



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA DE LA MADERA**

TESIS

**Extracción de compuestos volátiles a partir de licor negro
Kraft con asistencia de microondas.**

**Para obtener el grado de Maestro en Ciencias y Tecnología
de la Madera**

Presenta:

Q.F.B. Jorge Luis Meza Colin

Directores de proyecto:

Asesor: M.C. Abril Munro Rojas

CoA: D.Q. Mario Armando Gómez Hurtado

Morelia, Michoacán

Noviembre, 2025

RESUMEN

El licor negro Kraft se genera como subproducto en el curso del proceso Kraft llevado a cabo en las plantas de fabricación de celulosa y papel. Durante este proceso, las virutas de madera deslignifican al ser cocidas a temperaturas de 155-165 °C en una solución acuosa conocida como licor blanco, compuesto principalmente por soda y sulfuro de sodio. El **licor negro**, el residuo líquido resultante, contiene los reactivos de soda y sulfuro de sodio, además de hemicelulosa y lignina descompuesta. A nivel global, se produce anualmente un total de 180 millones de toneladas de pulpa de papel, y cada tonelada de pulpa da origen a aproximadamente 7 toneladas de licor negro diluido (Chávez Sifontes & Domine, 2013). Actualmente, se considera como un recurso de potencial uso industrial, con una producción anual estimada entre los 500 millones a 3,600 millones de toneladas (G. L. F. Gellerstedt & Henriksson, 2008).

La lignina es el único polímero natural abundante de origen aromático con alta reactividad por su alto número de grupos funcionales (G. L. F. Gellerstedt & Henriksson, 2008). A diferencia de otros polímeros de origen natural, sus múltiples unidades estructurales son el problema para una definición precisa porque no presenta una estructura homogénea como la celulosa o proteínas y por esta complejidad afecta su aislamiento y caracterización estructural (Sun, 2010). Entre las ligninas técnicas, la lignina Kraft es la más empleada y normalmente da los rendimientos más bajos de productos de interés, ya que la cocción Kraft altera la estructura de la lignina (Chávez Sifontes & Domine, 2013).

En la actualidad no hay ningún método disponible para el aislamiento cuantitativo de lignina natural o residual sin afectar o modificar su estructura durante el proceso. Sin embargo, hay tres tipos de ligninas que corresponden a los tres procesos químicos mayormente utilizados en la fabricación de pasta de celulosa: lignina del tipo sulfito, Kraft y soda. El proceso asistido por microondas posee varias aplicaciones en el sector agroalimenticio para la extracción de colorantes, aceites esenciales y sabores (Salomón et al., 2013; García, et al., 2000).

Palabras clave: Pulpeo Kraft, destilación, microondas, pulpa, volátiles.

ABSTRACT

Kraft black liquor is generated as a by-product in the course of the Kraft process carried out in pulp and paper manufacturing plants. In this process, wood chips are delignified by being cooked at temperatures of 155-165 °C in an aqueous solution known as white liquor, composed mainly of sodium hydroxide and sodium sulfide. The resulting liquid residue, black liquor, contains the spent reagents sodium hydroxide and sodium sulfide, in addition to hemicellulose and decomposed lignin. Globally, a total of 180 million tons of paper pulp are produced annually, and each ton of pulp gives rise to approximately 7 tons of diluted black liquor (Chávez Sifontes & Domine, 2013). It is currently considered a resource with potential industrial use, with an estimated annual production between 500 million to 3.6 billion tons (G. L. F. Gellerstedt & Henriksson, 2008).

Lignin is the only abundant natural polymer of aromatic origin, with high reactivity due to its large number of functional groups (G. L. F. Gellerstedt & Henriksson, 2008). Unlike other natural polymers, its multiple structural units are the problem for a precise definition because it does not have a homogeneous structure like cellulose or proteins, and this complexity affects its isolation and structural characterization (Sun, 2010). Among technical lignins, Kraft lignin is the most used and typically yields the lowest amounts of products of interest, since the Kraft cooking process alters the lignin's structure (Chávez Sifontes & Domine, 2013).

Currently, there is no available method for the quantitative isolation of natural or residual lignin without affecting or modifying its structure during the process (Baeur et al.). However, there are three types of lignins corresponding to the three chemical processes most commonly used in the manufacture of paper pulp: sulfite, Kraft, and soda lignin. The microwave-assisted process has several applications in the agri-food sector for the extraction of dyes, essential oils and flavors (Salomón et al., 2013; García, et al., 2000).

Keywords: kraft pulping, distillation, microwave, pulp, volatiles.

Tabla de contenido

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
MARCO TEÓRICO	6
Licor Negro	6
Lignina	6
Usos y aplicaciones de la lignina y subproductos del licor negro.	7
Desodorización	7
Obtención de lignina a partir de licor negro Kraft	8
Análisis de licor negro	10
Destilación	11
Procesos asistidos por microondas (M.A.P.).....	11
Extracción líquido-líquido.....	12
Filtración y eliminación del solvente	13
Cromatografía de gases/masas (GC-MS)	13
Índice de Kovats	13
ANTECEDENTES.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
HIPÓTESIS.....	15
OBJETIVOS	16
Objetivo general	16
Objetivos particulares	16
METODOLOGÍA.....	16
• Estrategia experimental	16
• ESTRATEGIA EXPERIMENTAL	17
Neutralización de licor negro Kraft de <i>Pinus martinezii</i> , <i>Eucalyptus sp.</i> Y de la planta Biopappel Scribe.....	17
Lavados realizados con distintos solventes	17
Concentración en rotavapor.....	19
Composición química de muestras derivadas de licor negro.....	19
Destilación simple.....	21

Destilación asistida por microondas	21
Bipartición	22
Concentración del destilado mediante rotavapor	22
Evaluación a destilados utilizando cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masa para identificar compuestos químicos de bajo peso molecular.	22
RESULTADOS	23
Desodorización	23
Composición química	23
Composición química del licor negro Kraft.	24
CONCLUSIONES GENERALES	27

MARCO TEÓRICO

Licor Negro

Los subproductos de la pulpa (licor negro) ocasionan un grave problema ambiental debido a su alta carga contaminante. Entre los diversos componentes durante el proceso se encuentran principalmente ligninas, celulosa, fenoles, resinas, ácidos grasos y taninos que se mezclan y forman un residuo alcalino viscoso de color negro oscuro conocido como licor negro (Grover et al., 1999).

El licor negro débil procedente de una planta de celulosa está constituido por aproximadamente 85% de agua. Por lo cual es importante evaporar esta agua para su utilización en distintos fines.

En líneas generales este licor se encuentra constituido por dos terceras partes de mezclas orgánicas, como hidroxiácidos, lignina, ácidos grasos, extraíbles y resinas, los cuales están presentes en mayor proporción. En menor cantidad se encuentra ácido acético, ácido fórmico y metanol. En tanto los elementos inorgánicos presentes en concentraciones inferiores son Mg, Mn, Fe, P, Si y Al (G. Gellerstedt et al., 2009) categoría de compuestos interesantes presente, es la mezcla de ácidos alifáticos. Estos pueden aislarse del licor mediante diversas técnicas de separación (cromatografía, filtración por membrana, extracción líquido-líquido, destilación) pero ninguna de ellas ha sido industrializada. Debido a la complejidad de la matriz del licor negro (Chávez Sifontes & Domine, 2013)

Lignina

Dar una definición precisa a la lignina resulta un problema, por estar asociada a múltiples unidades estructurales que no suelen repetirse de forma regular, debido a los cambios en su composición y estructura influenciado por el método de extracción o aislamiento aplicado (Sun, 2010). En general está compuesta por copolímeros derivados de tres unidades fenilpropano-monoméricas básicas: alcohol *p-cumarílico*, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico (G. L. F. Gellerstedt & Henriksson, 2008).

