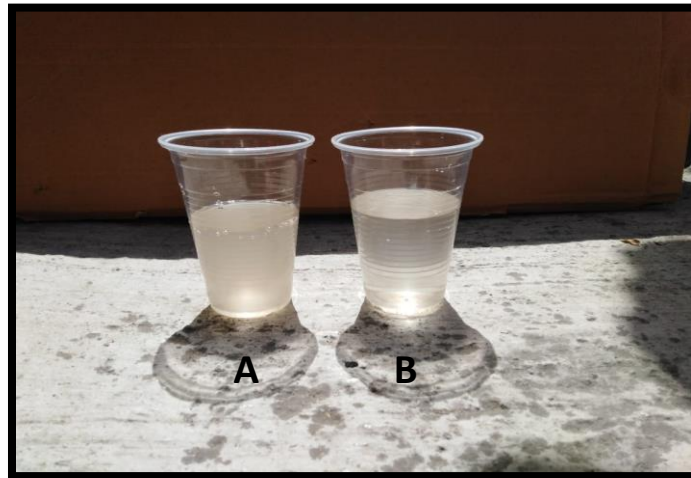


**Figura 11. Lirio acuático dentro de la presa**

Toma propia del autor, 2022



En la Figura 12, la muestra A) Pertenece al río Lerma y la muestra B) a la presa. Visualmente se observan variaciones en la coloración de las mismas ya que la muestra A) tiene una coloración más oscura que la muestra B); ambas tienen presencia de pequeños sedimentos.



**Figura 12. Muestras de agua presa José Antonio Alzate y río Lerma**

Toma propia del autor, 2022

A pesar de las condiciones en las que se encuentra la presa como muestra la Figura 13, en la época invernal arriba una parvada de Pelicanos que se alojan en este lugar para pasar esta época en las aguas de la presa. Pobladores del lugar y algunos otros de localidades aledañas, se dan la tarea de ir al sitio a observar a esta especie.



**Figura 13. Arribo de Pelicanos a la presa José Antonio Alzate**

Toma propia del autor, 2022

### **5.5 Obtención de parámetros fisicoquímicos a través de pruebas de laboratorio**

Después de haber realizado el recorrido de campo, de manera visual se pudo percibir que las sustancias residuales se encuentran generando un impacto negativo en el medio en el que se encuentran y que derivado de que el río Lerma suministra a la presa José Antonio Alzate se pronostica que ésta se encuentra sometida a repercusiones negativas en la calidad del agua. Para ello se optó por llevar a cabo análisis de pruebas de laboratorio con el fin de obtener parámetros fisicoquímicos que nos ayuden a ratificar o descartar el pronóstico anteriormente mencionado.

Se tomaron tres tiempos de muestreo a nivel superficial correspondientes a mayo y noviembre 2021 y junio 2022 donde se midieron parámetros fisicoquímicos en materia de calidad del agua con base a la 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; tomando como base los límites permisibles diarios (PD) que enmarca esta norma. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Evaluación de resultados experimentales obtenidos en base a las Normas Oficiales Mexicanas en materia de calidad de agua.**

Parámetro Físicoquímico	Tiempo de muestreo			Límite Permisible	Norma Oficial Mexicana
	May/2021	Nov/2021	Jun/2022		
<i>pH</i>	6.4	6.2	7.4	6.5 - 8.5	127-SSA1-1994
<i>Temperatura (°C)</i>	15	12	20	40	001-SEMARNAT-1996
<i>Oxígeno Disuelto (mg/L)</i>	2.67	2.6	2.51	3	n/a
<i>Grasas y Aceites (mg/L)</i>	25.6	20.3	26.7	25	001-SEMARNAT-1996
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) (mg/L)</i>	345.4	432.6	367.4	150	001-SEMARNAT-1996
<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)</i>	567.9	589.5	612.4	120	127-SSA1-1994
<i>Nitrógeno (Nitratos) (mg/L)</i>	24.5	36.3	28.6	30	001-SEMARNAT-1996
<i>Fosforo (Fosfatos) (mg/L)</i>	23	29.6	25.6	18	001-SEMARNAT-1996
<i>Aluminio (Al) (mg/L)</i>	0.20	0.16	0.19	0.20	127-SSA1-1994
<i>Hierro (Fe) (mg/L)</i>	0.45	0.34	0.43	0.30	127-SSA1-1994
<i>Plomo (Pb) (mg/L)</i>	0.213	0.183	0.221	0.4	001-SEMARNAT-1996
<i>Cadmio (Cd) (mg/L)</i>	0.147	0.12	0.143	0.2	001-SEMARNAT-1996
<i>Cromo Total (mg/L)</i>	0.54	0.46	0.525	0.5	127-SSA1-1994
<i>Coliformes Fecales (NMP/100 ml)</i>	10123.4	9994.5	11234.5	400	001-SEMARNAT-1996

Elaboración propia del autor, 2022

En cuanto a la discusión de los resultados de la cuantificación de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua obtenidos, se exponen los siguientes puntos:

- **pH.** Los valores obtenidos de esta variable son más o menos constantes en mayo y noviembre a diferencia del mes de junio que el valor obtenido fue más alto; esto se debe principalmente a que las muestras fueron recolectadas en la presa y durante el caudal que lo abastece. Durante este recorrido lo más seguro es que el pH vaya normalizándose, debido a que si las sustancias que fueron vertidas son ácidos ya sea orgánicos o inorgánicos, éstos sufrieron una neutralización con bases.
- **Temperatura.** Los valores de las dos primeras muestras, tienen poca diferencia, ya que en estos meses no se presentó baja de temperaturas; en comparación con la tercera muestra donde el valor obtenido fue mayor debido a que la muestra se recolectó en época de verano, a esto se debe la diferencia de valor respecto a las dos primeras.
- **Oxígeno disuelto.** Los valores de este gas son bajos si se toma en consideración que la concentración ideal para no afectar al medio ambiente es mayor de 3 mg/L (UCM, 2015). Estos valores van de la mano con las temperaturas medidas ya que, a estos valores las concentraciones de oxígeno deben de ser más altas entre 10.1 y 9.1 mg/L sin tomar en consideración la salinidad como indica el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2012). Esto indicó que la concentración del oxígeno disminuye debido a la presencia de sustancias que el mismo oxígeno oxida de manera natural.
- **Grasas y aceites.** Esta variable presenta durante dos tiempos de muestreo, valores que rebasan el límite permisible que es de 25 mg/L. Esto se justifica debido a la cantidad de este tipo de sustancias que son vertidas posterior a las actividades de mantenimiento y limpieza que realizan las empresas industriales de sus equipos de producción.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno.** En los tres tiempos de muestreo, con los resultados obtenidos de esta variable se considera fuertemente contaminada el agua de la presa ya que se rebasa al límite permisible. Esto

