

Diseño y construcción de un equipo modular para la extracción de pigmentos a escala piloto a partir de matrices vegetales

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MODULAR PARA LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS A ESCALA PILOTO A PARTIR DE MATRICES VEGETALES

Carolina Tapiero^a, Duverney Vásquez^a, Sahianna Gallego^a, Santiago Ochoa^b,
Carlos Argumedo^c, José Ordoñez^d, María Isabel Arias^d, Paola Imbachí^d,
Laura Muñoz^d, Catarina Carvalho^d

^aSENA, Aprendiz Tecnólogo de Procesamiento de Alimentos, carolinat.l@hotmail.com,
duvertoro96@gmail.com, sgallego350@misena.edu.co

^bSENA, Aprendiz Tecnólogo en Mantenimiento Electromecánico Industrial, s3205154227@hotmail.com,

^cInstructor Línea Industria y Teleinformática, carlosargumedo@misena.edu.co

^dSENA, Gestor o investigador TecnoParque nodo Rionegro – SENNOVA, jlordonez69@misena.edu.co,
ariasrendon@misena.edu.co, pcimbachin@unal.edu.co, Immunoze@sena.edu.co, cpassaro@gmail.com

RESUMEN

Se diseñó y construyó un equipo modular para la extracción a escala piloto de pigmentos tipo antocianinas a partir de cáscara de gulupa (*Passiflora edulis Sims f. edulis*) y posterior filtrado del extracto. Para la operación de extracción se diseñó un módulo de agitación bajo los parámetros de un reactor de tanque agitado (Stirred Tank Reactor, STR) conservando relaciones geométricas preestablecidas en la literatura y volumen efectivo de 10 L. El filtro se basó en un sistema simple de prensado, constituido por una placa plana encargada de ejercer presión sobre el material sólido depositándolo en el fondo del tanque. El primer ensayo de extracción a través del STR arrojó resultados promisorios, reflejados en un rendimiento de extracción de antocianinas superior a los previamente alcanzados a nivel de laboratorio. El módulo de filtro prensa, aunque permite la sedimentación de gran parte del material vegetal, no conduce a una separación completa de las fases líquida y sólida, por lo que es necesario reconsiderar su diseño.

Palabras clave: Antocianinas, Cáscara de gulupa, Reactor de Tanque Agitado, Filtro prensa

1. INTRODUCCIÓN

La extracción de compuestos con actividad biológica desde matrices vegetales requiere de la implementación de una serie de etapas u operaciones, que son seleccionadas con base en la naturaleza y procedencia del producto de interés. Para la obtención de pigmentos desde matrices vegetales se podría hablar de un proceso general constituido por cuatro etapas básicas: adecuación de la materia prima (puede involucrar limpieza, desinfección, secado y molienda), extracción sólido - líquido, filtración (separación de fases) y concentración (evaporación y recuperación del solvente) (Wong *et al.*, 2014; Zapata *et al.*, 2014). En caso que se considere necesario el pigmento se purifica y seca.

De las etapas anteriores la extracción corresponde a una de las más críticas del proceso, ya que puede afectar el rendimiento. Para la extracción se reportan diversas metodologías como extracción por contacto (sólido-líquido o líquido-líquido), presión, Soxhlet, fluidos supercríticos, ultrasonido, microondas y pulso eléctrico (Prado *et al.*, 2015; Khanh, 2013). Entre ellas, se ha encontrado que la extracción convencional con solventes resulta menos costosa que técnicas como microondas o ultrasonido (Todd & Baroutian, 2017; Vieira *et al.*, 2013)

En este sentido, buscando una alternativa eficiente y económica para la extracción de antocianinas desde cáscara de gulupa a escala piloto, se diseñó y construyó un equipo con un sistema modular de agitación basado en los principios de un reactor de tanque agitado (STR), configuración ampliamente usada en los campos de la biotecnología y la química como sistema de reacción. Adicionalmente y ante la carencia en el laboratorio de sistemas de filtración para volúmenes relativamente altos, se fabricó un filtro por presión fácilmente acoplable al tanque agitado.

