

Evaluación de la extracción de principios activos mediante hidrocavitación a partir de agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*).

German D. Diaz¹, Gloria Astrid Nausa², Dionisio Malagón-Romero¹.

1 Semillero Energía y Termofluidos, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

2 Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad ECCI, Bogotá Colombia

dionisiomalagon@usantotomas.edu.co

Abstract.

Currently, agraz has great potential in the medical, pharmaceutical and food industries. The problem is that the main use given to this product is for direct consumption and not for the use of its active principles as an antioxidant source in pharmaceutical products. The agraz has a potential industrial due to its high content of anthocyanins which have antioxidant properties beneficial to health. In the present work, the obtaining of agraz extracts was evaluated using hydrocavitation as an extraction method at pilot scale. Agraz was collected and reduced their size with a miller. The particles obtained were classified with a Tyler series sieve ($< 1\text{mm}$). The crushed fruit had a moisture percentage of $9.3\% \pm 0.8$. In the hydrocavitator process, were evaluated four solid:solvent ratios (1:6, 1:9, 1:12 y 1:15) considering that the amount of solvent was always the same 7000 ml (ethanol 99.5% PanReac), taking five samples of each ratio at different times (3, 6, 9, 12, and 15 min). A laboratory scale test was carried out to compare them with the tests performed in the hydrocavitator, for which a sample was extracted with the Soxhlet equipment at a ratio of 1:6. In order to characterize the extracts obtained, the concentration of anthocyanins, as the main antioxidant metabolite, was identified by means of absorbance in a spectrophotometer. The highest anthocyanin content (135.5 mg/L of Cyanidin-3-glucoside) was found in the ratio (1:6) at 3 min of processing. The control assay showed a yield of 11.49 mg/L Cyanidin-3-glucoside. These results showed that the extraction process by hydrocavitation could be a faster and more efficient process to extract anthocyanins.

Palabras clave:

Antocianinas, hidrocavitador, equipo Soxhlet, Absorbancia

1. Introducción

El agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*) es conocido en el mercado internacional como arándano andino perteneciente a la familia de los arándanos (*Vaccinium corymbosum*) (H. G. Á. Rodríguez et al., 2007), este tipo de arándano sólo se encuentra en la zona andina sudamericana que comprende Ecuador, Venezuela y Colombia (Hernández et al., 2012) (Echeverri et al., 2019). Actualmente el agraz tiene un gran potencial en la industria médica,

farmacéutica y alimentaria (Ligarreto, 2015) debido a su alto contenido en antocianinas, que tiene propiedades antioxidantes (López-Vidaña et al., 2017) que ayudan a prevenir problemas cardiovasculares, diabetes, artritis y enfermedades degenerativas como el Alzheimer y el Parkinson (Agudelo Cadavid et al., 2015) (Ligarreto, 2015). El precio por kilogramo de esta fruta ha alcanzado valores de 20 USD en los países productores y hasta 50 USD en territorio europeo (Escobar, 2000) y es habitual que este tipo de bienes tengan un consumidor definido dadas sus funcionalidades y Precio (Arias Pineda & Eleonora, 2017). Sin embargo, la entrada de pequeños comerciantes ha llevado a que su precio se vuelva más accesible con el tiempo llegando a los 10 USD en los países productores (Arias Pineda & Eleonora, 2017), por lo que se perfila como un importante producto de exportación.

Se han realizado investigaciones a nivel de laboratorio para la extracción de componentes antioxidantes (Quintero-Quiroz et al., 2019), (R. Rodríguez & Francisco, 2016), (Garzón et al., 2010), siendo los más utilizados el método Soxhlet y la extracción asistida por microondas (R. Rodríguez & Francisco, 2016). Sin embargo, el problema de estas metodologías de extracción es que se utilizan a escala de laboratorio, y extraer una cantidad significativa de antioxidantes implicaría un alto coste, ya que el método Soxhlet requiere una cantidad de 66,6 gr de fruta seca y 400 ml de disolvente etanol (6:1), además de un alto consumo energético en el proceso asistido por microondas. (R. Rodríguez & Francisco, 2016) (Herrera-Quiñones & Rodríguez-Castillo, 2016) (Ibáñez, 2015). Además, las altas temperaturas de trabajo en la extracción por el método Soxhlet (335,3K - 345,3K) (R. Rodríguez & Francisco, 2016), pueden dañar irremediablemente los componentes activos del fruto como las antocianinas (López-Vidaña et al., 2017). Otro método de extracción de principios activos, a nivel industrial, es la hidrocavitación.