La celulosa y hemicelulosa son los biopolímeros más abundantes que conforma la pared celular regulada a nivel nano-estructural, interactuando como redes de lignina-hidratos de carbono. La distribución y su composición varía dependiendo de la especie vegetal (Mayfield et al., 2007).

Usos y aplicaciones de la lignina y subproductos del licor negro.

Además de la lignina, también se pueden aislar ácidos carboxílicos del licor negro antes de la combustión. Esto es de especial interés ya que su poder calorífico es bajo en comparación con el de la lignina y son componentes esenciales para una amplia gama de productos farmacéuticos, aditivos alimentarios y polímeros (Maitz et al., 2023).

Debido a la estructura condensada del licor negro, combinada con una clara contaminación de azufre, la conversión de esta lignina en aromáticos de bajo peso molecular sigue siendo un desafío. Sin embargo, se han sugerido diferentes métodos, incluyendo tratamientos térmicos, bioquímico, oxidativo y reductor (Zirbes et al., 2023).

Desodorización

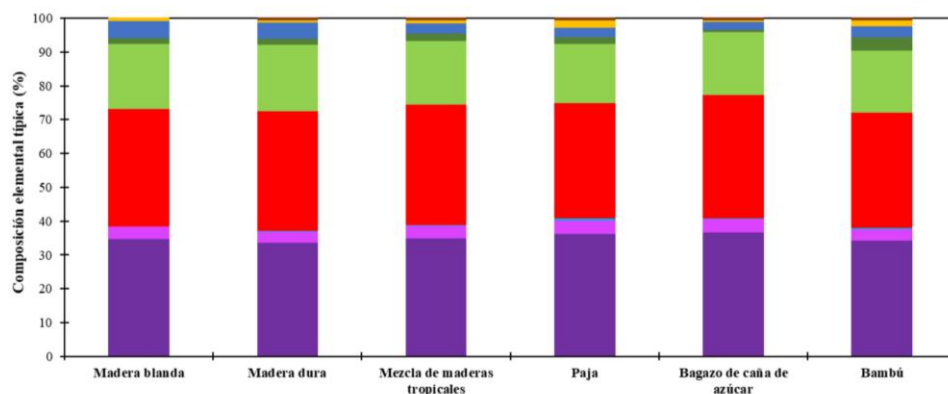
En distintas industrias y sectores donde se hace uso de la lignina proveniente del licor negro, el primer paso, es conseguir la menor cantidad de compuestos olorosos. Entre las técnicas utilizadas para este fin se encuentra la oxidación húmeda, técnica que ha dado resultados en la eliminación de compuestos olorosos en lodos, así como en la depuración de aguas residuales, así mismo también en soluciones acuosas de distintos ácidos orgánicos (Dobrynkin et al., 2012).

Si bien las propiedades del licor negro varían dependiendo de la materia prima de partida y las condiciones durante el pulpeo (Bajpai, 2016; Cardoso et al., 2009)). Todos estos licores son soluciones acuosas alcalinas con una alta carga orgánica, viscosidad y un color negro (Chandra & Abhishek, 2011)

Entre las distintas características más aceptadas de la lignina es el que son polímeros vegetales constituidos a base de unidades de fenilpropanoides, cuentan con presencia de grupos metoxilo, son resistentes a la hidrólisis ácida, fácilmente oxidables, solubles en álcalis, y de fácil condensación con fenoles o tioles; dependiendo del origen de la lignina, es posible producir vainillina, siringaldehído y p-hidroxibenzaldehído al hacer reaccionar la lignina con nitrobenceno en una solución alcalina caliente; también pueden formarse monómeros del tipo "cetonas de Hibbert" (mezcla de cetonas aromáticas como resultado de la ruptura de enlaces éter (β -O-4)) al colocar lignina a ebullición en una solución alcalina

caliente (Sun, 2010). Es de mencionar que algunos monolignoles presentes son interesantes reactivos de partida para la producción de compuestos aromáticos de alto valor añadido en la industria petroquímica (Chávez-Sifontes & Domine, 2013).

Aun así la conversión directa del licor negro presenta un desafío debido a la complejidad del mismo (Naqvi et al., 2010) En la Figura 1. se puede observar un resumen de la composición elemental típica del licor negro Kraft dependiendo de la materia de partida (Pola et al., 2021).



Composición elemental típica del licor negro Kraft dependiendo de la materia prima (C (■), H (■), N (■), O (■), Na (■), K (■), S (■), Cl (■) e inertes (■)) (Pola et al., 2022).

Figura 1. Composición elemental del licor negro Kraft

Obtención de lignina a partir de licor negro Kraft

Existen diferentes métodos para obtener lignina a partir de licor negro Kraft. Una de las técnicas más utilizadas, es la precipitación ácida, la cual consiste en bajar el pH del licor a valores que van de 9 a 2. Con esta técnica se ha logrado separar cerca del 90 % de la lignina total. Cabe mencionar que la lignina precipitada con ácido sulfúrico contiene sales de Na_2SO_4 , a diferencia de cuando se utiliza ácido clorhídrico, la sal principal es NaCl (Santos et al., 2014)

Otra técnica utilizada para la separación de compuestos valiosos en licor negro Kraft, es la extracción líquido-líquido mediante la selección de diferentes disolventes orgánicos o inorgánicos durante la técnica. Una ventaja para mencionar es que esta técnica no solo permite la recuperación de compuestos de interés, sino asimismo también mejora la biodegradabilidad dl licor Kraft ya deslignificado(Oliveira et al., 2018).

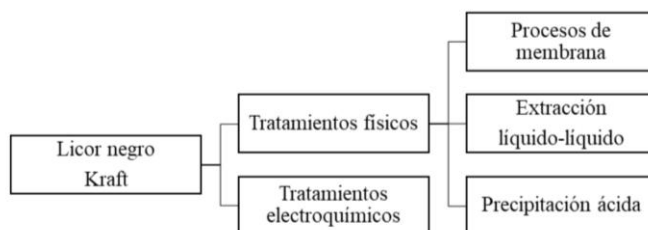


Figura 2. Tratamientos alternativos para la obtención de lignina a partir de licor Kraft.

Al extraer lignina partiendo del licor negro, se producen grandes cantidades de compuestos de azufre totalmente reducido y especies volátiles de azufre, los cuales contienen sulfuro de hidrogeno (H_2S), metanotiol (CH_4S), y sulfuro de dimetilo (C_2H_6S), los cuales son compuestos fuertemente olorosos. Para solucionar este problema, una alternativa es la oxidación(Kouisni et al., 2016). Misma técnica que es utilizada en plantas depuradoras de aguas residuales urbanas, sitios en los que se generan compuestos ricos en azufre, moléculas de nitrógeno y compuestos orgánicos (Laplanche et al., 1994).

Es de mencionar que la separación y valorización de la lignina del licor negro se ha intentado por distintas vías. La lignina Kraft es posible recuperarla por acidificación y precipitación(Andeme Ela et al., 2020). Para la despolimerización de la lignina y producir monómeros en bajos rendimientos (aromáticos, fenólicos, alifáticos), oligómeros y gases; se puede aplicar la hidrólisis o la oxidación(Vilcocq et al., 2023).

Entre los compuestos más interesantes a partir de la lignina se encuentra la vainillina; aldehído fenólico que también se puede obtener por despolimerización y oxidación de unidades de guayacol. Entre las múltiples aplicaciones se encuentra su uso en la industria de fragancias y sabores teniendo un alto valor de mercado (Fache et al., 2016). Otros artículos

han reportado la observación de ácidos alifáticos, ácidos fórmicos, acético, succínico, oxálico y glutacónico (Demesa et al., 2015).

