






Sistemas de tratamiento y reutilización de aguas mieles de café: Un enfoque de desarrollo sustentable para los caficultores de países en desarrollo

Coffee honey waters treatment and reuse systems: A sustainable development approach for developing country coffee farmers

Eli Morales Rojas^{1,2} ^{*}, Roxana Hurtado Burga² , Segundo Chavez Quintana¹ , Erik Martos Collazos Silva³  y Tito Sanchez Santillan⁴ 

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue revisar la literatura científica de los principales sistemas de tratamiento biológico, físico y la reutilización de aguas mieles de café, así como la eficiencia de los sistemas de tratamiento (físico y biológico) y el rendimiento en reutilización de las aguas de café. Para la búsqueda de la información se aplicó operadores booleanos. Se tomó en cuenta artículos científicos, que hayan sido revisados bajo la metodología doble ciego. Los sistemas biológicos han demostrado eficiencias en la remoción de la materia orgánica (70 a 98.7%). La remoción de turbidez ha logrado su eficacia hasta 98.7%, con respecto a los nitratos la remoción oscilo entre 20 y 100%. La reutilización de las aguas mieles del café fueron utilizadas para la producción de ácido láctico, biocombustibles y la elaboración de miel para consumo humano. Los sistemas de tratamiento biológico y físico son eficientes para minimizar el impacto ambiental. Sin embargo, las aguas mieles también muestra gran potencial para la generación de productos agroindustriales e industriales y que pueden ser adoptadas por los países en desarrollo, con la finalidad de obtener ingresos económicos para las familias dedicadas al cultivo de café.

Palabras clave: Café, aguas residuales, reutilización.

ABSTRACT

The objective of the research was to review the scientific literature on the main biological and physical treatment systems and the reuse of coffee honey waters, as well as the efficiency of the treatment systems (physical and biological) and the reuse performance of coffee honey waters. The search for information was carried out using boolean operators. Scientific articles were taken into account, which have been reviewed under the double-blind methodology. Biological systems have demonstrated efficiencies in organic matter removal (70 to 98.7%). Turbidity removal has achieved efficiencies up to 98.7%, with nitrate removal ranging from 20 to 100%. The reuse of coffee honey waters was used for the production of lactic acid, biofuels and the production of honey for human consumption. Biological and physical treatment systems are efficient in minimizing environmental impact. However, honey waters also show great potential for the generation of agro-industrial and industrial products that can be adopted by developing countries in order to obtain economic income for coffee-growing families.

Keywords: Coffee, wastewater, reuse.

DOI: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i2.185>

Recibido: 22/03/2020. Aceptado: 28/04/2021

* Autor para correspondencia

¹ Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, calle Higos Urco N° 342-350-356 – Calle Universitaria N° 304. Email: eli.morales@untrm.edu.pe; segundo.quintana@untrm.edu.pe

² Instituto de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (IIIA), Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Calle Higos Urco N° 342-350-356 - Calle Universitaria N° 304, Amazonas, Perú. Email: 7169722462@untrm.edu.pe

³ Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Calle Higos Urco N° 342-350-356 - Calle Universitaria N° 304, Amazonas, Perú. Email: erik.collazos@untrm.edu.pe.

⁴ Servicios Generales Jucusbamba EIRL, Perú. Email: titosanchezsantillan@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El café es cultivado en 80 países de todo el mundo y genera ingresos económicos, fuente de alimentos para millones de familias (Murthy & Madhava Naidu, 2012). Durante el beneficio del café solo el 5 % se aprovecha, parte de ello se genera volúmenes de agua residual, que pueden llegar hasta 40 L/kg de café pergamino seco (Torres-Valenzuela et al., 2019). Los subproductos del café, se estima que a nivel mundial es de 33 millones de toneladas métricas, de las cuales 22 millones de toneladas métricas de pulpa de café, 2.4 millones de toneladas de mucílago y 8.6 millones de toneladas de cáscara (Padmapriya et al., 2015).