se justifica debido a los residuos de naturaleza orgánica que son vertidos por actividades tanto agropecuarias como de industrias alimenticias. Este parámetro está relacionado con la concentración de nitrógeno y fosforo en el agua como se menciona en los siguientes puntos.

- **Demanda Química de Oxígeno.** Al igual que la demanda bioquímica, este parámetro se considera altamente contaminado debido a que los tres resultados en los diferentes tiempos de muestreo rebasan el límite permisible. Esto se justificó debido a que las concentraciones de compuestos orgánicos de carácter aromático están presentes en el agua de la presa. Este tipo de analitos son utilizados como solventes en todas las actividades de producción industrial y el oxígeno de manera natural no tiene la capacidad para oxidarlos.
- **Nitrógeno.** Uno de los resultados de la cuantificación de las tres muestras recolectadas rebasa el límite permisible de 30 mg/L, mientras que los dos restantes se encuentran cercanos al mismo. Esto implica problemas ambientales sobre todo en la generación del fenómeno de Eutrofización. Además de que los valores de pH obtenidos, favorecen el proceso de nitrificación propiciando el incremento paulatino de concentración de nitratos en el cuerpo de agua. Su origen se justifica en la cantidad de compuestos orgánicos residuales utilizados por empresas industriales que son vertidos como desecho a sus aguas residuales.
- **Fosforo.** Este parámetro rebasó en las tres cuantificaciones el límite permisible. De igual manera contribuye al proceso de Eutrofización y la disminución de la concentración de oxígeno disuelto. Es vertido como analito residual de procesos que lo emplean como materia prima.
- **Aluminio.** En base a los valores obtenidos en este parámetro, éste se encuentra dentro del límite permisible de 0.20 mg/L aun que en los límites del mismo ya que se obtuvieron valores de 0.16 mg/L a 0.20 mg/L.
- **Hierro.** Los resultados obtenidos de este parámetro, no cumplen con el valor establecido del límite permisible. Este es un analito residual es utilizado como

materia prima en algunas actividades productivas y un residuo de las actividades de limpieza de reactor.

- **Plomo.** Los resultados muestran que este parámetro se encuentra dentro del límite permisible señalado en la NOM correspondiente. Sin embargo, su presencia se debe a que es un analito utilizado como insumo en procesos industriales y es vertido en el agua residual.
- **Cadmio.** Este parámetro se encuentra cercano a los valores del límite permisible; en consideración ya que es un metal pesado y tiene efectos adversos sobre la salud. Su presencia se debe ya que es utilizado algunas veces como catalizador de reacciones químicas en los procesos de producción industrial.
- **Coliformes fecales.** Excede por mucho el límite permisible señalado, esto se debe a la gran cantidad de actividades de ganadería y también al vertido de aguas residuales domésticas que se incorporan al caudal que alimenta la presa.
- **Cromo.** La presencia de este elemento también es considerable ya que tiene efectos severos sobre la salud, específicamente con valencia 6+ es considerado como agente cancerígeno. En solo dos de los muestreos rebasa el límite permisible, en el que no incumple con la normatividad esta también muy cercano a dicha restricción oficial. Su presencia se origina debido a su uso en la industria de curtiduría y galvanoplastia.

De este análisis y justificación de resultados de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, se establece que la presa José Antonio Alzate presenta un grado de contaminación serio. Esta problemática ambiental que se está planteando se corrobora con estudios previos que se han mencionado a lo largo de este trabajo y como la generación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) debido a que recibe aguas residuales domésticas e industriales como menciona Barceló Quintal, *et al.* (2020). Asimismo, de nota periodística del Universal (2021) que señala de manera muy general que la basura llega a la presa José Antonio Alzate. Esto dio pauta a generar una propuesta de tratamiento de aguas residuales que se expone en el siguiente apartado.

# **CAPÍTULO VI**

# **GENERACIÓN DE**

# **PROPUESTA DE**

# **TRATAMIENTO**

Con base en la información recopilada a lo largo del presente trabajo y el análisis de los parámetros obtenidos en el apartado anterior, se ha generado una propuesta de tratamiento donde se tomó en consideración las características que tiene el agua de la presa y como variable importante que el caudal que abastece a la presa es el río Lerma que recibe aguas residuales tanto domésticas como industriales.

Con base en esta información de contaminación, Rosas de Alva, *et al.* (2010) propusieron un tratamiento del caudal que abastece la presa que se basaba básicamente en un tratamiento biológico el cual consistió en cinco mamparas formando canales internos. A este diseño le fue suministrada agua del río Lerma. Los resultados mostraron que la Demanda Bioquímica de Oxígeno fue decreciendo.

Sin embargo, el río contiene disueltos tanto compuestos orgánicos, como inorgánicos y estos últimos están constituidos por algunos metales pesados. Esto trae como consecuencia de acuerdo con Dueñas, Ramírez, Menéndez y Pérez (2021) que los compuestos orgánicos, que se derivan de los aromáticos no sean fácilmente degradables por los lodos que han sido activados del tratamiento biológico. De igual manera esto sucede con los metales pesados, los microorganismos no poseen las enzimas para degradar estos analitos tóxicos o incluso pueden inhibir la actividad microbiana.

