

Circular system of energy use of coffee biomass

Juan Sebastián Sánchez-Gómez, MS¹, Paula Andrea Salazar Caviedes², María Tanisha Pereira Vindas³, Laura Valentina Leuro Nuñez¹, Gabriela Garzón Lozano, BS³ and Lyna Flórez Fernández⁴

¹Universidad Sergio Arboleda, Colombia, juan.sanchezg@usa.edu.co, laura.leuro01@usa.edu.co

²Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, est.paula.salazar@unimilitar.edu.co

³Universidad El Bosque, Colombia, mpereirav@unbosque.edu.co, ggarzonlo@unbosque.edu.co

⁴Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, lflorezf@correo.udistrital.edu.co

Abstract- *The energy deficit in Colombia is accentuated by its unsustainable tourist vocation, which makes it necessary to propose sustainable solutions in the gastronomic sector. For this reason, this interdisciplinary research proposes a circular energy cogeneration system, through the energetic use of anaerobic biodigestion of organic waste from restaurants, with a higher concentration of coffee husks. The products of biodigestion are biosol for fertilization and biogas for restaurant kitchens, in which steam is also used to accelerate biodigestion, which makes the system a circular cogeneration system.*

Keywords- *circular economy, energy use, biomass, biodigestion.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.200>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Sistema circular de aprovechamiento energético de la biomasa cafetalera

Juan Sebastián Sánchez-Gómez, MS¹, Paula Andrea Salazar Caviedes², María Tanisha Pereira Vindas³, Laura Valentina Leuro Nuñez¹, Gabriela Garzón Lozano, BS³ and Lina Flórez Fernández⁴

¹Universidad Sergio Arboleda, Colombia, juan.sanchezg@usa.edu.co, laura.leuro01@usa.edu.co

²Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, est.paula.salazar@unimilitar.edu.co

³Universidad El Bosque, Colombia, mpereirav@unbosque.edu.co, ggarzonlo@unbosque.edu.co

⁴Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, lflorezf@correo.udistrital.edu.co

Abstract- *The energy deficit in Colombia is accentuated by its unsustainable tourist vocation, which makes it necessary to propose sustainable solutions in the gastronomic sector. For this reason, this interdisciplinary research proposes a circular energy cogeneration system, through the energetic use of anaerobic biodigestion of organic waste from restaurants, with a higher concentration of coffee husks. The products of biodigestion are biosol for fertilization and biogas for restaurant kitchens, in which steam is also used to accelerate biodigestion, which makes the system a circular cogeneration system.*

Keywords- *circular economy, energy use, biomass, biodigestion.*

Resumen- *El déficit energético en Colombia se acentúa con su vocación turística insostenible, lo cual hace necesario plantear soluciones sostenibles en el sector gastronómico. Por tal motivo, esta investigación interdisciplinaria propone un sistema de cogeneración energética circular, a través del aprovechamiento energético de la biodigestión anaerobia de los residuos orgánicos de los restaurantes, con mayor concentración de la cascavilla del café. Los productos de la biodigestión son biosol para fertilización y biogás para las cocinas de los restaurantes, en los cuales también se aprovecha el vapor para acelerar la biodigestión, lo cual hace que el sistema en su conjunto sea de cogeneración circular.*

Palabras clave- *economía circular, aprovechamiento energético, biomasa, biodigestión.*

I. INTRODUCCIÓN

Para nadie es un secreto que la crisis ambiental que actualmente estamos atravesando, ha generado alarmas a nivel mundial para contrarrestar los impactos que los seres humanos han causado por años, e incluso siglos, explotando y consumiendo irresponsablemente los recursos no renovables del planeta, todo promovido también por una cultura en la que no se tiene en cuenta la retribución y cuidado del medio ambiente. Consecuencia de esto, tenemos la crisis energética ocasionada por la alta demanda de energía que eleva costos y restringe su equitativa distribución entre territorios; por ejemplo, en

América Latina, en el 2017, “el 67,5 % de la población utilizaba gas natural para cocinar” [1] y tal combustible fósil participa con el 22 % de la canasta energética usándose de forma exponencial

En el caso de Colombia es evidente identificar tal déficit energético es evidente tal déficit energético porque “en el año 2020 fueron 10'253.699 los usuarios de gas natural en el país: 10' 061.213 domiciliarios, 186.760 comerciales, y 5.726 entre automotores, industriales y generadores de energía [2], quienes se están viendo afectados por el aumento en los precios que afecta la seguridad energética del país; más aún porque la red de gas natural no es suficiente para abastecer todo el territorio colombiano, dejando áreas desamparadas de este recursos como son las ZNI (Zonas no Interconectadas).

