

# VULNERABILIDAD AMBIENTAL DEL AGUA DE LA PRESA JOSÉ ANTONIO ALZATE DEBIDO A LA PRESENCIA DE RESIDUOS ANTRÓPICOS DISUELTOS

*Eduardo Campos Medina\**

*Sulma García González\**

*Salvador Adame Martínez\**

## RESUMEN

El río Lerma arrastra toneladas de desechos que se concentran en la presa José Antonio Alzate, en el municipio de Toluca. Es evidente y corroborado por la comunidad científica que el río Lerma es receptáculo de sustancias químicas residuales que fueron vertidas por las actividades tanto industriales como domésticas. Estas labores se caracterizan por la utilización de materias primas como insumos, ya sea como reactivos para producir productos industriales o como utensilios para limpieza en general. De estas diligencias se genera gran cantidad de restos que normalmente contienen impregnados compuestos químicos, y que debido a su naturaleza se encuentran disueltos en este cuerpo de agua. Por ello, este trabajo presenta un análisis de la situación de la vulnerabilidad ambiental del agua en esta zona de estudio, tomando en consideración las actividades humanas que se llevan a cabo a lo largo del río Lerma antes de llegar a la presa José Antonio Alzate. Posteriormente, se recopiló la información concerniente a los insumos utilizados en dichas actividades, primero bibliográfica y posteriormente una corroboración por recorridos de campo. Una vez comprobadas las materias primas utilizadas se contrastó con la gente que manipula estos insumos la manera en que son tratados los residuos generados o cómo son desechados. Con esta información se categorizó los residuos químicos presentes y cómo su presencia afecta a la vulnerabilidad ambiental del agua que abastece a la presa. Finalmente, se generaron algunas propuestas de solución con la finalidad de que la población cercana pueda implementarlas con la intención de abatir la concentración de estas sustancias contaminantes.

---

\* Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Planeación Urbana y Regional. edcm68@gmail.com, ecamposm@uaemex.mx / garcia.sulma9310@hotmail.com / sadamem@uaemex.mx

Palabras clave: Vulnerabilidad ambiental, Presa José Antonio Alzate, Residuos antrópicos

#### ABSTRACT

The Lerma River carries tons of waste that is concentrated in the José Antonio Alzate dam in the municipality of Toluca. It is evident and corroborated by the scientific community that the Lerma River is a receptacle for residual chemical substances that were dumped by both industrial and domestic activities. These activities are characterized by the use of raw materials as inputs, either as reagents to produce industrial products or as utensils for cleaning in general. As mentioned above, these activities generate a large amount of waste that normally contains impregnated chemical compounds, which, due to their nature, are dissolved in this body of water. That is why this work was carried out to analyze the situation of the environmental vulnerability of the water in this study area, taking into consideration the human activities that are carried out along the Lerma River before reaching the José Antonio Alzate dam. Subsequently, the information concerning the inputs used in these activities was compiled, first bibliographically and later corroborated by field visits. Once the raw materials used were verified, the way in which the waste generated is treated or how it is disposed of was checked with the people who handle these inputs. This information was used to categorize the chemical wastes present and how their presence affects the environmental vulnerability of the water supplying the dam. Finally, some proposed solutions were generated so that the nearby population can implement them with the intention of reducing the concentration of these pollutants.

Keywords: Environmental vulnerability, José Antonio Alzate Dam, Anthropic residues

#### INTRODUCCIÓN

Debido al fenómeno de globalización se ha presentado un proceso en donde la gente de las zonas campestres se ha movido a las grandes urbes tratando de alcanzar un desarrollo económico, lo que ha provocado un drástico aumento de la población. Y

a su vez esto ha generado un estrés de consumo sobre los recursos naturales (Ahmad et al., 2008).

Entre estos recursos se encuentra el agua, ya que es el insumo más requerido para las diversas actividades y para la generación de satisfactores que demanda el ser humano, pero debido al mal manejo y a que se vierten sustancias residuales a los mantos acuíferos se está generando su escasez. Por lo anterior, es necesario administrar este líquido, especialmente en las zonas urbanas donde la demanda es cada vez mayor (Lakshmi et al., 2022).

Algunas labores de la población son consideradas fuentes de contaminación de los cuerpos acuáticos. Aunado a lo anterior, los fenómenos estacionales como las precipitaciones y el flujo de las aguas subterráneas tienen un impacto en el movimiento de las concentraciones de contaminantes vertidos en los ríos (Cho et al., 2021).

Visualizando esta realidad, se ha puesto en duda el uso seguro del agua para consumo humano y otras actividades vitales que la requieren. Lo anterior, es una de las inquietudes primordiales de la mayoría de las metrópolis en los países que experimentan estos cambios en el número de habitantes. Por ello, se reconoce a los ríos como actores vitales que desempeñan un papel fundamental en la configuración de los aspectos naturales, culturales y económicos de cualquier país (Sharma et al., 2020).