Análisis de licor negro

Dentro de las técnicas más utilizados para medir la lignina en muestras de licor negro, se encuentran los métodos espectroscópicos UV, aunque también hay novedosos métodos basados en análisis cromatográfico de gases El Proceso Asistido por Microondas (J. García et al., 2000). Para determinar el contenido de sólidos presentes, el método más utilizado es el secado en horno siguiendo el estándar TAPPI T650 PM-84 (Nelson & Thompson, 1977). El cual consiste en secar el licor negro a 105 °C durante un periodo mínimo de 6 horas (Nelson & Thompson, 1977).

No se han definido procedimientos estándar para el análisis elemental de licor negro, sin embargo, hay varios procedimientos disponibles para determinar elementos individuales (Niemelä & Alén, 1999).

A pesar de la existencia y aplicación de varios métodos para el análisis del licor negro, en muchas ocasiones los métodos se ven afectados, puesto que se basan en distintos principios y estándares (Suhartati et al., 2016).

Destilación

La destilación es una de las operaciones unitarias más utilizadas en la industria química, petroquímica, alimentaria, farmacéutica y cosmética para la separación de componentes en mezclas líquidas miscibles mediante la ebullición de sus vapores.

Los primeros libros de destilación aparecieron alrededor del siglo XVI escritos por Brunshwig y Andrew. Pasaron los años hasta que, al llegar la Revolución Industrial, se encontraron nuevos usos para la destilación. Con ello, los subproductos de la industria del gas adquirieron una importancia creciente. Entre ellos estaba el alquitrán, del que se obtenía benceno, el tolueno y el xileno (Valiente Barderas, 1995).

Procesos asistidos por microondas (M.A.P.)

Los procesos asistidos por microondas (por sus siglas en inglés Microwave Assisted Process M.A.P.) utilizan energía de microondas, los cuales mejoran o aceleran procesos físicos, (y/o) químicos. En un inicio comenzaron a ser utilizados para la extracción de aceites esenciales en materia vegetal (Li et al., 1997; Llompart et al., 1997)

Entre las mayores ventajas de utilizar este método de destilación, se encuentra utilizar 90% menos solvente o ninguno; los procesos son significativamente más rápidos, reduciendo de horas a minutos en algunos casos. Además de producir rendimientos aumentados, puede mejorarse pureza en la extracción (J. García et al., 2000).

El proceso de microondas es un método de radiación no ionizante que presenta un campo eléctricomagnético, con disposición perpendicular entre sí y transmite la energía en forma de ondas (Moreno et al., 2017). Las microondas comprenden el rango de frecuencias entre 0.3 y los 300 GHz, las cuales permiten que cambie de polaridad las moléculas al aplicar este proceso; Generalmente se acoplan a la polaridad del campo electricomagnético al someterse a estas radiaciones, generando vibraciones y rotaciones que producen calor (Salomón Izquierdo et al., 2013). Una diferencia de este a otros métodos tradicionales, es que se transmite energía de forma directa a las moléculas capaces de interactuar con las microondas, por tanto, el calentamiento ocurre desde el interior hacia el exterior, además, no se produce un gradiente de calor (Díaz, 2022). El proceso asistido por microondas posee varias aplicaciones en el sector agroalimenticio para la extracción de colorantes, aceites

esenciales y sabores (García et al., 2000; Salomón Izquierdo et al., 2013). Utilizar este método de extracción presenta como ventajas, necesitar menos tiempo de operación, tener alta reproducibilidad, requerir menores volúmenes de muestra y reduciendo el consumo de energía. Sin embargo, es importante conocer la interacción de los componentes en la muestra con la radiación electromagnética, ya que los compuesto de bajo peso molecular podrían perderse debido al calentamiento continuo de esta metodología (Moreno et al., 2017).

Extracción líquido-líquido

La extracción discontinua, también denominada extracción líquido-líquido, consiste en la transferencia presentes entre dos líquidos inmiscibles de una fase acuosa y una fase orgánica.

Es una metodología que permite separar productos deseados presentes en una mezcla, dejando los productos secundarios o bien, extraer los productos secundarios dejando el principal. En este método es de importancia tener en cuenta la regla de solubilidad “*lo semejante disuelve lo semejante*”, siendo así, los solutos polares solo pueden disolverse en solventes polares y los no polares en solventes no polares (Méndez et al., 2023). En este tipo de extracción el componente se encuentra disuelto en un disolvente (siendo generalmente agua) en tanto para extraerlo se suele utilizar un solvente orgánico, puesto que son inmiscibles entre sí.

La eficacia de la extracción es dependiente de la solubilidad relativa del compuesto a extraer en el disolvente elegido. Para un volumen final de solvente orgánico, existe una mayor efectividad al realizarse varias extracciones con un volumen menor de solvente que con una única extracción de un volumen mayor (Armarego & Chai, 2009).

Para los casos donde las mezclas de los compuestos se presentan en una suspensión acuosa; la extracción del producto de interés se consigue adicionando el solvente orgánico adecuado, debiendo ser de densidad distinta al agua, inmiscible y solubilidad conveniente con el compuesto de interés, pero no con las impurezas (Pandersen y Myers 2011).

Filtración y eliminación del solvente

La filtración y eliminación adecuada de un solvente comienza colando el mismo por gravedad a través de un agente desecante y haciendo uso de un embudo con papel filtro. A su vez es de importante consideración lavar el filtro con el mismo solvente utilizado durante la extracción. Ya filtrado el solvente, este se elimina a presión reducida empleando un rotavapor y de este modo logrando aislar el compuesto extraído previo a purificarse.

Cromatografía de gases/masas (GC-MS)

La cromatografía de gases-masas es una técnica de identificación la cual se basa combinando la capacidad de separación que presenta la cromatografía de gases con la sensibilidad y capacidad selectiva del detector de masas. Permitiendo así, analizar y cuantificar compuestos con un grado alto de efectividad. Esta técnica es ideal para la identificación de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles (Vargas 2000).

En cuanto al registro y análisis de datos, la señal captada por el detector se registra y se utiliza para generar un cromatograma, que es una representación gráfica de la intensidad de la señal en relación con el tiempo de retención. La interpretación del cromatograma facilita la identificación y cuantificación de los componentes presentes en la muestra (A. de M. B. García & Yusá, 2016).

Índice de Kovats

Es una medida, la cual indica cómo se retiene un compuesto en comparación con una mezcla estándar de alcanos saturados de diferentes longitudes de cadena. Se calcula multiplicando el número de átomos de carbono del compuesto por 100, número correspondiente al número de átomos de carbono de un alcano hipotético de cadena lineal que tendría el mismo tiempo de retención bajo las mismas condiciones experimentales que el compuesto de interés (Soto G et al., 2011).

ANTECEDENTES

La técnica de precipitación se plantea como objetivo principal la obtención de fracciones de lignina, mediante el tratamiento con ácidos y solventes orgánico Lignina Extraídas del Licor Negro con Solventes Orgánicos (González et al., 2007).

Mary Lopretti de Uruguay, utilizo una ruta bioquímica para conseguir vainillina a partir de la lignina en 1990.

