

Capítulo 2.2

Riesgos en la disposición final de la vinaza del Tequila: Alternativas de sostenibilidad

Covarrubias del Toro Rafael¹

Estrada Vargas Arturo²

García García Edith Xio Mara³

González Pérez Mario Guadalupe⁴

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE20259686>



¹ Estudiante del Doctorado en Agua y Energía del Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara. e-mail: rafael.covarrubias5256@alumnos.udg.mx

² Profesor-Investigador del Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara. e-mail: arturo.estrada@cutonala.udg.mx

³ Profesora-Investigadora del Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara. e-mail: xio.garcia@academicos.udg.mx

⁴ Profesor-Investigador del Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara. e-mail: mario.gperez@academicos.udg.mx

1. Introducción

La industria del tequila es fuente de aproximadamente 70 000 empleos en México. En el estado de Jalisco, ubicado en la región occidente de nuestro país, existen municipios donde esta industria emplea al 25 % de la población económicamente activa. La producción del tequila ha ido incrementándose cada año, alcanzando una producción de 528 millones de litros en el año 2024 (Consejo Regulador del Tequila, 2025). La materia prima de la que se obtiene el tequila es el agave azul, o agave tequilana Weber, el cual es procesado para la extracción de aguamiel, una bebida natural azucarada. El aguamiel es hervido y fermentado. Una vez fermentado, se lleva a un proceso de destilación, del cual se obtienen dos contaminantes: el bagazo, un residuo sólido obtenido del agave, y la vinaza, la cual es un agua residual obtenida del proceso de destilación del agave (López et al., 2010, 2016).

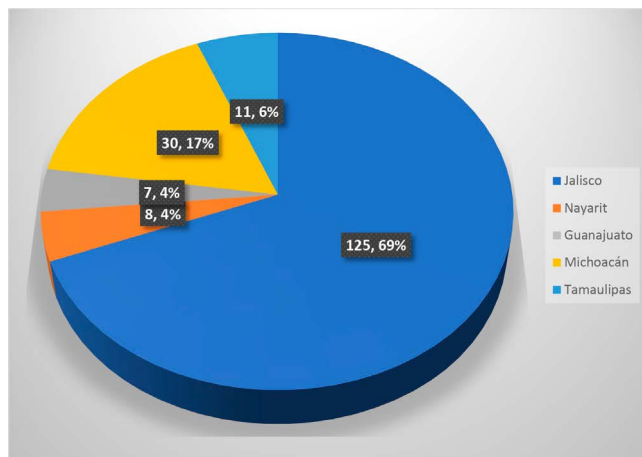
Por cada litro de tequila producido, se obtienen 10 o 12 litros de vinaza tequilera (Ferral, 2016), y en los trabajos de otros investigadores mencionan que se obtienen de 9 a 14 litros de vinaza tequilera por cada litro producido de tequila (Rodríguez et al., 2020). Se estima entonces que en 2024 se generaron como subproducto cerca de 6 000 millones de litros de vinaza tequilera. En términos generales, las características fisicoquímicas de las vinazas son valores bajos de pH, alta Demanda Química de Oxígeno (DQO) y una coloración café oscura (Ferral et al., 2016). Estas características de las vinazas son las que causan graves daños y altos riesgos de contaminación y a la salud al ser depositadas en los cuerpos de agua y el suelo.

Para determinar la calidad de este efluente (vinaza tequilera), se emplean parámetros entre los que se incluyen: Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), cuyos límites se especifican en la norma NOM-001-SEMARNAT-2021.

En Jalisco, nuestro estado, la producción industrial de tequila está presente, y se ha recurrido a la irrigación del agua residual de vinaza tequilera a los suelos o campos agrícolas, ya que los agricultores consideran que el agua residual es benéfica para el suelo debido a su alto contenido en materia orgánica y diversos nutrientes. Realmente hay pocos estudios documentados al respecto, en cuanto a los procesos de nitrificación y desnitrificación del suelo, así como los cambios en la ecología microbiana ocasionada por la irrigación del agua residual de vinaza tequilera (Morán, 2015). La planta endémica *Agave tequilana* Weber o agave azul tiene denominación de origen comprendida en 181 municipios, de los cuales 125 son del estado de Jalisco, 8 de Nayarit, 7 de Guanajuato, 30 de Michoacán y 11 de Tamaulipas (Iñiguez et al., 2005), como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

*Denominación de origen de la planta endémica *Agave Tequilana* Weber*



Fuente: Elaboración propia con datos de Iñiguez et al., 2005.

La producción de tequila genera residuos como lo son el bagazo y las vinazas. Las vinazas son el desecho líquido que queda después de producir el tequila. Estas vinazas quedan en el fondo de los alambiques una vez que se ha llevado a cabo la destilación del agave fermentado. Se tiene estimado que se generan entre 10 y 12 litros de vinaza tequilera por cada litro de tequila producido (Marino et al., 2015).

Una gran cantidad de vinazas no recibe un tratamiento completo y adecuado de acuerdo con la normatividad vigente (NOM-001-SEMARNAT-2021) antes de ser descargado en los cuerpos de agua (lagos, ríos, presas, arroyos) y alcantarillado municipal o suelos agrícolas (Iñiguez et al., 2015).

Las vinazas tequileras tienen una concentración elevada de materia orgánica de 35 000 a 60 000 mg l⁻¹ como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), de 60 000 a 100 000 mg l⁻¹ como DQO (Demanda Química de Oxígeno), y un pH de 3 a 4; a su vez, una alta concentración de sólidos suspendidos y disueltos, iones de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Linerio-Gil y Guzmán-Carrillo, 2004). Una alta concentración de carga orgánica (como es el caso de las vinazas tequileras), al ser descargada a los cuerpos de agua, compromete el oxígeno disuelto en estos (Tchobanoglous et al., 1991 y López et al., 2010).