En esta investigación se pone énfasis en la vulnerabilidad de los ríos, ya que normalmente son afectados por la reducción de zonas recolectoras de agua de lluvia. De igual manera, la calidad de agua se ve mermada por el crecimiento exponencial de habitantes y por su estrecha relación con el transporte de las aguas residuales industriales y la escorrentía de las tierras de cultivo.

Esta vulnerabilidad del agua se hace palpable con la detección de sustancias residuales, las cuales tienen diferentes tipos de compuestos: orgánicos e inorgánicos. Como se ha mencionado, normalmente son generados como residuos de procesos antrópicos, como las actividades industriales, labores domésticas, actividades agrícolas, etc. En todas ellas estos analitos son vertidos a los ríos y a su vez son transportados por los cauces y depositados en otros cuerpos de agua más grandes, donde se manifiestan los efectos adversos de las altas concentraciones.

Este escenario se puede ejemplificar en el caso de estudio de la presa José Antonio Alzate, que se ubica en el centro-norte de la Cuenca Alta del río Lerma en el Estado de México, y colinda con los municipios de Toluca, Temoaya y Jiquipilco. Sus delimitaciones son: *a*) al norte con la Subcuenca Tributaria Arrollo Sila, *b*) al sur con

las lagunas de Chignahuapan, *c*) al este con la del río Mayorazgo y *d*) al oeste con la Subcuenca Arroyo Almoloya y Afluentes del curso medio del río Lerma (GEM, 2006).

En lo que corresponde al municipio de Toluca, Garrido y García (1997) mencionan 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 50 % del influente a la presa no es tratado previamente, esto se compone de aguas residuales domésticas e industriales, propiciando así una calidad deficiente del agua en dicha presa.

Esta realidad muestra que los asentamientos poblaciones que se encuentran en mayor contacto con este lugar de estudio pueden verse afectados debido a la presencia de las sustancias residuales mencionadas, lo que propicia una mala calidad del agua de la presa. Ejemplo de esto es la localidad de Tlachaloya Primera Sección, ubicada al norte del municipio de Toluca, la cual se encuentra rodeada por la presa José Antonio Alzate.

Tomando en consideración las actividades humanas, así como los residuos que son vertidos a las aguas que abastecen a la presa se puede realizar un estudio de la presencia de estos compuestos, los cuales serían: *a*) *compuestos orgánicos* que habitualmente fueron principios activos de medicamentos. Estas sustancias contemplan plaguicidas, productos farmacéuticos, drogas de abuso, hormonas, otros disruptores endócrinos y tensioactivos (Ferreiro et al., 2020). La problemática ambiental de estos últimos es que su eliminación a través de las plantas de tratamiento de aguas residuales es bastante deficiente, ya que su estructura química le confiere una resistencia a la degradación biológica (Macías et al., 2019), y *b*) *compuestos inorgánicos* que son generados por las actividades industriales, entre los cuales se considera a los metales en forma de sales, que tras su liberación en el ambiente, estos pueden acumularse en diferentes formas químicas y dañar la salud humana (Xie et al., 2017).

El planteamiento no es desatinado, ya que en otras investigaciones se ha señalado 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 5 146 km<sup>2</sup> con una longitud de cauce de 177 km y que de acuerdo con 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 (Rosas de Alva et al., 2010).

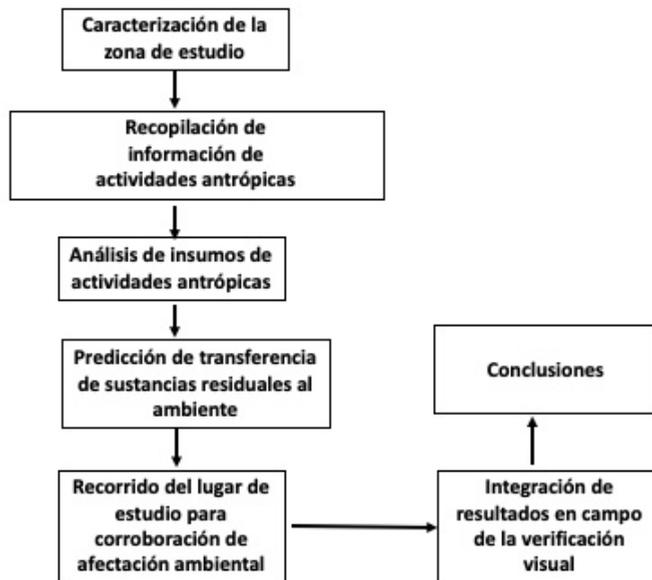
Aunado a esta vulnerabilidad del agua, en la presa se presenta la problemática en relación con las actividades humanas que se llevan a cabo en las zonas aledañas y que emplean el agua de la presa. La principal es la del uso del suelo que es agrícola, con 97.3 % de cultivo de maíz, las otras actividades son la ganadería, la quema de residuos de cables electrónicos para generar subproductos que se puedan comercializar y que es la principal de la localidad para generar ingresos económicos (Machicao, 2013).

