



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Biorremediación por medio de levaduras:
una propuesta alternativa en el tratamiento
de aguas residuales de la industria tequilera**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

Biólogo

P R E S E N T A:

Miguel Ángel Balleza García

Tutor:

**Dr. James Enrique González Flores
Ciudad Universitaria, CDMX**

(2020)

2020





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Balleza

García

3316997336

Universidad Nacional Autónoma de México

Biología

302231830

2. Datos del tutor

Dr

James Enrique

González

Flores

3. Datos del sinodal 1

Dr

Carlos Alberto

Torres

Guerrero

4. Datos del sinodal 2

Dr

Alejandro

Flores

Alanis

5. Datos del sinodal 3

Dra

Lucero

Romero

Aguilar

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Ileana

de la Fuente

Colmenares

7. Datos del trabajo escrito

Biorremediación por medio de levaduras: una propuesta alternativa en el tratamiento de aguas residuales de la industria tequilera

59 páginas

2020

El presente informe de actividad profesional se realizó en el Laboratorio de Biología Molecular y Genómica del Departamento de Biología Celular de la Facultad de Ciencias, UNAM, bajo la tutoría del Dr. James Enrique González Flores.

Agradecimientos

- ❖ Al concluir este ciclo el cual me ha tomado varios años, quiero agradecer primeramente a la vida por permitirme cerrar algo que parecía inconcluso.
- ❖ Quiero agradecer a mis padres Armando y Aurora, por haber sido mi impulso desde el principio de la carrera y apoyar mi decisión de estudiar Biología.
- ❖ A mi hermano Juan Carlos por ser mi amigo y mi apoyo durante toda la vida, él ha sido mi ejemplo para querer ser mejor persona y principalmente me apoyo para terminar este ciclo.en todos los aspectos posibles.
- ❖ A mi esposa Belén y a mi hija Maia por ser mi motor todos los días y por brindarme todo ese amor tienen para mí y con el cual me impulsan siempre.
- ❖ A mis abuelos, Lupe, Juanita, Celia y Armando por ser la base y la esencia de mi familia, por ser tan buen ejemplo de lo que el amor puede lograr.
- ❖ A mi tutor, el Doctor James quien, a pesar de la distancia y las dificultades, siempre me apoyó e impulsó para finalizar este trabajo.
- ❖ A mis sinodales los Doctores Carlos Alberto Torres Guerrero, Alejandro Flores Alanís, Lucero Romero Aguilar y a la Maestra en Ciencias, Ileana de la Fuente Colmenares, ya que gracias a su apoyo e instrucción logré terminar este trabajo de la mejor forma.
- ❖ A Diego Tomas Cobián Zabalza por ser mi apoyo en la tequilera Patrón Spirits México, quien con su amistad me ha brindado la más grande enseñanza de cómo una persona puede ser tu jefe por un tiempo y tu amigo para siempre.
- ❖ A todos mis amigos y familia con quienes he coincidido a lo largo del camino y que me han enseñado que la biología no es solo una carrera, sino es una forma de vivir.

Índice

Glosario.....	1
Resumen.....	3
Justificación.....	11
Objetivo.....	12
Investigación bibliográfica y experiencia profesional.....	13
Importancia del tratamiento de aguas residuales en la industria tequilera.....	13
Análisis y parámetros en el tratamiento de aguas residuales de acuerdo con las normas oficiales mexicanas.....	17
La Biología en el tratamiento de aguas residuales de la industria tequilera.....	22
Manejo de aguas residuales en la industria tequilera.....	27
Tratamiento de aguas residuales a través de la biorremediación.....	33
Biorremediación en la industria Tequilera.....	37
Discusión.....	42
Conclusiones.....	45
Apéndice A.....	46
Referencias.....	47

Glosario

Aguas de proceso: Utilizadas en los procesos de producción en sistemas de refrigeración, calderas, producción de vapor o destilación.

Bacterias anaerobias: Bacterias con la capacidad de vivir y reproducirse en ausencia de oxígeno.

Biomasa: Materia orgánica originada de un proceso biológico.

Biodiésel: Biocombustible que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales mediante un proceso de esterificación o transesterificación.

Biorremediación: Procesos que utilizan microorganismos como hongos, plantas, bacterias o enzimas para remediar un medio ambiente alterado por algún tipo de contaminación a su condición natural.

Composta: Producto obtenido de la degradación de materia orgánica, el cual puede ser utilizado como un fertilizante debido a la alta cantidad de materia orgánica remanente.

CRT: Consejo Regulador del Tequila.

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua.

Digestión de lodos: Proceso de estabilización de lodos que se basa en la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular.

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de di oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

DQO: Parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles oxidadas por medios químicos al ser disueltas en una muestra líquida

Filtración membranal: Sistema utilizado para la separación mediante membranas de partículas en suspensión, coloides, materia orgánica, bacterias, macromoléculas, entre otros.

Humedal: Área de terreno, la cual es inundada de forma permanente o estacional de forma natural o artificial.

Lodos activados: Masa de organismos que de manera aeróbica se encarga de tratar el agua residual removiendo compuestos orgánicos biodegradables.

Lagunas de estabilización: Estructuras elaboradas generalmente a cielo abierto, fabricadas para favorecer la estabilización natural de las aguas residuales, mediante la acción simbiótica de bacterias, algas y organismos superiores. Actúan en su parte superior como lagunas aeróbicas y en su parte inferior como lagunas anaeróbicas.

Ósmosis inversa: Proceso de tratamiento de agua que retiene los sólidos disueltos en una membrana a partir de la presión inversa generada por un sistema de bombeo.

Potabilización: Métodos de tratamientos de las aguas residuales que mediante agentes químicos, físicos o mecánicos buscan la reutilización de las mismas.

pH: Es una medida para determinar el grado de acidez o alcalinidad de una disolución.

Reactor aerobio: Sistemas que aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar materias orgánicas y nutrientes en presencia de oxígeno.

SST: Cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos, es un indicador de la calidad del agua.

Tequila: Bebida alcohólica elaborada con Agave que bajo la denominación de origen se elabora en ciertos estados del país, la cual es comercializada en todo el mundo.

Tratamiento de aguas residuales: Procesos físicos, químicos y biológicos que tiene como objetivo eliminar los contaminantes de algún efluente ya sea de origen industrial, habitacional o resultado de algún servicio.

Vinazas: Subproducto líquido de la destilación del mosto en la fermentación del etanol de naturaleza ácida, en general tiene un alto contenido de materia orgánica, contiene una gran cantidad de micronutrientes (ej. N, S, P y K).

Resumen

Una problemática vigente que persiste en el tema de tratamiento de aguas residuales lo presentan las industrias tequileras que desechan subproductos como las vinazas, las cuales resultan de la destilación del mosto en la fermentación del etanol. Actualmente existen métodos alternativos que permiten tratar aguas residuales con menor impacto ambiental, entre ellos está el método de biorremediación, el cual es un tratamiento basado en la utilización de la capacidad de las plantas y los microorganismos (bacterias, algas y hongos) para metabolizar y convertir los productos peligrosos en sustancias de carácter menos tóxico o inocuas para el medio ambiente. La investigación en el tratamiento de aguas residuales de la industria tequilera ha sido poco desarrollada debido a que los métodos convencionales y/o químicos son capaces de disminuir las concentraciones de materia orgánica y ciertos contaminantes. Sin embargo, varios de estos métodos pueden ser tóxicos y generar contaminación con impacto en el medio ambiente. Por lo tanto, la investigación en el tratamiento de aguas residuales en la industria tequilera mediante biorremediación puede resultar en una nueva alternativa para el desarrollo de procesos más eficientes, rentables y menos dañinos para el medio ambiente. El objetivo de este informe de actividades fue realizar una investigación bibliográfica con el fin de proponer una estrategia alternativa en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria tequilera por medio de biorremediación con levaduras. El informe permitió visualizar varias alternativas de biorremediación para el tratamiento de aguas de proceso. En conclusión, se propone que las vinazas pudieran ser utilizadas para cultivar levaduras oleaginosas capaces de reutilizar los desechos orgánicos e inorgánicos y generar biomasa microbiana para la producción de biodiésel.