En 2009, el Dr. Paula Pinto, participó en varios proyectos de biorefinería con la industria: Biobloques con The Navigator Company y otro proyecto con una empresa de EE. UU., tanto en el tema de la lignina, como en Biorrefinaria Integrada a la Industria de Pasta y Papel en polifenoles a partir de corteza de eucalipto (Rodrigues et al., 2018)

Se realizaron estudios detallados sobre el fraccionamiento y la adsorción/desorción de la membrana en vista del objetivo final: "Fraccionamiento de lignina del licor kraft de E. globulus por ultrafiltración en una secuencia de membrana de tres etapas"(Rodrigues et al., 2018)

La despolimerización de lignina con escisión de enlaces selectivos es el principal desafío para convertir la lignina en productos químicos de valor añadido y para lograr su posterior valorización. Se han propuesto una variedad de métodos, y se han publicado algunas reseñas sobre este tema (Mahmood et al., 2016; Opazo-Navarrete et al., 2018; Pandey & Kim, 2011).

En la actualidad basandose en nuevos conocimientos y avances tecnológicos, se encuentra el caso de la extracción directa de licor negro con disolvente eutécticos profundos (Lalman, 2017).

JUSTIFICACIÓN

El licor Kraft es considerado un material de residuo cuya función en la industria se encuentra limitada casi exclusivamente a fines energéticos, por esta razón es importante buscar alternativas para aprovechar su potencial químico, dado que en los últimos años la producción comienza a sobrepasar las necesidades energéticas dentro de la industria.

La destilación asistida por microondas, con respecto a otros procesos, presenta ciertas ventajas como lo son principalmente reducción de tiempo, además de controlar la temperatura de una forma más efectiva.

Dado que este proceso es la técnica predominante para producir pulpa se eligió la lignina Kraft como material de partida para esta investigación.

HIPÓTESIS

Al aplicar la destilación asistida por microondas, pueden obtenerse compuestos volátiles de manera eficiente y en tiempos cortos de experimentación. Este proceso al ser replicable permitirá obtener compuestos de interés para algunas áreas como la farmacéutica o industria.

OBJETIVOS

Objetivo general

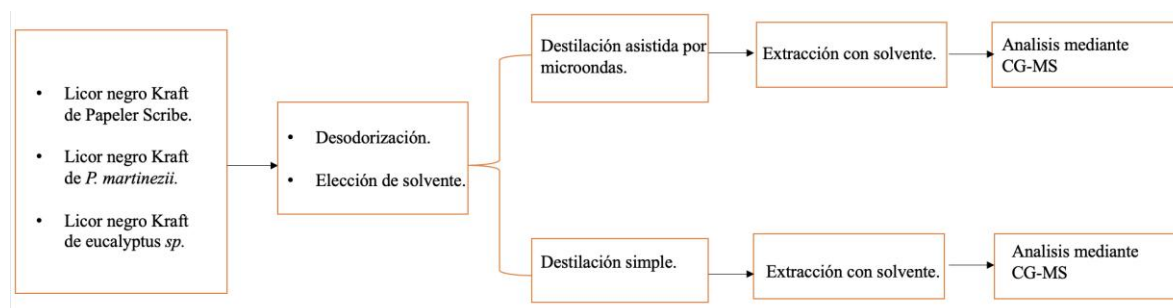
Se extraerán compuestos volátiles a partir de licor Kraft mediante destilación asistida por microondas y destilación simple para posteriormente caracterizar sus compuestos volátiles empleando métodos espectroscópicos.

Objetivos particulares

- Explorar condiciones adecuadas para extracción de compuestos volátiles del licor negro con asistencia de microondas.
- Realizar extracción de compuestos volátiles de licor negro mediante destilación simple.
- Caracterización de los componentes volátiles extraídos mediante técnicas espectroscópicas.
- Realizar una comparación de los resultados obtenidos.

METODOLOGÍA

• Estrategia experimental



- **ESTRATEGIA EXPERIMENTAL**

El licor negro Kraft fue proporcionado por la planta BIO PAPPEL SCRIBE S.A de C.V. y por el laboratorio de la facultad de ciencias y tecnología de la madera.

Neutralización de licor negro Kraft de *Pinus martinezii*, *Eucalyptus sp.* Y de la planta Biopappel Scribe.

Se comenzó preparando una solución acuosa con una concentración de 10% H_2SO_4 (ácido sulfúrico) y 90% agua (H_2O), la cual posteriormente se utilizó para acidificar cada matriz de licor negro Kraft (LNK) hasta llegar a un pH con valores entre 4.15 y 4.30, el cual se corrobora empleando un potenciómetro de la marca Walfront.



Figura 3. Licor negro Kraft con pH requerido

Lavados realizados con distintos solventes

Una vez teniendo el LNK con el pH en valores entre 4.15 y 4.30 se procedió colocar aproximadamente 50 ml en 2 embudos de separación, a los cuales se les adiciono distinto solvente en proporción 1:1 con el LNK.

- Al primer embudo se le adiciono CH_2Cl_2 (diclorometano).
- Al segundo embudo se le adiciono $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ (acetato de etilo).

Ya teniendo los embudos de separación con LNK y el respectivo solvente en proporción 1:1, se procedió a realizar agitación para posteriormente dejar unos minutos en reposo y lograr una mejor separación de las dos fases.

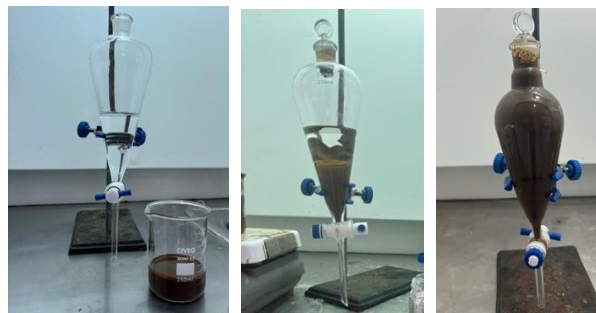


Figura 4. Proceso de lavados realizados

Posteriormente, se retiró la fase orgánica de cada uno de los embudos, llevándose a refrigeración para su posterior concentración en rotavapor.



Figura 5. Fase orgánica obtenida en cada lavado.

Concentración en rotavapor

Previo a llevar a concentración cada una de las muestras, se filtraron con Na_2SO_4 (sulfato de sodio anhidro); con la finalidad de eliminar cualquier residuo de agua en la fase orgánica.



Figura 6. Preparación previa a concentración.

Una vez filtradas las muestras, se colocó cada una de ellas en un matraz balón de 100 ml y acorde a sus propiedades se ajustaron los parámetros en el equipo de rotavapor.

Tabla 1. Ficha de solventes utilizados en cada muestra.

Diclorometano	Acetato de etilo
Fórmula: CH_2Cl_2 pH: valor neutro Punto de fusión/congelación: -95°C a 101.3 kPa Punto de ebullición: 40°C a 101.3 kPa	Fórmula: $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ pH: valor de 5 Punto de fusión/congelación: -83.6°C a 101.3 kPa Punto de ebullición: 77.1 °C

Composición química de muestras derivadas de licor negro.

Este análisis se realizó en un Cromatógrafo de Gases de la marca Thermo Scientific, modelo TRACE 1030. Se inició a una temperatura de 50 °C durante 5 minutos, posteriormente se aumentó la temperatura de forma gradual a una velocidad de 20 °C por minuto hasta llegar a 200 °C, ahí se mantuvo la temperatura por 5 minutos, finalmente se elevó la temperatura hasta los 250 °C con la misma velocidad y se mantuvo ahí durante 10 minutos; el gas utilizado fue He (helio) a 1 mL por minuto.

El tiempo total de la prueba fue de 30 minutos.



Figura 7. Cromatógrafo de gases Thermo Scientific.

