



# Utilización de tierras diatomáceas recicladas de la industria cervecera como medio de transporte de macronutrientes

## Use of recycled diatomaceous earth from breweries as a means of transporting of macronutrients

Gabriel Peña-Rodríguez<sup>1a</sup>, Marlon Hans Rodríguez<sup>2a</sup>, Ever Becerra<sup>2b</sup>, Xandro Caballero<sup>2c</sup>,  
Jaime Dulce-Moreno<sup>1b</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Instrumentación y Física de la Materia Condensada (Gifimac), Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Orcid: <sup>a</sup> 0000-0002-7114-9174, <sup>b</sup> 0000-0002-9811-4297.

Correos electrónicos: <sup>a</sup> gabrielpr@ufps.edu.co, <sup>b</sup> hectorjaimeadm@ufps.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Orcid: <sup>a</sup> 0000-0002-1871-6467, <sup>b</sup> 0000-0001-6972-5235, <sup>c</sup> 0000-0003-3365-6412

Correos electrónicos: <sup>a</sup> marlonhr@ufps.edu.co, <sup>b</sup> everadrianbg@ufps.edu.co, <sup>c</sup> xandromiguelcb@ufps.edu.co

Recibido: 27 febrero, 2019. Aceptado: 25 junio, 2019. Versión final: 15 agosto, 2019.

### Resumen

Se reporta la caracterización físico-química de tierras diatomáceas recicladas de la industria cervecera, y su uso como medio de transporte de macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio (NPK)), con el fin de dar una alternativa amigable con el ambiente, a los desechos generados en el subproceso de filtración de la cerveza. Para la conformación de las muestras (pellets) por extrusión, se utilizó como aglutinantes carboximetilcelulosa (CMC) y fécula de maíz, mientras que la humectación se llevó a cabo usando una solución líquida comercial con 15 % de NPK, en concentración baja, media y alta, la cual se agregó durante el proceso de conformado de los pellets. La caracterización química de las muestras se realizó usando espectroscopía de absorción atómica (AA), y microanálisis mediante espectroscopia de energías dispersas (EDS), la morfología superficial se estudió usando microscopia electrónica de barrido (MEB). El comportamiento de la capacidad de devolución de los macronutrientes a un medio acuoso se llevó a cabo por medio del análisis de la conductividad eléctrica (EC) y sólidos totales disueltos (TDS) en función del tiempo mediante el multiparámetro SI Analytics 680 K. Se encontró que la muestra que no presentó pérdida de su estructura en medio acuoso fue la conformada por 60% de diatomita, 10% de CMC y 30% de fécula de maíz (% w/w). También se evidenció un incremento en el tiempo de la EC y TDS de la solución acuosa cuando se sumergían los pellets activados, infiriéndose que éstos son un buen medio de transporte de macronutrientes, los cuales podrán ser usados como abono en aplicaciones agrícolas coadyuvando al medio ambiente.

**Palabras clave:** tierras diatomáceas; macronutrientes NPK; conductividad eléctrica (EC); sólidos totales disueltos (TDS).

### Abstract

It is reported the physical-chemical characterization of recycled diatomaceous earth from the brewing industry, and its use as a means of transport of macronutrients (Nitrogen, Phosphorus, Potassium (NPK)), in order to provide an environmentally friendly alternative to the waste generated in the subprocess of the beer filtration. For the conformation of the samples (pellets) by extrusion, carboxymethyl cellulose (CMC) and corn starch were used to binders, while the wetting was carried out using a commercial liquid solution with 15% NPK, in low, medium and high concentration,



which was added during the pellet forming process. The chemical characterization of the samples was done using atomic absorption spectroscopy (AA), and microanalysis by dispersed energy spectroscopy (EDS), the surface morphology was studied using scanning electron microscopy (SEM). The behavior of the macronutrient return capacity to an aqueous medium was carried out by means of the analysis of the electrical conductivity (EC) and total dissolved solids (TDS) as a function of time using the SI Analytics 680 K multiparameter. It was found that the sample that did not present loss of its structure in aqueous medium was formed by 60% of diatomite, 10% of CMC and 30% of corn starch (%w/w). Also the increase in the time of the EC and TDS of the aqueous solution when the activated pellets were submerged was observed, inferring that these are a good means of transporting macronutrients, which can be used as fertilizer in agricultural applications contributing to the environment.