En el año 2022, se estimó que el $69 \pm 14\%$ de las vinazas de aguas residuales en el estado de Jalisco recibe un tratamiento completo, y se descarga en el suelo o es usado para riego. Un $25 \pm 5\%$ recibe un tratamiento incompleto en el cual sólo se regula su temperatura y su pH, para ser descargado en el suelo o usado para riego. Otro $4 \pm 1\%$ es tratado por una compañía externa (Zurita et al., 2022). El motivo o principal razón por la que las empresas tequileras descargan agua residual de vinazas tequileras sin un tratamiento completo a los cuerpos de agua es debido a su limitación económica para conseguir tecnologías que den un tratamiento completo a su agua residual de vinaza tequilera (Díaz-Vázquez et al., 2021).

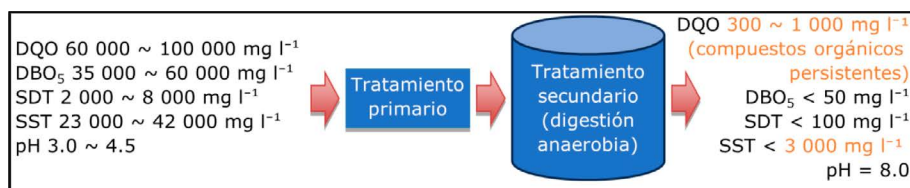
Al ser modificada la NOM-001-SEMARNAT-1996 por su versión 2021, se limitó el valor de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) a 150 mg l⁻¹ (Covarrubias, 2023). Las plantas productoras de tequila que dan un tratamiento convencional a este tipo de aguas residuales emplean procesos primarios, secundarios y terciarios que son biológicos y fisicoquímicos (López et al., 2010). Este tipo de tratamientos logra remover más del 90 % de compuestos orgánicos, alcanzando valores finales de DQO entre 300 y 1000 mg l⁻¹, que corresponden a la presencia de compuestos orgánicos persistentes, que en su mayoría son compuestos fenólicos (Arreola-Vargas et al., 2016; Castillo-Monroy et al., 2020; Colin et al.,

2016). Aun así, estos valores de DQO superan el límite establecido por la norma para la descarga de este efluente a los cuerpos de agua, que es de 150 mg l^{-1} (SEMARNAT, 2022).

En la Figura 2, se muestra el tren de tratamiento convencional de vinaza tequilera.

Figura 2.

Esquema del tratamiento convencional de vinaza tequilera.



Fuente: Elaboración propia

La vinaza tequilera, al ser depositada en los cuerpos de agua, se va degradando y va consumiendo el oxígeno disuelto en dichos cuerpos, lo que provoca la muerte de la flora y fauna acuática. Para determinar lo que es el oxígeno consumido en los cuerpos de agua, se emplean los parámetros conocidos como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). Las vinazas tequileras tienen niveles altos en estos parámetros. Uno de los riesgos que se presenta es la afectación de los mantos freáticos y aguas superficiales, al ser la vinaza infiltrada en el suelo como al ser descargada en lagos y ríos, contaminando el agua potable y afectando a poblaciones o comunidades aledañas, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3.

Contaminación de las vinazas tequileras en los cuerpos de agua.

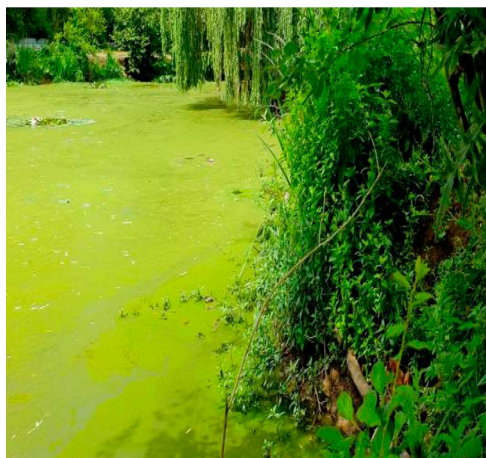


Fuente: El Mural, 2021

La eutrofización es otro de los riesgos que vienen con el manejo de las vinazas tequileras (Figura 4), el cual consiste en la alteración de los ecosistemas acuáticos y la generación de zonas muertas por la floración de algas, las cuales se provocan por los altos contenidos de nutrientes (como lo son el fósforo y el nitrógeno) contenidos en las vinazas tequileras.

Figura 4.

Eutrofización de un cuerpo de agua.



Fuente: bioenciclopedia, 2023

La vinaza tequilera tiene un pH muy bajo (entre 3 y 4), por lo que, al ser depositada en los suelos, puede acidificarlos, haciéndolos menos aptos para el cultivo de productos agrícolas. También puede generar la salinización del suelo por la acumulación de metales pesados y sales, lo que afecta también la producción agrícola y el crecimiento de plantas, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5.

Depósito de vinaza tequilera al suelo.