El proceso de hidrocavitación ha estado presente en la industria alimentaria, llevando a cabo diferentes procesos de elaboración de alimentos, como la elaboración de cerveza mediante hidrocavitación con un menor coste de elaboración y con una importante reducción de gluten (Albanese et al., 2017a), (Albanese et al., 2017b). Otros procesos en los que el proceso de hidrocavitación ha estado presente, es en la conservación de la pulpa de lulo (D. Cardona et al., 2016), en la liberación de azúcares del serrín de roble (D. F. Cardona et al., 2016). Además de ralentizar significativamente la oxidación de la grasa de las hamburguesas (López-Padilla et al., 2018), e investigaciones que afirman que la tecnología de hidrocavitación tiene un buen camino hacia procesos más eficientes y saludables para las diferentes cadenas de suministro de alimentos (Albanese & Meneguzzo, 2019).

Para la determinación y cuantificación de antocianinas, el método espectrofotométrico es el más utilizado, relacionando la absorción de la luz con la concentración del compuesto de interés, según la AOAC 200.02 (Herrera-Quiñones & Rodríguez-Castillo, 2016). Para su cuantificación, se utilizó el proceso de pH diferencial, ya que es un método basado en el cambio estructural que sufren las antocianinas con respecto a la variación del pH, manifestado por un cambio en la absorbancia, para ello se preparan soluciones buffer que pretenden mostrar la forma axónica que predomina a pH 1 (coloreada), donde se diluye el extracto en estas soluciones para su respectiva lectura de absorbancia (Herrera-Quiñones & Rodríguez-Castillo, 2016). El espectro de absorción de las antocianinas es dependiente del

pH, el máximo de absorción de 520-540 nm en la región visible es la longitud de onda más utilizada en la medición espectrofotométrica de las antocianinas (Aguilera-Otíz et al., 2011).

Se realiza una simulación CFD en el software Ansys Workbench del proceso de cavitación del fluido etanol, en donde la geometría del fluido se desarrolla en la herramienta SpaceClaim y el análisis del fluido en la herramienta Ansys Fluent, el cual nos ayuda a determinar variaciones de presión, temperatura y velocidad. Además de obtener gráficos en donde se pueden ver los diferentes fenómenos cuando el fluido pasa por el reactor del hidrocavitador.

El objetivo de este trabajo es la extracción de componentes activos del agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*) por hidrocavitación. Se evaluó el rendimiento de este proceso comparado con el método Soxhlet y se determinó el consumo energético asociado a este proceso.

2. Materiales y métodos

2.1 Recolección de fruta y solvente.

La fruta se recogió en plazas de mercado de Chiquinquirá (Colombia). La humedad se midió en una termobalanza (MB-120C). Se utilizó etanol como disolvente (99,5%, PanReac). Para la cuantificación de las antocianinas de las muestras de extracto de agraz se requiere una solución tampón de cloruro de potasio (KCl) (PanReac) y una de acetato de sodio ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$) (Labsient).

2.2 Procesamiento de la fruta.

El proceso de secado se realizó a temperatura ambiente (13°C), en el que se conservan las propiedades del fruto debido a la baja temperatura de secado (R. Rodríguez & Francisco, 2016). Luego, se realizó el proceso de trituración con un procesador de alimentos marca (Universal L89150). Se utilizaron tamices de la serie Tyler, separando las partículas menores a 1 mm de diámetro, para asegurar la libre circulación de la fruta en el hidrocavitador. El producto triturado se almacenó en un congelador a -14°C para evitar la descomposición de la fruta hasta su posterior procesamiento.