Actualmente, el mercado del gas natural en Colombia está representado por un 31,5% para uso industrial, 25% para el sector térmico, 19,1% para refinerías, 16,6% para el sector residencial, 4,7% para el sector transporte, 3% para el sector comercial y un 0,14% para otras aplicaciones [3]. El sector gastronómico es uno de los sectores que más genera empleo en Colombia, a pesar de la crisis del Covid 19, en la que cientos de personas fueron despedidas de sus empleos debido al poco o nulo aforo que tenían los establecimientos, muchos restaurantes han vuelto a abrir sus cocinas para la reactivación económica, a pesar de empeorar la crisis energética en el país. En el sector gastronómico, es nuestra responsabilidad como consumidores valorar, no solo la calidad del servicio y de los alimentos, sino también el consumo energético por parte de cada uno de los actores indispensables dentro de esta industria para hacer rentable su modelo de negocio, de esa forma podemos garantizar que nuestros aportes como clientes se hagan a empresas sostenibles que puedan ayudar al desarrollo del país desde la labor que desempeñan. Es por eso por lo que se debe tener en cuenta el consumo energético proveniente de cada restaurante, el cual es un 25% aproximadamente entre la cocción y la campana de la cocina, siendo estos uno de los equipos que más demandan energía para su funcionamiento [4].

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.200>
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Como afirma Bolatturk [5] “El mundo no necesita disminuir el consumo energético, sino el de hacer un uso eficiente de la energía con el fin de asegurar un futuro sostenible”, razón por la cual podemos construir colectivamente prácticas medioambientales responsables entre el sector gastronómico y energético.

Colombia es mundialmente conocida por su gastronomía, sus costumbres y asombrosos paisajes, sin embargo, el mayor representativo de este país es su café, siendo uno de los países exportadores más importantes a nivel internacional y el tercer país de mayor producción de café con un 8,2% [6], adelantado solamente por Brasil y Vietnam. Según la Federación Nacional de Cafeteros [7], para el 2021 en Colombia se sembró aproximadamente 12,6 millones de sacos de 60Kg de café en el año. En el proceso de transformación de café cereza a café pergamino seco se obtienen residuos que representan el 82,4% de su peso, siendo estos desaprovechados y desechados, cuya disposición final inadecuada, promueven un impacto ambiental equivalente a la contaminación generada durante un año por excretas y orinas por una población de 868.736 habitantes [8]. Este tipo de residuos es una alternativa de aprovechamiento energético, y es ideal para ser utilizado como biomasa por su alto potencial para la producción de biogás.

En el 2018, según el Ministerio de Agricultura [9], el Triángulo del Café representó el 15,46% de la producción nacional del café, por debajo de Antioquia con 16,58% y Huila con un 15,91%, lo cual representó un PIB por departamento para Caldas, Quindío y Risaralda de 3%, 1,7% y 2% respectivamente. Lugares que además son visitados por turistas no solo internacionales sino también nacionales. Por tal motivo se centralizan comercios gastronómicos activos dentro de estas áreas del país. La propuesta de tecnologías actuales de aplicación de energías renovables como los biodigestores anaeróbicos, se puede considerar una buena opción para la aplicación dentro del sector gastronómico dentro de localidades cafeteras ya que son fácilmente replicables y pueden funcionar con los residuos de alta contaminación generados por su propia comunidad, en este caso la pulpa de café. Actualmente sólo se utiliza el 5% de la biomasa del café para la bebida, lo que implica que por cada 1000 gramos de café se desechan 436 gramos de pulpa fresca [10].

Es importante también resaltar que la sustitución del gas natural por biogás puede ser de muy bajo costo, sobre todo aportando a la crisis ambiental y solventando necesidades diarias en sectores de gran demanda. En los gastos de operación de un restaurante la parte que tiene un alto porcentaje en gasto son los servicios públicos, dividiéndose entre agua, energía y gas. El costo de estos servicios siempre dependerá mucho de la alta demanda por crecimiento de población y por cuestiones políticas, como se evidencia en la actual dependencia de Europa del gas de Rusia. Por lo tanto, tener fuentes seguras de

energía sin empeorar el panorama actual, tanto en lo ambiental como en lo económico, debe ser valorado.