Fuente: Nota informativa sobre innovaciones en materia de productividad del sector, 2016

Las vinazas tequileras pueden generar gas metano (CH_4), el cual tiene un calentamiento 25 veces mayor al dióxido de carbono (CO_2). El gas metano es generado de forma anaerobia durante el proceso de fermentación de vinazas tequileras en lo que se conoce como lagunas de oxidación (Figura 6). Producen también óxidos de nitrógeno (NO_x), los que contribuyen a la formación de lluvia ácida y smog. A estos gases se les conoce o clasifica como Emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

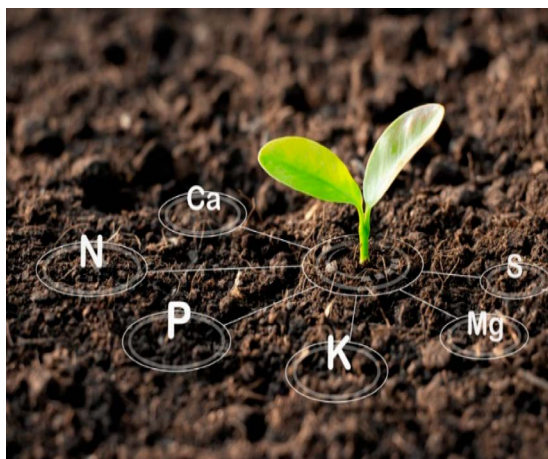
Figura 6

Laguna de oxidación



Fuente: Ingeniería ambiental, 2020

La descomposición de la materia orgánica contenida en la vinaza tequilera genera malos olores, como el del ácido sulfhídrico (H_2S), conocido también como sulfuro de hidrógeno, un gas con un aroma a huevo podrido que en altas concentraciones puede llegar a ser tóxico. Otros de los riesgos ambientales son la alteración de microorganismos que son benéficos para el suelo y lo que es el efecto tóxico en organismos acuáticos como terrestres, es decir, en la flora y fauna local, como se había mencionado anteriormente. Con respecto a lo que es la alteración de microorganismos que son benéficos para el suelo, la vinaza tequilera puede afectar a lo que se conoce como la microbiota del suelo (Figura 8), que es la capacidad para llevar a su descomposición a la materia orgánica y a su vez reciclar nutrientes. Estos dos últimos riesgos ambientales que se mencionaron se conocen o clasifican como pérdida de biodiversidad.

Figura 8*Microbiota del suelo**Fuente: microendo, 2024*

La literatura sobre el efecto de vinazas tequileras en suelos es escasa, y es nula la información sobre su efecto en la generación de gases de efecto invernadero (Morán, 2015). La vinaza tequilera contiene sales de potasio y una variedad de metales pesados como lo son el arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, zinc y compuestos con cianuro, los cuales son un riesgo para la salud humana. Con respecto a los riesgos para la salud humana que se presentan al tener contacto directo con las vinazas, se clasifican en las siguientes enfermedades y afecciones:

a) Problemas respiratorios por la inhalación de gases tóxicos.

La vinaza tequilera, al ser fermentada o descomponerse, genera gases como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3) y metano (CH_4), que son gases que pueden causar irritación en las vías respiratorias (tos, dificultad para respirar), dolores de cabeza y mareos al tener exposición leve al sulfuro de hidrógeno (H_2S), así como pérdida del conocimiento e inclusive la muerte si se tiene exposición prolongada a concentraciones altas de sulfuro de hidrógeno (H_2S).

b) Enfermedades gastrointestinales por consumo de agua contaminada. Las vinazas tequileras al contaminar cuerpos de agua, pueden provocar enfermedades como gastroenteritis (con vómitos, fiebre y diarrea),

daño hepático y renal a largo plazo por intoxicaciones con metales pesados contenidos en las vinazas tequileras, y una enfermedad conocida como leptospirosis cuyos síntomas son ictericia, fiebre alta, insuficiencia renal causada por bacterias que proliferan o habitan en los cuerpos de agua contaminados con materia orgánica o compuestos orgánicos persistentes provenientes de las vinazas tequileras.

c) Afecciones en la piel y ojos por contacto directo.

Las afecciones en la piel y ojos que puede causar la vinaza tequilera al tener contacto directo son dermatitis (irritación y quemadura en la piel), úlceras o heridas por exposición prolongada, irritación ocular severa que se presenta como enrojecimiento, lagrimeo y visión borrosa; que son afecciones presentadas debido a la acidez y toxicidad de la vinaza.

d) Problemas neurológicos y hepáticos por exposición prolongada a metales pesados.

Las vinazas tequileras pueden contener plomo, cadmio y arsénico, que al exponerse a esto por prolongado tiempo puede causar daño hepático y renal, dificultando la eliminación de toxinas del cuerpo, así como trastornos neurológicos, como son problemas de concentración y pérdida de memoria.

Los grupos de riesgo más afectados por la exposición a las vinazas tequileras son:

- a) Trabajadores de la industria tequilera, por su contacto directo o manejo.
- b) Comunidades cercanas a plantas tequileras, por la contaminación del agua y aire

Figura 9

Canal contaminado en Tequila, Jalisco



Fuente: Jornada, 2024

c) Los agricultores que utilizan la vinaza como fertilizante sin un tratamiento adecuado.

Figura 10

Utilización de vinazas como aguas de riego en campo de cultivo.



Fuente: Linkeldn, 2023

La contaminación del agua, aire y suelo afecta a los ecosistemas y a las comunidades humanas, provocando degradación en el medio ambiente, como también enfermedades, en este caso, debido al manejo inadecuado en las vinazas tequileras. ¿Cómo se pueden manejar o tratar adecuadamente las vinazas tequileras para evitar riesgos ambientales y de salud en las comunidades? Actualmente, se cuenta con procedimientos tecnológicos y de investigación para dar un tratamiento y manejo a las vinazas tequileras.

Las tecnologías de tratamiento y reutilización que hay para las vinazas tequileras son las siguientes:

- 1) Plantas de tratamiento de aguas residuales para disminuir la carga orgánica y toxicidad.
- 2) Uso de biodigestores para la producción de biogás y así evitar la emisión de GEI (gases de efecto invernadero).
- 3) Aplicación controlada en el riego de suelos agrícolas para evitar toxicidad y daño en los suelos.
- 4) Monitoreo ambiental sustentado en normativas para la protección del medio ambiente y la salud pública.