2.3 Extracción con equipo Soxhlet

Para la extracción por este método se utilizó un equipo Soxhlet. Se pesaron 10 g del material seco y triturado y se colocaron en papel de filtro dentro del tubo extractor (R. Rodríguez & Francisco, 2016). Adicionalmente, se colocaron 150 ml de etanol en el globo del equipo y se inició el calentamiento, cuidando que el flujo de agua en el condensador fuera suficiente y graduando la cantidad de calor para evitar la ebullición violenta del etanol. El calentamiento se continuó durante el tiempo necesario para recircular lo suficiente como para reducir notablemente la coloración del extracto más el solvente.

2.4 Extracción con equipo hidrocavitador

Para la extracción de cada una de las muestras se utilizó un hidrocavitador diseñado por la Universidad Santo Tomás (Bogotá, Colombia), el cual cuenta con un tanque de 5 litros, una bomba IHM JET 1100G1, dos válvulas de compuerta, dos manómetros, un medidor de flujo LFM SM6004 y una válvula de aguja y tubo en acero SCH 40 INOX 304 de 1 pulgada de diámetro, como se muestra en la figura 1. Se tomaron 5 muestras de 100 ml en diferentes tiempos de procesamiento, correspondientes a 3, 6, 9, 12 y 15 minutos, tomando una relación disolvente-fruto como la que se muestra en cada una de las relaciones.

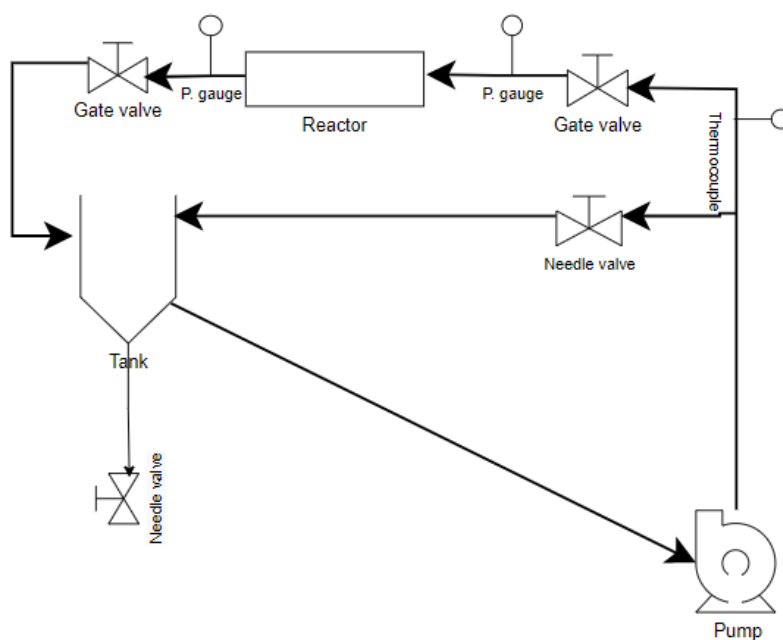


Figure 1. The setup of the hydrodynamic cavitation reactor.

Para todas las muestras tomadas en el hidrocavitador, se tomaron 7000 ml de disolvente de etanol (PanReac 99,5%). Se evaluaron 4 relaciones en el hidrocavitador: 1:6, 1:9, 1:12 y 1:15 g de sólido:solvente. Para determinar el consumo del hidrocavitador, se mide la corriente en un tiempo de 15 minutos por cada minuto con un amperímetro (Extech) y utilizando la ley de Ohm se determina la potencia suministrada en el proceso

2.5 Determinación de antocianinas

Para la cuantificación de las antocianinas, se necesitó una solución buffer de cloruro de potasio (KCl) (pH = 1 y 0,025 M), y una solución de acetato de sodio ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$) pH = 4,5 y 0,4 M. Para cada análisis se mezclaron 5 ml del extracto de agraz y 45 ml de solución buffer (dilución 1:9). La absorbancia se registró a los valores de longitud de onda de 520 nm y 700 nm en un espectrofotómetro (Genesys20 - thermo spectronic), para cuantificar la cantidad de la antocianina más representativa llamada cianidina-3-glucósido, las lecturas de cada absorbancia se realizaron por duplicado (Herrera-Quiñones & Rodríguez-Castillo, 2016).

