

Sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la Provincia de Rodríguez de Mendoza, Perú

Coffee wastewater treatment system in the Province of Rodríguez de Mendoza, Peru

Eli Morales Rojas¹; Segundo Manuel Oliva Cruz²; Jesús Rascón³; Manuel Emilio Milla Pino⁴; Danny Alberto Villegas Rivas⁵; Segundo Grimaldo Chávez Quintana⁶

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Instituto de Investigación para el Desarrollo sustentable de Ceja de Selva INDES-CES, Amazonas, Perú. ✉ eli.morales@untrm.edu.pe

²Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Instituto de Investigación para el Desarrollo sustentable de Ceja de Selva INDES-CES, Amazonas, Perú. ✉ manuel.oliva@untrm.edu.pe

³Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Instituto de Investigación para el Desarrollo sustentable de Ceja de Selva INDES-CES, Amazonas, Perú. ✉ jesus.rascon@untrm.edu.pe

⁴Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, Perú. ✉ manuel.milla@unj.edu.pe

⁵Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental, Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, Perú. ✉ danny_villegas1@yahoo.com

⁶Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Instituto de Investigación para el Desarrollo sustentable de Ceja de Selva INDES-CES, Amazonas, Perú. ✉ segundo.quintana@untrm.edu.pe

Recibido 24.06.2020 / Aceptado: 04.11.2020

Resumen: En el beneficio del café se genera grandes volúmenes de aguas mieles con alto contenido de materia orgánica, ocasionando impactos al medio ambiente. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue evaluar tres sistemas de tratamiento de aguas mieles de café. Se comparó un filtro un físico (arena, carbón, piedra de río), un filtro biológico con jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor* L.) y, un sistema con coagulantes naturales con moringa (*Moringa oleífera* L.) y tuna (*Opuntia ficus-indica*). Se realizaron mediciones cada 15 días (entre mayo y junio de 2019), los datos se procesaron en el software R. Los resultados explican una función discriminante lineal de 0,9355, indicando que el filtro físico y el filtro biológico lograron reducir los parámetros de sólidos disueltos totales (SDT) de 3,266 mg.L⁻¹ a 2,55 mg.L⁻¹ y fosfatos (PO₄³⁻) de 2,763 mg.L⁻¹ a 0,975 mg.L⁻¹ existiendo diferencia significativa entre los tratamientos.

Palabras clave: Agua residual; Beneficiadero de café; Parámetros fisicoquímicos.

Abstract: Large volumes of coffee wastewater with a high content of organic matter are generated in the processing of coffee, causing impacts on the environment. That is why the objective of this work was to evaluate three systems of water treatment of coffee wastewater. A physical filter (sand, coal, river stone), a biological filter with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and duckweed (*Lemna minor* L.) and a system with natural coagulants with moringa (*Moringa oleífera* L.) were compared. and prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). Measurements were made every 15 days (between May and June 2019); data were processed in the R software. The results explain a linear discriminant function of 0.9355, indicating that the physical filter and the biological filter managed to reduce the parameters of Total dissolved solids (TDS) from 3,266 mg.L⁻¹ to 2.55 mg.L⁻¹ and phosphates (PO₄³⁻) from 2,763 mg.L⁻¹ to 0.975 mg.L⁻¹, with a significant difference between treatments.

Keywords: Waste water; Coffee mill; Physicochemical parameters.

Introducción

La industria cafetalera es productora de altos volúmenes de aguas mieles de café, que una vez liberadas al medio ambiente, pueden afectar a las aguas subterráneas, superficiales y del suelo, por su alta resistencia orgánica y pH ácido (Coniglio et al. 2008; Torres et al., 2016); este impacto se agrava en los centros de despulpe de café que se encuentran ubicados en zonas montañosas, cerca de ecosistemas frágiles (Álvarez et al., 2011).

Las aguas mieles de café provocan un aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) en ríos y embalses por encima de 2500 mg.L^{-1} de O_2 , y una elevada presencia de sólidos en suspensión que neutralizan la iluminación solar, dependiendo del volumen de agua utilizado en el beneficio del café (Cervantes et al., 2015; Claass, 2003). La magnitud del problema ambiental se incrementa debido a que las aguas poseen adicionalmente un intenso color oscuro, el cual puede interferir con la radiación solar hacia los organismos acuáticos y alterar la cadena trófica de cualquier cuerpo de agua si estas son vertidas sin un tratamiento previo (Ibarra-Taquez et al., 2018).