Los tratamientos para las vinazas tequileras se clasifican de la siguiente manera:

- 1) Tratamientos biológicos:

Digestión aerobia: Es un proceso biológico, en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de determinadas bacterias, se descompone en biogás, con un alto porcentaje de gas metano (CH₄). (Biomasa, digestores anaerobios, IDAE, 2007)

Digestión aerobia: En este proceso se utilizan microorganismos que requieren oxígeno para degradar la materia orgánica, descomponiéndola en agua y dióxido de carbono. (Manual de Biogás, 2011)

2) Coagulación-Floculación:

Consiste en lo que es la adición de coagulantes y floculantes que facilitan que las partículas suspendidas se aglomeren lo que lleva a una mejor sedimentación y clarificación del agua residual de la vinaza tequilera. (Ferral-Pérez (2016), Tratamiento de Vinazas Tequileras por Coagulación-Floculación empleando un biopolímero acoplado a ozonación catalítica, pp. 17)

3) Adsorción con biochar:

Este método emplea un material carbonoso obtenido de biomasa conocido como biochar, cuya función es la de adsorber los contaminantes presentes en las vinazas, disminuyendo la carga orgánica y mejorando la calidad del efluente, en este caso, la vinaza. (López-Covarrubias, Aguilar Juárez; 2023)

4) Tecnologías de separación mecánica:

El empleo de equipos como centrifugadores y decantadores permite el separar de una forma eficiente los sólidos presentes en las vinazas para facilitar tanto su manejo como su disposición final. (Flottweg, 2025)

5) Biorrefinería:

Con este concepto o enfoque se pretende obtener diversos tipos de energía como lo son la bioelectricidad, gas metano e hidrógeno o biohidrógeno, aplicando procesos biotecnológicos a las vinazas tequileras. (Díaz Barajas et al., 2022)

6) Humedales artificiales:

Los humedales artificiales son una alternativa para el tratamiento de vinazas tequilera, la cual es una alternativa sostenible y efectiva, ya que tiene las ventajas de ser económico su construcción, mantenimiento y funcionamiento. Mencionamos algunos de los tratamientos de estos humedales.

Tratamiento terciario de vinazas tequileras en humedales artificiales con lirio acuático y pastos pará y vetiver:

En este estudio se evaluó un sistema de humedales artificiales con lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en una primera celda, y en celdas posteriores pastos pará (*Panicum purpurascens*) y vetiver (*Vetiveria zizanioides*). Los resultados obtenidos fueron buenos, ya que dio una disminución significativa en la carga orgánica y otros contaminantes presentes en las vinazas tequileras. (Guadalupe Cantor G. et al., 2001).

Proceso de tratamiento de vinazas:

El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) también desarrolló un proceso que incluye pretratamiento fisicoquímico, tratamiento biológico avanzado y postratamiento en humedales artificiales con lirio acuático y pastos pará y vetiver; demostrando ser eficaz en la depuración de aguas residuales en la producción de tequila. (ciatej.mx)

Tratamiento de vinazas tequileras en humedales verticales de flujo descendente a escala piloto:

Este estudio evaluó la eficiencia de humedales verticales de flujo descendente plantados con *Iris sibirica* para el tratamiento de vinazas tequileras. Los resultados indicaron una remoción efectiva de materia orgánica y otros contaminantes, destacando la viabilidad de esta tecnología para el tratamiento de efluentes de la industria tequilera. (Zurita et al., 2023)

Otros trabajos de investigación que se han realizado y que también se están desarrollando para el tratamiento de vinazas tequileras son los siguientes:

Remoción de Demanda Química de Oxígeno por combinación de electro-coagulación con ozonificación.

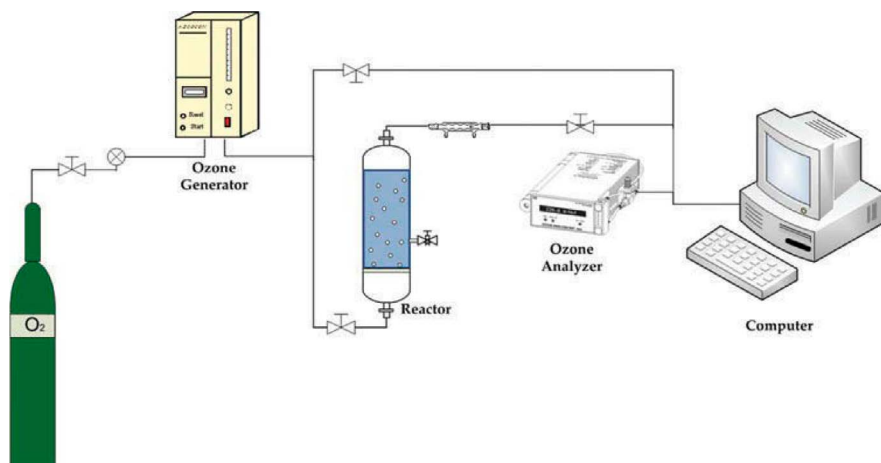
La combinación de electrocoagulación y ozonificación es una alternativa prometedora para la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales, en ese caso proveniente de vinazas tequileras.

La electrocoagulación es un proceso en el que se utilizan electrodos de aluminio o hierro que generan coagulantes por medio de electrólisis.

El gas ozono (O_3), es un agente oxidante muy fuerte y potente que descompone compuestos orgánicos complejos, como los que contiene la vinaza tequilera, lo que como consecuencia mejora la biodegradabilidad disminuyendo la demanda química de oxígeno, por lo que la combinación de estas tecnologías disminuye la carga orgánica inicial lo que facilita la oxidación posterior por el gas ozono, como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Remoción de Demanda Química de Oxígeno por combinación de electro-coagulación con ozonificación, logrando una remoción del 26.70%.