Más de diez millones de toneladas de residuos sólidos de café se generan anualmente, a nivel mundial y la mayor cantidad es de agua residual (Echeverria & Nuti, 2017). El agua miel de café contiene altas concentraciones de materia orgánica y sólidos en suspensión y es altamente ácido (Sahana et al., 2018). En consecuencia, su eliminación sin tratamiento alguno, provoca eutrofización, en los cuerpos de agua y afectan a la fotosíntesis (Takashina et al., 2018). Frente a esa problemática, existen sistemas de tratamiento de aguas residuales de café, estas se realizan a través de diferentes técnicas como sedimentadores, filtros en serie y sistemas biológicos (Gutiérrez et al., 2014). Es necesario adecuar infraestructuras económicas y adecuadas para el beneficio de café, que incluya protocolos de manejo adecuado para evitar afectaciones al medio ambiente (Gutiérrez-Guzmán et al., 2012). Sin embargo, en la actualidad no existen investigaciones puntuales que mencionen la eficiencia de remoción de los sistemas de tratamiento, que sea fácil y masificado su uso, estas tecnologías de tratamientos han sido evaluadas a nivel de laboratorio (Janissen & Huynh, 2018). Sin embargo, los gobiernos deben de implementar apoyo tecnificado a los caficultores, generando un valor agregado a las aguas mieles de café y debe analizarse cuidadosamente para lograr la sostenibilidad y que pueda ser utilizado comercialmente en los países en desarrollo para la mitigación de los efluentes (Sengupta et al., 2020).

Sobre la base de lo mencionado el objetivo del estudio fue revisar los principales sistemas de tratamiento biológico-físico y la reutilización de aguas mieles de café, como alternativa económica y solución al impacto ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión bibliográfica se realizó durante los meses de enero y abril del 2021, consultando bases de datos: Google Scholar, SciElo, Web of Science, Scopus y Springer. Se utilizó la combinación de

operadores booleanos, con los términos relacionados de (“aprovechamiento del mucilago de café”, “usos del mucilago de café”, “tratamiento biológico del agua miel de café”, “impacto del agua miel de café”). La búsqueda se realizó en idioma inglés y español, se discriminó estudios que no hayan sido revisados por pares; se consideró solo los estudios relacionados al tratamiento biológico-físico, y estudios que solo hayan reutilizado el agua miel de café para la generación de productos industriales y/o alimenticios. Artículos que no cumplieron con los requisitos antes mencionados se excluyeron. Se tuvo en cuenta la fecha de publicación de los artículos y la revisión de artículos publicados entre los años 2000 hasta marzo del 2021.

RESULTADOS

Tabla 1, muestra los estudios de tratamientos biológicos y físicos. La mayor cantidad de estudios entre sistemas de tratamiento físico y biológico pertenece a Brasil (nueve estudios), Colombia se encontró cuatro estudios de reutilización de las aguas mieles de café. En México y Etiopía se encontró cuatro estudios de tratamiento de aguas mieles.

Tabla 1. Principales sistemas de tratamiento biológico-físico en aguas residuales del café