El contenido de antocianina se expresa en miligramos de cianidina-3-glucósido por 100 g de fruto según la siguiente ecuación (Herrera-Quiñones & Rodríguez-Castillo, 2016):

$$\text{Antocianinas totales} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{A * PM * FD * 1000}{\varepsilon * 1}$$

$$A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH1} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH4.5}$$

En donde:

PM= Peso molecular de la sustancia = 449,2 g/mol

FD= Factor de dilución = 10 cm

ε = Coeficiente de extinción molar = 26900 L*cm*mol⁻¹

(Gaviria et al., 2009)(Herrera-Quñones & Rodríguez-Castillo, 2016)

3. Simulación CFD

Para la simulación, primero se procede con el diseño de la geometría del reactor, el cual se diseña en la herramienta de Ansys SpaceClaim, esto para determinar el volumen total dentro de las tuberías, que es en donde se van a realizar los cálculos de cavitación. Luego de tener la geometría del volumen del fluido, se procede a realizar el enmallado con el complemento Ansys Mesh, generando la mayor cantidad de nodos y elementos en la sección de las cavidades del reactor, ya que allí es en donde se generará el fenómeno de cavitación y en donde se van a presenciar la mayoría de los cambios físicos, se generan 176.105 nodos y 511.637 elementos. En el Setup, se ingresan las características químicas del fluido, en este caso se selecciona de la base de datos del software el fluido etanol y se ajustan las características del fluido tales como, densidad (791 kg/m³), calor específico (2470 J/(Kg*K)) y viscosidad (0,0012 Kg/(m*s)), además de ingresar la temperatura inicial (293 K) a la que entra el fluido. Se procede a seleccionar las condiciones de frontera por donde el fluido va a circular, tanto la entrada del fluido como la salida de este y las paredes del sólido.

4. Resultados y discusiones

La fruta se tamizó en un tamiz de la serie Tyler con un tamaño de partícula < 1 mm para que pudiera circular libremente por el reactor hidrocavitador, ya que un tamaño de partícula mayor podría obstruir los orificios del reactor. La humedad se midió en una termobalanza (MB-120C), arrojando un valor de 9,3% ± 0,8, que es similar a otros estudios realizados con el mismo fin, que oscilan entre 6,5% y 12%. (Gaviria et al., 2009) (Garzón et al., 2010). En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos en cada una de las muestras correspondientes a los 3, 6, 9, 12 y 15 minutos, considerando que hay 4 muestras en hidrocavitador y una muestra en equipo Soxhlet con 66,6 g de agraz pulverizado y 400 ml de proporción de etanol (1:6).

La muestra en el equipo Soxhlet se somete al proceso de espectrofotometría en el que se mide la absorbancia por duplicado y promediando estos valores, dando un contenido de Cianidina-3-glucósido de 11.49 mg/L, dando un valor bajo comparado con otros estudios que arrojan valores de 15 a 30 mg/L de Cianidina-3-glucósido para este mismo proceso, esto puede deberse a algún tipo de descomposición del fruto (Herrera-Quñones & Rodríguez-Castillo, 2016) o por las altas temperaturas en el proceso de extracción (R. Rodríguez & Francisco, 2016)