Fuente: Ferral-Pérez et al; 2016

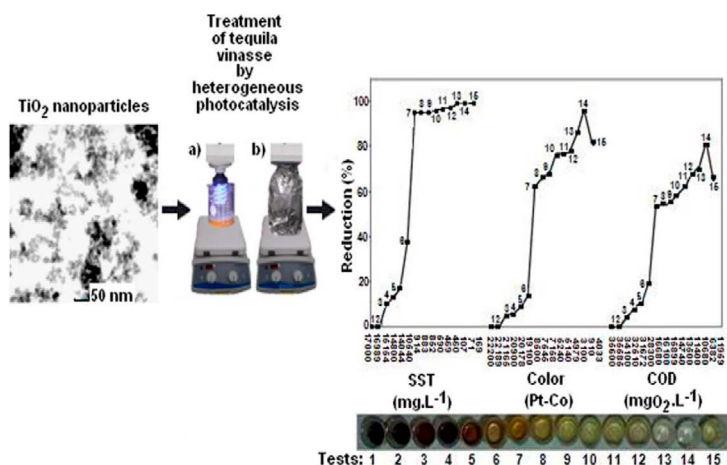
a) Remoción de Demanda Química de Oxígeno por coagulación-floculación y fotocátalisis heterogénea.

El proceso de coagulación floculación debido a su capacidad para eliminar materia orgánica, sólidos suspendidos como contaminantes coloidales es ampliamente usado para el tratamiento de aguas, que en este caso nos referimos a las vinazas tequileras. Para ello en este proceso se utilizan coagulantes y floculantes.

En referencia a la fotocátalisis heterogénea, es un proceso de oxidación avanzada que utiliza un semiconductor el cual es activado por luz solar o luz ultravioleta, lo cual genera lo que se conoce como

especies reactivas de oxígeno, que degradan contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales. Los semiconductores usados en este proceso pueden ser óxido de zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO_2). La combinación de los procesos mencionados anteriormente tiene las ventajas de que disminuye la turbidez del agua a tratar, mejorando la transmisión de la luz para que se lleve a cabo la fotocatalisis, como se muestra en la Figura 12, logrando una remoción de Demanda Química de Oxígeno del 70 %.

Figura 12
Fotocatálisis

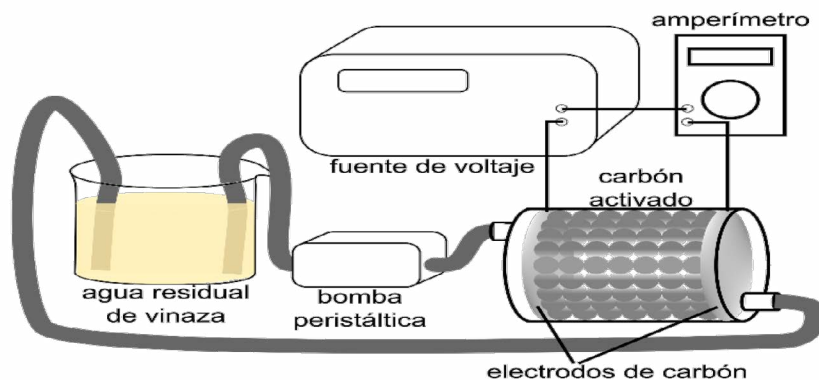


Fuente: Rodríguez-Arreola, 2020

b) Remoción de demanda química de oxígeno a través de un reactor de adsorción/electro-oxidación.

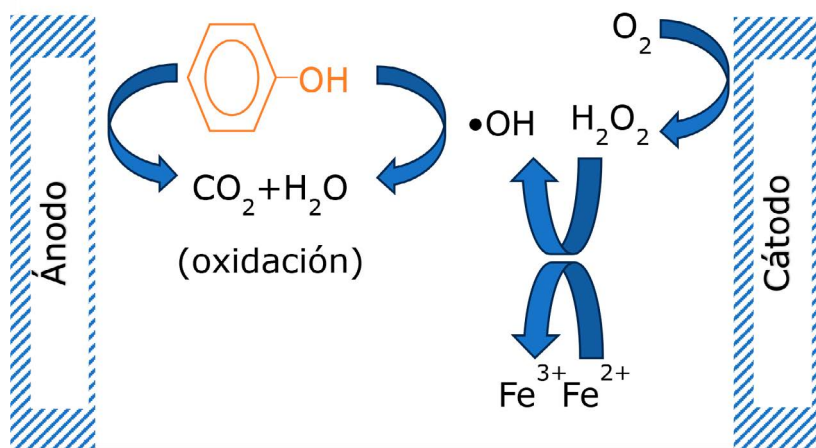
Esta tecnología es un gran método o estrategia eficiente para el tratamiento de aguas residuales con gran carga orgánica como lo son las vinazas tequileras, ya es una combinación de la degradación electroquímica de los compuestos orgánicos en las vinazas tequileras con la eliminación física de estos por adsorción. Esta tecnología logró una remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 85 % con un gasto energético de 9mWh mg DQO^{-1} .

Figura 13.
Demanda Química de Oxígeno



Fuente: Castillo-Monroy et al; 2021

- c) Remoción de demanda química de oxígeno por método electro-Fenton
 Este proceso combina lo que es la química del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con electroquímica, y una sal de hierro (específicamente sulfato ferroso heptahidratado, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), donde el hierro actúa como un catalizador, el que genera radicales hidroxilo que degradan los compuestos orgánicos persistentes en la vinaza tequilera. Con este reactor se logró una remoción del 40 %, con un consumo energético de $0.7 \text{ mWh mg DQO}^{-1}$ utilizando telas de carbón como electrodos, las cuales fueron calcinadas a 600°C .