Por ende, la propuesta de implementación del biogás para comenzar a abastecer la necesidad del uso del gas natural. El biogás se genera a partir de fuentes naturales en descomposición, gracias a microorganismos que actúan a una temperatura y humedad adecuada para realizar con éxito su función. Este tipo de fuentes naturales también llamado biomasa son de fácil obtención y se consiguen en gran cantidad, sin embargo son altamente contaminantes lo que vuelve ideal utilizar este tipo de enemigo en amigo ambiental.

II. METODOLOGÍA

Para realizar el sistema de cogeneración energética se debe tener en cuenta que es circular, es decir implementa el calor de la misma cocina a la que está instalado para aumentar la temperatura de la mezcla entre cascarrilla de café y agua, con el fin de disminuir el tiempo de reacción que producirá el biogás que alimentará la misma cocina.

Se propone construir un tanque de 30 galones con una caneca plástica con su respectiva tapa y zuncho metálico, una válvula con tapa, válvula de PVC lisa, válvula de ½ pulgada de gas, 3 codos de 90° de PVC, 2 tubos PVC de 2 pulgadas (sanitaria), un metro de tubo PVC de ½ pulgada, adaptadores macho y hembra de 2 pulgadas y empaques para tubería.

Cada uno de los materiales se pueden visualizar en las Figuras 2, 3, 4 y 5, los cuales siguen los requerimientos de diseño propuestos para la construcción del sistema de cogeneración.

Una vez se cuentan con los materiales se procede a la construcción del tanque de almacenamiento, como se describe en la Figura 1.

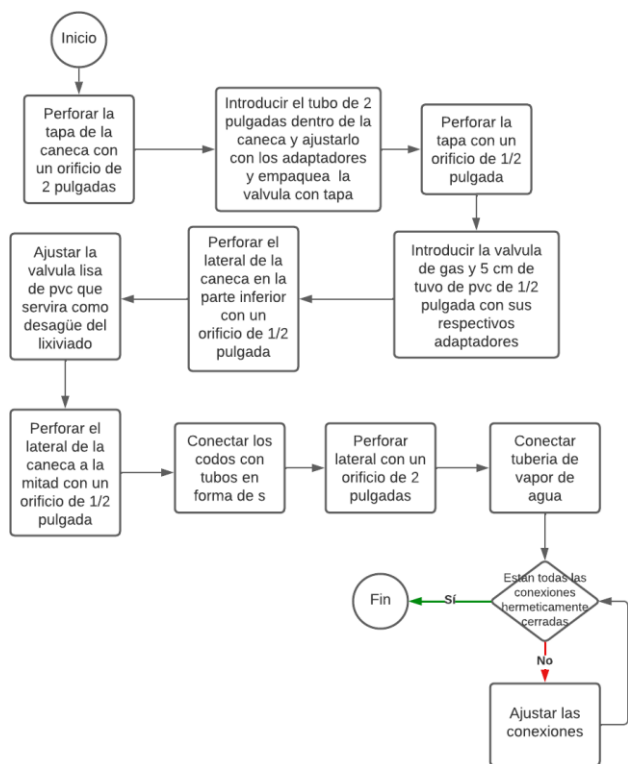


Fig 1. Flujograma de fabricación. Fuente: Elaboración propia.

Para practicidad en el reconocimiento de los materiales necesarios se anexan algunas imágenes de referencia, esto tomado de Mercado libre Colombia.



Fig 2. Caneca plástica con tapa y zuncho. Fuente: Mercado Libre.



Fig 3. Válvula de PVC lista. Fuente: Mercado Libre.



Fig 4. Válvula de gas de 1/2 pulgada. Fuente: Mercado Libre.



Fig 5. Válvula con tapa. Fuente: Mercado Libre.

Es importante que los agujeros de la tapa estén conectados de manera interna al biodigestor por medio de la tubería, es decir, las válvulas de tapa y gas deben tener tubos dentro de la caneca. En el caso de la válvula de 2 in el tubo interior será de $\frac{3}{4}$ de la longitud del recipiente, para la válvula de gas serán 5-8 cm simplemente para que el cierre y la conexión sean herméticos. Estas deben estar separadas por una distancia de por lo menos 7 cm una de la otra.

