

Mejoramiento y uso de los efluentes para el beneficio del café

Improvement and Use of Effluents for the Benefit of Coffee



CU-ID: 2177/v31n2e08

[Ⓜ]Adianni González-Freire^{I*}, [Ⓜ]Carlos M. Martínez-Hernández^{II}

^IEmpresa Procesadora de Café Eladio Machín, Cumanayagua, Cienfuegos, Cuba

^{II}Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN: El sector cafetero, realiza el procesamiento del café por vía húmeda, en donde se generan residuos líquidos contaminantes por sus valores de acidez (pH ácido), sólidos sedimentables (SS) y Demanda Química de oxígeno (DQO). Por lo cual, el objetivo de esta revisión se realiza para el mejoramiento y uso de los efluentes del beneficio del café con un enfoque ecológico en la despulpadora El Nicho de la provincia de Cienfuegos. En el trabajo, primeramente, se describirá las tecnologías del proceso de beneficio del café. Luego, se enfatiza en las peculiaridades para implementar las nuevas tecnologías y, en la tercera parte se analiza la posibilidad de su implementación en Cuba.

Palabras clave: Aguas residuales, contaminación del agua, beneficio húmedo, tratamiento, agua miel.

ABSTRACT: The coffee sector carries out the processing of coffee by the wet method, where polluting liquid waste is generated due to its acidity (acid pH), sedimentary solids (SS) and chemical oxygen demand (COD) values. Therefore, the objective of this work is to review the technologies to improve the coffee processing and those to use its effluents with ecological approach in El Nicho Pulper, in Cienfuegos Province, Cuba. Firstly, the technologies for coffee benefit process are described. Secondly, the peculiarities to implement new technologies are emphasized and, finally, the possibility of their implementation in Cuba is analyzed.

Keywords: Wastewater, Water Contamination, Wet Benefit, Treatment, Honey Water.

INTRODUCCIÓN

Durante la cosecha del café el beneficio húmedo es uno de los procesos en el cual ocurre la transformación del fruto (cerezo) en café oro (grano limpio). Existen dos métodos para beneficiar el café: el seco y el húmedo; el beneficio húmedo se emplea en casi todos los países productores de América Central, según [Rojas et al. \(2017\)](#) consiste en la separación de la pulpa o piel y mucílago del grano de café, usando un despulpador mecánico y altos volúmenes de agua [González \(2020\)](#), generando gran cantidad de residuales líquidos que se caracterizan por ser ácidos y poseer elevada carga contaminante.

De acuerdo con [Rodríguez et al. \(2015\)](#) se conoce la relación que existe entre los diferentes tipos de beneficio de café con respecto al uso eficiente y ahorro de agua. En la actualidad, en Colombia existen tres tipos de beneficio para el fruto, los cuales se describen a continuación: Beneficio convencional del café: proceso tradicionalmente en el cual se utiliza

agua en todas sus etapas (despulpado, lavado y transporte) consumiéndose 40 L de agua por cada kg de café pergamino seco (cps) y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos exponiendo su alta contaminación orgánica.

El beneficio ecológico del café: permite obtener cafés con la calidad física y de taza, eliminando procesos innecesarios, utilizando desmucilaginosos, lavadores mecánicos o tanques de fermentación. Permite lavar y clasificar el café, con consumo específico de agua entre 0,7-1 L·kg⁻¹ de cps, mientras en el beneficio ecológico del café sin vertimientos: se hace un uso racional del agua y se tratan los subproductos como pulpa, mucílago y aguas residuales, de forma que no se generen vertimientos en el proceso; sistema mecánico de lavado con mínima cantidad de agua (menos de 0,5 L·kg⁻¹ de cps), en las condiciones establecidas en la Resolución 1207 del 2014 ([República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014](#)).