Figura 14*Reactor electro-oxidación-Fenton**Fuente: Covarrubias-del-Toro, R. 2023*

2. Metodología

El proceso metodológico se desarrolló bajo un enfoque documental y cualitativo, orientado al análisis crítico de fuentes bibliográficas, artículos científicos, informes técnicos y normativas ambientales relacionadas con la producción de tequila y el manejo de la vinaza tequilera en el estado de Jalisco, México.

El objetivo principal fue identificar y analizar los riesgos ambientales y de salud asociados con la disposición inadecuada de este efluente, así como mencionar las alternativas sostenibles para su tratamiento, disposición final, las investigaciones que se han realizado y se están realizando con la finalidad de mejorar y resolver la problemática tratada en este trabajo.

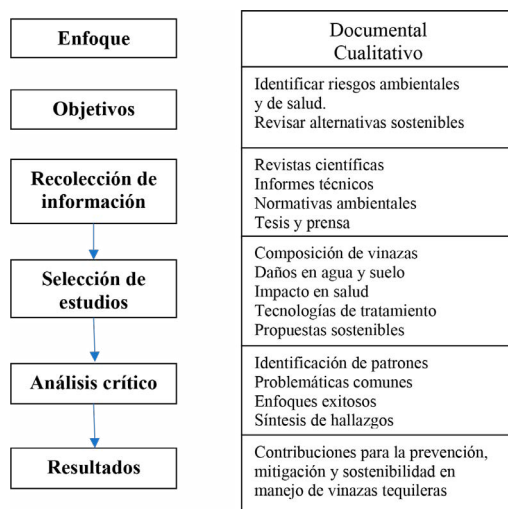
La recolección de información se llevó a cabo mediante la revisión, consulta académica y técnica, publicada en sitios web de revistas científicas como Springer Nature, Frontiers in Environmental Science, Elsevier, Springer Plus, Royal Society of Chemistry, MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), The Journal of the International Ozone Association, Environmental Technology, Tecnología y Ciencias del Agua Consejo Regulador del Tequila, SEMARNAT, Casa Sauza, sitios web

de los periódicos *La Jornada*, *El Mural*, y algunas tesis de posgrados de universidades de México.

Se incluyó información de estudios que abordan: a) la composición química de la vinaza tequilera, b) los daños que causan en los cuerpos de agua y suelo, c) el impacto en la salud humana, d) tecnologías emergentes y tradicionales para el tratamiento de vinazas (primario, secundario y terciario) y e) propuestas sostenibles para su manejo, prevención y valorización. La información seleccionada fue analizada y revisada de una manera crítica para obtener y sintetizar los hallazgos más relevantes. Se identificaron patrones, problemáticas comunes y enfoques exitosos que puedan contribuir a la generación de soluciones sostenibles, con énfasis en la prevención de impactos y la mitigación de riesgos.

Figura 15

Diagrama del proceso metodológico.



Fuente: Covarrubias-del-Toro, R. 2023

En la Tabla 1 se muestra el origen de los diversos tipos de vinazas que se generan en algunos países. Vinazas de la caña de azúcar, de la remolacha azucarera, del mezcal, y el tequila, siendo México el único país donde se generan vinazas generadas por la producción de mezcal y tequila, por lo que la información que se encontró con respecto a los riesgos en la salud en el manejo de vinazas tequileras fue muy general.

Tabla 1
Origen y producción de vinazas

Tipo de vinaza	Materia prima	Origen	Producción de estimaciones	Productores en el mundo	Referencias
Caña de azúcar	Saccharum Officinarum	En la destilación de etanol	En Brasil: 10-15 L por litro de etanol	Brasil, India, China, Pakistán, Tailandia, México, Colombia, Australia, Sudáfrica y Cuba.	Bassanta et al., (2003).
Remolacha azucarera	Beta vulgaris	En la destilación de etanol	9-14 L por litro de etanol	Alemania, Francia, Polonia, Reino Unido, Canadá, Estados Unidos, Corea del Sur, Japón e India.	Prasad et al.,(2008)
Mezcal	Agave Salmiana, Agave angustifolia, Agave potatorum	En la destilación y etapa de rectificación	De 8 a 15 L por litro de mezcal	México	Robles-González et al., (2012)
Tequila	Agave Tequilana Weber var. Azul	En la destilación	10 L por litro de Tequila	México	Méndez-Acosta et al., (2010)

Fuente: Moran-Salazar et al., 2016

3. Resultados

Desde hace 25 años o más, en la zona conocida como denominación de origen del tequila, comprendida en los 181 municipios de nuestro país, se ha elevado a gran escala la producción de esta bebida y, por lo tanto, también la generación de bagazo y vinaza tequilera, lo cual ha provocado complicaciones en su manejo y tratamiento previo, provocando riesgos ambientales y riesgos en la salud humana.

Al hacer mención de algunas de las tecnologías e investigaciones que se están realizando y desarrollando para el tratamiento de vinazas tequileras, podemos percatarnos de que se realizan esfuerzos buscando y proponiendo alternativas sostenibles y de prevención para su uso y disposición con la finalidad de disminuir o eliminar los riesgos que se han mencionado anteriormente.

Las investigaciones realizadas con respecto al tratamiento de vinazas (específicamente las generadas por la producción de tequila) son nuevas o recientes, ya que tienen menos de 20 años que se comenzaron a realizar, por lo que no hay suficiente información acerca de ello, ni de los riesgos ambientales y de salud provocados por su manejo y disposición.

Por lo que se debe mencionar que este artículo es una investigación documental o de difusión sobre los riesgos anteriormente mencionados que se presentan al no tratar adecuadamente la vinaza tequilera y sobre las alternativas sostenibles para su manejo y prevención. Son alternativas sostenibles, ya que son tecnologías para ayudar a la preservación del medio ambiente, el cuidado de salud de los habitantes de las poblaciones aledañas a los municipios o localidades donde se ubican las fábricas de tequila de manera indirecta, y a preservar las condiciones sociales y económicas de los mismos habitantes mencionados anteriormente.