Por esta razón en este trabajo se propone colocar antes de la planta de tratamiento biológico un tratamiento avanzado de oxidación, que puede ser de tres tipos:

1. **Fenton.** El cual es un tratamiento que genera radicales libres hidroxilos ( $\text{OH}\bullet$ ), mediante la combinación de iones de Hierro y peróxido de hidrógeno. Este tratamiento puede implementarse, ya que en las aguas residuales que alimentan la presa tienen gran cantidad de Hierro disuelto (citado en los resultados experimentales en la Tabla 8). Esto se muestra en la ecuación [1]:



[1]



De esta manera se aseguraría la oxidación de compuestos aromáticos que tienen un efecto directo sobre los valores altos de la Demanda Química de Oxígeno. La disminución de estos analitos alcanza alta eficiencia, un ejemplo de esto lo demostró Arroyave, *et al.* (2009) en la degradación del colorante de Tartrazina alcanzando porcentajes de 99.3 % de remoción.

2. **Electrofenton.** Este proceso es una variante del primer tratamiento, se generan los iones de hierro a partir de la reacción de oxidación de electrodo metálico vía el paso de la corriente eléctrica. Pimentel, Oturan, Dezotti y Oturan (2008) realizaron estudios de la degradación del compuesto orgánico fenol utilizando este método de tratamiento y el porcentaje de remoción fue del 100%.

La propuesta que se plantea es la colocación de electrodos en forma de rejillas que pueden colocarse en diferentes puntos del caudal, esto generaría la oxidación de los compuestos orgánicos residuales disueltos en la fase acuosa como se muestra en la Figura 14.

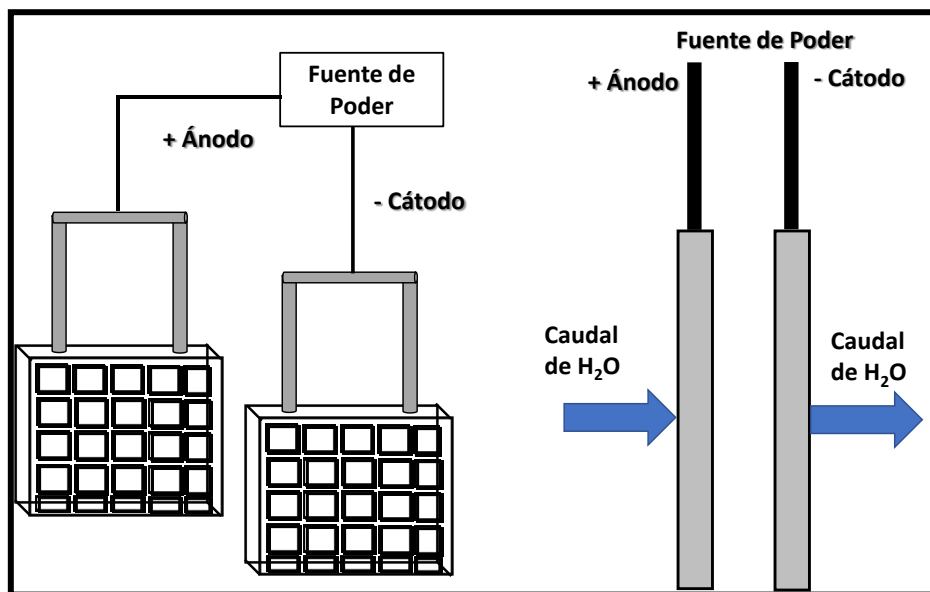


Figura 14. Modelo de tratamiento Electrofenton propuesto

Elaboración propia del autor, 2022

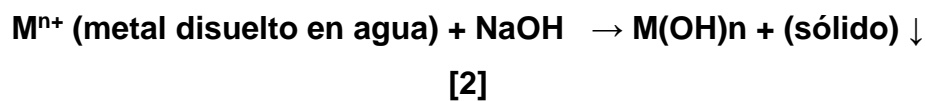
Como se puede apreciar en la Figura 14 este método propuesto plantea que el caudal pase a través de las rejillas de hierro, al pasar por la corriente eléctrica a una corriente de 0.77 Volts el ion requerido ( $Fe_{2+}$ ) se generaría de las rejillas. De igual manera tendría que incorporarse el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) en volúmenes calculados, así como pequeñas cantidades de algún ácido inorgánico. Con esto se aseguraría la generación de los radicales libres ( $OH\bullet$ ) y bajaría la cantidad de compuestos aromáticos presentes en el caudal que alimenta la presa.

El costo que en un momento determinado tendría que ser considerado de manera seria, es el de la corriente eléctrica que sería necesaria para realizar el tratamiento planteado.

3. Otra alternativa sería el bombeo en puntos identificados del cauce de **bombeo de ozono**, que es otro poderoso oxidante de compuestos orgánicos como lo señalan Peralta y Brillas (2023) que es capaz de mineralizar (degradar el compuesto orgánico a  $CO_2$ ) sustancias emergentes como es el caso del paracetamol.

Este bombeo propiciaría que los compuestos orgánicos disminuyeran de manera dramática lo que ayudaría a la planta de tratamiento biológica ya señalada a incrementar su eficiencia de remoción.

Eso en cuanto a los compuestos orgánicos que se vierten como residuos en el río Lerma que sigue su derrotero a la presa José Antonio Alzate. Pero en cuanto a los metales pesados que se encuentran también disueltos en dichas aguas, podría generarse después del tratamiento biológico un sedimentador en el cual podría ajustarse el pH a escala básica (agregando NaOH) y la mayoría de los metales precipitarían en forma de sólido. Esto se muestra en la ecuación [2]:

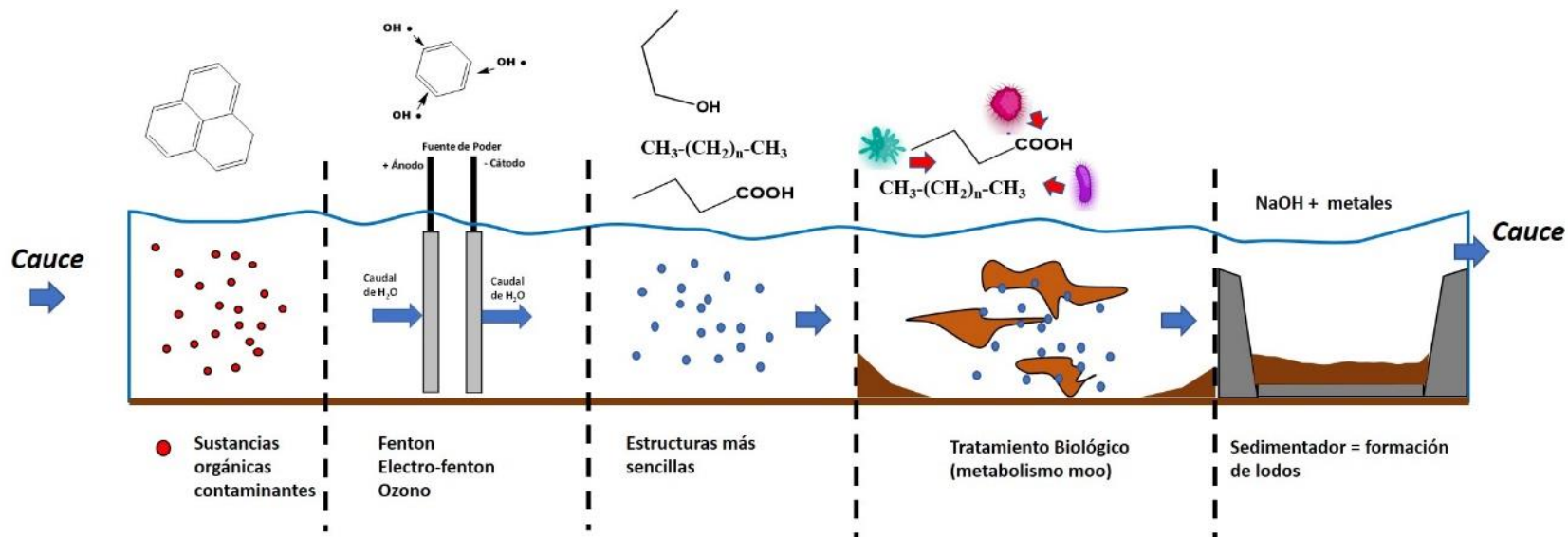


El inconveniente a este paso de eliminación de metales precipitados en forma de lodo sólido sería el manejo de estos últimos como residuos peligrosos para darle una disposición final.

Con la finalidad de comprender el proceso de este tren de tratamiento propuesto, se muestra la Figura 15, en donde se observa de manera gráfica el proceso a través del cual transitaría el caudal que abastece a la presa antes de desembocar en ella.

En esta Figura 15 se muestra lo que sucedería con los compuestos que son vertidos por las diferentes actividades antrópicas (que usualmente en su mayoría son de naturaleza industrial). La primera parte el cauce tiene sustancias orgánicas complejas que están disueltas en la fase acuosa (las estructuras son complejas, es decir que tienen como base estructuras aromáticas), esto implicaría que los valores de la DQO son altos en esta parte del río que abastece la presa.

En algunos sitios del cauce (a considerar por ventajas de instalación de equipo) se aplicarían o adicionarían los métodos de tratamiento señalados (Fenton, Electro-



**Figura 15. Tren de tratamiento propuesto para el caudal que abastece la presa José Antonio Alzate**  
Elaboración propia del autor, 2023

Fenton, Ozono). Esto provocaría que las sustancias contaminantes sufrieran rotura en sus estructuras (debido al poder oxidante del radical libre hidroxilo), lo que generaría compuestos químicos de configuración más sencilla. Si se cuantificará la DQO en esta parte, los valores disminuirían en porcentajes de cerca del 95% (Gomes, *et.al.*, 2021) Este paso es fundamental, ya que estas moléculas más sencillas serian transferidas a un proceso biológico (con lodos activados) y los microorganismos realizarían el proceso de oxidación correspondiente (los valores de la DBO<sub>5</sub>, se incrementarían como reflejo de la oxidación microbiana).

Cabe señalar que, en estas etapas señaladas el proceso de remoción está dirigida complemente a los compuestos orgánicos, los metales pesados que también se encuentran disueltos en este cauce tendrían que pasar a la última etapa. Esta consistiría en modificar el pH de la solución, agregando una base (NaOH, KOH, Al (OH)<sub>3</sub>) con lo cual se propiciaría la formación de precipitados o los denominados “lodos residuales”. En dichos fangos se ubicarían los metales pesados “atrapados”, con lo cual se removerían la mayoría de los contaminantes presentes en el cauce que abastece la presa.

Con base en lo expuesto con anterioridad es prioritario que estos procesos interactúen entre sí para otorgar tratamiento al agua residual y mejorar la calidad de la misma antes de que desemboque en la presa José Antonio Alzate. Sin embargo, para llevar a cabo estas propuestas sería necesario solicitar al gobierno estatal apoyo para el financiamiento de dichas obras ya que su ejecución requiere de inversión económica y la localidad de Tlachaloya Primera Sección no cuenta con los recursos necesarios para poder solventar dichos costos por sí misma. La implementación de estos procesos se espera, favorezca significativamente a la mejora de la calidad del agua de la presa, lo que beneficiaría no solo a la primera sección de la localidad sino también a la segunda sección que se encuentra en el otro extremo de la presa. Además, al mejorar la calidad del agua se propicia, este lugar pueda ser hábitat de diversas especies de flora y fauna y permita desarrollar la vida de nuevos ecosistemas, de esta manera se contribuiría a la obtención de beneficios sociales y económicos.