*Author for correspondence: Adianni González-Freire, adianni.gonzalez@gmail.com

Recibido: 12/09/2021

Aceptado: 14/03/2022

En el caso cubano, Cuba no está exenta de esta práctica, al contrario, es frecuente en sus zonas cafeteras, debido a la disponibilidad de fuentes de agua en la región. Sus desechos resultantes, los cuales no son bien manejados, la pulpa y el mucílago, están compuestos de varias proteínas y azúcares en forma de pectinas, los que se fermentan por la acción de las enzimas que contienen las bacterias localizadas en el fruto del café además de los volúmenes de aguas residuales (Bello y Castillo, 1994). Durante la fermentación las levaduras y bacterias oxidan los azúcares parcialmente generando energía y diversos compuestos. Además, cambian el color, olor, densidad, acidez, pH, sólidos solubles, modifican la temperatura, composición química y microbiana del sustrato (Puerta, 2012; 2013).

En Latinoamérica varios ensayos realizados para tratar estos efluentes han demostrado las características químicas - físicas de las aguas residuales, y su contaminación orgánica con un buen grado de biodegradabilidad en condiciones anaerobias y de toxicidad, y presente en forma disuelta, señalan a los métodos biológicos como los más apropiados para su tratamiento (Bailly *et al.*, 1992; Bello y Castillo, 1994).

Aunque en menor volumen, también se generan residuales sólidos constituidos fundamentalmente por la pulpa del café. Como alternativas al tratamiento y aprovechamiento de la pulpa de café se ha propuesto su empleo en la producción de biofertilizante, en la alimentación de ganado o como combustible, pero pocas se aplican en la práctica. En Cuba, según datos reportados por la Oficina Nacional de Estadística e Información ONEI (2017), en su edición referente al Panorama Ambiental, no se consume la biomasa disponible correspondiente a los residuales de café. Usualmente estos residuos se almacenan cerca de los centros de beneficio y dan origen a malos olores, la contaminación del manto freático y la eutrofización de ríos y lagunas donde son vertidos. Sarabia *et al.* (2017) plantean que la digestión anaerobia es una tecnología con la que se alcanza la disminución de la carga contaminante del residual y la recuperación de energía. En los últimos años se han reportado investigaciones sobre residuales sólidos cafetaleros como fuente de azúcares, para la producción de carbón activado y compost, como material adsorbente de metales pesados y en la producción de biodiesel (Pujol *et al.*, 2013)

Considerando la diversidad de estudios realizados, es necesario crear conciencia en este sentido, ya que estas tecnologías según su desarrollo reportan importantes ventajas y/o ganancias desde los puntos de vista energético, económico y medioambiental. De igual modo, están suficientemente estudiadas con resultados concretos para su introducción, sin

embargo, esto no es así en el caso cubano, constituyendo un serio problema ambiental el uso irracional del agua, así como, la no utilización de sus residuales. De aquí la importancia de este estudio.

Este trabajo fue elaborado tomando referencias bibliográficas enmarcadas en el período comprendido entre los años 1990 al 2020. Las fuentes fundamentales citadas son de origen colombiano, aunque también son mencionados trabajos realizados en Brasil, México, Guatemala, y Cuba. Las citas que aparecen se relacionan fundamentalmente con Colombia y Cuba respectivamente. Se han expuestos criterios relacionados con la reducción del agua en el proceso de beneficio húmedo (PBH) y el uso eficiente de los residuos de este proceso. Por lo tanto, constituye una recopilación bibliográfica de las técnicas y procedimientos más utilizados internacionalmente.

DESARROLLO DEL TEMA

Cabe recordar que el proceso de beneficio húmedo (PBH) es un proceso que no se puede omitir puesto que define la calidad del café (aroma, sabor, cuerpo y acidez) y además es el primer paso dentro de la cadena agroindustrial. Sin embargo, dicha importancia se contrapone a los costos ambientales por la afectación de ecosistemas y el alto consumo de agua, por ello algunas guías técnicas lo denotan como un conjunto complejo de operaciones, por lo tanto, se debe tener el conocimiento especializado para los requerimientos mínimos de dicha operación, para no afectar tanto la calidad de las aguas superficiales como el grano de café. Estudios realizados describen y comparan los principales parámetros de calidad del agua, provenientes del lavado y despulpado. Es importante recalcar, que tales parámetros presentan variabilidad debido a los diferentes volúmenes de agua utilizados en el proceso (Bailly *et al.*, 1992).

En la [Tabla 1](#) se muestran las tecnologías más utilizadas en los últimos años y su consumo específico de agua.