Introducción

Se entiende por aguas residuales a todo tipo de agua que haya sido afectada de forma negativa por la acción del hombre. La historia del tratamiento de aguas residuales se remonta al año 3000 A.C., cuando la civilización minoica utilizaba alcantarillas que conducían al desagüe; la precipitación pluvial, agua de baños, etc. Sin embargo, a lo largo del tiempo no hubo grandes avances en el tratamiento de aguas residuales sino hasta mediados del siglo XIX cuando Inglaterra comenzó a construir sistemas de alcantarillado a causa de la epidemia de cólera (Rojas, 2002; Valdez y Vázquez, 2003).

Recientemente, se encontró en la ciudad de Xian (China), tres baños pertenecientes a las dinastías Qin y Han (siglo III a.C. y I d.C), los cuales son el sistema de alcantarillado más antiguo de China (Imagen 1).



Imagen 1. Antiguos alcantarillados en la ciudad de Xian (China). Tomada de Red Historia.

El tratamiento de agua residual inició con el vertido de aguas al suelo; sin embargo, esto se convirtió rápidamente en un problema dado que las superficies terrestres comenzaron a inundarse con los grandes volúmenes de agua residual que se generaban por la industria, la agricultura y la vida doméstica.

Actualmente los sistemas de alcantarillado y transporte de agua residual han sido adaptados a las necesidades de transporte tanto de aguas domésticas como industriales (Glynn y Heinke, 1996). De acuerdo con el Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. A nivel mundial, menos del 5% de las aguas del alcantarillado reciben tratamiento (Reynolds 2002), debido a los grandes volúmenes que son generados diariamente, existe la necesidad de generar propuestas encaminadas al tratamiento de las aguas residuales.

Los procesos de tratamiento dependientes de la actividad biológica en México se generaron en el año 2008, quedando incluidos en el programa de tratamiento de aguas residuales. Estos procesos buscan tener una cobertura del 96.7% en cuanto al sistema de alcantarillado urbano, sin embargo, sólo 17 estados lograron tener una cobertura de tratamiento de aguas residuales del 50.2% (CONAGUA, 2014). Es así como el aumento de la población mundial y el incremento en las actividades industriales, ha generado la necesidad de tratar grandes volúmenes de agua mediante métodos de tratamiento intensivo, por ejemplo; la precipitación química, la digestión de lodos, la filtración intermitente en arena, la filtración en lechos de contacto, reactores anaerobios, la aireación de

aguas residuales (lagunas de estabilización) y el proceso de lodos activados (Rojas, 2002).

En México, el método más utilizado para tratar aguas, son las lagunas de estabilización, siendo el 31.6% de las plantas de tratamiento, seguido de las plantas con lodos activados con un 30.6%, y por último los reactores anaerobios con un 8.4 %. (CONAGUA, 2014)

Una problemática vigente que persiste en el tema de tratamiento de aguas residuales lo presentan las industrias de destilerías que desechan subproductos como las vinazas, las cuales son un desecho de la destilación del mosto en la fermentación del etanol. El método más usado para tratar vinazas es la digestión biológica anaerobia, ya que tiene varias ventajas adicionales sobre los métodos convencionales aerobios como las lagunas de estabilización de vinaza (Imagen 2), las cuales son un ejemplo del bajo consumo de energía y nutrientes, que generan pequeñas cantidades de biomasa y una alta capacidad de transformar la vinaza en metano (Pérez et al., 1997; Rodríguez et al., 2001; Beltrán et al., 1999). Por otra parte, las vinazas también han sido tratadas mediante el uso de métodos aerobios con reactores. No obstante, estos métodos son costosos y utilizan químicos que impactan en el medio ambiente (Marco et al., 1997).



Imagen 2. Lagunas artificiales creadas para la oxidación y tratamiento de las vinazas. Foto tomada del Portal Caña.

Actualmente existen métodos alternativos que permiten tratar aguas residuales con un menor impacto ambiental, entre ellos está el método de biorremediación, el cual es un tratamiento basado en la capacidad de utilizar plantas y microorganismo (bacterias, algas y hongos) para metabolizar y convertir los productos peligrosos en sustancias de carácter menos tóxico o inocuas para el medio ambiente (Maroto y Rogel, 2002). La ventaja que presenta las biorremediación en contraste con los métodos de tratamiento físicos o químicos, son la descontaminación de la materia orgánica de aguas residuales sin generar residuos secundarios, así como el equilibrio ecológico que se produce por los procesos metabólicos de plantas y microorganismos.

La biorremediación tiene varias alternativas, una de ellas es el uso de humedales, ya que estos reducen la materia orgánica mediante la transformación

y asimilación de nutrientes, estas zonas de inundación pueden mantener especies de plantas adaptadas que crecen en suelos saturados y durante el proceso de estabilización de las aguas residuales, el humedal brinda los nutrientes necesarios para el sustento de la flora y la fauna (Imagen 3). El diseño de una estructura de humedal depende de las características del efluente que se quiera obtener y del tipo de contaminante que se quiere eliminar (Arias et al., 2003). La utilización de humedales en el tratamiento de aguas residuales con plantas es eficiente en la remediación de aguas con altos contenidos de nutrientes, materia orgánica y metales pesados. Su importancia radica en que los humedales pueden ser utilizados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía (Martelo y Lara, 2012).



Figura 3. Humedales flotantes contruidos con plantas y bacterias para el mejoramiento de la calidad del agua. Foto tomada de INECOL.

Otra alternativa al tratamiento de aguas residuales es la biorremediación con hongos para remover contaminantes tanto de suelo como de agua. Algunas investigaciones han demostrado que los hongos tienen la capacidad de mejorar la separación de materia suspendida, aumentando la capacidad de filtración de aguas residuales y por tanto brindan un tratamiento previo de las mismas. (Imagen 4) (Garzón-Zuñiga et al. 2012).



Imagen 4. Hongo indicador de la fase mesófila en el proceso de compostaje. Foto tomada del manual de compostaje, agricultor de FAO.

Recientemente se encontró que diversos hongos filamentosos son aptos para el proceso de la biorremediación (Barrechet al., 2018). Algunas investigaciones han demostrado que ciertas levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida sp.*, *Pichia sp.*, tienen la capacidad de biosorción (retiro o

inmovilización de metales pesados) y de bioacumulación (Macaskie, 1990). Por otra parte, se ha reportado que las levaduras *Metschnikowia, pulcherrima* y *Lecythophora sp.*, tienen la capacidad de bioabsorber metales pesados como el Cadmio (Hidalgo, 2015). A pesar de que existen algunos estudios de biorremediación con hongos, aún no se ha investigado a profundidad los beneficios que podría traer el uso de levaduras para tratar diferentes tipos de aguas residuales. Actualmente, existen pocos estudios que han tratado de utilizar levaduras para tratar y aprovechar las aguas residuales en esta industria en específico.

Para este trabajo se llevó a cabo una investigación bibliográfica con la finalidad de proponer una estrategia alternativa en el tratamiento de aguas residuales de la industria tequilera a través de la biorremediación mediante levaduras. Se espera que el uso de levaduras en aguas residuales de la industria tequilera, sea un tratamiento eficaz, benéfico y menos costoso que los métodos convencionales.

Justificación

La investigación en el tratamiento de aguas residuales de la industria tequilera ha sido poco desarrollada en México debido a que los métodos convencionales son capaces de disminuir las concentraciones de materia orgánica y ciertos contaminantes, sin embargo, varios de estos métodos pueden ser tóxicos y generar contaminación con impacto en el medio ambiente. Por lo tanto, el estudio y la investigación de tratamiento de aguas residuales de la industria tequilera mediante métodos biorremediación puede resultar en una nueva alternativa para el desarrollo de procesos más eficientes, rentables y menos dañinos para el medio ambiente.