2. ESTADO DEL ARTE DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y/O INNOVACIÓN

2.1 Reactor de Tanque Agitado (STR)

Un reactor de tanque agitado o STR es un equipo de uso frecuente para llevar a cabo reacciones químicas o bioquímicas de sistemas homogéneos (una sola fase) o heterogéneos (varias fases). Consta de un recipiente cilíndrico, preferiblemente de fondo semiesférico, al que se acopla un eje vertical, que a su vez sirve como soporte de un impulsor. El eje es accionado por un motor mediante conexión directa o a través de una caja reductora (García *et al.*, 2011; Mc Cabe *et al.*, 2007). Con el fin de prevenir el flujo circulatorio y consecuentemente la formación de un vórtice se suelen instalar deflectores, que no interfieren con el flujo radial o longitudinal (Mc Cabe *et al.*, 2007).

El reto principal de un STR es mantener una buena mezcla de las suspensiones o soluciones, evitando zonas muertas en el interior del tanque. Para lograr lo anterior existen una serie de impulsores divididos en dos tipos: de flujo axial y flujo radial (Mc Cabe *et al.*, 2007). En el caso de los procesos de múltiples fases (sólido – líquido) se prefieren los de flujo axial, puesto que permiten dispersar la fase líquida y suspender los sólidos al mismo tiempo (Mc Cabe *et al.*, 2007; Nienow y Bujalki, 1997).

Entre las ventajas que ofrecen los tanques agitados se encuentran: (i) cortos tiempos de operación; (ii) en caso de disponer de sensores es posible monitorear y/o controlar parámetros diversos como temperatura y pH (iii) se pueden implementar procesos por lotes y/o en continuo de una o varias etapas (iv) son relativamente más fáciles de escalar (Doran, 2013).

2.2 Filtrado por presión

La filtración consiste en la separación mecánica de una mezcla de sólidos y líquidos, haciendo pasar la fase líquida a través del medio poroso que retiene la fase sólida. A nivel de laboratorio la forma más simple de filtrar consiste en verter la suspensión en un embudo provisto de un papel filtrante, o bien mediante un embudo Buchner que usualmente requiere

vacío. A nivel piloto o industrial esta operación es más compleja debido a las dificultades que precisa el movimiento de una mayor cantidad de suspensión (Mc Cabe, 2007).

Los filtros para grandes volúmenes se dividen en dos grupos: los clarificadores y los filtros de torta. Los primeros separan pequeñas cantidades de sólidos para producir líquidos transparentes. Los filtros de torta separan grandes cantidades de sólidos en forma de torta o lodo. Generalmente son empleados para separaciones sólido-líquido y pueden operar con presiones elevadas o vacío (Mc Cabe, 2007).

De manera general para la filtración a escalas grandes se han desarrollado varios tipos de filtros, entre ellos se destacan: los filtros prensa continuos o discontinuos, de carcasa y hojas, de vacío, centrífugos, tambores rotatorios y de cinta horizontal (Mc Cabe, 2007).

Los filtros por presión son una estructura compuesta con un conjunto de placas diseñadas para proporcionar cámaras o compartimientos que recogen la fase sólida, dichas placas son recubiertas con un medio filtrante. La suspensión se introduce bajo presión y el líquido sale a través de una tubería dejando en el equipo la fase sólida (Mc Cabe, 2007). Entre sus ventajas se encuentran: generación de un líquido de salida, bajo consumo energético, mantenimiento económico, alta eficiencia en la separación.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y TIPO DE INNOVACIÓN

3.1 Diseño y construcción del equipo modular

Conociendo las etapas inherentes al proceso de obtención de pigmentos desde cáscara de gulupa, y la necesidad de escalar las operaciones de extracción y filtración a un nivel piloto, se diseñó un equipo modular para suplir en una sola unidad, las dos operaciones o etapas de proceso requeridas. Los bocetos tridimensionales del equipo fueron realizados en el software Autodesk Inventor 2017 en su versión gratuita para estudiantes. En el diseño se emplearon las relaciones geométricas reportadas por Doran (2013) para STR (Figura 1).

Para la construcción de las piezas, excepto el soporte principal (fabricado en hierro), se empleó soldadura aporte 308L y acero inoxidable 304 o 316 de acuerdo con las normas AISI, materiales utilizados en la fabricación de equipos para las industrias de alimentos, química o farmacéuticas debido a su resistencia a la corrosión e higiene.

En el diseño del equipo se involucró a un aprendiz e instructor del programa Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial del SENA - Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación, CIAA. El corte y soldadura de las piezas y el diseño y construcción del sistema electrónico inherente al módulo de agitación, fueron realizados en colaboración con gestores del TecnoParque nodo Rionegro en las instalaciones de las líneas de Diseño e Ingeniería y Electrónica y Telecomunicaciones.