4. Discusión

La vinaza tequilera, es un residuo líquido generado en grandes cantidades por empresas tequileras, que por lo expuesto anteriormente representa un serio desafío ambiental y de salud debido a la gran cantidad de compuestos orgánicos persistentes, acidez y presencia de compuestos tóxicos a pesar de ser procesada por tratamientos primarios y secundarios. A partir del análisis documental realizado, se observa que, aunque existen normativas y estudios que advierten sobre sus riesgos (SEMARNAT, 2021), el manejo y disposición de este efluente sigue siendo inadecuado.

Por lo expuesto en este artículo fundamentado en las diversas fuentes consultadas, coinciden en que el vertido directo de vinaza al suelo o cuerpos de agua sin tratamiento previo provoca daños ecológicos, como lo es la degradación del suelo, la contaminación de aguas subterráneas y

afectaciones a la flora y fauna acuática, y a la vez riesgos en la salud de los habitantes de las comunidades aledañas donde se depositan o vierten este tipo de vinaza o efluente. Estas prácticas comunes son muestra de la brecha existente entre el conocimiento técnico disponible y su aplicación en la práctica.

Se han identificado alternativas sostenibles que han demostrado ser viables en otros contextos, como el uso de vinaza en biodigestores para generar biogás, su empleo como fertilizante orgánico bajo ciertas condiciones de tratamiento, o incluso su uso en la producción de bioetanol (Martínez-Castillo et al., 2023). Pero para desarrollar o implementar estas soluciones se requiere de inversión, infraestructura y voluntad política para su implementación efectiva.

En este contexto es necesario establecer una buena gestión de la vinaza tequilera, por lo que no debe ser considerado únicamente como un problema técnico, sino también como un reto de responsabilidad social empresarial y acción gubernamental. La prevención de impactos ambientales y de salud depende tanto de la innovación tecnológica como de la coyuntura entre productores, autoridades y comunidades locales.

Finalmente, existe un vacío importante en la literatura o documentación referente a estudios de caso aplicados a lo que son pequeñas y medianas empresas productoras de tequila, las cuales enfrentan limitaciones para adquirir, acondicionar y adaptar tecnologías limpias. Por lo que las investigaciones que se están realizando y futuras a realizarse deben centrarse en el diseño de estrategias escalables, de bajo costo y con enfoque territorial que permitan una gestión ambientalmente adecuada de la vinaza y así disminuir o eliminar los riesgos mencionados.

5. Conclusiones

A raíz de que hace poco más de 25 años que se incrementó la producción del tequila en la zona de nuestro país conocida como denominación de origen, la gestión de la vinaza generada por la industria tequilera no ha sido la adecuada; lo que representa un problema ambiental y de salud que requiere de una mayor atención integral. A través de esta investigación documental, se identificaron los principales riesgos asociados a su

disposición final, entre ellos la contaminación de suelos y cuerpos de agua, el deterioro de la biodiversidad y diversos tipos de enfermedades en las poblaciones aledañas donde son depositadas las vinazas sin tratar. Aunque existen y se están desarrollando alternativas tecnológicas y sostenibles viables, su aplicación aún es limitada, específicamente entre las pequeñas y medianas empresas productoras de tequila.

Por lo anteriormente expuesto, es evidente que existe la necesidad de fortalecer los marcos regulatorios, promover una acción gubernamental y responsabilidad social empresarial, que establezca coyuntura con las comunidades. La prevención de impactos ambientales y de salud no deben depender exclusivamente del tratamiento posterior de este tipo de efluentes, sino de una innovación profunda en los modelos de producción y responsabilidad social de la industria tequilera, en este caso.

Por lo que, es necesario desarrollar una gestión que sea sostenible para el tratamiento, manejo y disposición la vinaza tequilera, lo cual es urgente y requiere de voluntad política, innovación tecnológica y una visión ambiental que esté comprometida con el futuro de la zona donde se produce el tequila.

Referencias

- Arreola, A. R., Tizapa, M. S., Zurita, F., Morán-Lázaro, J. P., Valderrama, R. C., Rodríguez-López, J. L., & Carreon-Alvarez, A. (2020). Treatment of tequila vinasse and elimination of phenol by coagulation-flocculation process coupled with heterogeneous photocatalysis using titanium dioxide nanoparticles. *Environmental Technology*, 41(8), 1023–1033. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1518994>
- Cantor G. Guadalupe., Guzmán C Abel., Linerio G. Josefina (2001). *Tratamiento Terciario de vinazas tequileras en humedales artificiales, con lirio acuático y pastos Pará y Vetiver*.
- Castillo-Monroy, J., Godínez, L. A., Robles, I., y Estrada-Vargas, A. (2020). *Study of a coupled adsorption/electro-oxidation process as a tertiary treatment for tequila industry wastewater*. Environmental Science and Pollution Research. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11031-4>