Finalizado el análisis, se registraron los datos obtenidos por el cromatógrafo de gases y se hicieron los cálculos correspondientes utilizando la siguiente fórmula para conocer el índice de Kovats:

$$KI = 100Z + \frac{100[(\log t' R^X) - (\log t' R^Z)]}{(\log t' R^Z + 1) - (\log t' R^Z)}$$

Donde:

X es el compuesto de interés;

$t' R^X$ es el tiempo de retención ajustado de X;

Z es el número de átomos de carbonos del alcano con el tiempo de retención inmediatamente inferior al de X;

$t' R^Z$ es el tiempo de retención ajustado de Z;

$t' R^Z + 1$ es el tiempo de retención ajustado del alcano con tiempo de retención inmediatamente superior al de Z.

Destilación simple

Para este proceso se utilizaron aproximadamente 500 mL de licor negro Kraft (LNK) y se colocaron en un sistema de destilación simple. Esta tuvo una duración de aproximadamente 8 horas, con una temperatura gradual hasta los 280 °C durante las primeras 4 horas. Posterior a las 4 horas iniciales se aumentó la temperatura a 360 °C durante el tiempo restante, recolectando el destilado obtenido a esta temperatura.



Figura 8. Equipo de destilación simple.

Destilación asistida por microondas

La destilación asistida por microondas se llevó a cabo empleando un reactor de microondas operando a 2,450 MHz con potencia variable de 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540 y 600W (Tabla 2.), que corresponde a una frecuencia adecuada para la excitación de moléculas de agua.

Tabla 2. Tabla de niveles de potencia.

Nivel de potencia (Indicado en pantalla)	Porcentaje aproximado de potencia
600	100% (600W)
540	90% (540W)
480	80% (480W)
420	70% (420W)
360	60% (360W)
300	50% (300W)
240	40% (240W)
180	30% (180W)
120	20% (120W)
60	10% (60W)
0	0% (0W)

Se trabajó con 50 ml. de LNK de planta BIO PAPPEL SCRIBE, *Pinus martinezii* y *Eucalyptus* sp. con el pH en valores entre 4.15 y 4.30 de en cada destilación asistida por microondas, siendo sesiones de 35 minutos a una potencia de 180W. Este proceso se realizó por triplicado en cada muestra.

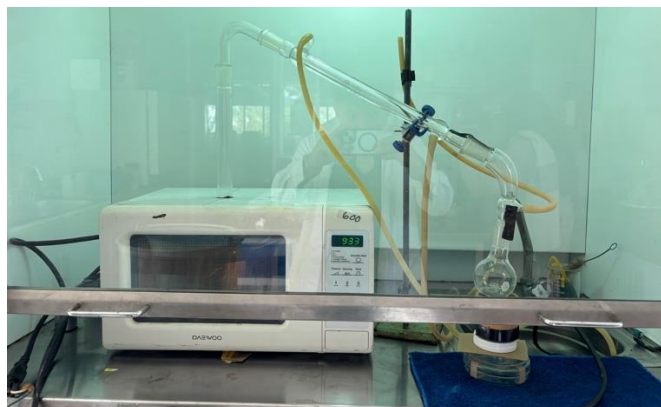


Figura 9. Equipo de destilación asistida por microondas.

Bipartición

Una vez concluida las tres técnicas de destilación, se realizó una bipartición utilizando CH_2Cl_2 en una proporción de volumen 1:1 empleando un embudo de separación de 250 mL.

Concentración del destilado mediante rotavapor

Posterior a la bipartición, se pasó a un matraz balón la fase con el CH_2Cl_2 , el cual se conectó a un sistema de rotavapor con los siguientes parámetros: vacío de 700 mbar, 72 rpm y una temperatura de 44°C . Durante aproximadamente 15 minutos.

Evaluación a destilados utilizando cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masa para identificar compuestos químicos de bajo peso molecular.

Obtenidos los destilados ya concentrados, se llevó a cabo una evaluación mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masa para identificar sus compuestos. Los resultados se compararon para establecer las ventajas y desventajas de las metodologías.

RESULTADOS

Desodorización

En cada fase y principalmente al momento de concentrar se logró reducir en consideración el olor a azufre al haber disminuido el pH del licor negro Kraft utilizando la solución de H_2SO_4 .

Es de relevancia mencionar que, a pesar de haber desodorizado el licor Kraft mediante la acidificación; no se perdieron compuestos en gran medida, lo cual se corroboró al momento de analizar los resultados obtenidos en CG-MS.

Composición química

El espectro dado por el equipo de CG-MS mostro los siguientes picos (Figura.10), los cuales muestran la presencia de algunos compuestos, los cuales se determinaron mediante sus índices y tiempos de retención; y posterior comparación con una base de datos.

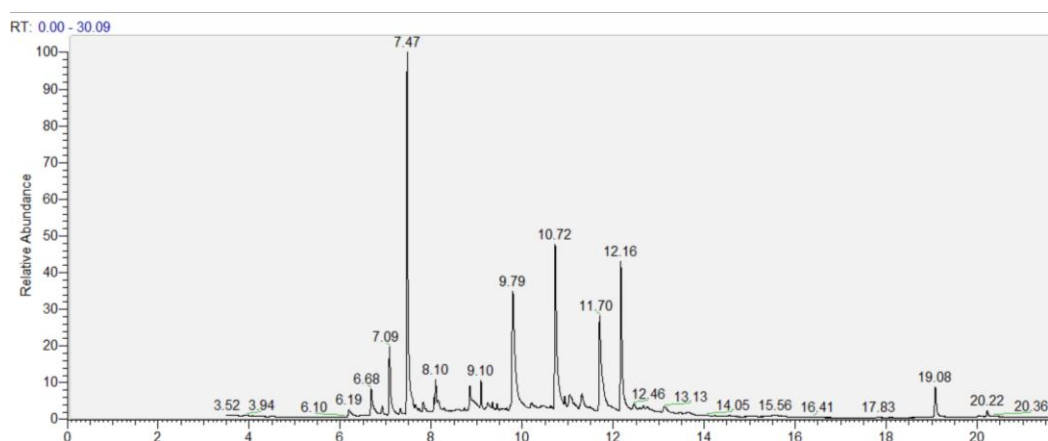


Figura 10. Cromatograma de compuestos presentes en extracción liquido-liquido utilizando CH_2Cl_2 .

Tabla 3. Compuestos presentes en extracción liquido-liquido realizada con CH₂Cl₂.

Compuestos presentes en lavado realizado con CH ₂ Cl ₂ a LNK	
Compuesto	Rendimiento en %
Mequinol	20
Etanona, 1-(1-ciclohexeno-1-ilo)	14
Eucaliptol	12
Benzaldehído, 3,4,5-trimetoxi	11
Ácido bencenoacético, 4-hidroxy-3-methoxy	9
ciclohexanona, 3,5-dimetil	5
p-Mentha-1,5-dien-8-ol	3
2-Ciclopentano-1-uno, 2-hidroxi-3-methyl-	2
Fenol, 2-methoxy-4-propil	2
Ácido giberélico	0.8
Rendimiento total en %	78.8

Composición química del licor negro Kraft.

En la Tabla 4. se pueden observar los 10 compuestos que más predominaron obtenidos mediante la tecnica de destilación simple. Observando en una mayor proporcion sigificativa el Mequinol, seguido por Benceno, 1,2- dimetoxi. En menor proporcion se obtuvo Ácido ricinoleico.

Tabla 4. Comparación de los compuestos presentes obtenidos por destilación simple a LNK.