Autor	Sistema de tratamiento	Eficiencia de remoción	País
(Córdova et al., 2019)	Digestión anaerobia	Reducción de taninos al 70.53 %.	Ecuador*
(Gutiérrez et al., 2014)	Sedimentador y lecho filtrante	Remoción de SST 95% y la remoción de DBO ₅ cercanas al 20 %	Colombia**
(Torres et al., 2016)	Oxidación enzimática	Oxidación hasta 51.05% del ácido cafeico	Brasil***
(Tacias-Pascacio et al., 2018)	Biorreactor anaeróbico con deflectores acoplado a un sistema de microfiltración	Remoción de turbidez de 98.7%, DQO 81%, SST de 100%, y SDT 61%.	México**
(Wu et al., 2006)	Decoloración de efluentes de café de color marrón oscuro utilizando partículas de óxido de zinc/UV	La decoloración se logró después de 180 min para la concentración inicial de café de 50 mg L ⁻¹ con una dosis de ZnO de 3000 mg L ⁻¹ y tres lámparas UV	China*
(Ancy et al., 2021)	Tratamiento con semillas de <i>Ricinus communis</i> L.	Redujo un 80% de color, un 75% SDT y un 80% de la DQO, junto con un cambio en el pH de 3.7 a 5.2.	India**
(Cruz-Salomón et al., 2017)	Biorreactor Lecho de Lodo Granular Expandido	Eficiencia de eliminación de DQO oscilo en 94 a 98%	México**
(Garde et al., 2017)	Extracto de Semilla de Moringa	Eliminación de SST osciló entre el 8% y 54%. La eliminación de DQO 1% al 25%. La reducción de	USA*

nitratos y nitritos osciló entre el 20% y el 100%.

(Peralta et al., 2015)	Utilización de arcilla	62.4% y 67.5% en reducción de CO ₂ y compuesto fenólicos	Colombia* ¹
(Morales et al., 2020)	Filtro biológico y físico	3.26 a 2.18 mg/L SDT	Perú*
(Beyene et al., 2014)	Tratamiento anaeróbico con biorreactores	Reducción de contaminantes ST y materia orgánica 90 % y 82 %	Ethiopia***
(Pires et al., 2019)	Tratamiento biológico mediante microorganismos nativos	DBO ₅ 33% y DQO 25%	Brasil***
(Villanueva-Rodríguez et al., 2014)	Tratamiento por métodos electroquímicos	Reducción del color 89-93% y carbono orgánico total 73-84%	México* ¹
(Gunther et al., 2007)	Coagulación-floculación	Reducción de DQO del 67% y 87%	México***
(Chagas et al., 2015)	Enzimas libres e inmovilizadas en la oxidación del ácido cafeico a partir de la Peroxidasa de cáscara de soja	50% en la oxidación del ácido cafeico	Brasil***
(Rossmann et al., 2013)	Humedales artificiales	Remoción de DQO 87%, DBO ₅ 84% y SST 73%, respectivamente, en el sistema de cultivo de raigrás que opera con un afluente no aireado.	Brasil***
(Fia et al., 2012)	Reactores anaeróbicos	Remoción del DQO entre 80% y 83%	Brasil***
(Kondo et al., 2010)	Foto-Fenton solar	Remoción de DBO ₅ 60%	Brasil***
(Gomes et al., 2020)	Coagulación / floculación	DQO y DBO ₅ 76.2% y 66.3%	Brasil***
(Fia et al., 2010)	Reactores de piedra triturada de granito-gnaisse y espuma de poliuretano	80 % en la remoción de DQO	Brasil***
(Chen et al., 2019)	Biorreactor de membrana anaeróbica	Eliminación de la DQO en 92 ± 3% con un rendimiento promedio de metano de 0.28 LCH ₄ /g de DQO	China*
(Ashenafi Hailemariam et al., 2021)	Aplicación de bacterias <i>Pseudomonas fluorescence</i> y <i>Escherichia coli</i>	Reducción de la DBO ₅ 81.67% y DQO 87.94% y los ST 33.79%	Ethiopia***