Como segunda instancia, la válvula de desagüe debe estar en la parte más inferior de la caneca y su inclinación dependerá de la densidad del lixiviado; la cual de acuerdo con Carlos Balladares es de $1,03 \frac{gr}{ml}$ [11], lo que nos indica una inclinación de por lo menos 15° (ya que no es diferente en gran medida al agua) según el manual general URALITA mostrado en la Figura 5.

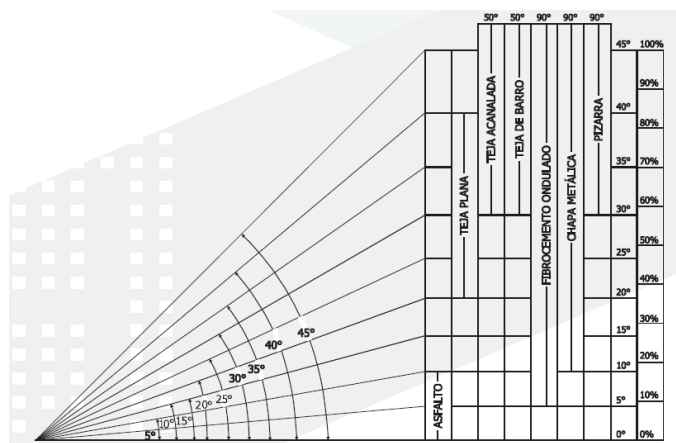


Fig 6. Relación de pendiente con materiales de cubierta.
Fuente: Manual General URALITA.

A su vez la perforación de entrada de vapor de agua se debe realizar en el lado opuesto de la salida del biosol, esto en búsqueda de mantener las entradas y salidas separadas.

También es importante poder definir la carga diaria o el tiempo de reposición para que el biodigestor no sea un problema de seguridad, para poder calcular la carga se debe tener en cuenta la retención del mismo, esto teniendo en cuenta que las bacterias necesitan de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. El que tan rápido se da esta degradación es dependiente de la temperatura; a medida que más grande sea la temperatura, menor es la era de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. Para esto se tiene el tiempo de retención de un biodigestor dado por Varnero [12].

Tabla 1. Tiempo de retención hidráulico.

Retención hidráulica (días)	Características
30-40	Clima tropical con regiones planas
40-60	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos
60-90	Clima templado con inviernos fríos

Fuente: Varnero [12].

Si lo que se busca es una carga diaria se debe tener en cuenta la siguiente relación.

$$\frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{Tiempo de retención (días)}} * 0.75$$

$$= \text{volumen de carga diaria } \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

Ecuación 1: Reacción de carga diaria al biodigestor [12]

Si analizamos dicha relación para un tiempo de retención de 20 días, cada día se carga 1/20 del volumen total del digestor, y en promedio los residuos orgánicos y la masa microbiana permanecen 20 días dentro del sistema, el 0,75 nos indica la proporción de llenado ya que se dispondrá del 0,25 del tanque para la fase gaseosa de biodigestor.

La cantidad de producto producido por un digestor dependerá, entre varias opciones, entre ellas, de la cantidad de residuo cargado diariamente. Generalmente se trabaja con tiempos de retención entre 20 y 55 días y con cargas diarias de 1 a 5 kg de sólidos totales por metro cúbico de digestor. Por lo tanto, mientras menor sea el tiempo de retención, el tamaño del digestor se reduce y también los costos. [13]

Es importante que el tanque no esté lleno en su totalidad en ninguno de los casos para permitirle su desarrollo normal sin representar un riesgo.

III. RESULTADOS

Se desarrolló un modelo CAD del biodigestor de acuerdo con los requisitos adecuados para lograr el objetivo (ver Figura 7). Primero, se realizó el diseño del biodigestor, el cual tiene una forma cónica en la parte inferior y cilíndrica en la parte superior. Se seleccionó este diseño debido a que el biodigestor se va a encontrar enterrado, tendrá mayor estabilidad y el proceso de mezcla para la obtención del gas se realizará de la manera adecuada.

El biodigestor tiene $8,2 \text{ m}^3$, contando con unas medidas en la parte cónica de 1,5m de radio con una altura de 0,5m y en su parte cilíndrica de 1,5 m de radio y una altura de 1m. Teniendo en total una altura de 1,5 m siendo así un tamaño aceptable para poder meterlo bajo tierra.