Objetivo

Proponer una estrategia alternativa en el tratamiento de aguas residuales de la industria tequilera mediante biorremediación con levaduras a partir de una investigación bibliográfica.

Investigación bibliográfica y experiencia profesional

Importancia del tratamiento de aguas residuales en la industria tequilera

El agua se ha vuelto un recurso estratégico en todo el mundo, dado que su disponibilidad es un tema de gran relevancia en la política ambiental. En México, desde el año 2012, el gobierno ha establecido como meta principal incrementar el reúso de aguas tratadas (De la Peña et al., 2013). De esta forma se ha elaborado un Programa Nacional Hídrico que forma parte del Plan Nacional de Desarrollo en el cual se establece el manejo del agua como un medio de bienestar social y desarrollo económico (CONAGUA, 2012).

Este Plan Nacional Hídrico tiene como estrategia un plan sexenal para la mejora en los sistemas de alcantarillados, potabilización, tratamiento de aguas residuales y saneamiento en zonas urbanas, al momento de escribir este informe se está trabajando con el Plan Nacional Hídrico 2019 al 2024 a partir de una consulta para elaborar dicho plan.

La mejora en los sistemas de alcantarillado es una de las principales misiones del Plan Nacional Hídrico, ya que la carencia de sistema de recolección de las aguas residuales influye en la falta de tratamiento de estas (Imagen 5.)



Imagen 5. Colectores de desagüe en los sistemas de alcantarillado municipal. Foto tomada del Programa Nacional Hídrico de CONAGUA.

La industria de las destilerías genera gran cantidad de aguas residuales que terminan siendo arrojadas en cuerpos de agua impactando el ambiente (Shivajirao, 2012). En los últimos años, en México la producción de tequila ha ido en aumento, esto obedece a una mayor demanda del mercado internacional y a un mejor posicionamiento de las marcas que se dedican a hacer esta bebida.

Por cada litro de tequila producido se generan aproximadamente 10 litros de vinaza, de los años 2010 a 2016 se produjeron 250 millones de litros de tequila, lo que representa 2,500 litros de vinaza, la cual es descargada y solo una fracción recibe tratamiento. (CRT, 2017)

Sin embargo, el tratamiento de aguas residuales es reducido en la industria tequilera debido a los factores económicos y/o a la falta de tecnología. (López et al. 2010) (Imagen 6).



Imagen 6. El problema del tratamiento de vinazas en el estado de Jalisco ha generado la necesidad de invertir en investigación y tecnología para resolver este problema. Foto tomada del Centro del Agua para América Latina y el Caribe.

Las aguas residuales que provienen de la industria tequilera tienen algunas características como color, temperatura, variaciones en el pH, y contaminantes como metales pesados (Cr, Cu y Hg), macronutrientes como el Nitrógeno y Fosforo, así como grasas y aceites, además de altas cargas orgánicas (Demanda Biológica de Oxígeno). El tratamiento de estas aguas será tan costoso como la calidad de salida con que cuentan las mismas (Rigola, M. 1999). La introducción de este tipo de aguas contaminadas ocasiona en primera instancia la desaparición de vegetación y la muerte de organismos acuáticos e incluso afecta actividades como la pesca y la agricultura (De la Peña et al., 2013). Es por ello por lo que es

de suma importancia atender la problemática de las aguas residuales que desechan las industrias de las destilerías.

Análisis y parámetros en el tratamiento de aguas residuales de acuerdo con las normas oficiales mexicanas

De acuerdo a la secretaría del medio ambiente y recursos naturales para el control de las descargas y análisis de las aguas residuales en cuerpos de agua y/o suelo (SEMARNAT), están las siguientes normas oficiales mexicanas:

- ❖ NOM-001-SEMARNAT-1996 (Descarga en cuerpo receptor de aguas y bienes nacionales).
- ❖ NOM-002-SEMARNAT-1996 (Descarga en el sistema de alcantarillado).
- ❖ NOM-003-ECOL-1997 (Aguas tratadas que se reúsen en servicio al público).
- ❖ NOM-127-SSA1-1994 (Límites máximos permisibles de aguas potabilizadas para consumo humano).

Estas normas tienen como objetivo establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas en aguas y bienes nacionales (CONAGUA, en el tema de los análisis, las normas oficiales) ponderando la cantidad de contaminante según el destino (ríos, embalses naturales o artificiales, aguas costeras o suelo) y del uso que se le dará a dicha agua, que puede ser:

- a) Uso en riego agrícola
- b) Uso público urbano
- c) Pesquería
- d) Recreación
- e) Estuarios o humedales

Uno de los objetivos del Plan Nacional Hídrico (CONAGUA, 2012), es llevar a cabo el monitoreo y saneamiento de los cuerpos receptores de aguas residuales, ya sean de origen urbano o industrial buscando detectar las fuentes de emisión de contaminantes y mitigar las mismas (Imagen 7).



Imagen 7. El río salado atraviesa el corredor industrial Tula-Tepejí en Hidalgo y es uno de los más contaminados ya que muchas empresas arrojan sus aguas residuales. Foto tomada de La Jornada.

Los parámetros que se analizan en las descargas van de acuerdo con la norma que se esté analizando. En el caso de la Norma Oficial (NOM-001-SEMARNAT-1996) para descarga de agua residual a cuerpos receptores: la temperatura, grasas y aceites, sólidos sedimentables y suspendidos, Demanda Biológica de Oxígeno, nitrógeno y fósforo, además de metales pesados como el arsénico, cadmio, cianuro, cobre, entre otros. Esta norma es más laxa que las otras dos, ya que se supone que el agua que se descarga llevará a cabo cierto

proceso de dilución con los cauces de los ríos y no tendrá contacto con el ser humano de manera directa.

La NOM-002-SEMARNAT-1996 que aplica para las descargas típicas de un entorno urbano (Imagen 8), contempla aguas que no han sido generadas por procesos industriales donde se esperan bajos valores de Demanda Biológica de Oxígeno), y mide los siguientes parámetros: grasas y aceites, sólidos sedimentables y metales pesados como arsénico total, cadmio total, cianuro total.



Imagen 8. Descargas típicas urbanas que contaminan en gran medida los sistemas acuáticos. Foto tomada de www.agua.org.mx

Por otra parte, la NOM-003-ECOL-1997, regula el tratamiento y uso de las descargas de agua residual que tiene como objetivo el proteger el medio ambiente y la salud de la población, por ello analiza los parámetros relacionados con las enfermedades bacterianas y parasitarias provocadas por contenido de: coliformes fecales y huevos de helminto (*Taeniasolium*), además de parámetros como grasas

y aceites, Demanda Biológica de Oxígeno (Demanda Biológica de Oxígeno) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

En resumen, los parámetros y sus límites máximos permisibles de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas son expuestos en la tabla 1.

Tabla 1. Límites máximos permisibles para las descargas de aguas tratadas por la NOM.

Límites máximos permisibles para la descarga de aguas tratadas (promedio mensual)				
	NOM 001	NOM 002	NOM 003 (Contacto directo al público)	NOM 003 (Contacto indirecto al público)
Grasas y Aceites mg/L	15	50	15	15
Sólidos Sedimentables mg/L	1	5	x	x
Sólidos suspendidos totales mg/L	150	x	20	30
Demanda Biológica de oxígeno mg/L	150	x	20	30
Nitrógeno total mg/L	40	x	x	x
Fosforo total mg/L	20	x	x	x
Arsénico mg/L	0.2	0.5	x	x
Mercurio mg/L	0.01	0.01	x	x
Plomo mg/L	0.5	1	x	x
Coliformes Fecales NMP/100	x	x	240	1000
Huevos de Helminto NMP/100	x	x	≥1	≥5

Esta es la normativa aplicable para el caso de las aguas residuales, su tratamiento y reúso, para el caso de las aguas que se pretende potabilizar para consumo humano como lo hace las plantas de agua (Imagen 9), la observancia es de la NOM-127-SSA1-1994 la cual establece límites de calidad y los tratamientos para este fin.