Actualmente Colombia implementa nuevas estrategias mediante el desarrollo de prácticas para el ahorro y el uso eficiente del agua; con el fin de disminuir o evitar la contaminación potencial sobre los recursos naturales, por la inadecuada disposición de los subproductos del café. Con su aplicación puede transformarse un beneficiadero convencional a ecológico y un beneficiadero ecológico a beneficiadero ecológico sin vertimientos.

Uso de tolva seca o tolva húmeda con consumo de agua menor a 2 L·kg⁻¹ de cps, para el recibo y la clasificación del fruto

Dentro de los dispositivos para clasificación hidráulica del fruto que permiten tener bajos consumos de agua se tienen el separador hidráulico de

tolva y tornillo sinfín, la tolva húmeda con recirculación y el tanque sifón con recirculación. Para evitar la contaminación, deben llevarse las aguas residuales de la clasificación hidráulica a un sistema de tratamiento para su uso de nuevo en el cultivo.

Racionalización en el consumo de agua en las etapas de desmucilaginado, lavado y clasificado del café y en la limpieza del beneficiadero

El uso racional del agua en el desmucilaginado natural o mecánico y lavado del café, ha permitido reducir el volumen y aumentar la concentración de la contaminación orgánica en los residuos líquidos producidos, lo que ha hecho más económico su tratamiento biológico según [Rodríguez et al. \(2015\)](#). Cuando la eliminación del mucilago se realiza por desmucilaginado mecánico (utilizando la tecnología Becolsub), un sencillo sistema de control de caudal, desarrollado en Cenicafé, permite tener un flujo cercano a $0,8 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$ de cps. En Colombia se utilizan actualmente cerca de 20 000 equipos, que permiten obtener cada año 291 000 000 kg de café pergamino seco, con un ahorro de $11,4 \text{ 000 000 m}^3$ de agua ([Rojas et al., 2017](#); [Rodríguez et al., 2015](#)).

Cuando la eliminación del mucilago se realiza por fermentación natural, el uso eficiente y racional del agua durante el lavado del café permite reducir el 80% del consumo de la misma. Para efectuar dicho control se desarrolló la práctica de realizar enjuagues para lavar el café dentro de los tanques de fermentación: tecnología del Tanque Tina. Dicho café debe reposar aproximadamente 20 h para que exista un fermento uniforme. El tiempo varía en dependencia de la cantidad y de la temperatura ambiental. A mayor temperatura menor tiempo de fermento, y a mayor cantidad de café mayor tiempo. Para saber su punto óptimo se introduce una vara dentro de las pilas de fermento hasta el fondo y si los granos de café pergamino ya no se adhieren a la vara es que ya se puede lavar y seguir con el proceso; otra manera es usando un fermaestro (herramienta que se coloca dentro del café en fermentación).

Adopción del despulpado y transporte de la pulpa sin agua

Al adoptar el despulpado de los frutos sin agua y su transporte por gravedad a las fosas, constituye la acción ambiental más importante en el beneficio húmedo del café, dado que el agua en esta etapa genera el mayor impacto ambiental negativo sobre los ecosistemas, por la gran cantidad de compuestos orgánicos de baja biodegradabilidad, que se solubilizan en el agua cuando ésta entra en contacto con la pulpa, la cual es responsable de las tres cuartas partes de la contaminación potencial que puede producirse en los beneficiaderos de café. Su costo de implementación es bajo.

Construcción de fosas techadas

Para almacenar y procesar la pulpa puede ser mediante la construcción de una fosa techada, al ser la pulpa y el mucilago el 100% de los residuos que se generan durante el proceso de beneficio húmedo de café. La sola construcción de una fosa techada para la descomposición de la pulpa evita el 74% de la contaminación hídrica, si el transporte de la pulpa se realiza por gravedad o mecánicamente, sin la utilización de agua. Las fosas para la pulpa deben ser construcciones sólidas y duraderas (elaboradas en adobe y cemento), techadas y con el tamaño suficiente para almacenar y procesar la pulpa durante la cosecha del café ([Bailly et al., 1992](#); [Bello y Castillo, 1994](#)).