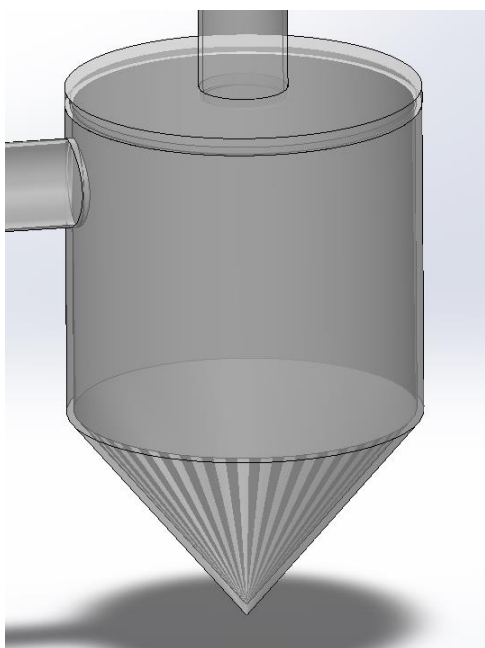


Fig 7. Modelo CAD del biodigestor. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 8, el biodigestor cuenta con 3 entradas. La primera entrada está en la parte superior, en donde sale el gas deseado, después de haber pasado por su proceso de obtención. En la parte inferior a un lateral del cono, se encuentra la salida de lixiviados, la cual irá al subsuelo al ser expulsada y por último la salida de biosol, que se encuentra en la parte lateral del biodigestor, esta será utilizada para ingresar la pulpa de café y extraerla cuando termine su proceso de obtención de gas.

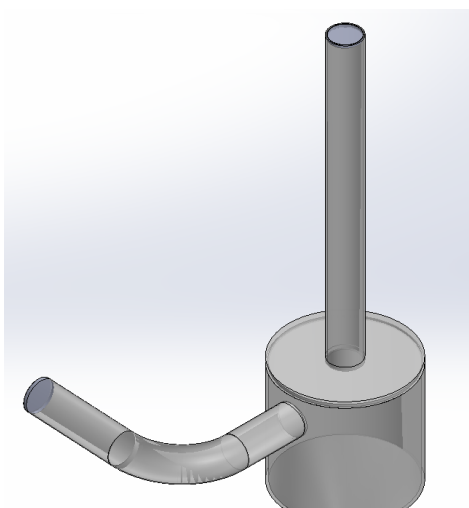


Fig 8. Salida del Biosol y Biogás. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 8, dos de sus tres entradas, estas tienen una dimensión de 50 cm de diámetro al igual que la salida de lixiviados. Cada una de ellas tiene una posición diferente teniendo en cuenta lo que va a salir, la salida de biogás está de manera vertical, la de biomasa se encuentra de manera horizontal y la de los líquidos se encuentra con una pendiente negativa.

Se realizó una simulación en SolidWorks para observar el desplazamiento del fluido y la salida del biogás. Esta de manera detallada el recorrido que realiza por todo el biodigestor antes de salir el producto final.

En la Figura 9 se puede observar el biodigestor con el respectivo análisis realizado con un líquido y un gas. El color que se observa de las flechas indica la presión ejercida en cada uno de los puntos del biodigestor. Teniendo eso claro en punto de mayor presión es cuando ingresa la biomasa y a medida que va ingresando va bajando su nivel de presión hasta la salida del gas por la parte superior del biodigestor.

En el proceso de transformación de la biomasa a gas, en el centro del biodigestor cuando se encuentra en su proceso de sublimación de pasar del sólido a gaseoso. Con el calor expuesto y los líquidos aplicados, en la Figura 9, en el punto de la salida del gas se observa una menor presión de éste al realizar todo el proceso de obtención del biogás.



Fig 9. Simulación del biodigestor. Fuente: Elaboración propia.

IV. CONCLUSIONES

La implementación de fuentes de energía renovables como el biogás puede convertirse en una alternativa eficaz para el abastecimiento de la alta demanda dentro del sector gastronómico de regiones caficultoras. Se determina que este sistema funcionará de manera más eficiente al ser alimentado con pulpa de café, excedentes de la producción de café a nivel local. Este tipo de biomasa generará un mejor potencial energético y a su vez será un buen sustituto de los combustibles tradicionales.

El biodigestor con funcionamiento circular responde al problema del alto consumo de gas natural que además de no ser favorable ambientalmente está ocasionando un gasto fijo y alto dentro de los restaurantes. La aplicación del biodigestor puede reducir este alto costo para el comerciante sin disminuir el nivel de procesos de cocción que necesitan diariamente para cumplir con su servicio.