- Consejo Regulador del Tequila. (2024). *Información estadística*. <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>
- Covarrubias-del-Toro, R. (2023). *Desarrollo de un reactor electro-Fenton para la remoción de la demanda química de oxígeno en agua residual de vinaza tequilera* [Tesis de maestría]. Universidad de Guadalajara.
- Covarrubias-Del-Toro, R., Huerta-Rocha, M., Lezama, L., García, E. X. M., y Estrada-Vargas, A. (2023). Hydrogen peroxide formation in carbon clothes for enhancement of an electro-oxidation tertiary treatment for tequila vinasse wastewater. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1059259. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1059259>
- Díaz-Barajas, S., CIIDIR-Durango, Instituto Politécnico Nacional, Durango, México, Moreno-Andrade, I., Garzón-Zúñiga, M. A., Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, México, & Instituto Politécnico Nacional, Durango, México. (2024). Mezcal vinasses treatment: A review of assessed processes. *Tecnología y ciencias del agua*, 15(2), 164–206. <https://doi.org/10.24850/j-ty-ca-15-02-04>
- Díaz-Vazquez, D., Carrillo-Nieves D., Orozco Nunelly., Senés-Guerrero, C., Gradilla-Hernández, M., (2021). *An Integrated Approach for the Assessment of Environmental Sustainability in Agro-Industrial Waste Management Practices: The case of Tequila Industry*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.682093>
- Fenton, H. J. H. (1894). LXXIII.—Oxidation of tartaric acid in presence of iron. *J. Chem. Soc., Trans.*, 65(0), 899–910. <https://doi.org/10.1039/CT8946500899>
- Ferral-Pérez, H., Torres., Torres-Bustillo, L.G., Méndez H., Rodríguez-Santillán & Chaires I. (2016). *Sequential Treatment of Tequila Industry Vinasses by Biopolymer-Based Coagulation/Flocculation and Catalytic Ozonation*. <https://doi.org/10.1080/01919512.2016.1158635>
- Iñiguez, G., Acosta, N., Martínez, L., Parra, J., Gonzalez, O (2005). Utilización de subproductos de la Industria Tequilera Parte 7. Compostaje de bagazo de agave y vinazas tequileras. *Rev. Int. Contam. Ambient* 21(1) 37-50, 2005. <https://www.linkedin.com/pulse/vinazas-en-la-agricultura-estrategias-kmw0c/> <https://www.flottweg.com/es/>

- Jornada, L., & Juan Carlos G. Partida y Daniel González, E. (2024, noviembre 11). Tequileras contaminan cuerpos de agua en Jalisco. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/noticia/2024/11/11/estados/tequileras-contaminan-cuerpos-de-agua-en-jalisco-9209>
- Marino-Marmolejo, E.N., Corbala-Robles, L., Cortez-Aguilar, R.C., Contreras Ramos, S.M., Bolaños-Rosales, R.E., Dávila-Vázquez, G. (2015). Tequila vinasses acidogenesis in a UASB reactor with *Clostridium* predominance. *Springer Plus* 4, 419.
- Martínez-Castillo, L.M., Bustos-Vázquez, M.G., Trujillo-Ramírez, D., Rodríguez-Castillejo, G.C., Castillo-Ruiz, O. (2023). Caracterización de vinazas de la industria tequilera para su uso como medios nutritivos económicos en fermentaciones con bacterias lácticas. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol. 8 (2023) 795-801
- Moran-Salazar, R.G. (2015). *Efecto de la aplicación de vinazas tequileras sobre los procesos de nitrificación, desnitrificación y emisiones de gases con efecto invernadero en suelos agrícolas* [Tesis de Maestría]. CIATEJ.
- Moran-Salazar, R. G., Sanchez-Lizarraga, A. L., Rodriguez-Campos, J., Davila-Vazquez, G., Marino-Marmolejo, E. N., Dendooven, L., & Contreras-Ramos, S. M. (2016). Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives. *SpringerPlus*, 5(1), 1007. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2410-3>
- Padilla, A. (2017, abril 26). *Peligros en el manejo del tequila*. Casasauza.com. <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/peligros-en-manejo-tequila>
- La Enciclopedia de la Vida. (s/f). bioenciclopedia.com. Recuperado el 9 de mayo de 2025, de <http://www.bioenciclopedia.com>
- Lambertz, S., Franke, M., Stelter, M., y Braeutigam, P. (2024). Determination of Chemical Oxygen Demand with electrochemical methods: A review. En *Chemical Engineering Journal Advances* (Vol. 18). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.100615>
- Linerio-Gil, S.E., Guzmán Carrillo, A. (2004). Tratamiento de efluentes y aprovechamiento de residuos, in: AC, G.-M. (Ed). *Ciencia y Tecnología del tequila, Avances y perspectivas*.

- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Guadalajara, Jalisco, México, pp. 258-284.
- López-Covarrubias, M., & Aguilar-Juárez, O. (2023). Tratamiento de vinazas tequileras a partir de biochar derivado de bagazo de agave. *Tendencias en energías renovables y sustentabilidad*, 2(1), 327–333. <https://doi.org/10.56845/terys.v2i1.374>
- López-López, A., Davila-Vazquez, G., León-Becerril, E., Villegas-García, E., y Gallardo-Valdez, J. (2010). Tequila vinasses: generation and full scale treatment processes. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 9(2), 109–116. <https://doi.org/10.1007/s11157-010-9204-9>
- Microbiota de suelo. (2024, agosto 9). *Microendo*. <https://microendo.com.mx/microbiota-de-suelo/2024>
- Secretaría de Gobernación. (2022, marzo 11). 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. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022
- Tito, B. (2020, agosto 1). *Tipos de Lagunas de Oxidación ventajas y desventajas*. Ingeniería Ambiental Boris Tito. <https://ingenieriaambiental.net/lagunas-de-oxidacion/2020>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. (1991). *Wasterwater engineering treatment and reuse by Metalcaf & Eddy*, New York.
- Zurita, F., Tejeda, A., Montoya, A., Carrillo, I., Sulbarán-Rangel, B., y Carreón-Álvarez, A. (2022). Generation of Tequila Vinasses, Characterization, Current Disposal Practices and Study Cases of Disposal Methods. *Water*, 14(9), 1395. <https://doi.org/10.3390/w14091395>
- Zurita F., Ramírez-Ramírez A, Tejeda, A. (2023). *Tratamiento de vinazas tequileras en humedales verticales de flujo descendente a escala piloto*.