

**APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS GENERADOS DEL  
EUCALIPTO (EUCALYPTUS SPP.) MEDIANTE UN PROCESO DE  
EXTRACCIÓN SECUENCIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL,  
POLIFENOLES, FLAVONOIDES Y ETANOL  
(Resumen Analítico)**

**COMPREHENSIVE UTILIZATION OF WASTE GENERATED FROM  
EUCALYPTUS (EUCALYPTUS SPP.) THROUGH A SEQUENTIAL  
EXTRACTION PROCESS TO OBTAIN ESSENTIAL OIL, POLYPHENOLS,  
FLAVONOIDS, AND ETHANOL  
(Analytical Summary)**

**Autores (Authors):** CARMONA RIVAS Juan Esteban, CERÓN ROSERO Alejandra Sthefania

**Facultad (Faculty):** de INGENERÍA

**Programa (Program):** INGENIERÍA DE PROCESOS

**Asesor (Support):** MSC. SIMÓN ALEXANDER PUERCHAMBUD CHASOY, PHD.  
VLADIMIR ERNESTO VALLEJO CASTILLO

**Fecha de terminación del estudio (End of the research):** JUNIO 2023

**Modalidad de Investigación (Kind of research):** INVESTIGACIÓN

**PALABRAS CLAVE**

EUCALIPTO.  
ACEITE ESENCIAL.  
POLIFENOLES.  
FLAVONOIDES.  
ETANOL.

**KEY WORDS**

*EUCALYPTUS.*  
*ESSENTIAL OIL.*  
*POLYPHENOLS.*  
*FLAVONOIDS.*  
*ETHANOL.*

**RESUMEN:** El Eucalipto (*Eucalyptus spp.*) es una especie arbórea perteneciente a la familia de las mirtáceas que crece entre los 1.000 y 2.000 m.s.n.m. La explotación forestal del Eucalipto se centra exclusivamente en su tronco, ya que se destina a la

industria papelera y maderera. En el departamento de Nariño, se han cultivado alrededor de 27,2 ha de Eucalipto, lo cual sugiere que los residuos generados por cada árbol talado equivalen a aproximadamente 4.308 ton/m<sup>3</sup> de material. Se realizó la extracción del aceite esencial a partir de las hojas de Eucalipto recolectadas en el municipio de San Lorenzo, Nariño. Este proceso incluyó la aplicación de dos tratamientos: hojas frescas (49,651% wb) y hojas secas (5,086% wb), se evaluó la influencia del contenido de humedad en el rendimiento de extracción de aceite esencial, obteniendo un rendimiento del 0,102% para las hojas frescas y del 0,101% para las hojas secas. Posteriormente, se determinó la composición química del aceite esencial de Eucalipto empleando un análisis de Cromatografía de Gases acoplada a la Espectrometría de Masas (GC-MS), se evidenciaron 20 picos, destacando los siguientes componentes principales: 3,7,11,15-Tetrametil-2-hexadecen-1-ol (Fitol) (14%), Ácido Octadecanoico (2,19%), 1,8-Cineol (Eucaliptol) (1,13%) y Limoneno (0,54%). Seguidamente, se llevó a cabo la cinética de extracción de los componentes bioactivos presentes en los residuos de Eucalipto, generados durante la obtención del aceite esencial. El objetivo fue evaluar los factores frecuencia (37 kHz y 80 kHz) y tiempo máximo de extracción. Adicionalmente, se determinaron los parámetros de la cinética: temperatura de 45 °C, relación sólido-líquido de 1/60 g/mL, % v/v de etanol/agua del 50%. Para cuantificar el contenido total de polifenoles (TPC) y el contenido total de flavonoides (TFC), se emplearon las metodologías de Folin-Ciocalteau y cloruro de aluminio, respectivamente. Los resultados revelaron que la frecuencia óptima para la obtención de componentes bioactivos fue de 37 kHz, con un tiempo máximo de extracción de 15 minutos para TPC, alcanzando un valor de 6.138,922 mg GAE/100 g de peso fresco (FW). Asimismo, se determinó que el tiempo óptimo para TFC fue de 45 minutos, obteniendo un valor de 4.761,656 mg CE/100 g FW. Para realizar el proceso fermentativo, se tomaron los residuos generados en la extracción sólido-líquido asistida con ultrasonido, en donde se encontró que el porcentaje de etanol presente en la muestra fue de 5,4% (v/v) teniendo en cuenta la NTC 5113:2022, y un valor de Yp/s (rendimiento del producto sobre sustrato) correspondiente a 48,8%. Finalmente, se concluye que el aprovechamiento integral de los residuos de la actividad forestal del Eucalipto es del 13,74% en base seca, confirmando así la hipótesis de investigación al superar el rendimiento esperado del 10%.