Imagen 9. Planta de tratamiento de agua en Ciudad Universitaria, UNAM. Esta planta es capaz de tratar agua para el riego de productos de consumo humano. Foto tomada de México Nueva Era.

La Biología en el tratamiento de aguas residuales de la industria tequilera

La biología es una de las ciencias que puede ser aplicada en el campo laboral en diversas áreas y disciplinas, desde los genetistas que se encargan de investigar las enfermedades hereditarias, la paleontología que brinda el conocimiento para poder encontrar yacimientos petroleros en el fondo del mar, hasta la biotecnología que brinda alternativas para mejorar cultivos o combatir enfermedades o plagas en los cultivos, la biotecnología también se encarga de generar cepas de bacterias u hongos para el tratamiento aguas residuales.

Lograr aplicar los conocimientos en el campo laboral es un reto, esto debido a la gran cantidad de paradigmas y enfoques utilitaristas y económicos con los que se maneja la industria. Por ejemplo, en los últimos años se tomaron medidas para el cuidado del medio ambiente, ya que es evidente la problemática del cambio climático. Ante esta problemática, el biólogo juega un papel importante para atender los problemas relacionados con el medio ambiente, su perfil le permite entender variables biológicas. Los biólogos comprenden que los procesos de la vida no son lineales, por ejemplo, el proceso de compostaje de cierto residuo sólido implica factores bióticos y abióticos, que se interrelacionan, y aunque al final siempre se obtiene el mismo resultado (en este caso la “composta”), el proceso que conlleva no se encuentra al 100 % estandarizado, porque en cada proceso pueden ocurrir cambios de temperatura, acidez o alcalinidad en el medio, cambios en la humedad, la aparición de ciertos hongos y bacterias, dependiendo de la época del año, que varían de un lote de composta a otro. Por lo tanto, la

divulgación de los procesos biológicos a través de pláticas, permite difundir el conocimiento (Imagen 10).



Imagen 10. Plática guiada sobre el proceso de compostaje. En la foto, hijos de trabajadores de la tequilera. Al centro de la foto, Miguel Ángel Balleza García, expositor y autor del presente informe de actividad laboral.

Por lo tanto, abordar los problemas ambientales desde un enfoque biológico, permite comenzar aportar soluciones como, la aceleración de procesos, siempre tomando en cuenta que dichos procesos son parte de un ecosistema y no son lineales o absolutos.

En la industria tequilera ocurren procesos biológicos que generan aguas residuales, ya sea por el proceso de la destilación o las aguas de uso de los trabajadores, las opciones para tratamiento son limitadas, debido a las regulaciones y normativas que el gobierno mexicano ha impulsado, a partir de las Normas Oficiales Mexicanas. Las opciones para el tratamiento se han reducido a aquellas que puedan cumplir con los parámetros aceptados y regulados por la autoridad. En este sentido desde el enfoque de la biología se podrían explorar

más opciones para el tratamiento (disminución de carga orgánica y nutrientes) de las aguas de proceso y sanitarias.

Los tratamientos más utilizados o reconocidos son las que involucran sistemas aerobios o anaerobios de bacterias, las cuales, por su alta capacidad de reproducción, metabolismo acelerado y fácil adaptación al medio, permiten disminuir hasta puntos aceptables la calidad de las aguas generadas (Imagen 11). En mi experiencia profesional, la industria tequilera brinda la oportunidad de explorar e impulsa el conocimiento de nuevas tecnologías para la mejora de los procesos.



Imagen 11. Planta de tratamiento de aguas residuales sanitarias, sistema de aireación extendida y tratamiento mediante lodos activados (Bacterias aerobias). Foto tomada de Diseños y Construcciones Industriales S.A.

De acuerdo a mi opinión, se tiene que reconocer que la inversión en el conocimiento, como en equipos y capital humano, busca una la sustentabilidad. Considero que la industria del tequila está comprometida con el ambiente y esto se observa en la necesidad de obtener certificaciones ambientales de calidad, por ello creo que es posible la implementación de nuevos y mejores métodos de tratamiento de aguas residuales basados en métodos biotecnológicos como el uso de biodigestores (Imagen 12).

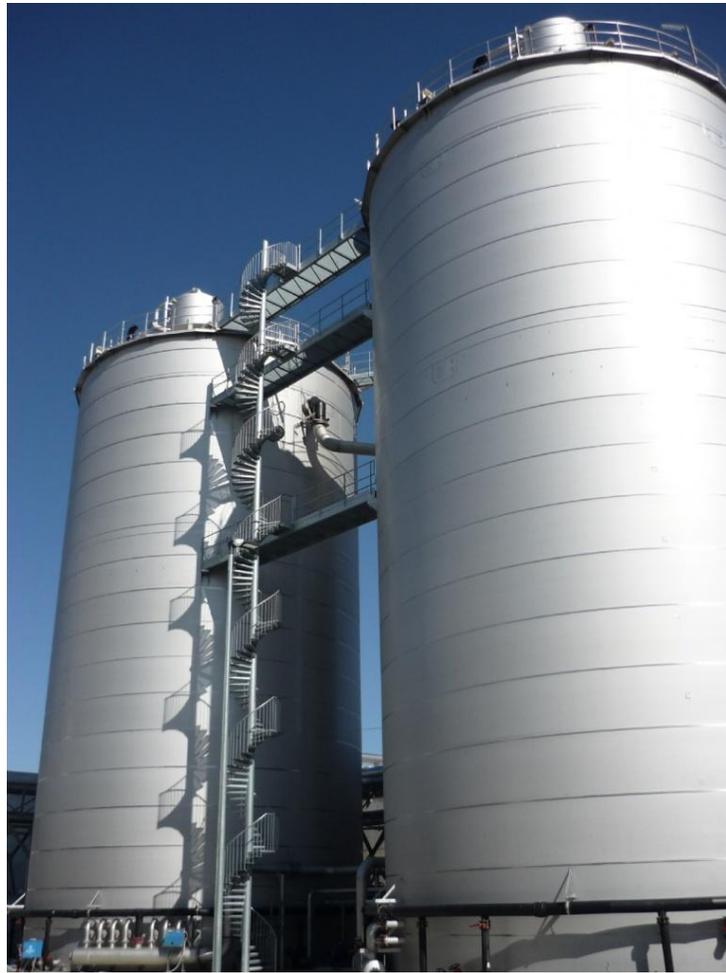


Imagen 12. Biodigestor anaerobio diseñado para el tratamiento de vinaza y generación de biogás. Foto tomada de empresa PAQUES.

En conclusión, la Biología forma parte del entendimiento de los seres vivos y su relación con el ambiente, desde esa premisa es necesario enfocar este trabajo, como un mediador de dicho conocimiento entre la industria y la biotecnología para su aplicación. Por lo tanto, un biólogo se convierte en un especialista que otorga a los demás integrantes del mundo profesional una visión integral de los procesos, buscando explicar las interrelaciones de sus componentes y sus productos que permitirán y optimizarán dichos procesos.

Manejo de aguas residuales en la industria tequilera

Disponer de las aguas residuales es costoso, ya que tanto su tratamiento como su disposición final representa un gran gasto para la industria, actualmente se tienen grandes implicaciones al realizar una mala disposición o tratamiento de las mismas, y tienen un gran costo social, por lo que es un tema de interés político y social. Entonces, ya no es solo una cuestión normativa, la cual es una obligación legal para las industrias, sino que es una relación costo-beneficio entre elegir un método eficiente pero costoso o un método sencillo como verter vinazas tequileras en suelos como se ilustra en la imagen 13.



Imagen 13. Suelo irrigado con vinazas tequileras durante un estudio en el estado de Jalisco. (Rodríguez. F. 2015).