**Keywords:** diatomaceous earth; macronutrients NPK; Electrical conductivity (EC); total dissolved solids (TDS).

## 1. Introducción

La constante búsqueda del aprovechamiento de los recursos disponibles, hace necesario adentrarse en el descubrimiento de nuevas opciones que lleven a la solución de un mismo problema y que tengan modelos más eficientes y comprometidos con el ambiente.

La tierra de diatomeas consiste en aglomeración de restos esqueléticos de plantas unicelulares microscópicas que vivieron y viven en lagos y océanos de agua dulce y salada. Los depósitos enormes de estas frústulas de la diatomea se encuentran en ciertas partes de la tierra que fueron cubiertas por los lagos [1].

La aplicación de la tierra de diatomeas es amplia, utilizada desde complemento en la industria alimentaria, aplicaciones en el sector agrícola, hasta nanopartículas en la medicina avanzada, siendo la clarificación de cerveza una de sus principales aplicación, quinta bebida más consumida en el mundo, dejando este proceso como residuo lodo de diatomita, con sus frústulas y poros tapados por materia orgánica y agua, mezcla que tiene grandes implicaciones ambientales, sanitarias y económicas generadas por la gran cantidad de tierra diatomácea usada como elemento filtrante[2]. Sus propiedades filtrantes han sido mejoradas mediante tratamientos térmicos a temperaturas entre los 1000 °C y 1400°C [3-4].

Durante el proceso de producción de la cerveza, la diatomita se utiliza como elemento filtrante. Para la producción de un litro de cerveza, en promedio se utilizan entre 1-2 g de diatomita calcinada y se producen al final de este proceso 17,14 gramos de residuos sólidos [5]. Al año se producen en promedio en una cervecera 2.3 millones de hectolitros de cerveza que generan 3.942.200 kg de residuos sólidos de torta de diatomita. Terminada su utilidad en este proceso, la torta de diatomita es desechada en rellenos sanitarios con el fin de evitar ser fuentes de enfermedades, debido a que las bacterias crecen fácilmente en este residuo. Se ha intentado a través de diferentes métodos químicos y físicos activar

nuevamente los residuos de diatomita con el fin de ser reutilizada. Sin embargo, los resultados obtenidos no han sido óptimos [6]. La norma brasileña de clasificación de residuos (ABNT NBR 10.004) los clasifica como posibles riesgos para el medio ambiente y la salud pública, por lo que estos desechos deben tener un manejo y disposición adecuados [7].

Por lo anterior, esta investigación busca una alternativa al uso de las tierras diatomáceas recicladas de la industria cervecera, con el fin de producir un material tipo pellets, que sirva de medio de transporte de macronutrientes NPK,

## 2. Metodología



Figura 1. Proceso de extrusión de las muestras. Fuente: elaboración propia.

Las muestras de tierras diatomáceas recicladas fueron suministras por la fábrica de cerveza ubicada en Bucaramanga (Colombia). Dicha muestra, fue sometida a secado a temperatura ambiente, luego a tratamiento térmico a 800 °C en mufla eléctrica Ney- Vulcan®. Posteriormente se le realizó una caracterización usando espectroscopía de absorción atómica (Perkin Elmer PinAAcle 900H). El proceso de conformado de los pellets fue por extrusión (ver figura 1) mediante el equipo CITalsa®, donde se usó como aglutinante carboximetilcelulosa (CMC) y fécula de maíz. La humectación se llevó siguiendo la norma ASTM D424-

59, teniendo en cuenta que la plasticidad recomendada para ser extruido por el equipo CITalsa® es del 80%.

En la tabla 1, se presentan las mezclas en %p/p elaboradas a base de diatomita, CMC y fécula de maíz utilizadas para estudiar el comportamiento de la estructura de los pellets cuando se sumergieran en agua y así seleccionar las mezclas óptimas para realizar el proceso de activación usando la solución de NPK. En ésta se aprecia que la concentración de diatomita varió entre el 60 y 80%, mientras que el porcentaje de CMC osciló entre el 5 y 30%, y el de la fécula de maíz entre el 10 y 25%.