(De Oliveira & Bruno, 2013)	Reactores anaeróbicos horizontales	Remoción de DQO 43 a 97%, 70 a 76%, producción de metano 1.7 L.	Brasil***
(Fereja et al., 2020)	Polvo de semilla de Moringa	Reducción del 99.43% y 99.16% de la turbidez y DQO	Ethiopia***
(Selvamurugan et al., 2010)	Sistema de aireación continuo	Reducción de DBO ₅ 74.5%, DQO 68.6% y ST 49.3 %,	India**
(Said et al., 2020)	Fitorremediación mediante humedales artificiales	Eliminación de 94%, 79% y 95% de SST, color y DQO	Malaysia*
(Rahmadyanti et al., 2020)	Semillas de moringa mediante floculación	SST a 99.63 ± 0.10%, la DQO a 98.06 ± 0.04%, y la DBO ₅ a 97.67 ± 0.24%	Indonesia*
(Ibáñez-moreno, 2021)	Filtro físico compuesto por arena, grava y carbón activado	Reducción de nitrógeno 98.61%, el fósforo se redujo a 97.59%, la DBO ₅ disminuyó a 97.55 %, los SST disminuyeron un 98.15%	Ecuador ¹
(Garay Román & Rivero Méndez, 2014)	Biosistema con jacinto acuático	Reducción para la DBO ₅ de 86.57 % y para ST de 98.14 %.	Perú*

¹Estudios físicos; *Un estudio por país; **Dos estudios por país; *** ≥ a tres estudios por país; SST=Sólidos Suspendedos Totales; DQO=Demanda Química de Oxígeno; SDT=Sólidos Disueltos Totales; ST=Sólidos Totales

Reutilización de las aguas residuales de café

La reutilización de aguas mieles de café generada durante el beneficio húmedo, puede aprovecharse en diferentes presentaciones, con la finalidad de generar ingresos económicos en bienestar de las familias dedicadas al café (Tabla 2). Estudios han demostrado diversas aplicaciones (coagulantes para atrapar metales pesados en el tratamiento de aguas residuales, producción de biogás, bioetanol, compostaje, vasos reutilizables, y fuente de antioxidantes naturales).

Tabla 2. Aprovechamiento de las aguas mieles de café

Autor	Producto obtenido	Eficiencia/calidad de la obtención del producto	País
(Neu et al., 2016)	Ácido láctico	La pureza óptica del ácido láctico fue del 99.8 %.	Alemania**
(Orrego et al., 2018)	Etanol	Rendimiento de etanol (> 20%), productividad (> 47%), tasa de absorción de azúcar (> 67%) y el rendimiento teórico máximo (> 26%).	USA*

(Cárdenas et al., 2020)	Producción de hidrógeno	25.94 L de hidrógeno	Colombia***
(Çelik et al., 2018)	Aditivo prebiótico	potencial 50.6% de dióxido de carbono e hidrógeno	Colombia***
(Yadira et al., 2014)	Producción de bioetanol	La levadura convirtió el azúcar reductor en alcohol etílico al 98%	México**
(Valdespino-León et al., 2020)	Películas biodegradables	Alto grado de esterificación (84.92 ± 1.70)	México**
(Iriundo-Dehond et al., 2019)	Miel para el consumo humano	30% a 40% de humedad y fibra; Contenido de polifenoles correspondiente a 380 mg	España*
(Chala et al., 2018)	Producción de metano	$68 \times 10^6 \text{ m}^3$ de metano por año	Alemania**
(Cholakov et al., 2013)	Biocombustibles adsorbentes	y 60 % de metanol y un 40 % de n-hexano	Bulgaria*
(Hernández et al., 2018)	Hidrógeno	Producción acumulada de metano de 448.0 ml	Colombia***
(Navia et al., 2011)	Etanol	77.29% de etanol	Colombia***
(Beyene et al., 2014)	Biogás	4 a 10 millones de KJ/día de energía/abono orgánico 18.78-25.23 kg	Ethiopia*