Por ejemplo, el tratamiento de aguas sanitarias municipales requiere de la inversión de una planta de lodos activados para tratar las aguas de desecho de las casas, esto requiere infraestructura, costos de operación, capacitación a operadores y análisis constante de las aguas generadas que se dispondrán, entre otros insumos como floculantes, inoculaciones y gastos generales de mantenimiento, teniendo como fin, ya sea el rehúso o disposición de algún cuerpo receptor.

En la industria tequilera la inversión se basa en el tratamiento de las vinazas, aguas generadas durante el proceso de destilación, y las aguas residuales sanitarias, es necesario elaborar, operar y mantener, lagunas de oxidación para la vinaza, plantas de tratamiento mediante osmosis inversa para vinaza, reactores anaerobios para el tratamiento de vinazas y plantas de tratamiento de aguas residuales sanitarias.

A nivel municipal las finanzas o la administración que se realiza, provoca que las partidas destinadas a dichos métodos de tratamiento se vean reducidas, haciendo que el tratamiento se realice de forma somera o nula en algunos casos; esto provoca que los cuerpos receptores como los ríos o los lagos sean contaminados, lo cual impacta en el bienestar de los pobladores de esa región al utilizar estas aguas para el riego de hortalizas o plantas que son de consumo humano o al ser agua de uso para poblaciones que no cuentan con sistemas de abastecimiento de agua potable. Es en este punto cuando el problema se escala y se convierte en cuestiones de salud pública y a su vez pone en riesgo la sustentabilidad de los ecosistemas, no solo de los que se encuentran en la comunidad donde la industria está asentada, sino incluso se afecta a comunidades

que se surten de las aguas donde han sido vertidos estos contaminantes (Imagen 14).



Imagen 14. Planta de agave muerta por el vertido de vinazas. Foto tomada de Tesis (Rodríguez F., 2015).

En la industria tequilera y en particular en la empresa donde me he desempeñado, el compromiso ha sido siempre el generar procesos que no afecten de forma directa o indirecta el medio ambiente o a la comunidad. Aunque como sucede en todas las organizaciones, el proceso de mejora conlleva al aprendizaje y al tratamiento de los efluentes generados, que no está exento de dicho esquema, como mencioné anteriormente. En la industria del tequila, la inversión asignada en los procesos de tratamiento ha sido alta y está enfocada en garantizar la calidad de las descargas, tanto de agua residual sanitaria como también en reutilizar las aguas de proceso.

El tratamiento de las aguas residuales en la industria tequilera se ha vuelto un gran reto. El desarrollo de tratamientos aguas de proceso con bacterias

aerobias, el pulimiento de aguas tratadas mediante métodos físicos como la decantación (método para separar los sólidos suspendidos para poder utilizarlos en los procesos de compostaje) y el pulimiento de la calidad de las aguas mediante el proceso de ósmosis inversa (Imagen 15 y 16), el cual al final otorga a las aguas de proceso una calidad visual aceptable y la posibilidad de ser reutilizadas.



Imagen 15. Sistema de tratamiento mediante ósmosis inversa y membranas. Foto tomada de www.equipososmosisinversa.com

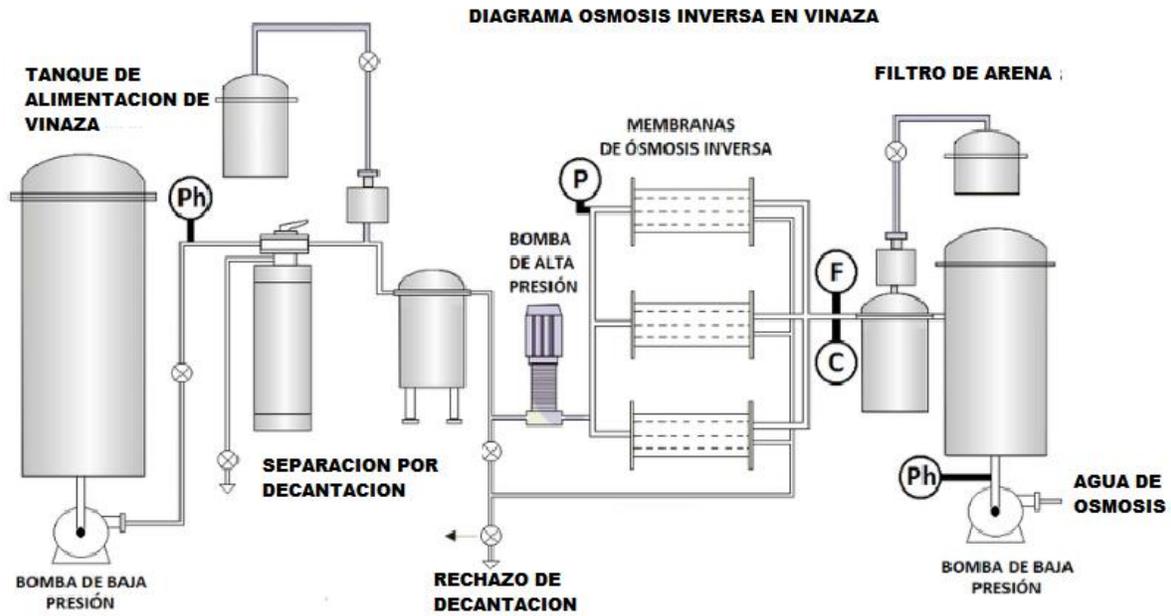


Imagen 16. Diagrama esquemático del proceso de tratamiento mediante osmosis inversa.

En relación a las aguas sanitarias derivadas de los procesos que la industria tequilera tiene instaurados, son de cierta forma convencional (tratamiento por lodos activados), pero la calidad de la descarga va ligada al compromiso que la empresa tiene con el medio ambiente. Es importante destacar que tanto los controles operativos como los indicadores del proceso son estrictos en relación al cumplimiento de la calidad señalada por la normativa oficial (NOM-001-SEMARNAT-1996). De esta forma, la calidad se presenta no como una opción sino como una obligación, es por esto que la capacitación que se recibe potencializa la capacidad tanto de operadores como del personal encargado de tomar las decisiones con enfoque estricto.

La industria del tequila tiene como prioridad el suministro de materia prima (agave) y la elaboración de tequila para su distribución y venta; sin embargo, la investigación de nuevas biotecnologías está limitada a las grandes empresas, por

ejemplo: Don Julio, Cuervo, Patrón, Herradura, las cuales son algunas de las más de 200 empresas que elaboran alrededor de 1300 marcas (según datos del Consejo Regulador del Tequila) de tequila y destilados que se elaboran a partir del *Agave tequilana weber* variedad azul. Las empresas de la industria tequilera tienen un gran reto con las aguas de proceso, junto con organizaciones como el Consejo Regulador del Tequila, tienen la responsabilidad de reglamentar el tratamiento de los residuos y de esta manera no generar contaminación durante la elaboración del tequila. Esto es un reto, pero sin lugar a dudas será una satisfacción muy grande poder contar con la seguridad de que la elaboración de esta bebida alcohólica que es estandarte de México en el mundo es además parte de una actividad y una industria que realiza sus procesos de forma limpia y comprometida con la sustentabilidad del ambiente.

Tratamiento de aguas residuales a través de la biorremediación

Los procesos de biorremediación se refieren a las capacidades catalíticas que tienen algunos organismos para degradar y transformar los contaminantes tanto en medios terrestres y acuáticos, la biorremediación ha explotado la diversidad genética y versatilidad metabólica, principalmente de algunas bacterias y hongos y plantas. (Imagen 17) (Garbisu et al., 2002).



Imagen 17. El uso de biodegradadores naturales ha resultado ser eficaces en el tratamiento de aguas residuales. Foto tomada de la revista electrónica www.litoclean.es

Uno de los métodos que se están investigando actualmente con relación a la remediación de las aguas contaminadas por la industria está relacionado con eliminar el color mediante un producto coagulante (Imagen 18). Los colores en los

afluentes permiten que la industria papelera eliminar este problema (Ali y Srikrishnan, 2001). Asimismo, las farmacéuticas también han sacado ventaja de los colorantes. (Koplin et al., 2000).