Dicha fosa se divide en compartimientos, de 2 a 6 m de ancho, dependiendo de la producción, para facilitar el almacenamiento y manejo de la pulpa. El largo de la fosa puede variar entre 3 a 25 m, dependiendo de la cantidad de pulpa a procesar. Las divisiones se hacen con guaduas, que se sostienen en cajas de adobe o concreto, construidas en los extremos. La altura de los muros de la fosa no debe ser mayor a 2 m. El piso de la fosa debe construirse en cemento, y es aconsejable cubrirlo con tableta de gres para darle mayor vida útil, con un desnivel del 2% hacia fuera, que permita canalizar los lixiviados provenientes de la

TABLA 1. Tecnologías más utilizadas en los últimos años y su consumo específico de agua

Tecnologías	Consumo Esp. Agua (L/kg de cps)
Lavado mec. con Ecomill	0,3-0,5
Desmucilaginado mec. Becolsub	0,7-1,0
Otros lavadores	2,2-2,7
Otros desmucilaginosos	1,5-3,3
Tanque de fermentación	4,0-5,0
Canal semisumergido	6,5-8,0
Bomba sumergible	6,5-9,0
Canal de concreto	20,0-25,0

descomposición de la pulpa, para llevarlos a un sistema de tratamiento o almacenarlos para asperjarlos nuevamente, a la pulpa. Para todos los casos, el piso de la fosa debe estar aislado del suelo, para evitar la infiltración de los lixiviados generados ([Bailly et al., 1992](#); [Bello y Castillo, 1994](#)).

Transformación de la pulpa en abono orgánico mediante un compostaje o lombricompostaje, bajo techo

El lombricompostaje de la pulpa de café se considera la práctica más sencilla para el aprovechamiento eficiente de este subproducto, dado que acelera su proceso de transformación, disminuye la mano de obra y mejora los rendimientos del abono orgánico obtenido.

Los lombricultivos pueden construirse utilizando diferentes sistemas de manejo como lechos en guadua, esterilla, ladrillo y cajas plásticas, en los cuales se encontró que la pulpa generada por una finca que produzca 1 000 @ al año de cps (aproximadamente 25 t de pulpa fresca), puede manejarse en un área efectiva de 25 m² de lombricultivo, con una densidad de lombriz pura de 5 kg·m². Es decir, que se puede manejar alrededor de 1 t·m² de pulpa de café de lombricultivo al año.

Investigaciones más recientes realizadas en Cenicafe han permitido la utilización de la lombriz roja (*Eisenia foetida Savigny*) para facilitar el manejo de la pulpa de café en su transformación, con muy buenos resultados en cuanto a reducción en el tiempo de proceso, el incremento de la biomasa de lombriz y la calidad del lombricompostado obtenido ([Dávila y Ramírez \(1996\)](#)); el cual por sus características físico-químicas es un excelente acondicionador de suelos y debido a su gran riqueza microbiana un buen abono orgánico ([Blandón et al., 1998](#)).

Si no se dispone de lombrices puede realizarse la transformación de la pulpa mediante volteos periódicos bajo techo, para evitar que las aguas de lluvias lixivien los componentes de la pulpa y ocasionen impactos negativos en el ecosistema. También se investigó acerca de su utilización para el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*, obteniéndose resultados alentadores pues por cada tonelada de pulpa de café fresca, en base húmeda, se obtienen 82,10 kg de hongos frescos, 9,76 kg de lombriz roja y 135,30 kg de lombricompostado húmedo por ciclo de cultivo, en un tiempo de aproximadamente tres meses ([Rodríguez y Zuluaga, 1994](#)).

Utilización del mucílago en la alimentación animal o su incorporación a la pulpa. Adición sobre la pulpa, de las aguas residuales de los dos primeros enjuagues, cuando se lava el café en el tanque

El principal componente del mucílago de café es la humedad (91,77%), seguido de los azúcares totales

(6,43%), las pectinas (0,81%) y el nitrógeno (0,12%). Por su contenido de azúcares reductores en esta fracción del fruto y la facilidad de su interacción con microorganismos se puede utilizar para la producción de miel y alcohol etílico; y por su fermentación anaerobia se puede producir gas metano, confiriéndole gran importancia industrial y alto interés económico ([Rojas et al., 2017](#); [Rodríguez et al., 2015](#)).