*Un estudio por país **Dos estudios por país *** \geq a tres estudios por país

DISCUSIÓN

Los principales sistemas de tratamiento se vienen realizando a través de sistemas biológicos, mediante la utilización de macrofitas y en su mayoría han evaluado la remoción de los parámetros físico-químicos (Rodríguez, 2009). Los sistemas de tratamiento físico han logrado ser eficientes, pero se limita su uso en muchas oportunidades porque su aplicación a nivel de laboratorio y muy poco se sabe de la aplicación en campo definitivo, dado las restricciones en cuanto al área necesaria para la ubicación de los filtros y su limpieza (Tangerino et al., 2012). Los filtros físicos compuestos por piedra, grava, arena y carbón activado son eficientes, sin embargo, a comparación de filtros biológicos, estos no pueden ser descargadas sin previo tratamiento a un cuerpo de agua dulce (Ibáñez-moreno, 2021). Los filtros físicos están teniendo un desarrollo notable por ser sistemas de bajo costo (Guedes-Alonso et al., 2020). También vienen estudiando la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del café, con la utilización de carbón activado de la cascara de palta, logrando eficiencias del 99.02 y 99.35% (Devi et al., 2008).

Los sistemas de tratamiento biológico se deberían aplicar en las fincas cafetaleras, con la finalidad de evitar la contaminación a la flora y fauna. Sin embargo, se debe establecer políticas de gestión en los

caficultores (Capacitaciones e identificación de productos locales como suplemento para el tratamiento de las aguas mieles del café). La biorremediación ha demostrado ser rentable y eficiente en la remoción de contaminantes uno más que el otro (Garzón et al., 2017). En ese sentido el enfoque de sostenibilidad se debe dirigir a través de la gestión ambiental y el desarrollo tecnológico, que involucre la dimensión ambiental, social, económica, política y cultural de un país (Gavrilescu & Chisti, 2005). La reutilización de aguas residuales del café se debería tomar en cuenta como un ingreso económico familiar, ya que podría tener grandes beneficios a través de la generación de bioabonos, productos agroindustriales y generación de biocombustibles y de esa manera estaría ayudando a cumplir los objetivos de desarrollos sostenible (ODS) (De Anda, 2017). Puede ser una ventaja la fermentación de células inmovilizadas determina que la producción de etanol, a partir del mucilago del café es factible sin ningún pretratamiento, el cual se justifica la masificación de su uso (Orrego et al., 2018). El agua residual del café tratada, puede reutilizarse para riego agrícola, sobre todo en zonas que sufren de escasez de agua (Morales et al., 2020). Implica en darle énfasis a la gestión del agua para los pequeños agricultores y se debe tener en cuenta tanto la agricultura de secano como la de regadío (FAO, 2017). El café genera empleo a millones de personas en el mundo, en consecuencia, la reutilización de los residuos es importante desde el punto de vista económico y ambiental que ayuden a identificar nuevas oportunidades con visión de desarrollo (Adams & Ghaly, 2007; Mussatto et al., 2011).