La materia prima que se necesita para que las cocinas funcionen es de fácil obtención, bajo costo e inclusive existe una buena alternativa amigable con el ambiente que se puede incluir entre los beneficios de este tipo de biomasa, refiere a que se puede ofrecer al caficultor un intercambio de los residuos de café generados en sus fincas, en este caso la cascarilla, por el fertilizante obtenido del biodigestor y así aplicar una economía colaborativa entre el comerciante y el caficultor. Adicionalmente, el fertilizante también llamado biosol es una alternativa de sustitución para los fertilizantes químicos utilizados en los cultivos de café, este tipo de sustancias químicas tienen un alto impacto ambiental y además representa un costo necesario para el caficultor.

Este sistema de generación de biogás es fácilmente replicable, cuenta con la versatilidad de ser alimentado por distintos tipos de biomasa, clasificando el biodigestor como adaptable en residuos orgánicos para su funcionamiento. Sin embargo, se necesita tener en cuenta que el biodigestor requiere de una temperatura adecuada para su funcionamiento, independientemente de la cantidad de vapor que la estufa genere.

Colombia es uno de los grandes productores de café perfilándose así como un gran postor para la implementación de este tipo de alternativas de ahorro y aprovechamiento energético. La aplicación y desarrollo de energías limpias para el abastecimiento de necesidades cotidianas en el sector gastronómico puede provocar que otros sectores turísticos adopten el modelo del biodigestor, transmitiendo un mensaje ecológico no solamente local sino nacional e internacional.

REFERENCES

- [1] R. G. Aiello. "Energía para cocinar en América Latina y el Caribe: los desafíos de Paraguay - Energía para el Futuro". Energía para el Futuro. <https://blogs.iadb.org/energia/es/energia-para-cocinar-en-america-latina-y-el-caribe-desafios-de-paraguay/> (accedido el 12 de octubre de 2022).
- [2] A. Acosta. "El gas natural: puente a la transición energética". Razón Pública. <https://razonpublica.com/gas-natural-puente-la-transicion-energetica/> (accedido el 12 de octubre de 2022).
- [3] CREG. Informe Gestor del Mercado de Gas 2019:20.
- [4] B2B News. "¿Sabes cuánto se gasta de luz y gas en un restaurante?". TotalEnergies, noviembre 22, 2022. Recuperado de: <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/gasto-medio-luz-gas-restaurant> (accedido el 11 de octubre del 2022).
- [5] Bolatturk A, Coskun A, Geredelioglu C. Thermodynamic and exergoeconomic analysis of Çayirhan thermal power plant. *Energy Convers Manag* 2015; 101:371–8. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.05.072>
- [6] Londoño Espinosa HD. Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogás en un reactor flujo pistón. *Univ Pontif Boliv* 2017; 6:5–9.
- [7] Prensa FNC. "Producción de café de Colombia cierra 2021 en 12,6 millones de sacos - Federación Nacional de Cafeteros". Federación Nacional de Cafeteros. <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-cierra-2021-en-126-millones-de-sacos/> (accedido el 12 de octubre de 2022).
- [8] Rodríguez Valencia N, Zambrano Franco D. Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Av Técnicos Cenicafe* 2010:8. <https://doi.org/ISSN-0120-0178>.
- [9] Trujillo E. G. Café y PIB departamental n.d. <https://www.larepublica.co/analisis/guillermo-trujillo-estrada-505837/cafe-y-pibdepartamental-2900753> (accedido el 11 de octubre del 2022).
- [10] N. Rodríguez Valencia y D. A. Zambrano Franco, "Los subproductos del café: fuente de energía renovable", marzo de 2010, Chinchiná, Colombia. Accedido el 12 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>

[11] C. Balladares Grazzo, "CARACTERIZACIÓN FÍSICO - QUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS DEL CACAO Y CAFÉ DEL LITORAL ECUATORIANO, COMO POTENCIALES FUENTES DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL", Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, Las Palmas de Gran Canaria, 2015.

[12] Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile, 1991.

[13] "Desarrollo de substratos: Compost y Bioabonos. In: Experiencias Internacionales en la Rehabilitación de Espacios Degradados", Publicaciones Misceláneas Forestales, vol. 123, n.º 3, pp. 21–30, 2001.