Debido a estas razones y análisis de actividades es necesario poner nuevamente la problemática en discusión con la finalidad de mostrar la situación de vulnerabilidad que presenta el agua de la presa José Antonio Alzate y concientizar a la población de Tlachaloya acerca de lo que puede suceder si continúan con algunas actividades en las cuales emplean de manera directa el agua de la presa.

## METODOLOGÍA

Las actividades que se realizaron en esta investigación se muestran en la siguiente Figura.

**Figura 1. Metodología de la investigación**



Fuente: elaboración propia (2022).

## DESGLOSE DE ACTIVIDADES

### *Caracterización de la zona de estudio*

En este punto se realizó la caracterización de la presa José Antonio Alzate, para ello se recolectó información tanto bibliográficamente como en campo. Se analizaron los datos que se muestran en el Instituto de Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); posteriormente, se corroboró esta información mediante recorrido en campo. Cabe señalar que se trató de abarcar todas las actividades antrópicas consideradas desde la ciudad de San Mateo Atenco hasta llegar a la presa.

### *Análisis de insumos de actividades antrópicas*

Del recorrido por campo se recolectó información relacionada con las actividades que se realizan en la zona de estudio, así como de los insumos utilizados en dichas actividades. Esta información se contrastó con las referencias bibliográficas del punto número uno. Posteriormente, se estableció el listado de sustancias (insumos) manipuladas para después crear sus características particulares.

### *Predicción de transferencia de sustancias residuales al ambiente*

Una vez establecidas las características particulares de los insumos, se analizaron y detectaron los residuos que se generaron en las actividades observadas. Paso siguiente, se predijo la forma o el mecanismo por el cual estos remanentes son transferidos al cuerpo de agua.

### *Recorrido en campo para corroboración de afectación ambiental*

Al establecer los mecanismos de transferencia se instauraron de manera previa las afectaciones al cauce del río Lerma. Posteriormente, se le dio prioridad al aspecto que tienen las aguas de la presa; con base en este análisis, se corroboró de manera visual las posibles afectaciones.

### *Integración de resultados en campo*

Cuando se tuvieron las dos partes, tanto el análisis teórico como la corroboración en campo, se integraron los resultados generados. Con esto se pudo establecer el grado de afectación que están sufriendo las aguas de la presa José Antonio Alzate.

## RESULTADOS

### *Caracterización de la zona de estudio*

En esta etapa se delimitó la zona de estudio tomando como punto de referencia el plan de manejo emitido por la Comisión Estatal de Parques Naturales y la Fauna (Cepanaf) donde 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. Esta 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 (Cepanaf, 2006).

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 50 % del influente a la presa no es tratado previamente; este se compone de aguas residuales domésticas e industriales, propiciando así una calidad deficiente del agua en dicha presa (López et al., 2008).

Al realizar el recorrido en campo se corroboró efectivamente que el río Lerma abastece el cauce que está en contacto con la presa José Antonio Alzate; resultado de la evaluación previa, se observó que la calidad del agua que se transporta es pésima. Esto se basa en estudios previos, en los cuales se señala que la mala calidad del agua de este cauce es la responsable de la generación de enfermedades, como cáncer, en localidades que se ubican al lado del río (*Heraldo de México*, 2019).

De la información recolectada bibliográficamente y del recorrido de campo se observaron las actividades antrópicas que se realizan en todo el trayecto del río Lerma, así como las que se llevan a cabo en los parques industriales y en la ciudad de San Mateo Atenco. Esto se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Actividades antrópicas**

<i>Zona o área recorrida</i>	<i>Actividad Antrópica</i>	<i>Número</i>
San Mateo Atenco	Alimentos	3
	Textiles	4
	Concreto	2
	Cosméticos	1
	Adhesivos	1
	Fabricación de plásticos	3
	Farmacéuticos	1
	Metal mecánica	7
	Bebidas alcohólicas	1
	Textil	15
	Calzado	5
	Alimentos	10
	Fabricación plásticos	5
	Elaboración azúcar	3
	Conservadores	3
Lerma	Cosméticos y perfumes	5
	Fabricación pesticidas	2
	Farmacéuticas	5
	Fabricación de papel	5
	Fabricación de vidrio	1
	Fabricación de productos químicos orgánicos	5
	Fabricación de resinas	2
Metal mecánica	10	

*Continúa...*

<i>Zona o área recorrida</i>	<i>Actividad Antrópica</i>	<i>Número</i>
Toluca	Fábrica de cobre	1
	Alimentos	10
	Bebidas azucaradas	3
	Bebidas alcohólicas	3
	Textil	10
	Pieles	5
	Fabricación de plásticos	7
	Fabricación de jabones	3
	Fabricación de papel	4
	Farmacéuticas	4
	Pigmentos	3
	Productos químicos	10
	Metal mecánico	12
	Fábrica de aluminio	1
Agrícola	*	
Tlachaloya	Ganadera	*
	Comercial	*

Fuente: elaboración propia (2022).