CONCLUSIONES

Los sistemas de tratamiento biológico en las aguas mieles de café, se han realizado a escala de laboratorio, mediante plantas acuáticas (macrofitas flotantes), el 34.6 % de estudios de tratamiento biológico perteneció a Brasil, con respecto al tratamiento físico se encontró muy pocos (tres estudios distribuidos entre Colombia, Ecuador y México), se asume por los altos costos de instalación, operación y mantenimiento. Con respecto a la reutilización de las aguas mieles de café, existen estudios de la aplicación en la generación de bioabonos, biocombustibles. La mayor cantidad de estudios (33.3 %) pertenece a Colombia, seguido de México y Alemania con 16.7 % de estudios. Sin embargo, se sugiere que los gobiernos implementen políticas de desarrollo en el contexto de aprovechamiento de las aguas residuales de café, teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible, y que estas sirvan como ayuda a los caficultores de los países en desarrollo. Se debe de dar énfasis en los sistemas de tratamiento ya sea biológico o físico, para ello se tiene que identificar la reutilización de las aguas mieles de acuerdo a la accesibilidad de los caficultores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen el apoyo del Proyecto de Inversión Pública CEINCAFE (SNIP N° 352439), ejecutado por el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ancy A. J., Vasanthi, M., Thamarai selvi, C., Ravindran, B., Chung, W. J., & Chang, S. W. (2021). Treatment of coffee cherry pulping wastewater by using lectin protein isolated from *Ricinus communis* L. seed. *Journal of Water Process Engineering*, 39(March), 101742. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101742>
- Ashenafi Hailemariam, F., Velmurugan, P., & Selvaraj, S. K. (2021). Treatment of wastewater from coffee (*coffea arabica*) industries using mixed culture *Pseudomonas florescence* and *Escherichia coli* bacteria. *Materials Today: Proceedings*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1124>
- Beyene, A., Yemane, D., Addis, T., Assayie, A. A., & Triest, L. (2014). Experimental evaluation of anaerobic digestion for coffee wastewater treatment and its biomethane recovery potential. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(7), 1881–1886. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0339-4>
- Cárdenas, E. L. M., Zapata-Zapata, A. D., & Kim, D. (2020). Modeling dark fermentation of coffee mucilage wastes for hydrogen production: Artificial neural network model vs. fuzzy logic model. *Energies*, 13(7), 1–13. <https://doi.org/10.3390/en13071663>
- Çelik, A., Yaman, H., Turan, S., Kara, A., Kara, F., Zhu, B., Qu, X., Tao, Y., Zhu, Z., Dhokia, V., Nassehi, A., Newman, S. T., Zheng, L., Neville, A., Gledhill, A., Johnston, D., Zhang, H., Xu, J. J., Wang, G., ... Dutta, D. (2018). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1), 1–8.
- Chagas, P. M. B., Torres, J. A., Silva, M. C., & Corrêa, A. D. (2015). Immobilized soybean hull peroxidase for the oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 568–575. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.061>

-
- Chala, B., Oechsner, H., Latif, S., & Müller, J. (2018). Biogas potential of coffee processing waste in Ethiopia. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su10082678>
- Chen, R., Wen, W., Jiang, H., Lei, Z., Li, M., & Li, Y. Y. (2019). Energy recovery potential of thermophilic high-solids co-digestion of coffee processing wastewater and waste activated sludge by anaerobic membrane bioreactor. *Bioresource Technology*, *274*, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.080>
- Cholakov, G., Toteva, V., Nikolov, R., Uzunova, S., & Yanev, S. (2013). Extracts from coffee by-products as potential raw materials for fuel additives and carbon adsorbents. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, *48*(5), 497–504.
- Córdova Mosquera, A., Gómez-Salcedo, Y., Riera, M. A., Rodríguez-Díaz, J. M., & Pereda-Reyes, I. (2019). Influencia De Los Procesos Oxidativos Avanzados En La Digestión Anaerobia De Aguas Residuales De La Industria Del Café. *Centro Azúcar*, *46*(2), 89–100.
- Cruz-Salomón, A., Ríos-Valdovinos, E., Pola-Albores, F., Lagunas-Rivera, S., Meza-Gordillo, R., & Ruíz-Valdiviezo, V. M. (2017). Evaluation of hydraulic retention time on treatment of coffee processing wastewater (CPWW) in EGSB bioreactor. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/su10010083>
- De Oliveira, R. A., & Bruno, N. M. N. (2013). Start-up of horizontal anaerobic reactors with sludge blanket and fixed bed for wastewater treatment from coffee processing by wet method. *Engenharia Agricola*, *33*(2), 353–366. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000200014>
- Fereja, W. M., Tagesse, W., & Benti, G. (2020). Treatment of coffee processing wastewater using *Moringa stenopetala* seed powder: Removal of turbidity and chemical oxygen demand . *Cogent Food & Agriculture*, *6*(1), 1816420. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1816420>
- Fia, F. R. L., Borges, A. C., de Matos, A. T., Duarte, I. C. S., Fia, R., & de Campos, L. C. (2010). Development of biofilm in anaerobic reactors treating wastewater from coffee grain processing. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, *14*(2), 210–217. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200013>
- Fia, F. R. L., Matos, A. T., Borges, A. C., Fia, R., & Cecon, P. R. (2012). Treatment of wastewater from

coffee bean processing in anaerobic fixed bed reactors with different support materials: Performance and kinetic modeling. *Journal of Environmental Management*, 108, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.033>

Garay Román, J., & Rivero Méndez, J. (2014). Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo de café, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca, 2014 Biosystem to purify wastewater from wet processing of coffee, district La Coipa, department Cajamarca, 2014. *Manglar*, 11(1), 43–50.