Promedio de compuestos obtenidos mediante destilacion simple a partir de LNK.	
Compuesto	Rendimiento en %
Mequinol	26
Benceno, 1,2-dimetoxi	6
Fenol, 2-metoxi-4-propil	5
Etanona, 1-(1-ciclohexen-1-ilo)	4
Alcohol oleílico	3
Timol	3
4-acetoxi-3-metoxiacetofenona	2
Ácido ricinoleico	2
Ácido undecanoico, hidroxi-lactona.	2
Rendimiento total en %	53

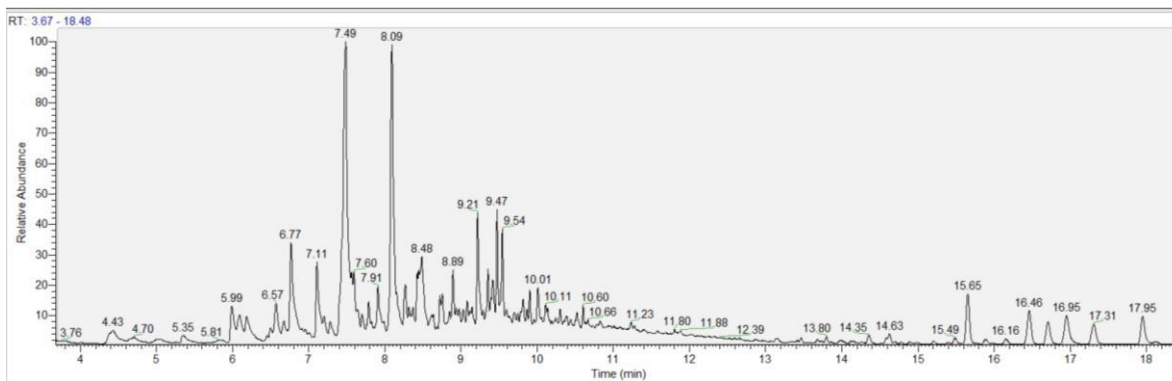


Figura 11. Cromatograma de compuestos obtenidos mediante destilación simple a partir de licor negro Kraft.

Es de relevancia mencionar que a pesar de haber desodorizado en gran medida el licor Kraft mediante la acidificación; no se perdieron compuestos en gran medida, lo cual se corroboró al momento de analizar los resultados obtenidos en CG-MS.

Analizando la siguiente tabla (Tabla 5), se puede observar que si bien, varios compuestos se comparten, hay otros más que solamente aparecieron en la extracción liquido-liquido, como es el caso del Eucaliptol con una presencia del 12%, el Benzaldehído, 3,4,5-trimetoxi con presencia del 11% y p-Mentha-1,5-dien-8-ol en un porcentaje del 3%. A su vez e en la destilación simple el Benceno, 1,2-dimetoxi solo estuvo presente en la destilacion simple con un 6%, mientras hubo nula presencia en la extracción liquido-liquido.

Tabla 5. Comparación de los compuestos por medio de cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masa; de los distintos concentrados.

Promedio de compuestos obtenidos mediante extracción líquido-líquido a partir de licor negro Kraft.		Promedio de compuestos obtenidos mediante destilación simple a partir de licor negro Kraft.	
Compuesto	Rendimiento en %	Compuesto	Rendimiento en %
Mequinol	20	Mequinol	26
Etanona, 1-(1-ciclohexeno-1-ilo)	14	Benceno, 1,2-dimetoxi	6
Eucaliptol	12	Fenol, 2-metoxi-4-propil	5
Benzaldehído, 3,4,5-trimetoxi	11	Etanona, 1-(1-ciclohexen-1-ilo)	4
Ácido bencenoacético, 4-hydroxy-3-methoxy	9	Alcohol oleílico	3
ciclohexanona, 3,5-dimetil	5	Timol	3
p-Mentha-1,5-dien-8-ol	3	4-acetoxi-3-metoxiacetofenona	2
2-Ciclopentano-1-uno, 2-hidroxi-3-methyl-	2	Ácido ricinoleico	2
Fenol, 2-metoxi-4-propil	2	Ácido undecanoico, hidroxi-lactona.	2
Ácido giberélico	0.8	Ácido giberélico	0.5

La extracción de compuestos fenólicos del licor negro Kraft de *Eucalyptus* sp. y de *Pinus martinezii* depende en gran medida de la afinidad química entre los solventes y los compuestos objetivo. El diclorometano, un solvente orgánico de baja polaridad, tiene una mayor afinidad por compuestos como el eucaliptol, la vainillina, la acetovanillona y el ácido homovanílico. Esto se debe a que estos compuestos tienen una menor polaridad y pueden formar interacciones débiles, como fuerzas de van der Waals, con el diclorometano.

La eficiencia de extracción varía significativamente según el solvente utilizado.. Estas observaciones tienen aplicaciones prácticas, ya que permiten optimizar los procesos de extracción según las propiedades de los compuestos objetivo.

La extracción de compuestos fenólicos del licor negro Kraft de la industria papelera puede optimizarse mediante el uso de diclorometano y acetato de etilo, cada uno con preferencias específicas.

El análisis del destilado de licor negro Kraft extraído con diclorometano reveló que el guaiacol es el compuesto más abundante, representando el 32% de la muestra. Este hallazgo resalta la eficacia del diclorometano para extraer compuestos fenólicos como el guaiacol, que tiene una estructura química compatible con este solvente no polar. Esto sugiere que estos compuestos pueden estar presentes en concentraciones inferiores al límite de detección o que su afinidad por el diclorometano es insuficiente para una extracción eficiente. Estos resultados subrayan la importancia de considerar la selectividad del solvente en los procesos de extracción.

CONCLUSIONES GENERALES

La extracción de compuestos fenólicos del licor negro Kraft, ya sea de *Eucalyptus* sp., *Pinus martinezii* o de la industria papelera en general, depende fundamentalmente de la afinidad química entre los solventes utilizados y los compuestos objetivo, postumo a la técnica de destilación aplicada. El diclorometano, un solvente de baja polaridad, ha demostrado ser altamente efectivo en la extracción de compuestos no polares o ligeramente polares, como el guaiacol, la vainillina, la acetovanillona y el ácido homovanílico, gracias a interacciones débiles como fuerzas de van der Waals. Por otro lado, el acetato de etilo, con mayor polaridad, es más adecuado para la extracción de compuestos polares, como el siringaldehído y el anisol, debido a su capacidad para interactuar con grupos funcionales polares. Sin embargo, la menor eficiencia del acetato de etilo en la extracción de compuestos no polares, como el ácido homovanílico, resalta que la polaridad del solvente es un factor clave en la selectividad del proceso.

Tabla 6. Promedios de extracción utilizando CH₂Cl₂ en LNK de *Pinus martinezii*.

Destilado de LNK de <i>Pinus martinezii</i> .					
Tiempo de retención	Compuesto	Formula	Rendimiento en %	IK Experimental	IK NIST
7.48	Guaiacol	C7H8O2	3	1082	1053-1087
N/A	Anisol, 2-isopropil-5-metil (Timol metil ether)	C11H16O	N/A	N/A	N/A
9.79	Eucaliptol	C10H18O	2	1040	1017-1042
10.13	Vainillina	C8H8O3	6	1374	1340-1392
10.80	Acetovanillona	C9H10O3	10	1484	1480-1491
11.30	Benzaldehído, 3,4,5-trimetoxi	C10H12O4	1	1558	1551-1608
11.68	Ácido homovanílico	C9H10O4	1	1638	1633-1659
11.42	Siringaldehído (Benzaldehído, 4-hidroxi-3,5-dimetoxi)	C9H10O4	30	1639	1617-1664
Rendimiento %			53		

Tabla 6. Promedios de extracción utilizando CH₂Cl₂ en LNK de *Eucalyptus sp.*

Destilado de LNK de <i>Eucalyptus sp.</i>					
Tiempo de retención	Compuesto	Formula	Rendimiento en %	IK Experimental	IK NIST
7.47	Guaiacol	C7H8O2	2	1073	1053-1087
9.80	Eucaliptol	C10H18O	1	1063	1017-1042
10.14	Vainillina	C8H8O3	6	1374	1340-1392
10.82	Acetovanillona	C9H10O3	11	1484	1480-1491
11.30	Benzaldehído, 3,4,5-trimetoxi	C10H12O4	0.19	1551	1551-1608
11.69	Ácido homovanílico	C9H10O4	1	1644	1633-1659
11.97	Siringaldehído (Benzaldehído, 4-hidroxi-3,5-dimetoxi)	C9H10O4	33	1641	1617-1664
Rendimientos			54.19		

Tabla 10. Promedios de extracción utilizando CH₂Cl₂ en LNK de Scribe planta Morelia.