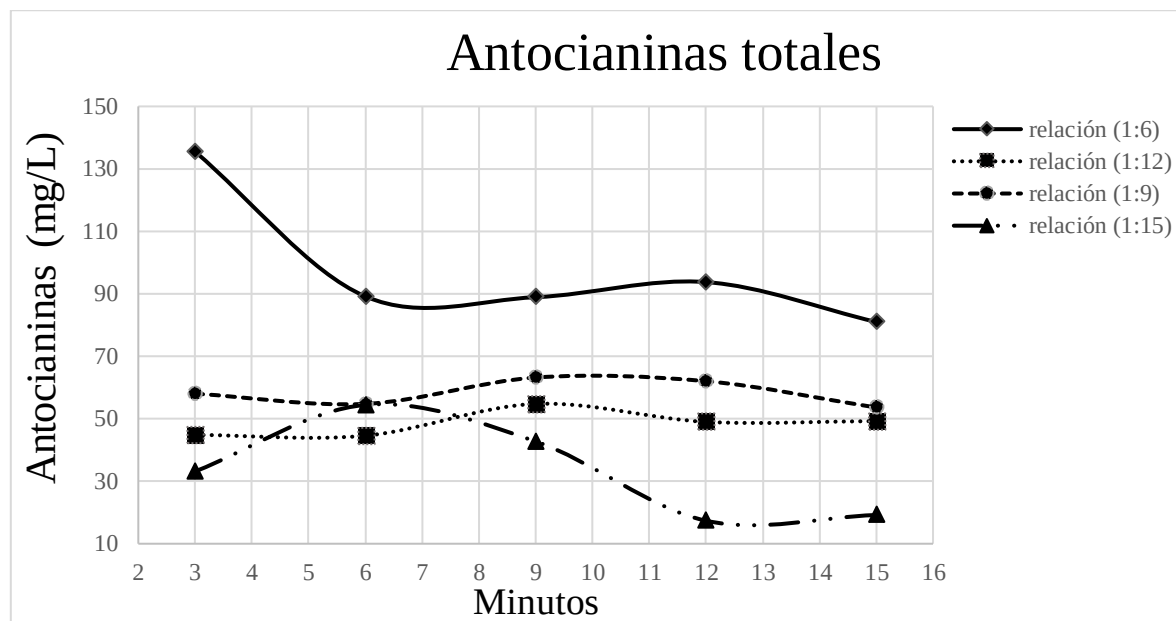


Figura 2. Número de antocianinas totales en cada una de las muestras

La figura 2 muestra la comparación de cada una de las muestras donde se determina que la muestra con mayor cantidad de agraz correspondiente a la relación (1:6), contiene la mayor cantidad de Cianidina-3-glucósido con un valor de 135.5 mg/L a los 3 min de procesamiento, esto puede deberse a su alto contenido de fruta, comparando estos valores con los obtenidos en otros estudios, se puede analizar que se obtiene una mayor cantidad de antocianinas por el método de hidrocavitación, ya que los valores más altos alcanzados en los otros estudios de extracción oscilan entre 30 y 40 mg/L de Cianidina-3-glucósido. (Garzón et al., 2010) (Soto-García & Rosales-Castro, 2016). Se puede observar que después de 3 min de procesamiento el número de antocianinas disminuye significativamente, esto puede ser debido a que hay muchas partículas sólidas en el proceso, la muestra comienza a calentarse más rápidamente y con el aumento de la temperatura los componentes antioxidantes del agraz pueden comenzar a degradarse.

La relación (1:15) presentó el mejor rendimiento, teniendo en cuenta que fue la muestra con menor cantidad de fruta seca, se puede determinar que el mejor tiempo de procesamiento es a los 6 min y a partir de ahí, la muestra comienza a calentarse lo suficiente para degradar el contenido de antocianinas.

De lo cual se puede determinar que el tiempo de procesamiento más adecuado para la extracción de cada muestra es inversamente proporcional a la cantidad de fruta seca suministrada en cada prueba, lo que significa que cuanto mayor sea la cantidad de fruta seca utilizada, menor será el tiempo de procesamiento recomendado.

Se mide la corriente, obteniendo un valor medio de 9,1 A, y se determina la potencia suministrada en el proceso, dando un valor de 1kW en cada uno de los procesos realizados.

En el proceso de simulación y en los resultados post proceso se pueden observar los efectos de cambio de presión en donde a la entrada del reactor se observan una baja de presión significativa en donde se puede estar presentando el fenómeno de cavitación, pasando de una presión por encima de 0,86 MPa y luego de pasar por el reactor, la presión se estabiliza. En los gráficos de temperatura, se observa una temperatura constante de aproximadamente de 293 K. En el gráfico de velocidad, se puede observar un incremento de velocidad de 3 m/s y se observar en otros puntos un incremento de hasta 5 m/s, luego de pasar por el reactor, se estabiliza la velocidad de nuevo a 1 m/s como se observa en las siguientes figuras.