En la elaboración de tequila, los métodos para eliminar coloraciones en las aguas podrían ser de utilidad, ya que las destilerías tequileras ocupan el lugar número 7 en una clasificación de industrias que generan residuos con alta concentración de color, siendo la industria papelera y la textil las que generan más residuos, seguido de la farmacéutica, la cual se basa en la cantidad de agua generada y la concentración de color que se dispone como agua residual (Anjaneyuluy- Hima Bindu1997).



Imagen 18. Producto coagulante que elimina la viscosidad de la pintura. Foto tomada de la empresa Cleanwater.

Por otro lado, el proceso de la vermifiltración, que utiliza lombrices como agente biorremediador (Imagen 19), se está utilizando como un medio para llevar a cabo la filtración biológica de las aguas de proceso, las cuales presentan altas cargas de nitrógeno, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), sólidos disueltos y suspendidos totales, obteniendo disminuciones notables de estos parámetros entre el 70 y el 90 % de concentración final (Anusha y Sundar, 2015). Algunas especies de lombrices de tierra como *Eiseniafetida* y *Perionyxexcavates*, han sido utilizadas en estos procesos y al final se ha obtenido efluentes limpios y vermicomposta (Rajpal et al., 2011)..



Imagen 19. Método de vermifiltración. A la derecha se muestra una cama para la vermifiltración. A la izquierda se muestra la calidad de las aguas generadas después de un proceso de vermifiltración. Foto tomada de artículo “Tratamiento de lodos por vermifiltración con gusanos de tierra: una tecnología sustentable y de bajo costo sobre sistemas convencionales con potencial de descentralización” (Sinha, et. al 2008).

Existen también investigaciones basadas en el efecto de los hongos *Phanerochaetechrys osporium* y *Pleurotus ostreatus* que poseen una mezcla de enzimas lignolíticas capaces de disminuir la coloración de las aguas residuales, alcanzando la primera cerca de 45 % de decoloración en un día de tratamiento y cerca del 90 % de decoloración alrededor del día 7. Se ha identificado que durante el crecimiento de *P. ostreatus* se produce una mezcla de enzimas extracelulares (Lacasas), las cuales son responsables de la decoloración (Faraco et al., 2009).

Por otra parte, se ha estudiado que los basidiomicetes como *Pleurotus sajorcaju*, *Trametes versicolor* y *Phanerochaete chrysosporium*, y otro de la familia de los Zigomicetos (*Rhizopusoryza*), tienen potencial para el tratamiento de efluentes, siendo *P. sajorcaju* capaz de reducir compuestos biodegradables entre un 25 a 46 % en absorbancia relativa y entre el 74 y 81 % de demanda química de oxígeno (DQO) después de 10 días, además de que este hongo no promueve el incremento de la toxicidad generado por *Vibrio fischeri* (Freitas et al., 2009). Asimismo, hay reportes de que *Penicillium pinophilum*, *Alternaria gaisen* y *Pleurotus florida* tienen actividad lignolítica que permite la decoloración de desechos de metanol con resultados desde 46 % de pérdida de color. (Panty Adholeya, 2007).

Biorremediación en la industria tequilera

En México la industria tequilera y mezcalera producen efluentes con alto grado de contaminantes, mejor conocidos como vinazas. Para el tratamiento de estos efluentes se han utilizado tratamientos fisicoquímicos y biológicos, por ejemplo, el uso del alginato de sodio y la evaluación de hongos lignolíticos como *Pleurotus ostreatus*, con los cuales se han observado muy buenos resultados en la remoción de sólidos, así como el decremento de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) (Retes, 2014).

En la actualidad, los métodos de digestión anaerobia para el tratamiento de efluentes con alta carga orgánica han sido los más utilizados, principalmente por la capacidad de las bacterias anaerobias de biodegradar los componentes de los efluentes (Rajeshwari et al., 2000). Las alternativas de remediación que han sido utilizadas en las aguas, van enfocadas al tratamiento con sistemas aerobios mediante tanques o bio-reactores; sin embargo, estos procesos resultan muy costoso e implican una gran necesidad de espacio dentro de las instalaciones, así como altos costos en la instalación y mantenimiento, además estos métodos no son tan eficientes como los de digestión anaerobia, pues tienen menos eficiencias de remoción y además generan una gran cantidad de lodos activados. Adicionalmente estos procesos implican el tener que utilizar otros métodos de pulimiento del efluente, como filtraciones, decantaciones u ósmosis inversa, para poder ser dispuesto o reutilizado.

Para el tratamiento de las aguas de proceso en la industria tequilera se han sido utilizadas técnicas como la evaporación o difusión, sin mucho éxito, debido a la alta concentración de sólidos que contiene este efluente, así como los volúmenes tan grandes que se generan en los procesos de elaboración de tequila. Por lo tanto, la aplicación de métodos como los señalados previamente resultarían convenientes, siempre y cuando se realicen adecuaciones de ingeniería que permitan tratar el 100 % del efluente generado por el proceso de la destilación, además es necesario evaluar la relación costo beneficio de estos procesos y el nivel de innovación que los mismos ofrecen en una industria que se encuentra apenas en etapa experimental en cuanto a la implementación de estos. Por otra parte, se ha estudiado la utilidad que tiene la vinaza como medio para el cultivo de microorganismos como las levaduras, las cuales tienen importancia económica en industrias como la forrajera (Saura, et al. 2002), o en la producción de biocombustibles (Imagen 20), conocidos como biodiésel de tercera generación. El biodiesel puede producirse utilizando levaduras oleaginosas como *Rhodosporidium toruloides*, la cual produce lípidos cuando crece en un medio de cultivo que contienen una mezcla de vinaza y glicerol crudo. Lo anterior hace menos costosa la fermentación y a su vez disminuye la competencia entre la industria de los biocombustibles y la industria alimentaria, ya que en este campo hay una problemática que demanda grandes extensiones de tierra para la producción de plantas oleaginosas. (Faife-Perez, E. et al. 2017).



Imagen 20. Tratamiento de vinaza para producir biogas. Debido a las características de la vinaza, por cada 100 m³ de esta, un biodigestor puede producir un estimado de 3,000 m³ de biogás. Foto tomada de www.aqualimpia.com

Actualmente, se sabe que algunas levaduras oleaginosas tienen la capacidad de acumular altos niveles de lípidos de hasta más de un 20 % de su peso seco, los géneros más comunes son: *Yarrowia*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Rhodosporidium*, *Cryptococcus*, *Trichosporon* y *Lipomyce*. Las rutas de biosíntesis en levaduras oleaginosas no son diferentes a las que tiene la levadura convencional *Saccharomyces cerevisiae*, aunque en el caso de *Rhodotorulaspp.* y *Cryptococcus curvatus* la acumulación de lípidos por peso seco llega hasta un 70%, mientras que en *S. cerevisiae* solo llega hasta un 10 % (Meng et al. 2009). En este proceso se obtienen triglicéridos, los cuales pueden ser utilizados como materia prima para la obtención de biodiesel. (Ageitos et al., 2011).

Para producir biodiesel se utiliza el proceso de la transesterificación debido a su rapidez y las condiciones moderadas de la reacción entre los triglicéridos y el

alcohol (metanol o etanol) dando como resultado biodiésel y glicerina (glicerol). Actualmente para este proceso se han utilizado aceites vegetales comestibles de soya, girasol o palma, haciendo que la calidad del biodiésel está condicionada a los aceites vegetales que se emplean (Faife-Perez., et al. 2012). Por lo tanto, utilizar levaduras oleaginosas en la industria puede brindar alternativas a dos problemas grandes que se presentan en este momento en México y en el mundo, por un lado, la contaminación generada por los combustibles fósiles y por otro lado la contaminación de agua o suelo que puede generar la mala disposición de las vinazas de la industria tequilera y el uso de cultivos alimenticios con fines energéticos.