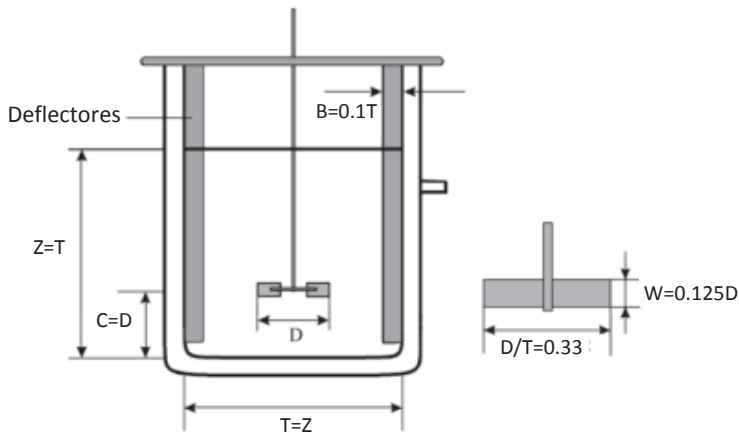


Figura 1. Configuración geométrica de un STR.

Fuente: Deveci (2004) y Doran (2013)

3.2 Evaluación del equipo

Para comprobar la eficiencia del equipo se realizó una prueba preliminar con agua y posteriormente un primer proceso de extracción de antocianinas desde cáscara de gulupa.

La prueba de extracción se realizó utilizando un volumen efectivo cercano a los 9L, empleando una relación soluto solvente 1:10 (8L de solvente y 800 g de cáscara de gulupa seca). Debido a la aplicación que se pretende dar al pigmento (aditivo para alimentos) se seleccionó como solvente etanol (70%) acidulado con ácido cítrico (0,1%) (Muñoz & Rojas, 2016), las concentraciones de estos reactivos, así como el tiempo de agitación (2 h) se eligieron con base en trabajos previos de optimización realizados a escala de laboratorio. La velocidad de agitación empleada fue de 720 r.p.m. Para la cuantificación de antocianinas se usó el método espectrofotométrico de diferencias de pH (Lee et al., 2005).

Este ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de Biotecnología del TecnoParque, ubicado en el municipio de Guarne, contando con la participación de aprendices del programa Tecnología de Procesamiento de Alimentos del SENA – CIAA.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS TÉCNICO DEL PRODUCTO

4.1 Diseños de piezas centrales: soporte y tanque

En la figura 2 se esquematizan el diseño de las dos estructuras principales del equipo, un soporte macizo y un tanque de acero.

El soporte fue diseñado de tal manera que en la parte superior pudiesen ser acoplados tanto el sistema de agitación como el filtro prensa, los cuales son fijados a través de tornillos. El tanque consistente en un recipiente cilíndrico de 10L de capacidad, con una válvula de bola ubicada en la parte inferior, el cual facilita la evacuación de la fase líquida luego de la extracción.

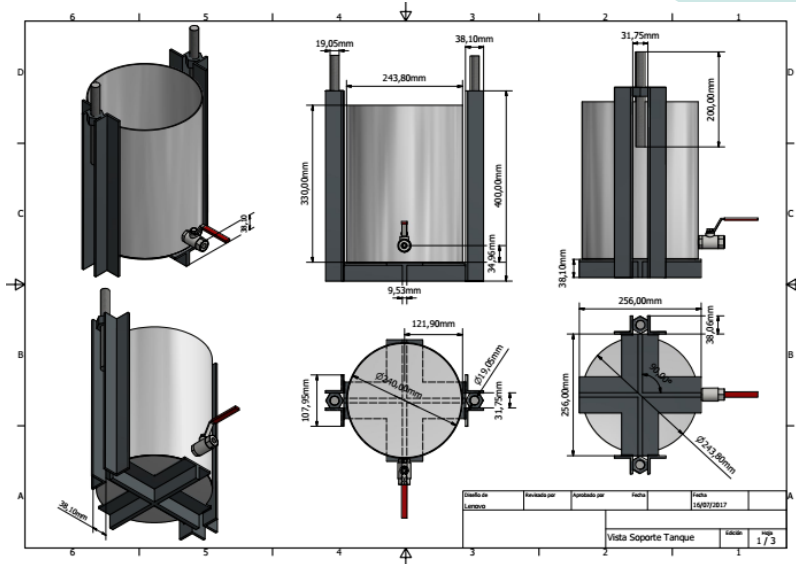


Figura 2. Estructuras basicas del equipo, soporte y tanque cilindrico.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Diseño módulos de agitación y filtración