## CONCLUSIONES

1. La descarga de aguas residuales industriales es la principal causa de la contaminación del cauce que alimenta a la presa José Antonio Alzate debido a que lleva en su contenido, una amplia gama de sustancias contaminantes que resultan ser más difíciles de remover por lo que los procesos de tratamiento implican un mayor costo económico.
2. Las principales prácticas laborales que se realizan a orillas del cauce que abastece la presa Alzate se encuentran relacionadas a la industria de alimentos, textil, fabricación de plásticos y papel, farmacéutica y metal mecánica.
3. En base a los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos medidos, la calidad del agua de la presa se considera deficiente ya que nueve de los catorce parámetros medidos se encuentran significativamente fuera del límite establecido por las NOM correspondientes.
4. De acuerdo a la información recopilada, la mayor cantidad de contaminantes disueltos en el agua de la presa José Antonio Alzate son de origen orgánico, y los principales efectos que generan en ella son alteración al pH, DBO<sub>5</sub>, DQO y presencia de metales.
5. Los Procesos de Oxidación Avanzada tienen la capacidad de remover una amplia gama de contaminantes disueltos en el agua ya que facilitan la fractura de las estructuras complejas de los mismos, posibilitando que en base a los estudios realizados se tengan porcentajes de remoción superiores al ochenta por ciento.
6. La propuesta de solución detallada en este trabajo, tiene la finalidad de contribuir a la mejora de la calidad del agua de la zona de estudio debido a la importancia ambiental y social que representa la misma para con ello permitir el desarrollo de especies animales y vegetales, así como el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de dicha población.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Coliformes fecales:** conjunto de especies bacterianas que comparten determinadas características. Estos organismos suelen considerarse como indicadores de la contaminación de la comida y del agua. Por lo general se hallan en el intestino de los animales de sangre caliente y de los seres humanos, aunque también pueden encontrarse en plantas y en el suelo. (Pérez, 2020)

**Contaminantes:** formas de energía, productos químicos o seres vivos que al encontrarse presentes pueden causar daños. (Mateo, 2007)

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La medida del oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica e inorgánica en una prueba específica. (NOM-001-SEMARNAT-2021)

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** cantidad de oxígeno consumida por la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada. (López, 2016)

**Grasas y aceites:** 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. (NOM-001-SEMARNAT-2021)

**Metales pesados y cianuros:** son aquéllos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. Sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros. (NOM-001-SEMARNAT-1996)

**Parámetro:** Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y/o biológica del agua. (NOM -001-SEMARNAT-2021)

**Potencial de Hidrógeno (pH):** escala numérica utilizada para especificar la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. (Vázquez y Rojas, 2016)

**Proceso de Oxidación Avanzada (POA):** procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes, que involucran la generación y uso de especies poderosas transitorias, principalmente el radical hidroxilo ( $\text{OH}\cdot$ ). (Monge, Silva y Bengoa, 2018)

**Temperatura:** magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. (RAE, 2014)



## REFERENCIAS

Alvarado, F. (30 de agosto de 2017). Reciclagua envenena San Mateo Atenco.

*Impulso Estado de México*. <https://impulsoedomex.com.mx/reciclagua-envenena-san-mateo-atenco/>

Alvarado, M. (2008). *El ecocidio de Tlachaloya* [Mensaje de un blog].

<https://nuestrotiempotoluca.wordpress.com/2008/03/20/el-suicidio-de-tlachaloya/>

Alonso, E. (21 de febrero de 2008) Presa Alzate, cuerpo de agua más

contaminado. *EL UNIVERSAL*.  
<https://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/89044.html>

Arzate Salvador, J. C., Flores Armeaga C. A., y Yépez Vásquez, R. (20 de octubre

de 2020). Yo no quería la presa, pero me la heredaron: formas de vida de una comunidad otomí de Toluca afectada por una obra hidráulica. En P. Correa (Moderadora), *Agua y territorialidad otopame 1*. XXII Coloquio Internacional sobre Otopames. Facultad de Antropología de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.

Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente. (2017). *Hacia un*

*planeta sin contaminación* [Archivo PDF].  
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31035/k1708350s.pdf?sequence=28&isAllowed=y>

Ayuntamiento de Lerma. (2019). *Directorio de empresas*. Recuperado el 01 de

octubre de 2021 de <https://lerma.gob.mx/>

Bautista Bautista, G. (2015). Clasificación de las empresas en México. *Vida*

*Científica Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 4, 3(5)*  
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/1969>

Barceló Quintal, I. D., Solís Correa, H. E., García Albortante, J., Osornio Berthet, L.

J., García Martínez, M., y Beltrán Rocha, J. C. (2020). Curvas de evolución del sistema  $\text{CO}_2(\text{ac})\text{-HCO}_3\text{-CO}_3^{2-}$  en aguas del río Lerma y de la presa José Antonio

Alzate. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 6(6), 1-8.  
[http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7696/Curvas\\_de\\_evolucion\\_d\\_el\\_sistema\\_2020.pdf?sequence=1](http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7696/Curvas_de_evolucion_d_el_sistema_2020.pdf?sequence=1)

Bermejo Fernández, M. (2018) *FOTOCATÁLISIS Y SU CAPACIDAD*

*DESCONTAMINANTE. APLICACIÓN EN GRAN VÍA* [Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid, España].  
[https://oa.upm.es/49612/1/TFG\\_Bermejo\\_Fernandez\\_Marina.pdf](https://oa.upm.es/49612/1/TFG_Bermejo_Fernandez_Marina.pdf)

Cañizares Villanueva, R. O. (2010). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(1), 131-143. <https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>

CONAGUA. (2000). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.*  
<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgaa-15-13.pdf>

CONAGUA. (2000). *Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.*  
<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgaa-15-13.pdf>

CONAGUA. (2000). *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.*  
<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgaa-15-13.pdf>

CONAGUA. (2006). *El Agua en México* [Archivo PDF].  
<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/el-agua-en-mexico.pdf>

Da Ros, G. (1995). *LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS EN ECUADOR: una aproximación económica*. Instituto de Investigaciones Económicas. Abya-Yala. [https://books.google.com.mx/books?id=rPQrAHRxzyYC&printsec=frontcover&dq=LA+CONTAMINACI%C3%93N+DE+AGUAS+EN+ECUADOR:+una+aproximaci%C3%B3n+econ%C3%B3mica.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj94-Xp85\\_nAhVOGs0KHfjLCy8Q6AEIKDAA#v=onepage&q=LA%20CONTAMINACI%C3%93N%20DE%20AGUAS%20EN%20ECUADOR%3A%20una%20aproximaci%C3%B3n%20econ%C3%B3mica.&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=rPQrAHRxzyYC&printsec=frontcover&dq=LA+CONTAMINACI%C3%93N+DE+AGUAS+EN+ECUADOR:+una+aproximaci%C3%B3n+econ%C3%B3mica.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj94-Xp85_nAhVOGs0KHfjLCy8Q6AEIKDAA#v=onepage&q=LA%20CONTAMINACI%C3%93N%20DE%20AGUAS%20EN%20ECUADOR%3A%20una%20aproximaci%C3%B3n%20econ%C3%B3mica.&f=false)

Declaratoria del ejecutivo del Estado por el que se establece el Área Natural

Protegida con la categoría de Parque Estatal denominada “Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate”. 12 de mayo de 2006. CEPANAF.