De acuerdo con lo que se mencionó anteriormente, se propone utilizar las aguas de proceso de la industria tequilera (vinaza) para cultivar levaduras oleaginosas capaces de reutilizar estas aguas que contienen desechos orgánicos útiles para su crecimiento y así generar los precursores químicos (triglicéridos) para la producción de Biodiésel de tercera generación.

Esta nueva propuesta de biorremediación y reciclaje puede traer consigo alianzas entre las industrias tequileras y las de biocombustibles, lo que podría generar grandes beneficios, pues reducirían el impacto ecológico que ocasionan ambas industrias y a su vez ayudaría a que la producción de Biodiésel sea más rentable (Imagen 21).

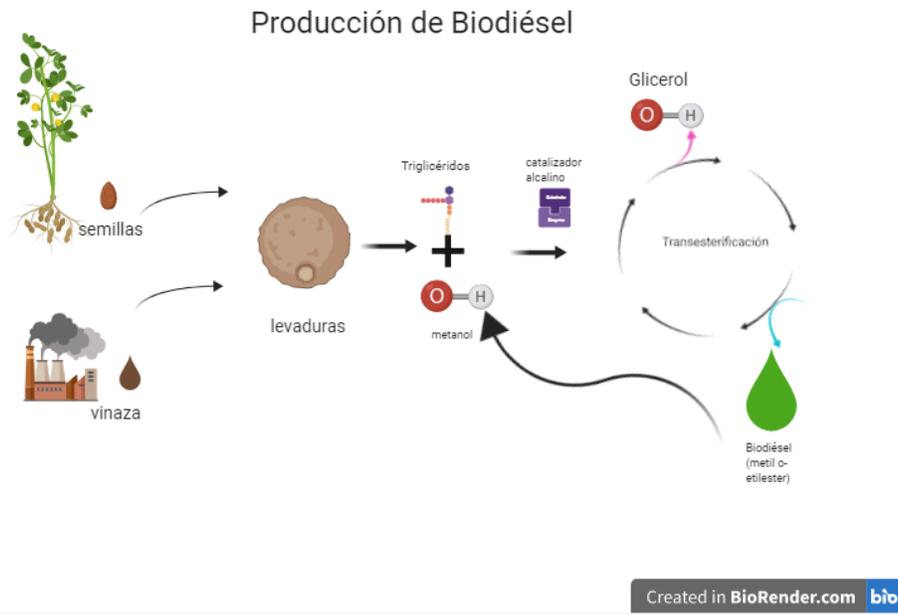


Imagen 21. Producción de biodiesel mediante el proceso de transesterificación.

Discusión

Dentro del campo de la investigación existen diferentes alternativas para el tratamiento de las aguas residuales, estas van desde la decoloración, el uso de catalizadores, el uso de bacterias con la capacidad de degradar ciertos contaminantes o reducirlos hasta niveles aceptables, así como la disminución de sólidos, carga orgánica y sales. Además, las aguas residuales tienen gran utilidad como medios para la reutilización en otras industrias tan importantes como la energética (Cerdá, 2012).

La industria tequilera en general está ligada a los procesos y paradigmas tradicionales con los que se ha manejado a lo largo del tiempo (al ser una industria de antaño y que se rige bajo procesos tradicionales), los procesos que se enunciaron en este trabajo, aunque innovadores o producto de nuevas líneas de investigación, se contraponen con los paradigmas marcados en esta industria (incluso en otras, generadoras de más contaminantes). Sería un gran avance cambiar el paradigma dentro de la industria y que existieran áreas dedicadas a la investigación e innovación de nuevos métodos para el tratamiento de los efluentes. Así los tratamientos dejarían de ser un lujo y se convertirían en una necesidad para lograr la sustentabilidad en la industria. Sería importante que el principal interés de la industria no solo fuera el cultivo y desarrollo del agave (por ser la materia prima), o la generación de litros de tequila, y se lograra adquirir una visión ligada a la responsabilidad social y con el medio ambiente, es importante promover el cumplimiento e innovación de los procesos, buscando generar acciones que beneficien el tratamiento y la disminución de la contaminación a

corto plazo. Esta visión principal, no solo la debería tener un Biólogo en el medio profesional, sino que debería ser la de toda la sociedad que cada vez más está enfocada en no contaminar el medio ambiente, y así poder generar una industria confiable en todos los sentidos.

Los biólogos somos profesionales con una visión social, nuestra labor principal en el área que se quiera desempeñar va encaminada también a la solución de problemas bioéticos y las interrelaciones que se presentan. Es necesario entender que los biólogos somos parte importante de una sociedad que cada vez se preocupa más por el cuidado del medio ambiente, y han sido las autoridades las que han quedado a deber en cuanto a la determinación de las fuentes de contaminación y gestión de las medidas de mitigación. Los sistemas políticos y económicos no brindan soluciones, ya que, aunque conocen los problemas, algunos se contraponen con intereses privados o agendas previamente negociadas entre la clase política y los empresarios. Entonces la biología puede actuar como mediador entre el desarrollo de la industria (p.ej. la biotecnología), la agenda política y la sustentabilidad en los procesos, hacia un desarrollo sustentable de la sociedad.

En mi caso, la Biología me ha hecho consciente y me ha brindado conocimientos que pueden aportar tanto a la sociedad como al planeta, mismos que pueden ser aplicados en la legislación y gestión de los aspectos e impactos ambientales que intervienen en la elaboración de tequila o en la industria en general.

Esta investigación bibliográfica guiada por mi tutor y la experiencia laboral adquirida en la empresa Patrón, me permitió visualizar varias alternativas de biorremediación para tratar las aguas de proceso que desecha la industria tequilera. Sin embargo, la biorremediación por medio de levaduras podría resultar una de las más efectivas para reducir el impacto ambiental y podría ser una de las más atractivas para la empresa en la que laboro. No obstante, se requiere hacer más investigación en esta área para evaluar las limitaciones que podría llegar a tener la biorremediación con levaduras vinculadas con la generación de biomasa y la producción de Biodiésel, aunado a esto, es necesario cambiar el paradigma en cuanto a los métodos tradicionales de tratamiento y empezar a enfatizar la relación costo-beneficio que tiene el utilizar los desechos industriales como mecanismos para la obtención de recursos o insumos que pueden ser de utilidad dentro del mismo proceso, por mencionar un ejemplo, para brindar energía calorífica a las calderas que se utilizan para generar vapor necesario para el proceso de destilación.

Conclusiones

El tratamiento de aguas residuales es de gran interés social, político y económico por el impacto que tiene en la salud pública, entonces se puede concluir que:

- El uso de técnicas de biorremediación en aguas residuales es actualmente una opción viable.
- El uso de levaduras para la biorremediación es un método que representa una mejor relación costo-beneficio por la utilización de los residuos en otras industrias como el biocombustible.
- Es necesario que la industria tequilera diseñe métodos alternativos para el tratamiento de residuos, mismos que reciclen la materia orgánica casi en su totalidad, y reduciendo de esta forma el impacto ambiental que la industria tequilera genera.

Apéndice A

La destilería Patrón Spirits México S.A. de C.V. se encuentra ubicada en el estado de Jalisco, en el municipio de Atotonilco el Alto, en la región conocida como Ciénega, la cual es famosa por contar con características climatológicas y culturales que favorecen la elaboración del tequila.

Desde el año 1989, Patrón Spirits México S.A. de C.V. se ha dedicado a fabricar la más alta gama de bebidas espirituosas en el mundo, esta empresa está comprometida con el cuidado de los procesos, a partir de los cuales se elabora el tequila de mayor renombre a nivel mundial. Al utilizar técnicas artesanales en lugar de maquinarias se cumple una de las filosofías con las que fue fundada la empresa, la cual es brindar al consumidor una experiencia artesanal y 100% espirituosa de la bebida icónica de México, además se han ido incorporando iniciativas verdes para reducir la huella de carbono que el proceso de fabricación de tequila.