**ABSTRACT:** *Eucalyptus (Eucalyptus spp.) is a tree species belonging to the Myrtaceae family that grows between 1,000 and 2,000 meters above sea level. Eucalyptus is harvested exclusively for its trunk, which is used in the paper and timber industries. In the department of Nariño, about 27.2 ha of Eucalyptus have been cultivated, which suggests that the waste generated by each tree felled is equivalent to approximately 4,308 tons/m<sup>3</sup> of material. The essential oil was extracted from Eucalyptus leaves collected in the municipality of San Lorenzo, Nariño. This process included the application of two treatments: fresh leaves (49.651% wb) and dry leaves (5.086% wb). The influence of moisture content on the essential oil extraction yield was evaluated, obtaining a yield of 0.102% for fresh leaves and 0.101% for dry leaves. Subsequently, the chemical composition of*

*Eucalyptus* essential oil was determined using Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC-MS) analysis, 20 peaks were evidenced, highlighting the following main components: 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol (Phytol) (14%), Octadecanoic Acid (2.19%), 1,8-Cineole (Eucalyptol) (1.13%) and Limonene (0.54%). Next, the extraction kinetics of the bioactive components present in the *Eucalyptus* residues, generated during the extraction of the essential oil, was carried out. The objective was to evaluate the factors frequency (37 kHz and 80 kHz) and maximum extraction time. Additionally, the kinetic parameters were determined: temperature of 45 °C, solid-liquid ratio of 1/60 g/mL, % v/v ethanol/water of 50%. To quantify the total polyphenol content (TPC) and total flavonoid content (TFC), Folin-Ciocalteu and aluminum chloride methodologies were used, respectively. The results revealed that the optimum frequency for obtaining bioactive components was 37 kHz, with a maximum extraction time of 15 minutes for TPC, reaching a value of 6,138.922 mg GAE/100 g fresh weight (FW). Likewise, it was determined that the optimum time for TFC was 45 minutes, obtaining a value of 4,761.656 mg CE/100 g FW. To carry out the fermentation process, the residues generated in the solid-liquid extraction assisted with ultrasound were taken, where it was found that the percentage of ethanol present in the sample was 5.4% (v/v) taking into account NTC 5113:2022, and a value of Yp/s (product yield on substrate) corresponding to 48.8%. Finally, it is concluded that the integral utilization of *Eucalyptus* forestry residues is 13.74% on a dry basis, thus confirming the research hypothesis by exceeding the expected yield of 10%.

**CONCLUSIONES:** Teniendo en cuenta que el rendimiento de aceite esencial no presentó diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, en la presente investigación se seleccionó la metodología de extracción de aceite esencial aprovechando las hojas frescas, ya que cuando se tienen humedades bajas se requiere mayor consumo energético en el proceso de secado y extracción, así como también, se incurre a un mayor tiempo de operación para la obtención del producto. Por lo tanto, el rendimiento del aceite esencial  $0,102\% \pm 0,005\%$  en base seca es indiferente al porcentaje de humedad que contienen las hojas de Eucalipto debido a que se alcanzan rendimientos similares con una diferencia despreciable. En la cinética de extracción se encontró que la frecuencia apta para la obtención de polifenoles y flavonoides en los residuos hojas de Eucalipto corresponde a 37 kHz permitiendo mejorar la transferencia de masa debido a su influencia en el proceso de cavitación acústica generada durante el proceso. En cuanto al tiempo de proceso, se realizó el análisis hasta los 15 min de extracción, ya que a partir de este punto no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en la obtención de polifenoles, que correspondió al componente bioactivo que se logró extraer en mayor cantidad  $6.138,922 \pm 98,313$  mg GAE/100 g FW. Teniendo en cuenta el diseño experimental realizado, se concluye que el porcentaje de solvente (etanol) 78% y la relación sólido-líquido 52,51 g/mL tienen un efecto positivo en la extracción de componentes bioactivos del Eucalipto. Adicionalmente, la temperatura 30,63 °C muestra un efecto variable, con incrementos en los extremos de temperatura que conducen a un aumento en el TFC, mientras que los valores medios de temperatura