Dueñas Moreno, J., Ramírez Caro, M., Menéndez Gutiérrez, C., y Pérez Olmos, J.

(2021). Efecto inhibitorio provocado por metales pesados a los microorganismos de un lodo activado. *Ingeniería hidráulica y Ambiental*, 42(1), 3-13. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382021000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382021000100003)

Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y en el mar* [Archivo PDF]. <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.PDF>

Isan, A. (14 de junio de 2017). *Consecuencias de la contaminación del agua*.

Fondo para la comunicación y la educación ambiental A.C. <https://agua.org.mx/consecuencias-la-contaminacion-del-agua/>

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. (2015).

*Contaminación del agua*. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua/>

García, M. (3 de junio de 2021). Atención a la contaminación en Tlachaloya.

*Evolución*. <https://www.diarioevolucion.com.mx/atencion-a-contaminacion-en-tlachaloya/>

- García, M., Darío, F., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., Vargas, O., Panizzo, L., Sánchez, N., Gómez, J., y Cortes, G. (2010). *El Medio Ambiente en Colombia* [Archivo PDF].  
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>
- García Aragón, J. A., Díaz Delgado, C., Quentin, E., Ávila Pérez, P., Tejada Vega, S., y Zarazúa Ortega, G. (2007). Caracterización de la contaminación por metales pesados y reducción de capacidad de almacenamiento hidráulico por azolve de un embalse mexicano. *Hidrobiológica*, 17(2), 127-138.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972007000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972007000200005&lng=es&tlng=es).
- Garrido Hoyos, S. y García Aragón J. A. (1997). Alternativas ecohidráulicas para la presa José Antonio Alzate con base en el comportamiento de sus parámetros de contaminación. *CIENCIA ERGO SUM*, 4(3), 305-310. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5128931.pdf>
- Gomes Rayssa K. M., Santana, R. M. R., de Moraes N. F. S., Santos Júnior, S. G., de Lucena, A. L. A., Zaidan, L. E. M. C., Elihimas, D. R. M. y Napoleão, D. C. (2021). Treatment of direct black 22 azo dye in led reactor using ferrous sulfate and iron waste for Fenton process: reaction kinetics, toxicity and degradation prediction by artificial neural networks. *Chemical Papers*, 75, 1993–2005.  
<https://doi.org/10.1007/s11696-020-01451-4>
- González, s. (2007). *Contaminación difusa de las aguas* [Archivo PDF].  
<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/contaminacion-difusa-de-las-aguas.pdf>
- González, C. (23 de mayo de 2021). Basura invade la presa “José Antonio Alzate” en Toluca. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/basura-invade-la-presa-jose-antonio-alzate-en-toluca>
- H. Ayuntamiento de Toluca. (2011). *Delegación Tlachaloya. Atlas de riesgos Delegacional* [Archivo PDF].  
[https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files\\_ipo/2013/51/7/cd5da8e1e6e77c73b6f212d33a221d45.pdf](https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo/2013/51/7/cd5da8e1e6e77c73b6f212d33a221d45.pdf)

Hernández Millán, A. (2005). *El cuidado del medio ambiental: análisis, reseñas, crónicas, tesis, concepciones y paradigmas*. Universidad Autónoma del Estado de México.

[https://books.google.com.mx/books?id=tKzInQxHOPAC&printsec=frontcover&dq=El+cuidado+del+medio+ambiental:+an%C3%A1lisis,+rese%C3%B1as,+cr%C3%B3nicas,+tesis,+concepciones+y+paradigmas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiKjMjw9J\\_nAhXaZs0KHarPCoQQ6AEIKDAA#v=onepage&q=El%20cuidado%20del%20medio%20ambiental%3A%20an%C3%A1lisis%20%20rese%C3%B1as%20%20cr%C3%B3nicas%20%20tesis%20%20concepciones%20y%20paradigmas&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=tKzInQxHOPAC&printsec=frontcover&dq=El+cuidado+del+medio+ambiental:+an%C3%A1lisis,+rese%C3%B1as,+cr%C3%B3nicas,+tesis,+concepciones+y+paradigmas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiKjMjw9J_nAhXaZs0KHarPCoQQ6AEIKDAA#v=onepage&q=El%20cuidado%20del%20medio%20ambiental%3A%20an%C3%A1lisis%20%20rese%C3%B1as%20%20cr%C3%B3nicas%20%20tesis%20%20concepciones%20y%20paradigmas&f=false)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Archivo histórico de localidades*. INEGI. Recuperado el 16 de julio de 2021 de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/ahl/>

Ingeniería S.A. de C.V. (2012). *MIA-P “desazolve del río Lerma en el tramo de la descarga del río Tejalpa a la Presa Alzate, municipios de Temoaya y Toluca, Estado de México”* [Archivo PDF]. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mex/estudios/2012/15EM2012H0002.pdf>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2012). *Acoplamiento de mecanismos de DBO en un modelo CFD para cuerpos de agua* [Archivo PDF]. <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1499/H01209.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jiménez Ballesta, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Mundo-Prensa. [https://books.google.com.mx/books?id=iZg6DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Introducci%C3%B3n+a+la+contaminaci%C3%B3n+de+suelos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiekcjP7J\\_nAhWLGc0KHWyDBNkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Introducci%C3%B3n%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20de%20suelos&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=iZg6DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Introducci%C3%B3n+a+la+contaminaci%C3%B3n+de+suelos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiekcjP7J_nAhWLGc0KHWyDBNkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Introducci%C3%B3n%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20de%20suelos&f=false)