Patrón Spirits México, se encuentra comprometida a generar un impacto positivo al ambiente a través de las prácticas de sustentabilidad y responsabilidad social, este sentido de responsabilidad se encuentra plasmado en los modelos de negocio, manufactura, envasado y embarque del producto.

Para más información pueden visitar la página de internet, www.patronspirits.com en donde se podrá ver a detalle las actividades que realiza la empresa enfocadas en la responsabilidad social y el cuidado del medio ambiente.

Referencias

1. Ageitos, J.M., Vallejo, J.A., Veiga-Crespo, P. Villa, T. 2011 Oily yeast as oleaginous cell factories. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 90: 1219.-1227
<https://doi.org/10.1007/s00253-011-3200-z>
2. Ali, M, Sreekrishnan,TR. 2001. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents – a review, *Adv. Environ. Res.*5175196.
3. Arias, Carlos, y Brix, Hans. 2003. Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales, *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, Num 13. Julio.
4. Anjaneyulu,Y. ,HimaBindu,V. 1997. Removal of colour from industrial effluents by using wastebiomass and reagent loaded polyurethane foam Allied Publishers Hyderabad. 457-462.
5. Barrechet, Duryal, Imranali y MalikTareen. 2018. A review on mycoremediation the fungal bioremediation. *Pure and Applied Biology.* 7:343-348.
6. Beltrán, F. J., Garcia-Araya, J. F. y Álvarez, P. M. 1999. Wine distillery wastewater degradation 2: Improvement of aerobic biodegradation by means of an integrated chemical (ozono)-biological treatment. *J. Agric. Food. Chem.* 47.
7. Cerdá, E. 2012 *Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadernos Económicos del ICE.* 117-124.

8. CONAGUA, "Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Principales logros". Julio 2012.
9. CONAGUA, Edición 2014. Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento. 58-78.
10. Consejo Regulador de Tequila (CRT), 2017. Producción Total. <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>
11. De la Peña M. E., Ducci J., Zamora P. V. 2013. Tratamiento de aguas residuales. Banco Internacional de Desarrollo.
12. Faife-Perez, Evelyn; Ochoa-Viñals, Nayra; Liu, Dehua; Álvarez-Delgado, Amaury; Du, Wei; Zhao, Xuebing. 2017. Evaluación de cepas *Rhodospodium toruloides* natural y genéticamente modificada en vinazas cubana y china ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 51:44-53.
13. Faife-Pérez E; Otero – Rambla M A; Álvarez- Delgado A. 2012. Producción de biodiésel a partir de microorganismos oleaginosos. Una fuente de energía renovable (parte II: microalgas), ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar 46, 26-35.
14. Faraco, V., Pezzella, C., Miele, A. Giardina, P. Y Sannia, G. 2009. Bioremediation of colored industrial wastewater by the white-rot fungi *Phanerochaete chrysosporium* and *Pleurotus ostreatus* and their enzymes . Biodegradation. 20: 209-220.

15. Freitas AC, Ferreira F, Costa AM, Pereira R, Antunes SC, Gonçalves F, Rocha-Santos TAP, Diniz MS, Castro L, Peres I, Duarte AC. 2009. Biological treatment of the effluent from a bleached kraft pulp mill using basidiomycete and zygomycete fungi. *Sci Total Environ*, 407:3282–3289.
16. Garbisu, C., Amézaga, I. y Alkorta, I. 2002. Biorremediación y Ecología. *Ecosistemas* (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/023/opinion1.htm>).
17. Garzón-Zúñiga M. A., Buelna G. y Moeller-Chávez G. E. 2012. La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnol. Cienc. Agua*. 3.
18. Glynn, J. y Heinke, G. 1996. *Ingeniería Ambiental*. Prentice Hall, México. 1999.
19. Hidalgo, K. 2015. Primer estudio sobre la diversidad de levaduras asociada a un volcán: Tungurahua, Ecuador (Tesis de Grado). Universidad Técnica Ambato, Ambato – Ecuador.
20. Koplín, DW. Furlon, ET. Meyer MT. Thurman, EM. Zaugg, SD. Barber, LB. Buxton, HT. 2002 Pharmaceuticals, hormones and other organic wastewater contaminants in US streams, A national reconnaissance *Environ. Sci. Technol.* 36:1202-1211.
21. López-López, A., Davila-Vazquez, G., León-Becerril, E. Villegas Garcia, E, Gallardo Valdez, J. 2010. Tequila Vinasse: Generation and full scale treatment processes *Rev Environ Sci Biotechnol* 9: 109.

22. Macaskie, L. E. 1990. An immobilized cell bioprocess for the removal of heavy metals from aqueous flows. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 4:357-379.
23. Maroto ME, Rogel JM. 2002. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y Aguas contaminadas por hidrocarburos. *MMWR*. URL disponible en: <http://aguas.igme.es/igme/publica/pdflib15/028.pdf>.
24. Marco, A., Esplugas, S. y Saum, G. 1997. How and why combine chemical biological processes for wastewater treatment. *Wat. Sci.Tech.*, 35,321-327.
25. Martelo, Jorge., y Lara Jaime. 2012. Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales, Vol 8. No 15. Pags 221-243.
26. Meng X, Yang J, Xu X, Zhang L, Nie Q, Xian M. 2009. Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Ren. Energi.* 34:1-5
27. 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. Publicado en Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 1996.
28. 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. Publicado en Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1997

29. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1998.
30. Pant D, Adholeya A., 2007. Identification, ligninolytic enzyme activity and decolorization potential of two fungi isolated from a distillery effluent contaminated site. *Water Air Soil Pollut* 183:165–176.
31. Shivajirao, P.A.. 2012. Treatment of distillery wastewater using membrane technologies *Int. J. Adv. Eng. Res. Stud* 3:275-283.
32. Pérez M., Romero L. I. y Sales D. 1997. *Thermophilic anaerobic* degradation of distillery wastewater in continuous-flow fluidized bed bioreactors. *Biotec. Prog.* 13:33-38.
33. Rajpal, R. Bhargava, A.K. Chopra. 2011. Stabilization of anaerobic digester sludge through vermicomposting *J. Appl. Nat. Sci.*,3(2). Pags.232-237.
34. Rajeshwari, K. Balakrishnan, M. Kansal, A. Kusum, I Kishore V. 2000. State of the art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. Volume 4:135-156.
35. Reynolds. K. 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica, identificación del problema. Recuperado de: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf>.

36. Retes Pruneda, J.L. 2014. Biorremediación de vinazas de la industria tequilera y mezcalera mediante tratamiento fisicoquímico y biológico. Universidad Autónoma de Aguascalientes (Tesis).
37. Rigola, M. 1999. Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso residuales. Editorial Marcombo.
38. Rodríguez, F. 2015. Contaminación y degradación ambiental por vinazas en el río Tonaya y su impacto en el río Tuxcacuesco. Universidad de Guadalajara. Tesis 121 pags.
39. Rodríguez E. M., Beltrán F. J., Álvarez P. A., García J. F. y Rivas J. 2001. Treatment of high strength distillery wastewater (cherry stillage) by integrated aerobic biological oxidation and ozonation. *Biotech. Prog.* 17: 462-467.
40. Rojas, Ricardo. 2002. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. En. Curso Internacional "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales" Curso Internacional. Brasil: Cepis, 19 pags.
41. Saura, G.; Valdés, I.F.; Martínez, J.A.; Reyes, E.; Pascual, A.; Otero, M.A. 2002. Tecnología de producción de levadura utilizando vinazas de destilería como fuente mayoritaria de carbono y energía. *Revista ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar (La Habana)* 1: 20-23.
42. Sinha RK, Bharambe G, Chaudhari U: 2008 Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *The Environmentalist*, 28:409-420.

43. Anusha,V., Sundar K.M.S. 2015. Application of vermifiltration in domestic waste water treatment Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. 8:7301-7304 2015.
44. Valdez E., Velázquez A. 2003. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y Disposición de aguas residuales. Fundación ICA. A.C.14-18.