Destilado de LNK de Scribe planta Morelia					
Tiempo de retención	Compuesto	Formula	Rendimiento en %	IK Experimental	IK NIST
4.74	Etanona, 1-(1-ciclohexen-1-il)	C8H12O	5	1024	1023
7.25	Guaiacol	C7H8O2	12	1073	1053-1087
8.85	Anisol, 2-isopropil-5-metil (Timol metil ether)	C11H16O	3	1218	1199-1235
10	Eucaliptol	C10H18O	12	1038	1017-1042
N/A	Vainillina	C8H8O3	N/A	N/A	1340-1392
10.84	Acetovanillona	C9H10O3	18	1487	1480-1491
11.43	Benzaldehído, 3,4,5-trimetoxi	C10H12O4	7	1569	1551-1608
11.81	Ácido homovanílico	C9H10O4	7	1637	1633-1659
12.16	Siringaldehído (Benzaldehído, 4-hidroxi-3,5-dimetoxi)	C9H10O4	11	1657	1617-1664
Rendimientos %			75		

Tabla 12. Promedios de extracción líquido-líquido utilizando DCM en destilado de destilación simple a LNK de Scribe planta Morelia.

Destilado de destilación simple a LNK de Scribe planta Morelia					
Tiempo de retención	Compuesto	Formula	Rendimiento en %	IK Experimental	IK NIST
6.04	Felandreno	C10H16	2	1001	995-1002
6.31	Ácido exanoico	C6H12O4	2	1010	951-1010
7.08	Guaiacol	C7H8O2	32	1068	1053-1087
7.11	Etanona, 1-(1-ciclohexen-1-il)	C8H12O	2	1023	1023
8.15	1,2-Dimetoxibenceno	C8H10O2	8	1148	1142-1149
8.62	Anisol, 2-isopropil-5-metil (Timol metil ether)	C11H16O	4	1202	1199-1235
N/A	Eucaliptol	C10H18O	N/A	N/A	1017-1042
9.95	Vainillina	C8H8O3	3	1353	1340-1392
N/A	Acetovanillona	C9H10O3	N/A	N/A	1480-1491
N/A	Benzaldehído, 3,4,5-trimetoxi	C10H12O4	N/A	N/A	1551-1608
N/A	Ácido homovanílico	C9H10O4	N/A	N/A	1633-1659
N/A	Siringaldehído (Benzaldehído, 4-hidroxi-3,5-dimetoxi)	C9H10O4	N/A	N/A	1617-1664
Rendimientos %			53		

Estos hallazgos subrayan la importancia de seleccionar el solvente adecuado según las propiedades químicas de los compuestos objetivo, ya que la eficiencia de la extracción varía significativamente dependiendo de la compatibilidad entre el solvente y los compuestos. Además, la ausencia de ciertos compuestos de interés en las extracciones con CH₂Cl₂, como el eucaliptol y el siringaldehído, sugiere que pueden requerirse métodos complementarios o solventes alternativos para una recuperación más completa. En conclusión, la optimización de los procesos de extracción requiere un equilibrio entre la polaridad del solvente y las características químicas de los compuestos, lo que permite maximizar la eficiencia y selectividad en la obtención de compuestos fenólicos de interés.

Al aplicar dos métodos de destilación distintos, se pudo concluir una diferencia en cuanto a algunos compuestos presentes. Sin embargo, la mayor diferencia fue la duración durante la destilación. Siendo la destilación asistida por microondas más favorable al momento de elegir una de las dos técnicas utilizadas en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Andeme Ela, R. C., Spahn, L., Safaie, N., Ferrier, R. C., & Ong, R. G. (2020). Understanding the Effect of Precipitation Process Variables on Hardwood Lignin Characteristics and Recovery from Black Liquor. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(37). <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c03692>
- Armarego, W. L. F., & Chai, C. L. L. (2009). Purification of Laboratory Chemicals. In *Purification of Laboratory Chemicals*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-26589-5>
- Bajpai, P. (2016). Pulp and Paper Industry: Energy Conservation. In *Pulp and Paper Industry: Energy Conservation*. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02105-3>
- Cardoso, M., de Oliveira, É. D., & Passos, M. L. (2009). Chemical composition and physical properties of black liquors and their effects on liquor recovery operation in Brazilian pulp mills. *Fuel*, 88(4), 756–763. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.10.016>
- Chandra, R., & Abhishek, A. (2011). Bacterial decolorization of black liquor in axenic and mixed condition and characterization of metabolites. *Biodegradation*, 22(3). <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9433-1>
- Chávez Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, ISSN-e 0718-8706, Vol. 4, N°. 4, 2013, Págs. 15-46, 4(4).
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignin, Structure and Applications: Depolymerization Methods for Obtaining Aromatic Derivatives of Industrial Interest. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 4(4). https://doi.org/http://www.exceedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf
- Demesa, A. G., Laari, A., Tirronen, E., & Turunen, I. (2015). Comparison of solvents for the recovery of low-molecular carboxylic acids and furfural from aqueous solutions. *Chemical Engineering Research and Design*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.04.033>
- Díaz Sánchez, Niniska Mikaela. *Estudio del proceso de obtención de vainillina a partir de lignina mediante un proceso asistido con microondas: Efecto del tiempo sobre la obtención de vainillina a partir de lignina en un proceso asistido con microondas*. 2022. Tesis de Licenciatura. Quito: EPN, 2022.
- Dobrynkin, N. M., Batygina, M. V., Noskov, A. S., Besson, M., & Gallezot, P. (2012). Wet air oxidation of organic acids and phenol for odour control proceses. *Chemical Engineering Transactions*, 30. <https://doi.org/10.3303/CET1230047>
- Fache, M., Boutevin, B., & Caillol, S. (2016). Epoxy thermosets from model mixtures of the lignin-to-vanillin process. *Green Chemistry*, 18(3). <https://doi.org/10.1039/c5gc01070e>
- García, A. de M. B., & Yusá, D. J. M. (2016). HPLC instrumental. In *Universida Politecnica de Valencia* (Vol. 5, Issue 1).