Las aguas residuales de los procesos de producción de todas estas actividades son transferidas a la empresa estatal del Estado de México, la cual aplica un tratamiento biológico para degradar y remover las sustancias residuales. Sin embargo, dada la naturaleza química de algunos de estos analitos residuales disueltos en la fase acuosa este tipo de tratamiento no suele generar resultados con alta eficiencia (Borges et al., 2015).

Con este proceso bajo en efectividad de remoción, gran cantidad de sustancias se encontrarían disueltas en las aguas del río Lerma y aunado a este escenario existen varias actividades en la zona de la ciudad de San Mateo Atenco del tipo industrial que todavía se realizan de manera artesanal y clandestina, con lo cual sus aguas residuales no tienen un tratamiento adecuado.

Asimismo, se deben considerar las actividades agrícola y ganadera para las que se emplean fertilizantes y pesticidas en la primera y complementos alimenticios en la segunda. No se colocaron los números correspondientes porque fue difícil establecer

cuántos propietarios se dedican a estas actividades. Finalmente, hay que tener en cuenta todas las actividades de comercio y servicios que se ubican en las zonas cercanas al cauce del río, las cuales, a pesar de que solo distribuyen productos, la generación de residuos también puede ser considerable.

### *Análisis de insumos de actividades antrópicas*

En cuanto al estudio de estos insumos, hay que considerar que estas sustancias son de dos tipos: *a)* del tipo orgánico, que indica que su estructura es a base de átomos de carbono y la diversidad de compuestos es infinita en cuanto a estructura y complejidad; *b)* del tipo inorgánico, en los cuales son considerados las sales, los ácidos, los fertilizantes. En la Tabla 2 se muestra una relación de los insumos más utilizados por cada actividad antrópica señalada en la Tabla 1.

**Tabla 2. Relación de insumos por actividad**

<i>Actividad Antrópica</i>	<i>Insumos</i>
Alimentos	Conservadores, colorante, microorganismos, nitratos, sulfatos, bases
Textiles	Colorantes, pigmentos, pegamentos
Concreto	Dispersiones de acrilato y resinas de acrilato, condensado de naftalina-formaldehído y éter policarboxilado
Adhesivos	Polímeros, catalizadores metálicos
Fabricación de plásticos	Polímeros, catalizadores metálicos
Farmacéuticos	Compuestos orgánicos lineales, aromáticos, catalizadores metálicos
Metal mecánica	Metales, sales
Bebidas alcohólicas	Sacarosa, ácidos orgánicos, sales de calcio
Conservadores	Sales, sulfatos, nitratos, fosfatos y compuestos orgánicos
Cosméticos y perfumes	Compuestos orgánicos lineales y aromáticos, catalizadores
Fabricación pesticidas	Compuestos orgánicos lineales y aromáticos, catalizadores
Fabricación de papel	Sosa, cloro, ácido sulfúrico, resinas, sulfuro de hidrógeno
Fabricación de vidrio	Zeolitas, carbonato de calcio, sales de boro, silicio, vanadio
Fabricación de productos químicos orgánicos	Compuestos orgánicos lineales y aromáticos, catalizadores, ácidos, bases, sales

*Continúa...*

<i>Actividad Antrópica</i>	<i>Insumos</i>
Fabricación de resinas	Polímeros, catalizadores
Fábrica de cobre	Cobre
Bebidas azucaradas	Azúcar
Pieles	Cromo, bases, ácidos
Fabricación de jabones	Sales, ácidos, bases, compuestos orgánicos
Pigmentos	Compuestos orgánicos y metales
Fábrica de aluminio	Aluminio
Agrícola	Fosfatos, nitratos, sulfatos
Ganadera	Complementos alimenticios para ganado
Calzado	Pegamentos, cromo si se curte, colorantes

Fuente: elaboración propia (2022).

Como se puede apreciar, los insumos que se emplean son variados, en cuanto a los compuestos orgánicos e inorgánicos. Cada uno de ellos es parte de los procesos de producción de cada actividad, y según las condiciones de los procesos estos insumos sufrirán transformaciones químicas, que a su vez generarán nuevos compuestos químicos que habitualmente son vertidos como residuos al río. En el mejor de los casos, algunas de las empresas aplicaron un proceso de tratamiento previo para remover algunos químicos residuales, antes de liberarlas a los cauces que comunican con el río Lerma.