Jiménez Cisneros, B. E. (2005). *La Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Limusa.  
[https://books.google.com.mx/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA3&dq=La+Contaminaci%C3%B3n+Ambiental+en+M%C3%A9xico:+causas,+efectos+y+tecnolog%C3%ADa+apropiada&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwihusaf9J\\_nAhUICc0KHx1EBwlQ6AEIKDAA#v=onepage&q=La%20Contaminaci%C3%B3n%20Ambiental%20en%20M%C3%A9xico%3A%20causas%2C%20efectos%20y%20tecnolog%C3%ADa%20apropiada&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA3&dq=La+Contaminaci%C3%B3n+Ambiental+en+M%C3%A9xico:+causas,+efectos+y+tecnolog%C3%ADa+apropiada&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwihusaf9J_nAhUICc0KHx1EBwlQ6AEIKDAA#v=onepage&q=La%20Contaminaci%C3%B3n%20Ambiental%20en%20M%C3%A9xico%3A%20causas%2C%20efectos%20y%20tecnolog%C3%ADa%20apropiada&f=false)

Kramer, F. (2006). *Educación ambiental para el desarrollo sostenible*. Catarata.  
<https://books.google.com.mx/books?id=2zwM-A7buDIC&printsec=frontcover&dq=Educaci%C3%B3n+ambiental+para+el+desarrollo+sostenible&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj-y6a9xqfnAhXXHc0KHcW2AQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Educaci%C3%B3n%20ambiental%20para%20el%20desarrollo%20sostenible&f=false>

López Galván, E., Barceló Quintal, I., Solís Correa, H., Bussy, A., y Ávila Pérez, P. (2008). Transporte de magnesio disuelto en la Presa José Antonio Alzate en el Estado de México, México. *Revista Cubana de Química*, 20(2), 14-22.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543714003>

López Abarca, P. (2016). *Manual de evaluación de impacto ambiental de actividades rurales*. IICA.  
<https://books.google.com.mx/books?id=lnnqaK9UCZAC&pg=PA12&dq=manual+de+evaluacion+de+impacto+ambiental+en+comunidades+rurales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjW8-Kp07TzAhU3lGoFHccKA8gQ6AF6BAgKEAI#v=onepage&q=manual%20de%20evaluacion%20de%20impacto%20ambiental%20en%20comunidades%20rurales&f=false>

Marín Galván, R. (2013). *Procesos fisicoquímicos en depuración de aguas. Teoría, práctica y problemas resueltos*. Díaz de Santos S.A.  
<https://books.google.com.mx/books?id=fOuODwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=procesos+fisicoquimicos+para+el+tratamiento+de+aguas&hl=es->

419&sa=X&ved=0ahUKEwjz-7HA2ODmAhXxdc0KHb-RCFEQ6AEILzAB#v=onepage&q=procesos%20fisicoquimicos%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas&f=false

Machicao Arauco, A. C. (2013). *Diagnóstico situacional de la salud ambiental en una comunidad expuesta a contaminantes de residuos electrónicos, a partir de la percepción del riesgo* [Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí México]. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3863>

Manahan S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Reverté.

[https://books.google.com.mx/books?id=5NR8DIk1n68C&printsec=frontcover&dq=Introducci%C3%B3n+a+la+qu%C3%ADmica+ambiental&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwid1aXg7Z\\_nAhXBZc0KHba6BHQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Introducci%C3%B3n%20a%20la%20qu%C3%ADmica%20ambiental&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=5NR8DIk1n68C&printsec=frontcover&dq=Introducci%C3%B3n+a+la+qu%C3%ADmica+ambiental&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwid1aXg7Z_nAhXBZc0KHba6BHQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Introducci%C3%B3n%20a%20la%20qu%C3%ADmica%20ambiental&f=false)

Martínez, M. A., y Gavilán, A. (2004). La investigación en México en materia de compuestos orgánicos persistentes. *Gaceta ecológica- Redalyc*, 72(1), 5-20. <http://www.redalyc.org/pdf/539/53907201.pdf>

Mateo Floría, P. (2007). *Gestión de la Higiene Industrial en la Empresa*.

FUNDACIÓN CONFEMETAL.  
[https://books.google.com.mx/books?id=dXmm\\_dQ4GdAC&printsec=frontcover&dq=Gesti%C3%B3n+de+la+Higiene+Industrial+en+la+Empresa&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Gesti%C3%B3n%20de%20la%20Higiene%20Industrial%20en%20la%20Empresa&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=dXmm_dQ4GdAC&printsec=frontcover&dq=Gesti%C3%B3n+de+la+Higiene+Industrial+en+la+Empresa&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Gesti%C3%B3n%20de%20la%20Higiene%20Industrial%20en%20la%20Empresa&f=false)

Mejía Sandoval, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1), 77-99. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/210>

Méndez, M. E., Briseño, J. I., y González, A. M. (2009). Oxidación electroquímica de compuestos orgánicos de un efluente proveniente de una planta procesadora de productos lácteos. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 24(2), 79-86.

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652009000200008&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652009000200008&lng=es&tlng=es).

Monge, S., Silva, A. y Bengoa, C. (2018). *Manual técnico de procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales* [Archivo PDF]. [http://www.cytod.org/sites/default/files/manual\\_sobre\\_oxidaciones\\_avanzadas\\_0.pdf](http://www.cytod.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf)

Mipueblo.mx (2010) *Tlachaloya Primera Sección*. Mipueblo.mx.

<http://www.mipueblo.mx/15/1092/tlachaloya-primera-seccion/>

Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud.