Tabla 1. Porcentaje en peso de las mezclas de diatomita, CMC y fécula de maíz utilizadas en la elaboración de los pellets

Muestra	Diatomita (%)	CMC (%)	Fécula de maíz (%)
M1	80	10	10
M2	75	10	15
M3	70	10	20
M4	60	10	30
M5	75	15	10
M6	70	20	10
M7	60	30	10
M8	70	15	15
M9	70	5	25

Fuente: elaboración propia.

Una vez seleccionada las muestras optimas se procedió a la activación de los pellets con los macronutrientes mediante solución en suspensión concentrada de NPK Triple Quince-C®, la cual según el proveer posee una concentración de 150 g/L de Nitrógeno total, Fósforo asimilable (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y potasio soluble en agua (K<sub>2</sub>O) respectivamente, dicho proceso se realizó en tres concentraciones definidas como: Baja (0.4 ml de la suspensión); media (66 ml de la suspensión) y alta (160 ml de la suspensión), donde se utilizó agua destilada para la disolución de la suspensión de NPK. Para lo anterior se usó una masa seca de la mezcla de 200 g (ver tabla 1). Una vez sinterizados los pellets, el proceso de secado se realizó lentamente a temperatura máxima de 40°C, usando secadora Memmert® UF110.

Para el estudio de la capacidad de la muestra activada de ceder los macronutrientes a un medio acuoso (agua destilada) se utilizaron los parámetros conductividad eléctrica (CE), y los sólidos totales disueltos (TDS), los cuales se midieron junto con el pH mediante el equipo SI-Analytics® 680 KF, dicho proceso se realizó durante

6 días (8640 min.). Por otro lado, el porcentaje de absorción de humedad de los pellets se realizó usando la norma ASTM D2216- 2010.

La morfología y microanálisis de las muestras óptimas se estudió mediante imágenes superficiales por microscopia electrónica de barrido (MEB), y por espectroscopia de rayos x de energía dispersa (EDS). Lo anterior se llevó a cabo mediante el MEB FEI Quanta™ 650 FEG.

### 3. Resultados y discusión

La composición química de las muestras de diatomita proveniente del proceso de filtrado de la cerveza presentó un 46% de humedad, y su composición química por AA se presenta en la tabla 2, en esta se observa que posee un pH ácido, que se debe a los altos contenidos de etanol producto de la fermentación de levaduras y maltas [8], lo cual se complementa con el porcentaje de materia orgánica encontrado en la muestra (2.88%). Por otra parte se halló que la capacidad de intercambio cationico (CIC) fue mayor que 10 (16,11 meq/100 g), lo que indica que la muestra de diatomita reciclada puede ser utilizada para retener la mayor cantidad de nutrientes y por tanto su uso en fertilización, debido a los sitios activos presentes, mantiene en el tiempo los nutrientes en epocas de lluvia [8], [9]. Para el caso de la porosidad de la diatomita reciclada se observa que es del 63,5%, lo cual es menor que la reportada para una muestra comercial de Diatomita Celite®, reducción que se debe al contenido de la levadura, materia orgánica, proteínas y polifenoles que quedan al final del proceso de filtración de la cerveza, saturándola e impidiendo su posterior reutilización con la misma eficiencia [10].

En general se aprecia que la capacidad de retención de agua, la porosidad y textura de la muestra de diatomita reciclada, poseen características agrónomicas (superficie específica, capacidad de intercambio cationico) permitiendo el almacenamiento, transporte y disponibilidad de nutrientes al suelo coadyudando al crecimiento de plantas [11].

Tabla 2. Composición química por Absorción Atómica de la diatomita reciclada

pH= 5.2	Fósforo = 196 ppm
Materia orgánica= 2.88%	Potasio = 371.5 ppm
Arena = 26.8%	Calcio = 371.5 ppm
Limo = 53.2 %	Magnesio = 394.9 ppm
Arcilla = 20%	Sodio = 492.7 ppm
Porosidad = 63.5%	CIC= 16.11 meq/100g

Fuente: Laboratorio de suelos agrícolas –UFPS.