- García, J., Paré, J., & Belanguer, J. (2000). Proceso Asistido por Microondas: aplicaciones para la extracción de aceite de palma. *Revista Palmas*, 2.
- Gellerstedt, G., Henriksson, G., & Ek, M. (2009). Pulp and Paper Chemistry and Technology Volume 1 - Wood Chemistry and Wood Technology. In *Biotechnology* (Vol. 1).
- Gellerstedt, G. L. F., & Henriksson, E. G. (2008). Lignins: Major sources, structure and properties. In *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.00009-0>
- González, A. M., Herrera, J. P., & Rodríguez M, A. (2007). Caracterización de fracciones de ligninas extraídas del licor negro con solventes orgánicos. *Rev. For. Lat.*
- Grover, R., Marwaha, S. S., & Kennedy, J. F. (1999). Studies on the use of an anaerobic baffled reactor for the continuous anaerobic digestion of pulp and paper mill black liquors. *Process Biochemistry*, 34(6–7). [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00138-1](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00138-1)
- Kouisni, L., Gagné, A., Maki, K., Holt-Hindle, P., & Paleologou, M. (2016). LignoForce System for the Recovery of Lignin from Black Liquor: Feedstock Options, Odor Profile, and Product Characterization. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(10).
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00907>
- Lalman, J. A. (2017). Using deep eutectic solvents (DESs) to extract lignin from black liquor. *Separations Division 2017 - Core Programming Area at the 2017 AIChE Annual Meeting*, 2.
- Laplanche, A., Bonnin, C., & Darmon, D. (1994). Comparative study of odors removal in a wastewater treatment plant by wet scrubbing and oxidation by chlorine or ozone. *Studies in Environmental Science*, 61(C). [https://doi.org/10.1016/S0166-1116\(08\)72061-2](https://doi.org/10.1016/S0166-1116(08)72061-2)
- Li, K., Bélanger, J. M. R., Llompart, M. P., Turpin, R. D., Singhvi, R., & Paré, J. R. J. (1997). Evaluation of rapid solid sample extraction using the Microwave-Assisted Process (MAPTM) under closed-vessel conditions. In *Spectroscopy* (Vol. 13, Issue 1).
- Llompart, M. P., Lorenzo, R. A., Cela, R., Li, K., Bélanger, J. M. R., & Paré, J. R. J. (1997). Evaluation of supercritical fluid extraction, microwave-assisted extraction and sonication in the determination of some phenolic compounds from various soil matrices. *Journal of Chromatography A*, 774(1–2). [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(96\)01025-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(96)01025-4)
- Mahmood, N., Yuan, Z., Schmidt, J., & Xu, C. (2016). Depolymerization of lignins and their applications for the preparation of polyols and rigid polyurethane foams: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 60).
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.037>
- Maitz, S., Wernsperger, L., & Kienberger, M. (2023). Isolation of Carboxylic Acids and NaOH from Kraft Black Liquor with a Membrane-Based Process Sequence. *Membranes*, 13(1).
<https://doi.org/10.3390/membranes13010092>
- Mayfield, C. A., Foster, C. D., Smith, C. T., Gan, J., & Fox, S. (2007). Opportunities, barriers, and strategies for forest bioenergy and bio-based product development in the Southern United States. *Biomass and Bioenergy*, 31(9). <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.06.021>
- Méndez, A., Carrillo, J., & Jiménez, F. (2023). *EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

- Moreno, Á., Hernandez, R., & Ballesteros, I. (2017). Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas. *Aplicaciones Industriales Del Calentamiento Con Energía Microondas*, 5(January).
- Naqvi, M., Yan, J., & Dahlquist, E. (2010). Black liquor gasification integrated in pulp and paper mills: A critical review. In *Bioresource Technology* (Vol. 101, Issue 21). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.013>
- Nelson, W., & Thompson, C. E. (1977). *PROPOSED MODIFICATION OF THE TAPPI OVEN METHOD FOR DETERMINATION OF BLACK LIQUOR SOLIDS CONTENT*.
- Niemelä, K., & Alén, R. (1999). *Characterization of Pulping Liquors*. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03898-7_7
- Oliveira, R. C. P., Mateus, M., & Santos, D. M. F. (2018). Chronoamperometric and chronopotentiometric investigation of Kraft black liquor. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(35). <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.046>
- Opazo-Navarrete, M., Schutyser, M. A. I., Boom, R. M., & Janssen, A. E. M. (2018). Effect of pre-treatment on in vitro gastric digestion of quinoa protein (*Chenopodium quinoa* Willd.) obtained by wet and dry fractionation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69(1). <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1332171>
- Pandey, M. P., & Kim, C. S. (2011). Lignin Depolymerization and Conversion: A Review of Thermochemical Methods. In *Chemical Engineering and Technology* (Vol. 34, Issue 1). <https://doi.org/10.1002/ceat.201000270>
- Pola, L., Collado, S., Oulego, P., Calvo, P., & Díaz, M. (2021). Characterisation of the wet oxidation of black liquor for its integration in Kraft paper mills. *Chemical Engineering Journal*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126610>
- Rodrigues, A. E., Pinto, P. C. de O. R., Barreiro, M. F., Esteves da Costa, C. A., Ferreira da Mota, M. I., & Fernandes, I. (2018). An Integrated Approach for Added-Value Products from Lignocellulosic Biorefineries. In *An Integrated Approach for Added-Value Products from Lignocellulosic Biorefineries*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99313-3>
- Salomón Izquierdo, S., Bermello Crespo, A., Márquez Conde, T., López Hernández, O. D., González Sanabria, M. L., & Llópiz Yure, C. J. C. (2013). Extracción asistida por microondas de lípidos de las semillas de Cucurbita pepo L. (calabaza). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(1).
- Santos, P. S. B. dos, Erdocia, X., Gatto, D. A., & Labidi, J. (2014). Characterisation of Kraft lignin separated by gradient acid precipitation. *Industrial Crops and Products*, 55. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.023>
- Silva Vargas, M. E. (2000). *Preconcentración selectiva de fenoles contaminantes prioritarios y determinación por espectrofotometría ultravioleta-visible, cromatografía líquida de alta eficacia y cromatografía de gases-espectrometría de masas* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

- Soto G, A., Moreira, M., & Pallini, A. (2011). ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CUTÍCULA DE TETRANYCHUS EVANSI BACKER & PRITCHARD Y DE TETRANYCHUS URTICAE KOCH (ACARI: TETRANYCHIDAE). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 15(2).
- Suhartati, S., Puspito, R., Rizali, F., & Anggraini, D. (2016). Analisis Sifat Fisika dan Kimia Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit asal Desa Sape, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1). <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3102>
- Sun, R. C. (2010). Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels. In *Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-06759-2>
- Valiente Barderas, A. (1995). Historia de la destilación. *Educación química*, 7(2), 76-82
- Vilcocq, L., Chaussard, N., Hernández Mañas, A., Boyron, O., Taam, M., Bertaud, F., Fongarland, P., & Djakovitch, L. (2023). Potential of catalytic oxidation of kraft black liquor for the production of biosourced compounds. *Green Chemistry*, 25(12). <https://doi.org/10.1039/d3gc00388d>
- Zirbes, M., Graßl, T., Neuber, R., & Waldvogel, S. R. (2023). Peroxodicarbonate as a Green Oxidizer for the Selective Degradation of Kraft Lignin into Vanillin. *Angewandte Chemie - International Edition*, 62(14). <https://doi.org/10.1002/anie.202219217>

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en ciencias y tecnología de la madera	
Título del trabajo	Extracción de compuestos volátiles a partir de licor negro	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	QFB Jorge Luis Meza Colin	1608007f@umich.mx
Director	M.C. Abril Munro Rojas	abril.munro@umich.mx
Codirector	D.Q. Mario Armando Gómez Hurtado	mario.gomez@umich.mx
Coordinador del programa	M.C. Abril Munro Rojas	abril.munro@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	si	google y chatGPT

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	Si	google y chatGPT
Traducción a otra lengua	Si	google y chatGPT
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	No	
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	QFB Jorge Luis Meza Colin
Lugar y fecha	Morelia Michoacan, 4 de noviembre de 2025

Jorge Luis Meza Colin

Extracción de compuestos volátiles a partir de licor negro Kraft con asistencia de microondas.pdf

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:523547378

Fecha de entrega

5 nov 2025, 2:40 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

5 nov 2025, 2:43 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Extracción de compuestos volátiles a partir de licor negro Kraft con asistencia de microondas.pdf

Tamaño del archivo

8.7 MB

31 páginas

7381 palabras

41.510 caracteres

20% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 19%  Fuentes de Internet
- 13%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
1 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo 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.