A la par del análisis de las actividades de los parques industriales de Lerma y la ciudad de San Mateo Atenco, cuyos residuos disueltos en el río Lerma abastecen de manera indirecta la presa José Antonio Alzate, también se consideraron las labores cotidianas que se realizan en la localidad de Tlachaloya, entre las que se encuentran la agricultura, ganadería, así como separación y quema de cable de luz y otros residuos para, por medio de ellos, obtener otros subproductos que puedan comercializar (Machicao, 2013).

Con lo anterior, fue posible observar que también la comunidad, al verter los residuos, ya sea por infiltración de lluvia, también colaboran transfiriendo sustancias contaminantes a la presa, sobre todo con la actividad de agricultura, pues se constató que la población manipuló tanto fertilizantes (uso de sulfatos, nitratos y fosfatos) como algunos plaguicidas (compuestos aromáticos).

*Predicción de transferencia de sustancias residuales al ambiente*

En este punto se analizó la naturaleza química de los residuos que se generaron en los procesos de producción de cada actividad y cómo estos tienen al transferirse al ambiente efecto adverso en la calidad del agua. Esto se muestra en la Tabla 3, cabe señalar que este desglose se realizó de manera general agrupando de acuerdo con sus características a los diferentes compuestos residuales.

**Tabla 3. Transferencia de sustancias y efectos adversos**

<i>Sustancia</i>	<i>Transferencia al cauce de agua del río Lerma</i>	<i>Efecto adverso en calidad del agua</i>
Compuestos orgánicos lineales	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Alteración de valores en la DBO5
Compuestos orgánicos aromáticos	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Alteración de valores en la DQO
Sales de metales	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Dependiendo de las concentraciones de c/metal pueden exceder los límites permisibles en las NOM mexicanas
Catalizadores	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Dependiendo de las concentraciones de c/metal pueden exceder los límites permisibles en las NOM mexicanas
Metales	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Dependiendo de las concentraciones de c/metal pueden exceder los límites permisibles en las NOM mexicanas
Ácidos orgánicos	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Dependiendo de la estructura afectan a la DBO5 y DQO
Jabones y detergentes	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Evitan la oxigenación (O <sub>2</sub> ) al agua, retardando la oxidación de compuestos orgánicos sencillos
Sustancia	Transferencia al cauce de agua del río Lerma	Efecto adverso en calidad del agua
Bases y ácidos inorgánicos	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Alteran los valores de pH moviendo a valores básicos o ácidos dependiendo de la concentración de la sustancia

*Continúa...*

<i>Sustancia</i>	<i>Transferencia al cauce de agua del río Lerma</i>	<i>Efecto adverso en calidad del agua</i>
Colorantes y pigmentos	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Dependiendo de la estructura afectan a la DBO5 y DQO. Asimismo, confieren color al agua residual
Polímeros	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Dependiendo de la estructura afectan a la DBO5 y DQO
Azúcar (glucosa y sacarosa)	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor y como residuo urbano clandestino	Alteración de valores en la DBO5
Aluminio	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	No es el más monitoreado, pero puede exceder los límites permisibles de las NOM mexicanas
Fosfatos, nitratos y sulfatos	Arrastrados por escorrentía o lluvias a los cauces de agua	Sus altas concentraciones propician el desarrollo de la Eutrofización
Adhesivos y pegamentos	Residuos de proceso por actividad de limpieza de reactor	Alteración de valores en la DQO
Complementos alimenticios	Arrastrados por escorrentía o lluvias a los cauces de agua	Dependiendo de la estructura afectan a la DBO5 y DQO

Fuente: elaboración propia (2022).

Como se puede apreciar, los mecanismos de transferencia de estas sustancias residuales al cauce de agua son por las actividades de limpieza de maquinaria, donde se produjeron los productos concernientes a cada actividad industrial. Esto se justifica debido a que en cada lote de producción que tienen las empresas, siempre como regla debe de realizarse un proceso de limpieza de la maquinaria o reactores donde se llevaron a cabo las transformaciones químicas. Entonces, el agua residual proveniente de esta actividad contiene sustancias disueltas que son las señaladas en la Tabla 1.

El otro mecanismo que se indica en esta Tabla es la de escorrentía que disuelve a los nitratos, fosfatos y complementos alimenticios que corresponde a las actividades agrícola y ganadera que se realizan en los terrenos que se ubican a los lados del cauce del río que alimenta la presa José Antonio Alzate.