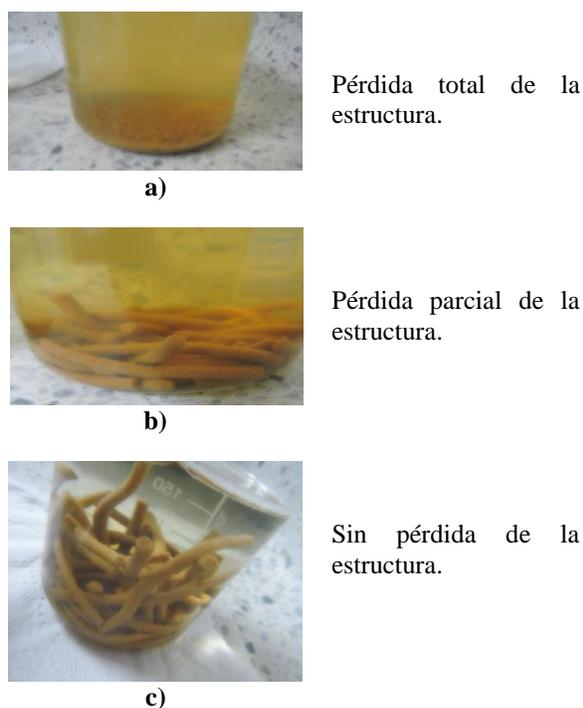


Figura 2. Características definidas para clasificar la estructura de los pellets. Fuente: elaboración propia.

La evaluación de la estructura en medio acuoso de los pellets para cada una de las mezclas (ver tabla 1), se llevó a cabo determinando el porcentaje de absorción de agua, para lo cual se sumergieron 5g de muestra seca en 250 ml de agua destilada, y se determinó la masa de la muestra saturada en tiempos de 5, 20, 40 y 90 minutos respectivamente. Posterior a este proceso, se realizó inspección visual para determinar el grado de deterioro de la muestra, clasificándose en: pérdida total de la estructura, cuando a un tiempo menor a 30 min la estructura se pierde y no es posible manipular la muestra (figura 2 a); pérdida parcial de la estructura, cuando a un tiempo menor a 60 min la estructura del pellet se conserva pero no es posible su manipulación (figura 2 b), y sin pérdida de estructura, cuando a un tiempo menor a 90 min se conserva la estructura y es posible su manipulación (figura 2 c). En general, se encontró que las muestras que presentaron la mayor absorción de agua manteniendo su estructura parcial o total fueron en su orden, M4, M5 y M7 respectivamente. En la figura 3, se presenta el comportamiento del porcentaje de absorción de agua en función del tiempo para las muestras M4, M5 y M7, de ésta se infiere que a 90 minutos la muestra M5 presenta el mayor porcentaje de absorción (263%); seguido de M4 (203%) y finalmente M7 (183%).

Resultados que son consistentes ya que de las tres muestras la que mayor cantidad de diatomita posee es la muestra M5 con un 75% (ver tabla 1). Así mismo, la muestra que mantuvo completamente la estructura después de los 90 min sumergida en agua fue la M4, lo que se debe a que la concentración de CMC usada como aglutinante fue del 10% (ver tabla 1), siendo consistente con lo reportado en la referencia [12], quienes establecen que en formulaciones farmacéuticas y de alimentos el porcentaje en peso de CMC usado como aglutinante es máximo del orden del 10%.

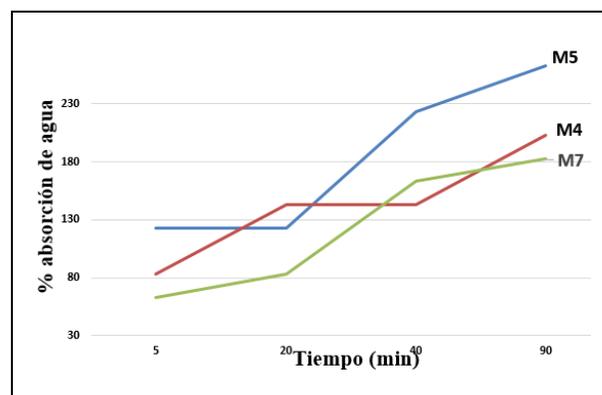


Figura 3. Comportamiento de la absorción de agua en función del tiempo para las muestras M5, M4 y M7.

Fuente: elaboración propia.

Debido a que M4, fue la muestra que mantuvo su estructura, a ésta se le realizó la activación, usando concentración baja, media y alta de los macronutrientes NPK, durante el proceso de conformado de los pellets.