Garde, W. K., Buchberger, S. G., Wendell, D., & Kupferle, M. J. (2017). Application of Moringa Oleifera seed extract to treat coffee fermentation wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 329, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.01.006>

Gomes de Barros, V., Rodrigues, C. S. D., Botello-Suárez, W. A., Duda, R. M., Alves de Oliveira, R., da Silva, E. S., Faria, J. L., Boaventura, R. A. R., & Madeira, L. M. (2020). Treatment of biodigested coffee processing wastewater using Fenton's oxidation and coagulation/flocculation. *Environmental Pollution*, 259, 113796. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113796>

Gunther, G., Fernando, H., & Pérez Teresa, Z. (2007). Chemical oxygen demand reduction in coffee wastewater through chemical flocculation and advanced oxidation processes. *Journal of Environmental Sciences*, 19, 300–305.

Gutiérrez Guzmán, N., Valencia Granada, E., & Aragon Calderon, R. A. (2014). EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DE CAFÉ (*Coffea arabica*). *Colombia Forestal*, 17(2), 151. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a02>

Hernández, M. A., González, A. J., Suárez, F., Ochoa, C., Candela, A. M., & Cabeza, I. (2018). Assessment of the biohydrogen production potential of different organic residues in Colombia: Cocoa waste, pig manure and coffee mucilage. *Chemical Engineering Transactions*, 65(July), 247–252. <https://doi.org/10.3303/CET1865042>

Ibáñez-moreno. (2021). *Diseño de una planta de tratamientos de aguas miel de Kilamupi café Wastewater treatment system design for Kilamupi café Projeto de estação de tratamento de água de mel para café Kilamupi*. 6(3), 1039–1061. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2420>

- Iriondo-Dehond, A., Rios, M. B., Herrera, T., Rodriguez-Bertos, A., Nuñez, F., Andres, M. I. S., Sanchez-Fortun, S., & Del Castillo, M. D. (2019). Coffee silverskin extract: Nutritional value, safety and effect on key biological functions. *Nutrients*, *11*(11). <https://doi.org/10.3390/nu11112693>
- Kondo, M. M., Leite, K. U. C. G., Silva, M. R. A., & Reis, A. D. P. (2010). Fenton and photo-fenton processes coupled to uasb to treat coffee pulping wastewater. *Separation Science and Technology*, *45*(11), 1506–1511. <https://doi.org/10.1080/01496395.2010.487451>
- Morales Rojas, E., Oliva Cruz, S. M., Rascón Barrios, J., Milla Pino, M. E., Villegas Rivas, D. A., & Chavez Quintana, S. G. (2020). Sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la Provincia de Rodríguez de Mendoza, Perú. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, *7*(1), 84–90. <https://doi.org/10.23850/24220582.2918>
- Murthy, P. S., & Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. *Resources, Conservation and Recycling*, *66*, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Navia, D. P. P., de Velasco, R. J. M., & Hoyos, J. L. C. (2011). Production and evaluation of ethanol from coffee processing by-products. *Vitae*, *18*(3), 287–294.
- Neu, A. K., Pleissner, D., Mehlmann, K., Schneider, R., Puerta-Quintero, G. I., & Venus, J. (2016). Fermentative utilization of coffee mucilage using *Bacillus coagulans* and investigation of downstream processing of fermentation broth for optically pure l(+)-lactic acid production. *Bioresource Technology*, *211*, 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.122>
- Orrego, D., Zapata-Zapata, A. D., & Kim, D. (2018). Ethanol production from coffee mucilage fermentation by *S. cerevisiae* immobilized in calcium-alginate beads. *Bioresource Technology Reports*, *3*, 200–204. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.08.006>
- Peralta, Y. M., Sanabria, N. R., Carriazo, J. G., Moreno, S., & Molina, R. (2015). Catalytic wet hydrogen peroxide oxidation of phenolic compounds in coffee wastewater using Al-Fe-pillared clay extrudates. *Desalination and Water Treatment*, *55*(3), 647–654. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.920279>
- Pires, J. F., Schwan, R. F., & Silva, C. F. (2019). Assessing the efficiency in assisted depuration of coffee