El módulo de agitación (Figura 3), es un soporte macizo que se sitúa sobre el soporte principal. Para este se seleccionó un impulsor de seis placas planas inclinadas 45°, que se caracteriza por proporcionar un flujo axial mejorando la mezcla de sistemas heterogéneos y reducir la potencia requerida para una velocidad de flujo dada (Mc Cabe, 2007). Las dimensiones de este impulsor se determinaron a partir de las dimensiones del tanque (Figura 1). El impulsor fue diseñado de tal modo que pudiese ser extraído del eje para labores de limpieza y estudios hidrodinámicos, en caso de requerirse.

Se obtuvo además, el diseño de un sistema de deflectores paralelos, con el fin de romper el vórtice, generar un flujo turbulento y consecuentemente mejorar el mezclado de las fases. Los deflectores, de acuerdo al diseño, pueden ser removidos para facilitar la limpieza del tanque y el proceso de filtrado.

Por otro lado, el módulo de filtración (Figura 4) fue diseñado como una placa plana circular, con un diámetro levemente inferior al del tanque,

soldada a un tornillo roscado. El tornillo anclado mediante una tuerca a un soporte, puede moverse de manera vertical, logrando que al bajar ejerza presión sobre el material vegetal comprimiéndolo y depositándolo en el fondo del tanque.

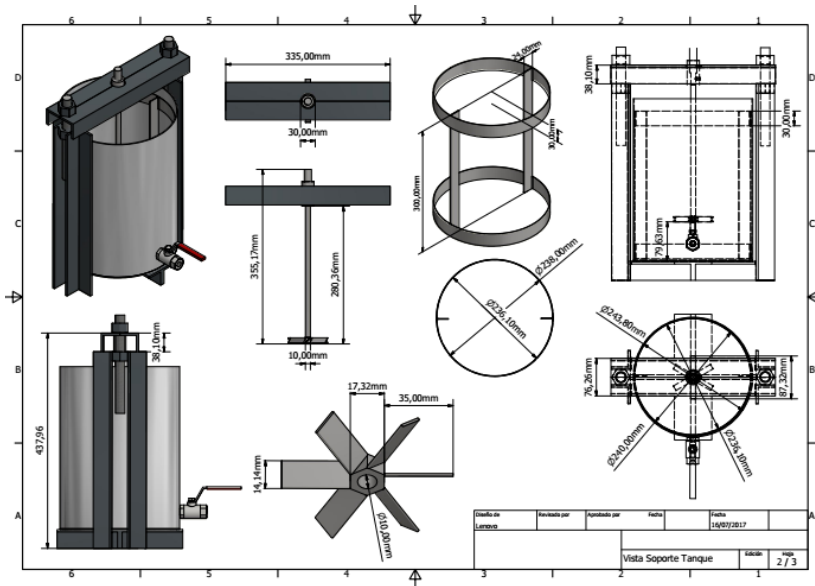


Figura 3. Componentes del módulo de agitación.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo además, el diseño de un sistema de deflectores paralelos, con el fin de romper el vórtice, generar un flujo turbulento y consecuentemente mejorar el mezclado de las fases. Los deflectores, de acuerdo al diseño, pueden ser removidos para facilitar la limpieza del tanque y el proceso de filtrado.

Por otro lado, el módulo de filtración (Figura 4) fue diseñado como una placa plana circular, con un diámetro levemente inferior al del tanque, soldada a un tornillo roscado. El tornillo anclado mediante una tuerca a un soporte, puede moverse de manera vertical, logrando que al bajar ejerza presión sobre el material vegetal comprimiéndolo y depositándolo en el fondo del tanque.