Para estudiar las muestras como medio de transporte de los macronutrientes, se sumergió 5 g de la muestra activada en las tres concentraciones (baja, media y alta) en 400 ml agua destilada, y se determinó la EC y TDS del agua en función del tiempo, por 6 días (8640 min), en la tabla 3 se presentan dichos resultados. De éstos, se aprecia que a medida que aumenta el tiempo dichos parámetros se incrementan, observándose que la muestra con activación alta fue la que desprendió la mayor cantidad de iones de los macronutrientes al agua como era de esperarse. El comportamiento de la EC en función del tiempo se presenta en la figura 4, donde se observa que a partir del minuto 70 prácticamente todas las concentraciones incrementan drásticamente su EC, siendo notorio el comportamiento de las concentraciones media y alta. Además, teniendo en cuenta que la EC está relacionada con el contenido de arcilla, agua y la concentración de iones intercambiables en una muestra de suelo [13], se puede inferir que la diatomita reciclada sirve de medio de transporte de los macronutrientes, los cuales pueden ser

disueltos en medios acuosos, siendo óptimo su uso en aplicaciones agrícolas o ambientales, afirmación que se corrobora con el incremento en el tiempo de los sólidos

totales disueltos (TDS) por los pellets en el agua, llegando a valores de hasta 28416 ppm (ver tabla 3), para la muestra activada en concentración alta.

Tabla 3. EC y TDS de M4, activada en concentración baja, media y alta con los macronutrientes NPK

Concentración Baja (0.4ml NPK)		
Tiempo (minutos)	EC (microS/cm)	TDS (mg/L) = 1 ppm
5	113.83	72.9
30	400.83	256.5
60	538.17	344.4
120	655.17	419.3
240	866.17	554.3
8640	5100	3264
Concentración media (66 ml NPK)		
Tiempo (minutos)	EC (microS/cm)	TDS (mg/L) = 1 ppm
5	196	125.4
30	374	239.4
60	619	396.2
120	1029	658.6
240	1694	1084.2
8640	25300	16192
Concentración alta (160 ml NPK)		
Tiempo (minutos)	EC (microS/cm)	TDS (mg/L) = 1 ppm
5	404	258.6
30	486	311
60	768	491.5
120	1128	721.9
240	1731	1107.8
8640	44400	28416

Fuente: elaboración propia.

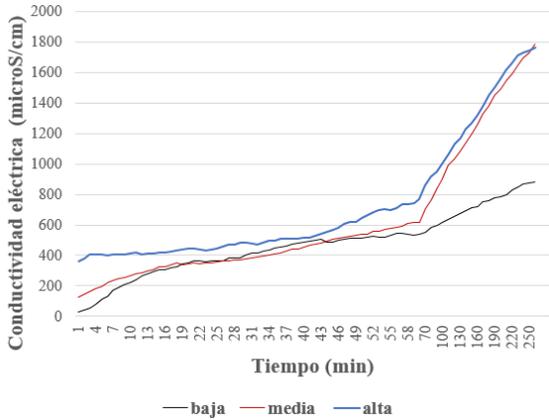


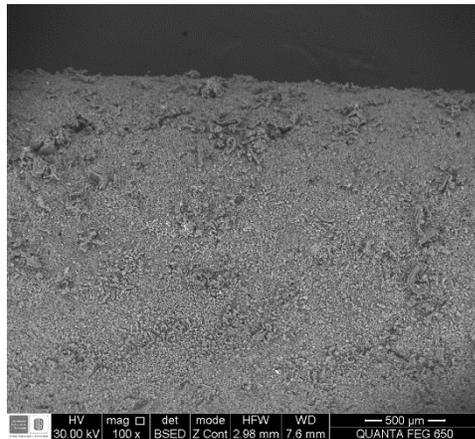
Figura 4. EC en función del tiempo para la muestra M4 activada en concentración baja, media y alta con los macronutrientes NPK. Fuente: elaboración propia.