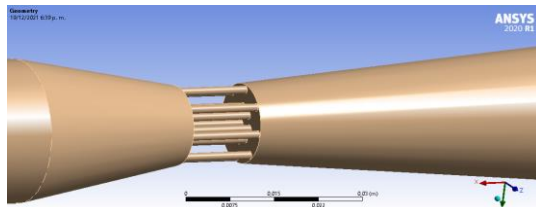


Figura 3. Volumen de fluido SpaceClaim

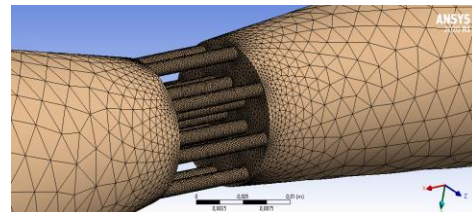


Figura 4. Enmallado del volumen de fluido Ansys Meshing

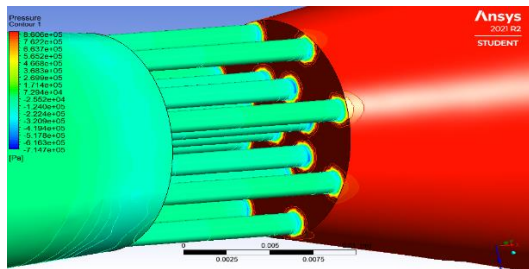


Figura 5. Variación de presión en el reactor.

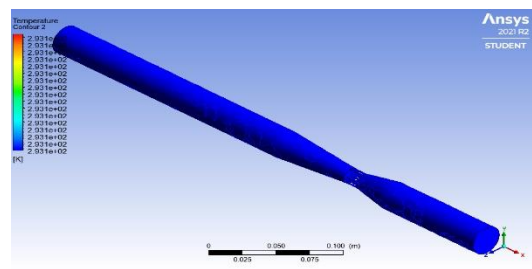


Figura 6. Variación de temperatura en el volumen de fluido

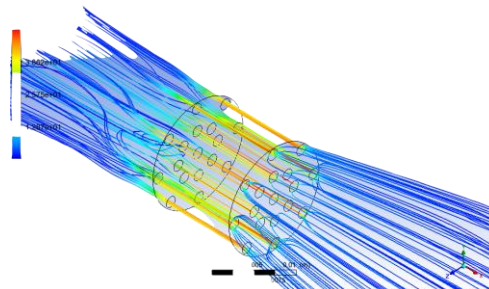


Figura 7. Variación de velocidad en el reactor

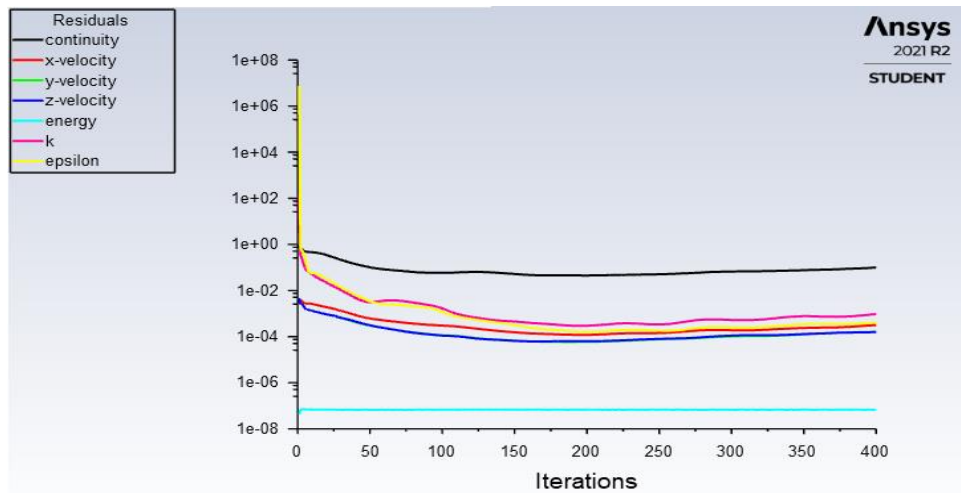


Figura 8. Resultados residuales del análisis de simulación.