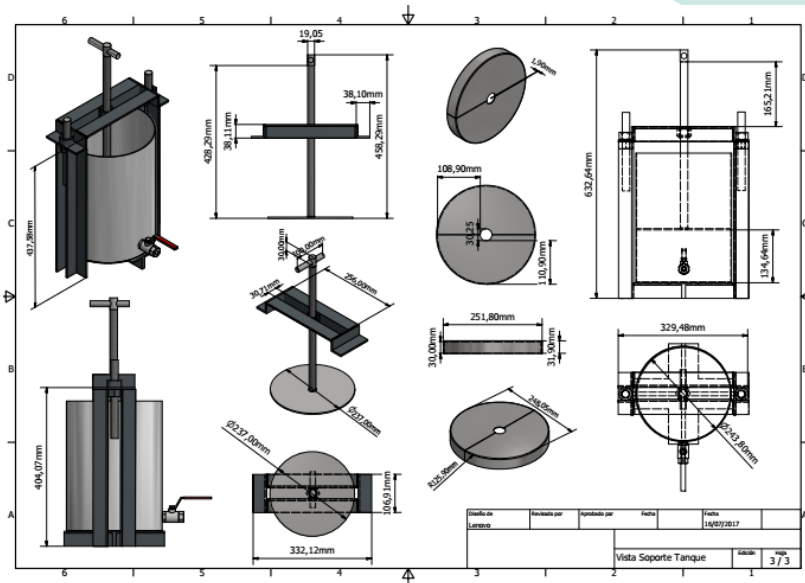


Figura 4. Componentes del módulo de filtración

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se diseñó una tapa (Figura 4), también modular, para ser usada en cualquiera de las etapas. Esta consiste en dos semicírculos, que al juntarse forman una estructura con un orificio en el medio para no obstruir con el paso del eje o del tornillo roscado. El fin de esta pieza, es evitar el paso excesivo de luz, ya que el pigmento es fotosensible por lo que se puede degradar o desestabilizar con la luz.

4.3 Construcción

Una vez diseñado el equipo se procedió con la construcción de las piezas, estas se presentan en la figura 5.

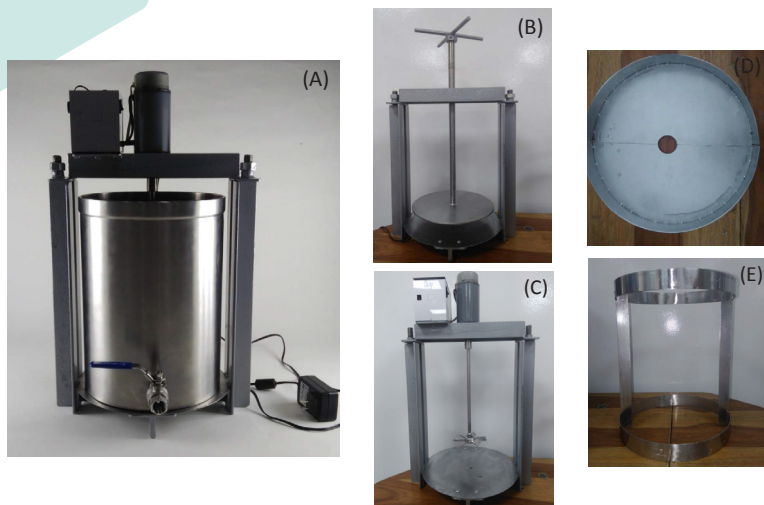


Figura 5. Equipo modular para la extracción de pigmentos desde cáscara de gulupa. (A) Tanque y soporte. (B) Modulo de filtrado. (C) Modulo de agitación. (D) Tapa. (E) Deflectores. Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en las figuras 5(A) y 5(C), para el movimiento del eje asociado al módulo de agitación, se empleó un motor DC monofásico acoplado a un encoder, de 30V, una potencia de salida de 42W y 2750 r.p.m. Este motor fue conectado a un sistema electrónico basado en Arduino UNO para monitorear la velocidad de agitación por medio de un módulo bluetooth HC-06 y una aplicación desarrollada mediante la herramienta MIT App Inventor. El control de la velocidad se realizó mediante un controlador PWM para motor de 2000W DC 12V-500V/40A (Figura 6).

Para recubrir todo el sistema electrónico, fue necesario el diseño y la construcción de una caja en acrílico, con el fin de proveer protección al sistema electrónico y facilitar las conexiones del equipo a la fuente de energía.