La morfología superficial a 100X, 500X y 4000X usando MEB de M4, activada en concentración alta se presenta en la figura 5. En estas se aprecia una morfología irregular de frústulas de diatomeas parcialmente destruidas con tamaños de orden micrométrico, donde en

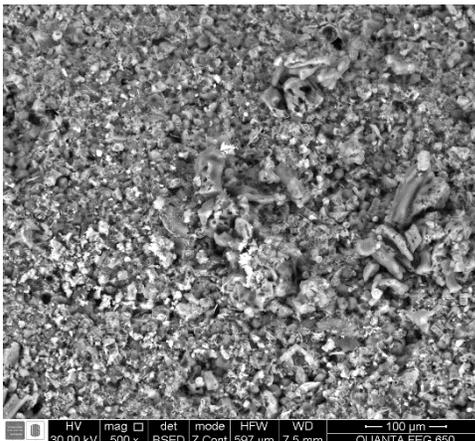
su interior se observan porosidades submicrométricas, que se convierten en centros activos para alojar los macronutrientes.

En la figura 6, se presenta la composición química por elemento (microanálisis) usando EDS, para la muestra M4 activada en concentración alta, donde se observa la presencia de los macronutrientes NPK, en concentración de 3.39%, 4.03% y 6.87 %. Por otra parte, se aprecia que la relación C/N= 6.85, lo cual permite clasificar la muestra como un suelo activado crudo [14]. Sin embargo, aunque todo el N está disponible en el pellet, pudiéndose biodegradar, solamente una fracción del carbono lo puede hacer [14], luego la relación C/N puede variar en un suelo, pues tanto el carbono orgánico total como el disponible influirán en dicho factor. En un suelo dicha relación es un índice de la calidad del sustrato orgánico, donde valores altos, permitirán que la materia orgánica se descomponga lentamente, mientras que valores entre 10 y 14 implicarían una mineralización del suelo, permitiendo la estimulación de la actividad microbiana debido a que hay suficientes nutrientes para éstos, así como para las plantas, por otra parte, valores bajos de C/N (<10), permitirá que los microorganismos sean

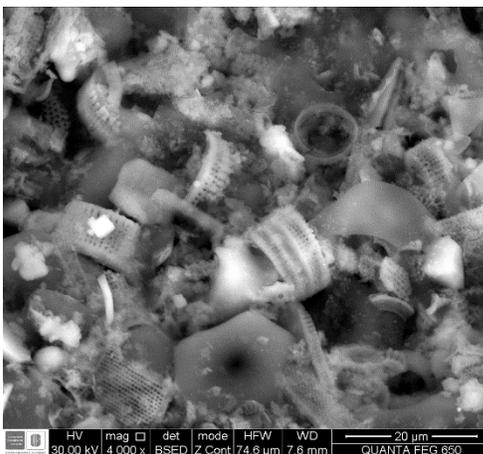
eficientes en la descomposición de la materia orgánica presente en el suelo[15].



a) 100X



b) 500X



c) 4000X

Figura 5. Morfología usando MEB de M4 con activación alta de NPK. a)100X, b)500X y c) 4000X. Fuente: Lab. Microcopia UIS-Guatiguara-Colombia.

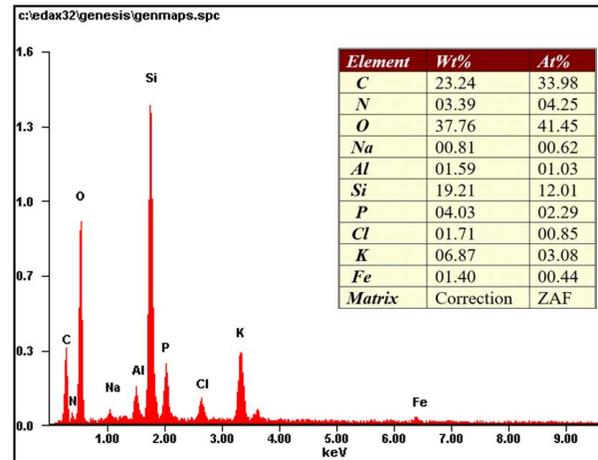


Figura 6. Microanálisis usando EDS a la muestra M4, activada en concentración alta. Fuente: Lab. Microcopia UIS-Guatiguara-Colombia.

#### 4. Conclusiones

Se prepararon diferentes mezclas de tierras diatomáceas recicladas de la industria cervecera de Bucaramanga, CMC y fécula de maíz, para la conformación de pellets extruidos que pudiesen activarse con los macronutrientes NPK, en concentración baja, media y alta, y su posterior estudio como medio de transporte en su disolución en medio acuoso, encontrándose que la mezcla óptima para dicho proceso fue la que posee concentración en peso de 60% de diatomita, 10% de CMC y 30% de fécula de maíz, pues fue la muestra que no presentó pérdida de la estructura en el medio acuoso, y permitió la activación de los macronutrientes de NPK.