En el momento en que estos residuos son incorporados a la fase acuosa, originan que la calidad del agua desaparezca. Esto se esclarece mediante las pruebas de laboratorio que se señalan en la Tabla 1, y que son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), metales pesados, concentración de oxígeno [O<sub>2</sub>], potencial de hidrógeno (pH), color, nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-1</sup>), fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>), la cuales

se rigen por lo que señalan las normas oficiales mexicanas NOM-Semarnat-1996, 001, 002 y 003 y que establecen los límites permisibles.

Cabe señalar que el traspasar los límites permisibles de estas pruebas o indicadores, lleva al agua a sufrir una vulnerabilidad. Esto implica que cuerpos acuíferos no tienen la resistencia para reponerse de la alteración de sus propiedades principales por la incorporación de estas sustancias químicas residuales. Esto se traduce finalmente en que el agua no puede utilizarse para consumo humano ni para sostener la vida acuática y menos para su uso en actividades agrícolas o ganaderas. Esto ratifica el gran problema que está experimentando el hombre, que este recurso está agotándose de forma constante por las actividades cotidianas.

### *Recorrido en campo para corroboración de afectación ambiental*

Una vez establecidas las afectaciones negativas que produce la incorporación de estas sustancias en el cauce del río, es lógico que lleguen y se manifiesten en la presa José Antonio Alzate. Así, se realizó un recorrido de campo para corroborar de manera visual cómo se está afectando a este lugar de estudio. Esto se muestra en las Imágenes de la 1 a la 4.

**Imagen 1. Río Lerma en proceso de eutrofización**



Fotografía de los autores (2022).

En esta imagen se muestra claramente el proceso de eutrofización del río Lerma exactamente a un costado de la planta tratadora estatal, esto indica que la concentración de nitratos y fosfatos es muy alta. El proceso aerobio natural ha dejado paso al proceso anaerobio.

**Imagen 2. Muestra de agua de río Lerma a) antes y b) después de la planta tratadora estatal**



Fotografía de los autores (2022).

Esta imagen muestra el agua que se recolectó antes (a) y después (b) de la planta tratadora estatal. De hecho, el agua más oscura corresponde a la que sale después del tratamiento biológico, esto indica que todavía están presentes muchas sustancias disueltas que confieren esa coloración.

### Imagen 3. Cauce que abastece la presa José Antonio Alzate



Fotografía de los autores (2022).

En esta imagen se observa que estas aguas de color café oscuro son conducidas por el cauce natural del río Lerma y van a abastecer a la presa José Antonio Alzate. En este trayecto se puede constatar que disminuye la coloración, esto debido a una oxigenación natural. Pero el cuestionamiento es ¿qué sucede con los metales pesados?, lo más seguro es que sufran procesos de absorción por parte del suelo y vegetación que se encuentra a ambos lados del afluente.

### Imagen 4. Muestras de agua en la presa José Antonio Alzate



Fotografía de los autores (2022).

En esta imagen se puede constatar esta aseveración debido a la observación de las muestras de agua que abastecen la presa, esto constata que debido a la presencia de oxígeno se llevó a cabo una oxidación o degradación de algunos compuestos orgánicos y nitratos presentes en el cauce.

**Imagen 5. Eutrofización de la presa José Antonio Alzate**



Fotografía de los autores (2022).

Finalmente, en la Imagen 5 se muestra la vulnerabilidad generada en la presa José Antonio Alzate, ya que se observa claramente el proceso de eutrofización. Quizá todavía no se presenten los lirios acuáticos que son bioindicadores, pero por comentarios de personas del lugar estos crecen después de que se presenta esta evidencia.

### *Integración de resultados en campo*

Al realizar el recorrido de campo se pudo constatar toda la afectación que está sufriendo la presa José Antonio Alzate por la presencia de estas sustancias residuales. Al contrastar estos resultados visuales con la predicción de la transferencia de estos

compuestos al cuerpo de agua del río Lerma y como este abastece la presa se tomó la decisión de realizar algunas pruebas de laboratorio en la Facultad de Química de la UAEMÉX. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4. Resultados de pruebas de laboratorio del agua de la presa**

<i>Parámetro Físicoquímico</i>	<i>Límite Permissible</i>	<i>Norma aplicable</i>	<i>Resultado experimental (mg/L)</i>
pH	6.5-8.5	(NOM-001-SEMARNAT-1996)	6.4
Demanda Química Oxígeno (DQO)	250	(NOM-067-ECOL-1994)	767.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	150	(NOM-001-SEMARNAT-1996)	345.4
Nitrógeno (nitratos)	25	(NOM-001-SEMARNAT-1996)	245
Fósforo (Fosfatos)	15	(NOM-001-SEMARNAT-1996)	234
Grasas y aceites	15	(NOM-001-SEMARNAT-1996)	23.6
Metales Pesados	-		-

Fuente: elaboración propia (2022).