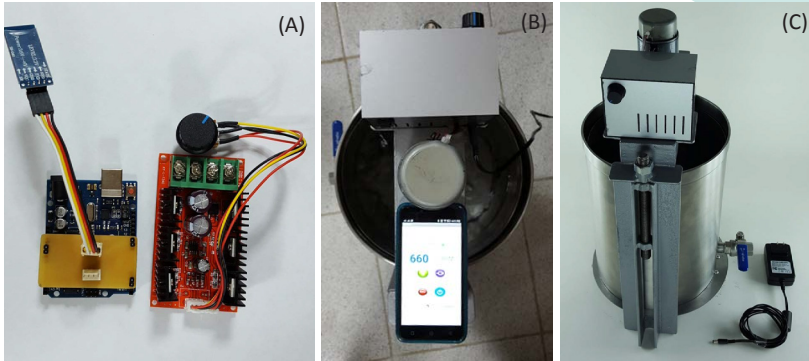


Figura 6. Sistema de control y monitoreo de la velocidad (r.p.m) en el motor. (A) Arduino UNO y controlador de velocidad PWM. (B) Modulo de bluetooth en funcionamiento. (C) Equipo con sistema electrónico acoplado.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Evaluación del equipo

Una prueba inicial realizada con agua mostró que el motor funcionaba de manera correcta y podía ser controlado a través del variador de velocidad, así mismo la velocidad de agitación pudo ser monitoreada a través del celular (Figura 6(B)). A lo largo de dos horas de trabajo continuo, el motor presentó un buen funcionamiento, conservando la velocidad de agitación ajustada al inicio del proceso. También se observó la importancia y efectividad de los deflectores, cuya presencia en el tanque evitó la formación del vórtice (Figura 7).

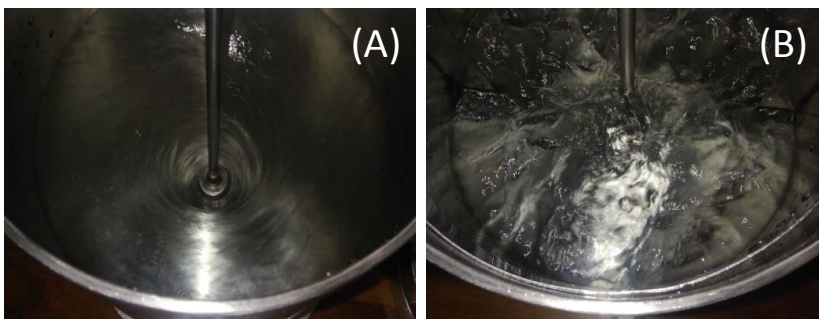


Figura 7. Prueba de agitación con agua. (A) Sin deflectores. (B) Usando deflectores

El soporte principal cumplió a cabalidad su función, brindado soporte y estabilidad al tanque, inclusive durante el funcionamiento del motor no se apreció una vibración considerable. Los módulos de agitación y filtro prensa se acoplaron de la manera indicada. Como inconveniente se observó que el tanque debe ser ubicado de forma manual y a consideración del usuario, ya que el soporte no tiene guías que indiquen una posición fija, lo que resulta particularmente incómodo al momento de realizar la filtración.

La evaluación del equipo mediante la implementación de una primera extracción de pigmentos a partir de cáscara de gulupa, arrojó resultados promisorios respecto al rendimiento de extracción, obteniendo una mayor cantidad de antocianinas en la extracción a escala piloto comparado con los ensayos previos realizados a escala de laboratorio (Figura 8).

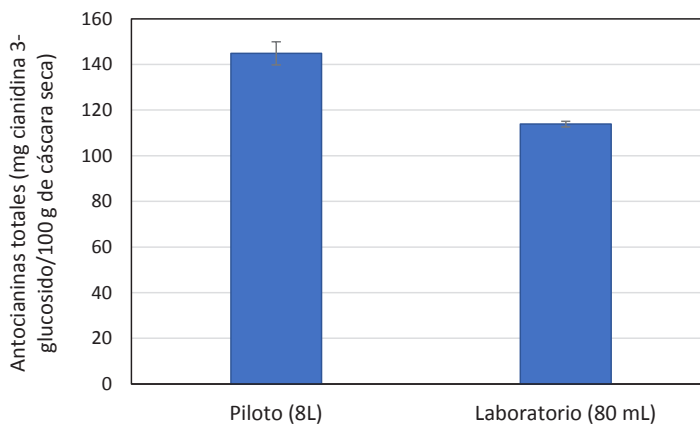


Figura 8. Concentración de antocianinas obtenidas en equipo modular (8L) respecto extracciones a escala de laboratorio (80 mL).