Se encontró que a media que se incrementa el tiempo la EC y los TDS aumentaban en el medio acuoso por la presencia de los pellets activados inmersos, estableciéndose como buenos candidatos para el transporte de macronutrientes, lo cual junto con su morfología, textura y composición química permitirá su uso como abono en aplicaciones agrícolas, coadyuvando a mitigar problemas ambientales al utilizar los desechos industriales producidos en la torta de filtración de la cerveza.

#### Agradecimientos

Al fondo FINU-UFPS, por su apoyo económico a través del proyecto 028/2018.

## Referencias

- [1] Brown Julie, “Diatomaceous Earth, Renewable Beer Filtration and Secrets of Great Beer,” *EP Minerals*, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://blog.epminerals.com/diatomaceous-earth-and-the-secret-to-great-beer>.
- [2] L. Fillaudeau, P. Blanpain-Avet, and G. Daufin, “Water, wastewater and waste management in brewing industries,” *J. Clean. Prod.*, vol. 14, no. 5, pp. 463–471, 2006. doi: 10.1016/j.jclepro.2005.01.002.
- [3] N. Ediz, İ. Bentli, and İ. Tatar, “Improvement in filtration characteristics of diatomite by calcination,” *Int. J. Miner. Process.*, vol. 94, no. 3, pp. 129–134, 2010, doi: 10.1016/j.minpro.2010.02.004.
- [4] T. R. dos S. Mathias, V. M. F. Alexandre, M. C. Cammarota, P. P. M. de Mello, and E. F. C. Sérvulo, “Characterization and determination of brewer’s solid wastes composition,” *J. Inst. Brew.*, vol. 121, no. 3, pp. 400–404, Jul. 2015, doi:10.1002/jib.229.
- [5] M. Evans, “Learn the 3 Rs: Reduce, Reuse, and Recycle,” *The Balance Small Business*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.thebalancesmb.com/the-3-rs-reduce-reuse-and-recycle-3157809>.
- [6] M. Iliescu, M. Farago, M. Popa, and M. CRISTEA, “Reuse of residual kieselguhr from beer filtration as a fertiliser,” *J. Environ. Prot. Ecol.*, vol. 10, no. 1, 2009.
- [7] FAO, “Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030,” 2002.
- [8] G. Dessalew, A. Beyene, A. Nebiyu, and M. L. Ruelle, “Use of industrial diatomite wastes from beer production to improve soil fertility and cereal yields,” *J. Clean. Prod.*, vol. 157, pp. 22–29, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.116.
- [9] W. E. Cotching, “Organic matter in the agricultural soils of Tasmania, Australia – A review,” *Geoderma*, vol. 312, pp. 170–182, 2018, doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.006>.
- [10] F. Ramukhwatho, A. Seetal, and H. Pienaar, *Water and Wastewater Management in the Malt Brewing Industry*, no. Edition 2. Republic of South Africa, 2016.
- [11] G. K. Adamu and A. K. Aliyu, “Determination of the Influence of Texture and Organic Matter on Soil Water Holding Capacity in and Around Tomas Irrigation Scheme, Dambatta Local Government Kano State,” *Res. J. Environ. earth Sci.*, vol. 4, no. 12, 2009.
- [12] F. Borro Muentes, “Estudio de la eficacia de los aglutinantes en la disolución del metronidazol tabletas 250 mg,” Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas, 2001.
- [13] L. A. Fonseca, E. Trujillo-castro, and G. Peña-rodríguez, “Tortuosidad y permeabilidad de materiales cerámicos mesoporosos de caolín y diatomita Tortuosity and permeability of mesoporous ceramics of kaolin and diatomite,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 18, no. 1, pp. 111–117, 2019, doi:10.18273/revuin.v18n1-2019009.
- [14] M. Ibrahim *et al.*, “Avances de Investigación 27,” *Agroforestería en las Américas*, vol. 45, 2007.
- [15] C. Gamarra, M. D. Lezcano, M. V. de Ortíz, M. Galeano, and A. C. Cardús, “Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo,” *Rev. Mex. Ciencias For.*, vol. 9, no. 46, Mar. 2018, doi: 10.29298/rmcf.v9i46.134.