

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**“Tratamiento de vinazas mezcaleras para la eliminación de
compuestos fenólicos empleando procesos de adsorción-
desorción”**

TESIS

COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestra en Sistemas Ambientales

Presenta:

Ing. Marcela Del Palacio Salas

Director:

Dr. Luis Armando de la Peña Arellano



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**Tratamiento de vinazas mezcaleras para la eliminación de
compuestos fenólicos empleando procesos de
adsorción-desorción**

Presenta:

IQ. Marcela Del Palacio Salas

COMITÉ TUTORIAL

Dr. Luis Armado de la Peña Arellano Director	 Firma
Dra. Tania Montoya García Asesor	 Firma
Dr. Sergio Valle Cervantes Asesor	 Firma
M.I. María Dolores Josefina Rodríguez Rosales Asesora	 Firma
Dr. Félix Alonso Alcázar Medina Asesor	 Firma

Dra. Tania Montoya García
Coordinador de la Maestría en
Sistemas Ambientales

Jefa de la División de Estudios de
Posgrado e Investigación

Durango, Dgo. México

Junio 2026





Educación
Secretaría de Educación Pública



INSTITUTO TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Durango
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a **20 / Mayo / 2026.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 159 / 2026.

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

C. MARCELA DEL PALACIO SALAS
No. DE CONTROL G17041219
PRESENTE.

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Sistemas Ambientales**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

"Tratamiento de vinazas mezcaleras para la eliminación de compuestos fenólicos empleando procesos de adsorción-desorción"

Sin más otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
"La Técnica al Servicio de la Patria"


C. TANIA MONTOYA GARCÍA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



TMG'anmc.



2026
Año de
Margarita
Maza



Bld. Felipe Pescador No. 1830 Ote., Durango, Dgo., C.P. 34080

e-mail: depposgrado@itdurango.edu.mx

tecnm.mx | itdurango.edu.mx



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Durango
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a 20 / Mayo / 2026.

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 158 / 2026.

Asunto: Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

C. MARCELA DEL PALACIO SALAS
No. DE CONTROL G17041219
PRESENTE.

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Sistema Ambientales** cuyo título es:

"Tratamiento de vinazas mezcaleras para la eliminación de compuestos fenólicos empleando procesos de adsorción-desorción "

CONTENIDO:

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

Lo anterior con la finalidad de que se le dé el seguimiento correspondiente.

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
"La Técnica al Servicio de la Patria"

C. TANIA MONTOYA GARCÍA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



TMG/ammc.



2026
año de
Margarita
Maza



Bvda. Felipe Pescador No. 1830 Ote., Durango, Dgo., C.P. 34080

e-mail: depposgrado@itdurango.edu.mx

tecnm.mx | itdurango.edu.mx



LICENCIA DE USO OTORGADA POR MARCELA DEL PALACIO SALAS, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en Calle Campanilla #269 fraccionamiento Jardines de Durango, Dgo., en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor de la tesis denominada **"TRATAMIENTO DE VINAZAS MEZCALERAS PARA LA ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EMPLEANDO PROCESOS DE ADSORCIÓN-DESORCIÓN"** en adelante **"LA OBRA"** quien para todos los fines del presente documento se denominará **"EL AUTOR Y/O EL TITULAR"**, a favor del Instituto Tecnológico de Durango del Tecnológico Nacional de México, y con fundamento en lo dispuesto en los artículos 5, 18, 24, 25, 27, 30, 32 y 148 de la Ley Federal de Derechos de Autor, se establecen las cláusulas siguientes:

PRIMERA –OBJETO: "EL AUTOR Y/O TITULAR", mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico de Durango del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de **"LA OBRA"**, para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de **"LA OBRA"** en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (red), mensaje de datos o similar conocido por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico de Durango; por lo tanto, **"EL AUTOR Y/O TITULAR"** conserva los derechos patrimoniales y morales de **"LA OBRA"**, objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico de Durango y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que el **"AUTOR Y/O TITULAR"** es el único, primigenio y perpetuo titular de los derechos morales sobre **"LA OBRA"**; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

SEXTA – AUTORÍA: "EL AUTOR Y/O TITULAR" manifiesta ser el único titular de los derechos de autor que derivan de **"LA OBRA"** y declara que el material objeto del presente fue realizado por él, sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el único responsable.

Dado en la Ciudad de Durango, Dgo., a los diez días del mes de mayo de 2026.

"EL AUTOR Y/O TITULAR"

MARCELA DEL PALACIO SALAS



Victoria de Durango, Dgo. a 15 de junio de 2026

Por este conducto se hace constar que la tesis denominada "Tratamiento de vinazas mezcaleras para la recuperación de compuestos fenólicos empleando procesos de adsorción-desorción" de la alumna Marcela Del Palacio Salas, con número de control 17041219, estudiante del programa de Maestría en Sistemas Ambientales, revisada por primera vez, se sometió al software Turnitin Similarity para ser examinado, en donde el reporte del software mencionado mostró un porcentaje de 15% de similitud general.

Con base en el reporte de Turnitin, al criterio ético y profesional del director de tesis y al área del programa, se considera que cumple con los criterios de originalidad.

Con base en lo anterior se emite el siguiente dictamen.

Sé autoriza dar inicio a los trámites de obtención de grado.

Atentamente,

Dr. Luis Armando de la Peña Arellano

Director de la Tesis

Vo.Bo.