processing wastewater from mixed wild microbial selected inoculum. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7398-z>

Rahmadyanti, E., Wiyono, A., & Aritonang, N. (2020). Combination of phytocoagulant moringa oleifera seeds and constructed wetland for coffee processing wastewater treatment. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(1), 728–745.

Rossmann, M., Matos, A. T., Abreu, E. C., Silva, F. F., & Borges, A. C. (2013). Effect of influent aeration on removal of organic matter from coffee processing wastewater in constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 128, 912–919. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.045>

Said, N. S. M., Abdullah, S. R. S., Ismail, N., ‘Izzati, Hasan, H. A., & Othman, A. R. (2020). Phytoremediation of real coffee industry effluent through a continuous two-stage constructed wetland system. *Environmental Technology and Innovation*, 17, 100502. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100502>

Selvamurugan, M., Doraisamy, P., Maheswari, M., & Nandakumar, N. B. (2010). Evaluation of Batch Aeration as a Post Treatment for Reducing the Pollution Load of Biomethanated Coffee Processing Waste Water. *Global Journal of Environmental Research*, 4(1), 31–33.

Tacias-Pascacio, V. G., Cruz-Salomón, A., Castañón-González, J. H., & Torrestiana-Sanchez, B. (2018). Wastewater Treatment of Wet Coffee Processing in an Anaerobic Baffled Bioreactor Coupled to Microfiltration System. *Current Environmental Engineering*, 6(1), 45–54. <https://doi.org/10.2174/2212717806666181213161302>

Torres-Valenzuela, L. S., Sanín-Villarrea, A., Arango-Ramírez, A., & Serna-Jiménez, J. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista ION*, 32(2), 59–66. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>

Torres, J. A., Chagas, P. M. B., Silva, M. C., Dos Santos, C. D., & Corrêa, A. D. (2016). Enzymatic oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater. *Water Science and Technology*, 73(1), 39–50. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.332>

Valdespino-León, M., Calderón-Domínguez, G., De La Paz Salgado-Cruz, M., Rentería-Ortega, M., Farrera-Rebollo, R. R., Morales-Sánchez, E., Gaona-Sánchez, V. A., & Terrazas-Valencia, F.

(2020). Biodegradable Electrospayed Pectin Films: An Alternative to Valorize Coffee Mucilage. *Waste and Biomass Valorization*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01194-z>

Villanueva-Rodríguez, M., Bello-Mendoza, R., Wareham, D. G., Ruiz-Ruiz, E. J., & Maya-Treviño, M. L. (2014). Discoloration and organic matter removal from coffee wastewater by electrochemical advanced oxidation processes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 225(12). <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2204-6>

Wu, D., Zhang, B., Li, C., Zhang, Z., & Kong, H. (2006). Simultaneous removal of ammonium and phosphate by zeolite synthesized from fly ash as influenced by salt treatment. *Journal of Colloid and Interface Science*, 304(2), 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.09.011>

Yadira, P. S. B., Sergio, S. T., Fernando, S. E. L., Sebastian, P. J., & Eapen, D. (2014). Bioethanol production from coffee mucilage. *Energy Procedia*, 57, 950–956. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.077>