pueden disminuir el TFC. El pretratamiento térmico antes de la hidrólisis ácida resultó en una mayor liberación de azúcares fermentables, con un valor de 2,102 g/L de glucosa  $\pm$  0,212 g/L de glucosa. En contraste, la hidrólisis ácida por sí sola produjo un valor de 1,712 g/L de glucosa  $\pm$  0,091 g/L de glucosa. Por lo tanto, se concluye que el hidrolizado utilizado en la fermentación fue el obtenido mediante ambos tratamientos de hidrólisis con el propósito de aumentar la concentración de azúcares reductores y que el proceso fermentativo se desarrolle de una mejor manera. Según la norma NTC 5113:2022, el porcentaje de etanol determinado mediante destilación fue de 5,4% (v/v). Este valor es similar a los reportados en fermentaciones con baja concentración de sustrato inicial. Además, se determinó que el valor de Yp/s (rendimiento del producto sobre sustrato) fue del 48,8%, el cual se encuentra dentro del rango reportado en otros estudios. El porcentaje de aprovechamiento integral de los residuos generados por la actividad forestal del Eucalipto corresponde a 13,74% en base seca, por lo tanto, se confirma la hipótesis de investigación planteada, puesto que se obtuvo un rendimiento mayor a 10%.

**CONCLUSIONS:** *Considering that the yield of essential oil did not show significant differences between the treatments applied, in this research the methodology of extraction of essential oil using fresh leaves was selected, since when there is low humidity, greater energy consumption is required in the drying and extraction process, as well as a longer operation time to obtain the product. Therefore, the yield of the essential oil  $0.102\% \pm 0.005\%$  on a dry basis is indifferent to the percentage of moisture contained in the Eucalyptus leaves because similar yields are achieved with a negligible difference. In the extraction kinetics it was found that the frequency suitable for obtaining polyphenols and flavonoids in the waste Eucalyptus leaves corresponds to 37 kHz allowing to improve the mass transfer due to its influence on the acoustic cavitation process generated during the process. Regarding the process time, the analysis was carried out up to 15 min of extraction, since after this point no statistically significant differences were found in obtaining polyphenols, which corresponded to the bioactive component that was extracted in greater quantity  $6,138.922 \pm 98.313$  mg GAE/100 g FW. Taking into account the experimental design, it is concluded that the solvent percentage (ethanol) 78% and the solid-liquid ratio 52.51 g/mL have a positive effect on the extraction of bioactive components from Eucalyptus. Additionally, temperature 30.63 °C shows a variable effect, with increases in temperature extremes leading to an increase in TFC, while medium temperature values can decrease TFC. Thermal pretreatment prior to acid hydrolysis resulted in a higher release of fermentable sugars, with a value of 2.102 g/L glucose  $\pm$  0.212 g/L glucose. In contrast, acid hydrolysis alone produced a value of 1.712 g/L glucose  $\pm$  0.091 g/L glucose. Therefore, it is concluded that the hydrolysate used in the fermentation was the one obtained by both hydrolysis treatments with the purpose of increasing the concentration of reducing sugars and that the fermentation process develops in a better way. According to NTC 5113:2022, the percentage of ethanol determined by distillation was 5.4% (v/v). This value is similar to those reported in fermentations with low initial substrate concentration. In addition, the Yp/s value (product yield over substrate) was 48.8%, which is within the range reported*

*in other studies. The percentage of integral utilization of the residues generated by the Eucalyptus forestry activity corresponds to 13.74% on a dry basis, therefore, the research hypothesis is confirmed, since a yield greater than 10% was obtained.*

**RECOMENDACIONES:** Evaluar las diferentes condiciones de operación, como variaciones del tiempo, temperatura, presión, con el fin de optimizar el rendimiento de extracción de AE. Brindar un aprovechamiento del hidrolato, teniendo en cuenta que puede emplearse en diversos productos cosméticos y aromaterapia. Los residuos obtenidos de la destilación del alcohol, conocidos como “vinazas” son altamente aprovechables, se recomienda evaluar su aplicación en suplementos alimenticios para animales o en la producción de biofertilizantes. Explorar la utilización de diversos residuos del Eucalipto, como los frutos y la corteza, en un proceso de extracción secuencial, esta evaluación incluiría la comparación de rendimientos en cada operación con los resultados obtenidos al utilizar las hojas como materia prima principal.

**RECOMMENDATIONS:** *Evaluate the different operating conditions, such as variations in time, temperature, pressure, in order to optimize the extraction yield of EO. To make use of the hydrolate, taking into account that it can be used in various cosmetic and aromatherapy products. The residues obtained from alcohol distillation, known as "vinsasse", are highly usable, and it is recommended to evaluate their application in animal feed supplements or in the production of biofertilizers. Explore the use of various Eucalyptus residues, such as fruits and bark, in a sequential extraction process, this evaluation would include the comparison of yields in each operation with the results obtained when using the leaves as the main raw material.*