Dr. Félix Alonso Alcázar Medina

Asesor

MI. María Dolores Josefina Rodríguez Rosales

Asesor

Dr. Sergio Valle Cervantes

Asesor

Dra. Tania Montoya García

Asesor

Cp

Alumno

Coordinación del programa



Página 1 de 144 - Portada

Identificador de la entrega: trn:oid::20755:601913883

Del Palacio Marcela Tesis Final MSA.docx

Tecnológico Nacional de México

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::20755:601913883

Fecha de entrega

22 jun 2026, 9:58 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

22 jun 2026, 10:02 a.m. GMT-6

Nombre del archivo

Del Palacio Marcela Tesis Final MSA.docx

Tamaño del archivo

3.6 MB

138 páginas

32.001 palabras

176.844 caracteres



Página 1 de 144 - Portada

Identificador de la entrega: trn:oid::20755:601913883



15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 14% Fuentes de Internet
- 11% Publicaciones
- 14% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar coincidencias que permitan distinguir de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.





RESUMEN

Las vinazas mezcaleras (VM) son residuos líquidos generados durante el proceso de elaboración del mezcal cuya disposición inadecuada representa un problema ambiental significativo debido a su elevada acidez, alta carga orgánica, color intenso y presencia de compuestos fenólicos (CF). Estos últimos contribuyen de manera importante a la toxicidad del efluente, lo que hace necesario el desarrollo de procesos eficientes para su tratamiento y, de ser posible, su valorización.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la remoción y recuperación de compuestos fenólicos presentes en vinazas mezcaleras mediante procesos de adsorción y desorción. Para ello, se emplearon como materiales adsorbentes carbón activado granular comercial (CAGC EBA 9), carbón activado en polvo comercial (CAPC IA 4) y la resina polimérica Amberlite XAD 4.

Las VM fueron caracterizadas fisicoquímicamente mediante la determinación de pH, color, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, sólidos totales y disueltos, metales y concentración de CF. Además, se realizó una caracterización preliminar de los compuestos fenólicos mediante cromatografía en capa fina, espectrofotometría UV Vis y el método de Folin Ciocalteu. La adsorción se evaluó en un sistema por lotes, considerando como variables la masa de adsorbente, el pH del medio y la temperatura.

Los resultados indicaron que el CAGC EBA 9 presentó el mejor desempeño, con una eficiencia máxima de adsorción del 83.22%, en comparación con el CAPC IA 4 (59.00%) y la Amberlite XAD 4 (59.14%). El análisis cinético mostró que el modelo de pseudo segundo orden describió adecuadamente el comportamiento del proceso de adsorción bajo la mayoría de las condiciones estudiadas. En la etapa de desorción, se empleó el CAGC EBA 9 utilizando distintos agentes desorbentes, se evaluó etanol al 96% v/v, NaOH 0.1 M en etanol al 96% v/v y NaOH 1 M. Siendo el NaOH 1 M el más eficiente, con una recuperación del 44.56% de CF. No obstante, la recuperación parcial evidenció que la adsorción no es completamente reversible.



En conclusión, los procesos de adsorción-desorción evaluados representan una alternativa viable para la remoción y recuperación parcial de compuestos fenólicos en vinazas mezcaleras, contribuyendo a la mitigación de su impacto ambiental.

Palabras clave: vinaza mezcalera, compuestos fenólicos, adsorción, desorción, carbón activado.



ABSTRACT

Mezcal vinasses (MV) are liquid residues generated during the mezcal production process, whose inadequate disposal represents a significant environmental problem due to their high acidity, elevated organic load, intense color, and the presence of phenolic compounds (PC). The latter contribute substantially to the toxicity of the effluent, making it necessary to develop efficient treatment processes and, if possible, strategies for their valorization.

The aim of this study was to evaluate the removal and recovery of phenolic compounds present in mezcal vinasses through adsorption and desorption processes. For this purpose, the following adsorbent materials were used: commercial granular activated carbon (CAGC EBA-9), commercial powdered activated carbon (CAPC IA-4), and the polymeric resin Amberlite XAD-4.

The MV were physicochemically characterized by determining pH, color, chemical oxygen demand, electrical conductivity, total and dissolved solids, metals, and phenolic compound concentration. In addition, a preliminary characterization of phenolic compounds was carried out using thin-layer chromatography, UV–Vis spectrophotometry, and the Folin–Ciocalteu method. Adsorption experiments were conducted in a batch system, considering adsorbent mass, solution pH, and temperature as the main variables.

The results indicated that CAGC EBA-9 exhibited the best performance, achieving a maximum adsorption efficiency of 83.22%, compared to CAPC IA-4 (59.00%) and Amberlite XAD-4 (59.14%). Kinetic analysis showed that the pseudo-second-order model adequately described the adsorption process under most of the studied conditions. In the desorption stage, CAGC EBA-9 was used with different desorbing agents, including 96% v/v ethanol, 0.1 M NaOH in 96% v/v ethanol, and 1 M NaOH. Among these, 1 M NaOH proved to be the most effective, achieving a phenolic compound recovery of 44.56%. However, the partial recovery indicates that the adsorption process is not completely reversible.



In conclusion, the evaluated adsorption–desorption processes represent a viable alternative for the removal and partial recovery of phenolic compounds from mezcal vinasses, contributing to the mitigation of their environmental impact.

Keywords: mezcal vinasse, phenolic compounds, adsorption, desorption, activated carbon.