Considerando los bajos volúmenes de agua que se utilizan en el desmucilaginado mecánico y en el lavado mecánico del café, la aplicación del mucílago fresco o fermentado sobre la pulpa, se constituyen en una buena práctica de manejo, dada la gran cantidad de sólidos que puede retener la pulpa, cuando se aplican sobre ella residuos muy concentrados. Los lixiviados generados durante la mezcla (mucílago fresco, mucílago fermentado, aguas residuales provenientes de los dos primeros enjuagues) con la pulpa, deben recolectarse y reintegrarse a la pulpa en proceso de descomposición (para no generar vertimientos) o llevarlos a un sistema de tratamiento ([Rojas et al., 2017](#); [Rodríguez et al., 2015](#)).

De igual forma se ha evaluado la utilización del mucílago del café en la alimentación porcina, utilizando el subproducto como suplemento del concentrado según el peso del animal y la proporción de la dieta.

De igual manera, las aguas residuales provenientes de los dos primeros enjuagues en el tanque pueden ser retenidos, en buena proporción, por la pulpa. Respecto a las descargas residuales derivadas del PBH, la Ley Aguas Nacionales (LAN) establece que debe existir un tratamiento previo al momento de su descarga en cuerpos receptores ([República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015](#); [República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014](#)).

Sistemas modulares de tratamiento anaerobio y humedales artificiales para tratar todas o parte de las aguas residuales generadas (aguas mieles y lixiviados de la mezcla mucílago-pulpa)

La factibilidad técnico económica para la implementación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café depende en gran medida de la simplicidad y confiabilidad del sistema, así como del volumen y carga orgánica del residuo a tratar. En consecuencia, no utilizar agua para transportar pulpa y la racionalización del consumo de agua en la operación de lavado, permiten reducir la contaminación y el volumen de agua que es necesario tratar.

Las aguas residuales que se producen durante el proceso de beneficio húmedo del fruto del café son biodegradables, pero poseen características físico-químicas particularmente agresivas con el medio ambiente: pH bajo, acidez alta y concentraciones de

materia orgánica altas, que corresponden a poderes contaminantes entre 60 y 240 veces superiores a las aguas residuales domésticas.

Para el tratamiento de las aguas mieles provenientes del lavado del grano, se diseñaron los Sistemas Modulares para el Tratamiento Anaerobio-SMTA, los cuales permiten el tratamiento del mucílago fermentado, que corresponde al 26% de la contaminación total que generan los subproductos, y que está presente en las aguas residuales de lavado, con un aporte de 24 000 mg·L⁻¹ de Demanda Química de Oxígeno (DQO) por kilogramo de café en cereza, y una concentración entre 25 000 y 30 000 mg·L⁻¹, cuando se utilizan en el lavado cantidades de agua entre 4 y 5 L·kg⁻¹ de cps. Estos sistemas de tratamiento, bien operados, permiten generar vertimientos que cumplen con las disposiciones normativas para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales ([República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2015](#)). Con el fin de proteger los recursos hídricos presentes en la zona cafetera, la implementación de humedales artificiales, utilizando plantas acuáticas como el buchón de agua, el repollo de agua, la oreja de agua y la lenteja de agua, ubicados a continuación de los SMTA permite obtener efluentes más limpios, los cuales contribuyen a la preservación del recurso hídrico, a la vez que la biomasa cosechada puede utilizarse para la producción de abonos orgánicos.

Ventajas ambientales de la eliminación del agua en las etapas de despulpado y transporte de la pulpa

El beneficio convencional se caracteriza por la utilización de agua en las etapas de despulpado y transporte de la pulpa a las fosas de descomposición, a diferencia del beneficio ecológico en el cual el despulpado se realiza sin agua y el transporte de la pulpa a las fosas de descomposición se realiza por gravedad, con aire o mediante transporte mecánico (tornillo sinfín).