Los resultados de las pruebas físicoquímicas muestran que se rebasaron los límites permitidos para la DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos, fosfatos, generados por todas las actividades humanas y transportados por el río Lerma. Por otra parte, debemos comentar que debido a problemas de financiamiento para realizar esta etapa de la investigación no se han podido generar los resultados a la cuantificación de metales pesados (de ahí que no se señalen en la Tabla 4), pero no se niega su presencia. Estudios previos han reportado esta problemática, donde se han encontrado concentraciones de cromo (Cr), manganeso (Mn), zinc (Zn) y plomo (Pb) (Zarazúa et al., 2013).

#### PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Una vez analizado el escenario de contaminación que se presenta en la presa José Antonio Alzate, las propuestas de solución se orientan a que el gobierno estatal ayude en la infraestructura de las siguientes tecnologías: *a)* La construcción de pequeñas lagunas de estabilización antes de que el agua residual entre a la presa, con tiempos de retención de 5 a 30 días. En esta opción el parámetro de diseño y operación sería

la producción de oxígeno, ya que las bacterias aeróbicas presentes en la fase acuosa utilizan oxígeno para oxidar y degradar la materia orgánica (compuestos residuales) (Comisión Nacional del Agua, 2007); *b*) Un tratamiento electroquímico con un diseño de tiempo de retención de 2 a 10 horas incluyendo mallas de hierro por donde pase el agua residual y que estén conectadas a una fuente de poder. Con este diseño se generarían reacciones químicas que degradarían los compuestos orgánicos e inorgánicos hasta una mineralización completa y una reducción de metales pesados que se depositarían en forma de costra sobre una de las mallas (Morales et al., 2020), y *c*) Se podría implementar una combinación de estas dos propuestas, en la cual primero se aplicaría el tratamiento electroquímico con cortos tiempos de tratamiento, donde se degradarían los contaminantes de estructura compleja (químicamente hablando) a sustancias más simples (Taborda et al., 2011). Posteriormente, en una segunda etapa estos contaminantes simples serían transferidos a la laguna de estabilización, y la hidrólisis de estos residuos orgánicos se completaría de una manera más viable (Alexander y Prieto, 2020).

Cabe señalar que estas propuestas para la solución del problema de contaminación de la presa José Antonio Alzate requieren un financiamiento que implicaría que el gobierno estatal apoyara a la localidad de Tlachaloya, ya que debido a las actividades que realiza la población de dicha zona no cuenta con recursos económicos para solventar esta problemática que aqueja a este cuerpo de agua.

## CONCLUSIONES

1. La vulnerabilidad del agua en la presa José Antonio Alzate se hace evidente, mediante el análisis de observaciones directas y los resultados parciales de pruebas de laboratorio de calidad del agua.
2. La evidencia más palpable que se presenta de esta vulnerabilidad en la presa José Antonio Alzate es la proliferación del proceso de eutrofización, esto indica el consumo de oxígeno de la presa transformando un lugar originalmente aerobio en anaerobio, donde no se puede sostener la vida acuática.
3. Las actividades antrópicas son las responsables de generar esta vulnerabilidad, debido a las sustancias que se vierten al cauce del río Lerma que abastece la presa José Antonio Alzate.

4. Los residuos que más impactan sobre la calidad del agua son los orgánicos, que usualmente provienen de procesos industriales y tienen efecto directo sobre las características primordiales de esta, evitando su consumo.
5. La afectación al ambiente en la zona de estudio es de carácter destructivo a largo plazo; las evidencias negativas se van incrementando paulatinamente y se pueden visualizar a simple vista, como la apariencia del agua.
6. El proceso de periurbanización genera residuos propios de las actividades humanas, los cuales son incorporados al caudal que alimenta la presa José Antonio Alzate, esto propicia la vulnerabilidad ambiental de su agua en su calidad para la actividad destinada.
7. Las propuestas de solución que se plantearon al final de este trabajo están en función de las características propias de las sustancias químicas residuales que son vertidas por las actividades domésticas e industriales ya señaladas.
8. La implementación de estas propuestas conlleva la participación del gobierno del Estado de México de una manera puntual y comprometida, ya que el problema de la potabilización del agua está en estos momentos tocando el límite de preocupación para varios lugares de nuestra entidad federativa.

## REFERENCIAS

- Ahmad, S., Zahoor-Ul-Islam, S. F., Khan, A., Zaidi, W. A., & Matloob, H. (2008). Impact of Urbanization on Hydrological Regime in Indian Cities. *Journal of Environmental Research And Development*, 2(4), 594-604.
- Alexander Ramón, J., y Prieto Silva, M. A. (2020). Evaluation Of The Degree Of Hydraulic Performance Of The Stabilization Lagoons Of The Urban Wastewater Treatment System Of Tierra Linda, Iscaligua And The Portal Of The Municipality Of Los Patios Norte De Santander. *Revista Infometric@ - Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas*, 3(1), 17-34.
- Borges, M. E., García, D. M., Hernández, T., Ruiz Morales, J. C., y Esparza, P. (2015). Supported Photocatalyst for Removal of Emerging Contaminants from Wastewater in a Continuous Packed-Bed Photoreactor Configuration. *Catalysts*, 5, 77-87.
- Cepanaf. (2006). *Presa José Antonio Alzate*. <http://docplayer.es/85855205-Presa-jose-antonio-alzate.html> [Recuperado el 24 de febrero de 2021].