(1989). *La desinfección del agua* [Archivo PDF]. <http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>

Peralta, J. M., y Brillas, E. (2023). A critical review over the removal of paracetamol (acetaminophen) from synthetic waters and real wastewaters by direct, hybrid catalytic, and sequential ozonation processes. *Chemosphere*, 313, 137411. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137411>

Pérez, P. (2020). *Definición de coliformes*. En Definición. De. Recuperado el 26 de septiembre de 2021 de <https://definicion.de/coliformes/>

Pimentel, M., Oturan, N., Dezotti, M., y Oturan, M. A. (2008). Phenol degradation by advanced electrochemical oxidation process electro-Fenton using a carbon felt cathode. *Applied Catalysis B: Environmental*, 8, 140–149. [https://www.researchgate.net/publication/223689448\\_Phenol\\_Degradation\\_by\\_Advanced\\_Electrochemical\\_Oxidation\\_Process\\_Electro-Fenton\\_Using\\_a\\_Carbon\\_Felt\\_Cathode](https://www.researchgate.net/publication/223689448_Phenol_Degradation_by_Advanced_Electrochemical_Oxidation_Process_Electro-Fenton_Using_a_Carbon_Felt_Cathode)

Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R. y Villalobos Moreto, F. (2005). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. Plaza y Valdés. <https://books.google.com.mx/books?id=b8lxhCHPEYC&printsec=frontcover&dq=El+agua+en+el+medio+ambiente:+muestreo+y+an%C3%A1lisis.&hl=es->



419&sa=X&redir\_esc=y#v=onepage&q=El%20agua%20en%20el%20medio%20a  
mbiente%3A%20muestreo%20y%20an%C3%A1lisis.&f=false

Real Academia Española. (s/f). *Contaminación*. En diccionario de la lengua  
española. Recuperado el 22 de febrero de 2020 de  
<https://dej.rae.es/lema/contaminaci%C3%B3n>

Real Academia Española. (s/f). *Agua*. En diccionario de la lengua española.  
Recuperado e 22 de febrero de 2020 de  
<http://lema.rae.es/drae2001/srv/search?id=JmVOMX6QDDXX215QwQ32>

Real Academia Española. (s/f). *Temperatura*. En diccionario de la lengua  
española. Recuperado el 26 de septiembre de 2021 de  
<https://dle.rae.es/temperatura>

Ríos, E. (10 de abril de 2021). Cuestionan función de Reciclagua en el Río Lerma.

*El Sol de Toluca*. [https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/cuestionan-funcion-de-  
reciclagua-en-el-rio-lerma-6580957.html](https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/cuestionan-funcion-de-reciclagua-en-el-rio-lerma-6580957.html)

Rodríguez Martín, R. C. (2015). *Aportaciones al Conocimiento del Estado  
Medioambiental de Microsistemas de Interés Internacional Situados en Castilla-La  
Mancha*. Universidad de Castilla.  
[https://books.google.com.mx/books?id=o33AG2h39O4C&printsec=frontcover&dq=  
Aportaciones+al+Conocimiento+del+Estado+Medioambiental&hl=es-  
419&sa=X&ved=0ahUKEwj03aet6p\\_nAhWLZM0KHQf4Ar0Q6AEIKDAA#v=onepag  
e&q=Aportaciones%20al%20Conocimiento%20del%20Estado%20Medioambiental  
&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=o33AG2h39O4C&printsec=frontcover&dq=Aportaciones+al+Conocimiento+del+Estado+Medioambiental&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj03aet6p_nAhWLZM0KHQf4Ar0Q6AEIKDAA#v=onepage&q=Aportaciones%20al%20Conocimiento%20del%20Estado%20Medioambiental&f=false)

Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación  
del suelo: una realidad oculta*. FAO.  
[https://books.google.com.mx/books?id=EjumDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=  
Adsorcion+pdf&hl=es-  
419&sa=X&ved=0ahUKEwjBs\\_q7qPfmAhXVGM0KHSdsAvEQ6AEIKDAA#v=onep  
age&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=EjumDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Adsorcion+pdf&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjBs_q7qPfmAhXVGM0KHSdsAvEQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false)

Rodríguez, M. y Barrera, E. (2020) *Procesos de oxidación avanzada en el tratamiento del agua* [Archivo PDF].  
[http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos\\_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rosas De Alva, S., Barceló Quintal, I., Bussy Beaurain, A. y López Galván, E. (2010). Propuesta técnica sobre el tratamiento del influente de la presa José Antonio Alzate a través un sistema lagunar aerobio. *RIIT*, 11(1), 113-125.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432010000100011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000100011)

Sala, L. F., García, S. I., González, J. C., Frascaroli, M. I., Bellú, S., Mangiameli F., Blanes, P., Mogetta, M. H., Andreú, V., Atria, A. M., y Salas Peregrin, J. M., (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *Real Sociedad Española de Química*, 106(2), 114-120.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3235861.pdf>

SEDESOL (2013) *Sistema de apoyo para la planeación del PDZP*. Catálogo de Localidades.  
<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=151060098>

SEMARNAT. (2002). *Agua*. Compendio de Estadísticas Ambientales.  
[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. (1996). *Metales pesados y cianuros* [Archivo PDF].  
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>

SEMARNAT. (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".  
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69543.pdf>

Target A. S.L. e Innovación y C. S.L. (2016). *Experto en Gestión Medioambiental*.

IC. [https://books.google.com.mx/books?id=YM-bDQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Experto+en+Gesti%C3%B3n+Medioambiental&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwizkt7e8p\\_nAhWPLc0KHff1CWkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Experto%20en%20Gesti%C3%B3n%20Medioambiental&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=YM-bDQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Experto+en+Gesti%C3%B3n+Medioambiental&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwizkt7e8p_nAhWPLc0KHff1CWkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Experto%20en%20Gesti%C3%B3n%20Medioambiental&f=false)

Torres Andrade, G. F. (2014) *Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros* [Tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria España].  
[https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11899/4/0699295\\_00000\\_0000.pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11899/4/0699295_00000_0000.pdf)

UMC. (2015). *Descripción de indicadores* [Archivo PDF].

<https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Oxigeno%20disuelto%20f.pdf>

Viades, J. (2013). *Fisicoquímica de alimentos. Fenómeno de superficie de*

*Adsorción* [Archivo PDF].  
[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3.Fenomenossuperficiales.Adso rcion\\_23226.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3.Fenomenossuperficiales.Adso rcion_23226.pdf)

Vázquez Contreras, E. y Rojas Pérez, T. G. (2016). *pH: Teoría y 232 Problemas*.

Universidad Autónoma Metropolitana.  
<http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>

Weinberg, J. (2009). *Guía para las ONG sobre los Contaminantes Orgánicos*

*Persistentes* [Archivo PDF].  
[https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo\\_guide\\_pops-es.pdf](https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo_guide_pops-es.pdf)