En las caracterizaciones realizadas a las aguas residuales provenientes del lavado del café, que son tratadas en los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio, instalados en Cenicafé “La Granja” y en la “Estación Experimental Naranjal”, se reportan valores de aceites y grasas del orden de 10,0 y 7,6 ppm y de 6,1 y 4,8 ppm. Estos valores, de forma natural, antes de ingresar a tratamiento, son inferiores a los valores máximos permisibles para vertimientos puntuales del sector cafetero, provenientes del beneficio ecológico, dado que la norma exige un valor máximo de 30 ppm ([República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2015](#)).

Esos son algunos aspectos de la forma en que Colombia aborda esta problemática, pero al analizar Cuba, su proceso de beneficio húmedo se basa en la obtención de café lavado. Habiendo posibilidades de

explotar su materia prima mediante nuevos métodos y obtener cafés con características organolépticas más acentuadas. Otro aspecto, son las investigaciones referidas al uso de la pulpa del café, dentro de las cuales, se destaca el compostaje (normal o con lombrices).

¿Cómo mejorar el proceso y utilización de los residuos del beneficio del café con enfoque ecológico en la despulpadora El Nicho de la provincia de Cienfuegos, Cuba?

Las instalaciones de beneficio húmedo en Cuba de forma general están constituidas por: tolva de recepción, sifón, tornillo sinfín, desmucilagador, lavadora, tanque de agua de recirculación; sin embargo, hasta el presente se reportan pocos estudios referentes a aumentar la calidad del café en taza mediante la disminución del consumo de agua mejorando el proceso de beneficio húmedo y a su vez la utilización de sus residuos de diferentes formas. En la práctica productiva en la despulpadora El Nicho, provincia Cienfuegos, se aprecia poco uso en la racionalización del agua y en el aprovechamiento de sus residuales, ya sea, como abonos orgánicos, fertilizante, o sustrato para biodigestores, etc. Ante esta situación, se puede plantear el siguiente **problema**: ¿Cómo mejorar el proceso y utilización de los residuos del beneficio del café con enfoque ecológico en Cuba? En esta revisión se muestra que este propósito es alcanzable con la utilización de métodos viables desde los puntos de vista técnico-económico y ambientales que rigen las normativas del país.

Como se aprecia en este trabajo, el desarrollo de cada una de estas variables se basa en investigaciones y prácticas realizadas por el Instituto de Investigación Cenicafé, de Colombia, centro de referencia para este trabajo por su experiencia y resultados obtenidos. Sin embargo, para la implementación en Cuba de las técnicas más ventajosas del beneficio del café, se hace necesario la capacitación, el equipamiento y la voluntad de los decisores, investigadores y organismos productivos involucrados para poder llevarlos a vías de realización.

CONCLUSIONES

En la despulpadora El Nicho, de la provincia Cienfuegos, se ha podido confirmar que en la industria del café solo se utiliza el 9,5% del peso del fruto fresco, mientras el 90,5% queda en forma de residuo, haciéndose notar que el 58,6% procede del proceso de beneficio húmedo.

En el caso cubano se utiliza el beneficio ecológico para el café arábigo, pero aún el consumo de agua no llega a reducirse significativamente (en las etapas de desmucilagado, lavado y clasificado del café y en la limpieza del beneficiadero); provocando vertimientos notables.