- Cho, Y.-C., Choi, H., Yu, S.-J., Kim, S.-H., & Im, J.-K. (2021). Assessment of Spatiotemporal Variations in the Water Quality of the Han River Basin, South Korea, Using Multivariate Statistical and APCS-MLR Modeling Techniques. *Agronomy, 11*(Statistical and APCS-MLR Modeling Techniques), 1-17.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Diseño de lagunas de estabilización*. Recuperado el 1 de mayo de 2022. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>
- Ferreiro, C., Gómez, I., Lombrana, J. I., de Luis, A., Villota, N., Ros, O., y Etxebarria, N. (2020). Contaminants of Emerging Concern Removal in an Effluent of Wastewater Treatment Plant under Biological and Continuous Mode Ultrafiltration Treatment. *Sustainability, 12*(725), 3-19.
- 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*, 305-310.
- Gobierno del Estado de México. (12 de mayo de 2006). *Presa José Antonio Alzate*. <http://docplayer.es/85855205-Presa-jose-antonio-alzate.html> [Recuperado el 25 de febrero de 2021].
- Heraldo de México*. (14 de abril de 2019). *Río Lerma, fuente de contaminación y enfermedades*. <https://hgrupoeditorial.com/rio-lerma-fuente-de-contaminacion-y-enfermedades/> [Recuperado el 25 de febrero de 2022].
- Lakshmi Raghu Nagendra Prasad Rentachintala, Muni Reddy, M. G., & Kumar Mohapatra, P. (2022). Urban stormwater management for sustainable and resilient measures and practices. *Water, Science & Technology, 85*(4), 1121-1140.
- López Galván, E., Barceló Quintal, I., Solís Correa, H., Bussy, A. L., y Ávila Pérez, P. (2008). Transporte de manganeso disuelto en la presa José Antonio Alzate, en el Estado De México. *Revista Cubana de Química, XX*(2), 14-22.
- Macías García, A., García Sanz Calcedo, J., Carrasco Amador, J. P., y Segura Cruz, R. (2019). Adsorption of Paracetamol in Hospital Wastewater Through Activated Carbon Filters. *Sustainability, 11*( 2672), 2-11.
- 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 de riesgo*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <http://ninive.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3863> [Recuperado el 1 de mayo de 2022].

- Morales P, N. B., Garavito N., J. Z., y Chávez P, Á. (2020). Descripción del comportamiento de un prototipo para tratamiento electroquímico de aguas residuales industriales. *Academia y Virtualidad*, 3(1), 125-136. <https://doaj.org/article/3eeb7637482440c89c9a13b706d533ec> [Recuperado el 1 de mayo de 2022].
- Rosas de Alva, S. G., Barceló Quintal, I. D., Bussy Beaurain, A. L., & López Galván, E. (2010). Propuesta técnica sobre el tratamiento del influente de la presa José Antonio Alzate a través un sistema lagunar aerobio. *Ingeniería, investigación y tecnología*, XI(I), 113-125.
- Sharma, R., Kumar, R., Satapathy, S. C., Al-Ansari, N., Singh, K. K., Mahapatra, R. P., ... Pham, B. T. (2020). Analysis of Water Pollution Using Different Physicochemical Parameters: A Study of Yamuna River. *Front. Environ. Sci.*, 8, 1-18.
- Taborda O., G., Zuluaga R., V., Palomá P., L., y Penagos González, J. P. (2011). Aplicación de métodos electroquímicos en la remoción de materia orgánica en los jugos producto del beneficio del fique: alternativa biotecnológica para mitigar la contaminación en los afluentes hídricos. *NOVA*, 9(16), 166-169. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/183/365> [Recuperado el 1 de mayo de 2022].
- Xie, W., Peng, C., Wang, H., y Chen, W. (2017). Health Risk Assessment of Trace Metals in Various Environmental Media, Crops and Human Hair from a Mining Affected Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), 2-13.
- Zarazúa, G., Ávila-Pérez, P., Tejeda, S., Valdivia-Barrientos, M., Zepeda-Gómez, C., y Macedo-Miranda, G. (2013). Evaluación de los metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb en Sombrerillo de Agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) del curso alto del río Lerma, México. *Revista Internacional de Contaminación Química*, 29, 17-24.

### **III. GOVERNANZA TERRITORIAL**