5. Conclusiones

Es importante destacar que la cantidad de Cianidina-3-glucósido, es proporcional a la cantidad de fruta de agraz suministrada en cada una de las pruebas, a diferencia de la prueba que contenía 583,3 gr de fruta, que arrojó un valor similar de cianidina-3-glucósido en comparación con la prueba de 466,7 gr de fruta, esto puede deberse a que las antocianinas han sido degradadas en algún procedimiento desarrollado. En la muestra con mayor cantidad de fruta correspondiente a 1166.6 gr es donde se obtiene un gran incremento de antioxidantes y con un menor tiempo de operación, lo que se considera como el proceso más eficiente en términos de producción y tiempo. En comparación con otros estudios, se obtiene un gran incremento de Cianidina-3-glucósido por el método de hidrocavitación, obteniendo valores superiores a 135 mg/L a los 3 min de procesamiento, ya que, al tener un mayor número de partículas sólidas, la solución se calentará más rápido, por lo que se considera un proceso inversamente proporcional con respecto a la cantidad de fruta y al tiempo de procesamiento.

En los resultados obtenidos en el ensayo Soxhlet, no se determina una cantidad significativa de Cianidina-3-glucósido, esto puede ser debido a que este ensayo requiere una alta temperatura para alcanzar el punto de ebullición del etanol (351,4K) y las antocianinas comenzarían a degradarse por encima de los 313,1K, lo cual no es un proceso recomendado para extraer este tipo de componentes.

Los resultados obtenidos en la simulación por el software Ansys, no arrojan resultados 100% confiables para que se pueda determinar una cavitación plena del fluido, ya que, en la gráfica de convergencia, no se aproximan todos los valores a cero "0". Para lograr esto, se recomienda parametrizar la simulación con mas factores que se deben tener en cuenta, además de el uso de el software con licencia completa en donde permite ingresar mas factores que se deben tener en cuenta para tener una simulación más precisa. Además, de permitir ingresar las partículas en suspensión dentro del fluido, que en este caso vendría siendo las partículas de agras.

6. Referencias

- Agudelo Cadavid, E. L., Restrepo Molina, D. A., & Cartagena Valenzuela, J. R. (2015). Chemical, Physicochemical and Functional Characteristics of Dietary Fiber Obtained From Asparagus byproducts (*Asparagus officinalis* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1), 7533–7544. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47842>
- Aguilera-Otíz, M., Reza-Vargas, M. del C., Chew-Madinaveita, R. G., & Meza-Velázquez, J. A. (2011). Propiedades Funcionales De Las Antocianinas. *BIOtecnia*, 13(2), 16. <https://doi.org/10.18633/bt.v13i2.81>
- Albanese, L., Ciriminna, R., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2017a). Beer-brewing powered by controlled hydrodynamic cavitation: Theory and real-scale experiments. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1457–1470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.162>
- Albanese, L., Ciriminna, R., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2017b). Gluten reduction in beer by hydrodynamic cavitation assisted brewing of barley malts. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.060>
- Albanese, L., & Meneguzzo, F. (2019). Hydrodynamic Cavitation Technologies: A Pathway to More Sustainable, Healthier Beverages, and Food Supply Chains. In *Processing and Sustainability of Beverages* (pp. 319–372). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815259-1.00010-0>
- Arias Pineda, A. A., & Eleonora, D. (2017). *Potencialidades y retos en la producción del agraz en Antioquia*.
- Cardona, D., Alimen, I., Gutiérrez, L. F., & González, J. F. (2016). *Asseement of hydrocavitation process in lulo (Solanum quitoense) pulp preservation*. https://priaxo.com/wp-content/uploads/2019/06/ART_2016_Evaluación_del_proceso_de_hidrocavitación_en_la_conservación_de_pulpa_de_lulo.pdf
- Cardona, D. F., Alim, I., Gutiérrez, L. F., & Sánchez, Ó. J. (2016). *Effect of hydrocavitation on sugar release from oak sawdust: exploratory assessment*. https://www.researchgate.net/publication/300921816_Effect_of_hydrocavitation_on_sugar_release_from_oak_sawdust_Exploratory_assessment
- Echeverri, C. M., Blesso, C. N., Galvis, Y., Fernández, M. L., Aristizábal, J. C., Núñez, V., Ciro, G., & Acevedo, J. B. (2019). Effects of V. meridionale on insulin resistance and HDL function markers in women with metabolic syndrome: A randomized, placebo-controlled trial. *Clinica Chimica Acta*, 493, S302. <https://doi.org/10.1016/J.CCA.2019.03.623>
- Escobar, C. O. (2000). *Comportamiento del agraz silvestre bajo las condiciones climatologicas de tierradentro, departamento del Cauca*. 13.