Los residuales del café no son aprovechados en las diferentes modalidades existentes tales como: transformación de la pulpa en abono orgánico; la utilización del mucilago en la alimentación animal o su incorporación a la pulpa; adición de las aguas residuales de los dos primeros enjuagues cuando se lava el café, sobre la pulpa. Finalmente se aclara que estas tecnologías son perfectamente factibles de poner en práctica en las condiciones actuales de Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILLY, H.; SALLEÉ, B.; GARCÍA, C.S.: “Proyecto de tratamiento de aguas residuales de beneficios húmedos: 1., Diagnóstico de la contaminación”, *Café, Cacao*, 36(2): 129-136, Thé (Francia) v. 36 (2) p. 129-136, 1992.
- BELLO, R.; CASTILLO, M.: “Anaerobic Digestion of Wastewaters from Coffee Processing Plants. A Review of the Process Implementation at an Industrial Level”, En: *Biogas Forum*, vol. 3, pp. 4-11, 1994.
- BLANDÓN, G.; RODRÍGUEZ, N.; DÁVILA, M.T.: “Caracterización microbiológica y físico química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje”, *Revista Cenicafe*, 49(3): 169-185, 1998, ISSN: 0120-0275.
- DÁVILA, M.T.; RAMÍREZ, C.A.: “Lombricultura en pulpa de café”, *Cenicafe*, : 11, 1996, ISSN: 0120-0178.
- GONZÁLEZ-ÁVILA, A.M.E.; VÁZQUEZ, G.G.E.; LÓPEZ, B.W.: “Socioenvironmental affectation of coffee production activity in tributaries of La Suiza River at El Triunfo biosphere reserve, Chiapas”, [en línea], En: *Socio-ecological studies in natural protected areas*, Ed. Springer, A. Ortega-Rubio (Ed.) Socio-ecological studies in natural protected areas ed., Basingstoke, U K, pp. 381-403, In A. Ortega-Rubio (Ed.) Socio-ecological studies in natural protected areas, 2020, Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-47264-1_20.
- ONEI: *Panorama ambiental. Cuba 2017*, [en línea], Inst. Oficina Nacional de Estadística e Información, Cuba, La Habana, Cuba, 2017, Disponible en: <http://www.onei.gob.cu/node/13852> 20/09/2019.
- PUERTA, G.: *Factores procesos y controles en la fermentación del café*, no. 0120-0178, Inst. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafe), Colombia, 2013.
- PUERTA, I.: “Factores, procesos y controles en la fermentación del café. Avances Técnico, Programa de Investigación Científica Fondo Nacional del Café”, *CENICAFE*, 422: 1-12, 2012.
- PUJOL, D.; LIU, C.; GOMINHO, J.; OLIVELLA, M.; FIOL, N.; VILLAESCUSA, I.; PEREIRA, H.: “The chemical composition of exhausted coffee waste”, *Industrial Crops and Products*, 50: 423-429, 2013, ISSN: 0926-6690, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.06>.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.: *Resolución 1207 del 2014. Uso de aguas residuales tratadas*, Inst. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., Cali, Colombia, 11 p., 2014.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 del 2015. Parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y al alcantarillado público. 62 p., 2015.
- RODRIGUEZ, V.N.; URIBE, S.J.R.; TASCÓN, O.C.E.; GÓMEZ, R.C.A.: “Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y control de la contaminación hídrica, en el proceso de beneficio húmedo del café”, *Cenicafe*, 2015, Disponible en: <https://www.cenicafe.org>, [Consulta: 25 de agosto de 2021].
- RODRÍGUEZ, V.N.; ZULUAGA, V.: “Cultivo de *Pleurotus pulmonaris* en pulpa de café”, *Cenicafe*, 45(3): 81-92, 1994.
- ROJAS, S.J.P.; MURILLO, R.M.; URIBE, L.; URIBE, L.L.; MARSH, T.; LARSEN, N.; CHEN, R.; MIRANDA, A.; SOLÍS, K.; RODRIGUEZ, W.: “Effects of coffee processing residues on anaerobic microorganisms and corresponding digestion performance”, *Bioresource technology*, 245: 714-723, 2017, ISSN: 0960-8524, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.098>.
- SARABIA, M.M.A.; LAINES, C.J.R.; SOSA, O.J.A.; ESCALANTE, E.E.: “Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales”, *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(1): 109-116, 2017, ISSN: 0188-4999, DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.10>.

Adianni González-Freire, Investigadora, Empresa Procesadora de Café Eladio Machín. Calle Napoleón Diego #265. Cumanayagua, Cienfuegos, Cuba. CP 57600, e-mail: adianni.gonzalez@gmail.com.
Carlos M. Martínez-Hernández, Profesor Titular; Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830, e-mail: carlosmh@uclv.edu.cu.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** A. González. **Data curation:** A. González; C. Martínez. **Formal analysis:** A. González; C. Martínez. **Investigation:** A. González; C. Martínez. **Methodology:** **Supervision:** A. González; C. Martínez. **Roles/Writing, original draft:** A. González; C. Martínez. **Writing, review & editing:** A. González.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.