Fuente: Elaboración propia.

La etapa de filtrado desafortunadamente no resultó de la manera esperada, debido a que la placa plana no logra sedimentar completamente todo el material vegetal. Adicionalmente y debido a que el tanque no es totalmente simétrico, se torna complejo el movimiento del tornillo y la placa.

5. CONCLUSIONES

El diseño del equipo conllevó a la construcción de un sistema modular que puede suplir dos etapas de importancia en el proceso de extracción de pigmentos a partir de cáscara de gulupa. Siendo el módulo de extracción, basado en un STR, el de mejor desempeño.

La extracción de antocianinas mediante el equipo construido resultó eficiente, logrando concentraciones y rendimientos del pigmento mayores respecto a los alcanzados a nivel de laboratorio.

El módulo de filtración requiere de un reajuste en su diseño, de tal manera que la fase sólida pueda ser separada de la líquida en su totalidad. Se sugiere acoplar una bugía entre el plato y el eje de tal manera que al girar sólo el eje el mecanismo pueda ejercer una mejor presión.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación Interacción Genotipo x Ambiente y Calidad de los Alimentos (GIGACA) por el apoyo y acompañamiento continuo. A los gestores de la línea de diseño e ingeniería del TecnoParque por su constante colaboración. Al SENA-CIAA, el programa SENNOVA y a TecnoParque nodo Rionegro por la financiación del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Deveci, H. (2004). Effect of particle size and shape of solids on the viability of acidophilic bacteria during mixing in stirred tank reactors. *Hydrometallurgy* 71; 385–396
- Doran, P. 2013. *Bioprocess Engineering Principles*. Reino Unido: Elsevier.
- García, F., Santos, V., Gómez, E. 2011. Stirred Tank Bioreactors. En: *Moo-Young M. Comprehensive Biotechnology (Second edition)*. Elsevier; 179-198.

- Khanh, N.D. Advances in the extraction of anthocyanin from vegetables. *J Nutr Food Sci.* 2015; 3(1-2): 126-134
- Lee, J., Durst, R., Wrolstad, R. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International*; Vol, 88 pp. 1269-1278
- Mc, Cabe., Smith, J., Harriot, P. (2007). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química.* México: Mc Graw Hill.
- Muñoz, L.M., Rojas, L.B. (2016). Vigilancia Tecnológica: Metodologías asociadas a la extracción de colorantes naturales desde subproductos de gulupa y aguacate Hass. *Encuentro SENNOVA ISSN 2463-1787.* Vol, 1, pp 52-63.
- Nienow, A., Bujalski, W. 1997. Recent studies on agitated three phase (gas-solid-liquid) systems in the turbulent regime. In: *Engineering Foundation Conference on Biochemical Engineering.*
- Prado, J.M., Vardanega, R., Debien, I.C., Almeida, M.A., Gerschenson, L.N., Sowbhagya, H.B., Chemat, S. (2015). Conventional extraction. En Galanakis, C.M. *Food Waste Recovery Processing Technologies and Industrial Techniques* (pp. 127-148). United States of America. Elsevier Inc.
- Todd, R., Baroutian, S. (2017). A techno-economic comparison of subcritical water, supercritical CO₂ and organic solvent extraction of bioactives from grape marc. *Journal of Cleaner Production.* Vol, 158 pp. 349-358
- Vieira, G.S., Cavalcanti, R.N., A. Meireles, M.A., Hubinger, M.D. (2013). Chemical and economic evaluation of natural antioxidant extracts obtained by ultrasound-assisted and agitated bed extraction from jussara pulp (*Euterpe edulis*). *Journal of Food Engineering.* Vol, 119. pp. 196-204
- Wong, Y.S., Sia, C.M., Khoo, H.E., Ang, Y.K., Chang, S.K., Yim, H.S. (2014). Influence of extraction conditions on antioxidant properties of passion fruit (*Passiflora edulis*) peel. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria.* Vol. 13. pp. 257-265.
- Zapata, L.M., Heredia, A.M. Quinteros, C.F., Malleret, A.D., Clemente, G., Carcel, J.A. (2014). Optimización de la extracción de antocianinas de arandanos. *Ciencia, Docencia y Tecnología.* Vol, 25 N° 49. pp. 166-19