[http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4072/1/Comportamiento del
agraz silvestre.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4072/1/Comportamiento%20del%20agraz%20silvestre.pdf)

- Garzón, G. A., Narváez, C. E., Riedl, K. M., & Schwartz, S. J. (2010). Chemical composition, anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and antioxidant activity of wild bilberry (*Vaccinium meridionale Swartz*) from Colombia. *Food Chemistry*, 122(4), 980–986. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.03.017>
- Hernandez, M. I. P., Lobo Arias, M., Medina Cano, M. I., & Cartagena, J. R. (2012). *Andean blueberry (Vaccinium Meridionale Swartz) seed storage behaviour characterization under low temperature conservation*. Vol.65. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472012000200007
- Herrera-Quiñones, X., & Rodríguez-Castillo, K. (2016). *Evaluation of the extract of flavonols and anthocyanins contained in agraz (vaccinium meridionale swartz) obtained at the laboratory level by means of solvent extraction and microwave-assisted extraction methods*. 4(4).
- Ibáñez, B. (2015). *Extracción de la antocianina del mortiño*. https://www.academia.edu/17461073/Extraccion_de_la_antocianina_del_mortino
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2018). Características Climatológicas De Ciudades Principales Y Municipios Turísticos. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, 48. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Características+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Turísticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee91>
- Ligarreto, G. A. (2015). *Perspectivas del cultivo de agraz o mortiño en la zona altoandina de Colombia*. <https://www.agraz.co/evaluacion-de-las-propiedades-antioxidantes-y-el-perfil-aromatico-durante-la-maduracion-de-mora-y-agraz/>
- López-Padilla, A., Martín, D., Villanueva Bermejo, D., Jaime, L., Ruiz-Rodríguez, A., Restrepo Flórez, C. E., Rivero Barrios, D. M., & Fornari, T. (2018). *Vaccinium meridionale Swartz extracts and their addition in beef burgers as antioxidant ingredient*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8483>
- López-Vidaña, E. C., Pilatowsky Figueroa, I., Cortés, F. B., Rojano, B. A., & Navarro Ocaña, A. (2017). Effect of temperature on antioxidant capacity during drying process of mortiño (*Vaccinium meridionale Swartz*). *International Journal of Food Properties*, 20(2), 294–305. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1155601>
- Quintero-Quiroz, J., Galvis-Perez, Y., Galeano-Vasquez, S., Marin-Echeverry, C., Franco-Escobar, C., Ciro-Gomez, G., Nuñez-Rangel, V., Aristizabal-Rivera, J. C., & Barona-Acevedo, J. (2019). Physico-chemical characterization and antioxidant capacity of the colombian berry (*Vaccinium meridionale Swartz*) with a high-polyphenol content: potential effects in people with metabolic syndrome. *Food Science and Technology*.

<https://doi.org/10.1590/fst.32817>

Rodríguez, H. G. Á., Riveros, J. A. C., Fischer, G., Moreno, G. A. L., & Cuenca, M. C. Q. de. (2007). Physicochemical and organoleptic characterization of the berry fruit (*vaccinium meridionale swartz*) stored1 at 2°C. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(2), 4179–4193.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24466>

Rodríguez, R., & Francisco, J. (2016). *Extracto de flavonoles y antocianinas contenidos en el agraz (Vaccinium meridionale swartz)*.

<http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/478/1/6112802-2016-2-IQ.pdf>

Universidad Nacional de Colombia. (2017, August). Agraz en polvo. *Agencia de Noticias UN*, 1. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/agraz-en-polvo.html>