El agua es un factor principal para el prebeneficio del café, necesario en el despulpado y lavado. Las organizaciones cafetaleras cuentan con acceso al agua proveniente de ríos, quebradas y vertientes usándose grandes volúmenes, dificultando la estimación del gasto y la contaminación (López, 2017). La importancia de tratar las aguas mieles de café radica en la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua generada a partir del lavado (Hernández e Hidalgo 2000; Rodríguez, 2000).

En un estudio en el sur del Huila en Colombia, construyeron un prototipo a escala de laboratorio compuesto por un sedimentador y un filtro en serie, simulando el mismo tipo de sistema y condiciones operacionales del lavado de café. Los resultados mostraron eficiencias de remoción de sólidos suspendidos superiores al 95 % y la remoción de DBO_5 al 20 % (Gutiérrez et al., 2014). Con el fin de eliminar nitrógeno y

fósforo en aguas domésticas. En otro estudio, aplicaron biofiltros de aserrín y bagazo de caña de azúcar asemejándose a un filtro físico (Costa, 2013).

La aplicación de coagulantes químicos, que incluye la remoción de especies en suspensión, tiene un gran costo. Sin embargo, se tiene como alternativa el uso plantas naturales. Una de ellas es la tuna, que ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de agua residual (Choque et al., 2018), y la semilla de la moringa, como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales, puede disminuir la turbidez en 2000 a 91,5 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (Mera-Alegría et al., 2016).

Los tratamientos alternativos, a través del aprovechamiento de plantas para absorber y acumular compuestos orgánicos, ofrecen ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad (Delgadillo et al., 2011; Rodríguez et al., 2010; Hoyos et al., 2016). Normalmente se usan las plantas de jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor* L.), las cuales presentan una remoción de 70 % y 86 %, respectivamente (Rodríguez et al., 2010). Es así que la remediación de las aguas mieles de café con plantas acuáticas, trae beneficios para la población, evitando la proliferación de plagas y enfermedades de manera que se pueda reaprovechar para riego de cultivos (Garay y Rivero, 2016). Esta investigación tuvo como objetivo evaluar tres sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la cooperativa Alta Montaña, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Amazonas, Perú.

Materiales y métodos

Lugar de ejecución del experimento

El experimento se instaló, en el Distrito de Huambo, Provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas, en la Cooperativa Cafetalera Alta Montaña con coordenadas $6^{\circ}25'58.06''$ S y

77°31'43.55"O a una altitud 1675 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 19,2 °C y una precipitación de 876 mm anuales.

Diseño y distribución de los sistemas biológicos

Las aguas residuales obtenidas del primer lavado de café, se condujeron por gravedad a un tanque de almacenamiento a través de un sistema de tuberías de una pulgada (1"). El sistema de almacenamiento contó con una capacidad de 1000 l, dimensiones de 100 cm * 100 cm *100 cm profundidad. El tanque se estructuró con madera y fue forrado con plástico negro. Para evitar fugas de agua se tarrajeó con cemento blanco.

El sistema de tratamiento se compuso por un filtro físico, un filtro biológico y un filtro con coagulantes de origen vegetal, construidos con las mismas características del tanque de almacenamiento. El sentido del flujo del agua residual fue descendente (Figura 1). El filtro 1, denominado "filtro físico" (PM2), se conformó con una primera capa de piedra pequeña de río de 1" con volumen de 0,18 m³, la segunda capa de arena de río con volumen de 0,3 m³ y la tercera capa por 0,06 m³ de

carbón de madera. El filtro 2, denominado "filtro biológico" (PM3), se conformó con 15 plantas de lenteja de agua (*Lemna minor* L.) con un tamaño promedio de 12 cm de altura y 15 plantas de jancito acuático (*Eichhornia crassipes*) con 13 cm de altura promedio. El filtro 3, denominado "filtro de coagulantes naturales" (PM4), fue constituido con 5 kg de semillas de *Moringa oleífera* y 5 kg de *Opuntia ficus-indica* L., ambas trituradas en polvo.

Metodología

Se realizaron muestreos de agua con periodicidad de 15 días durante dos meses consecutivos (mayo a junio de 2019), con un total de tres muestreos por cada punto de muestreo establecido (PM1=Agua miel de café en condiciones normales, PM2=Filtro físico, PM3=Filtro biológico, PM4=Filtro de coagulantes de origen vegetales). Los muestreos se realizaron a la salida de cada tanque. La recolección de muestras, así como el traslado para el análisis en laboratorio se realizaron de acuerdo con APHA, AWWA & WEF (2017). La toma de datos para los parámetros de pH y oxígeno disuelto (OD) se realizó *in*

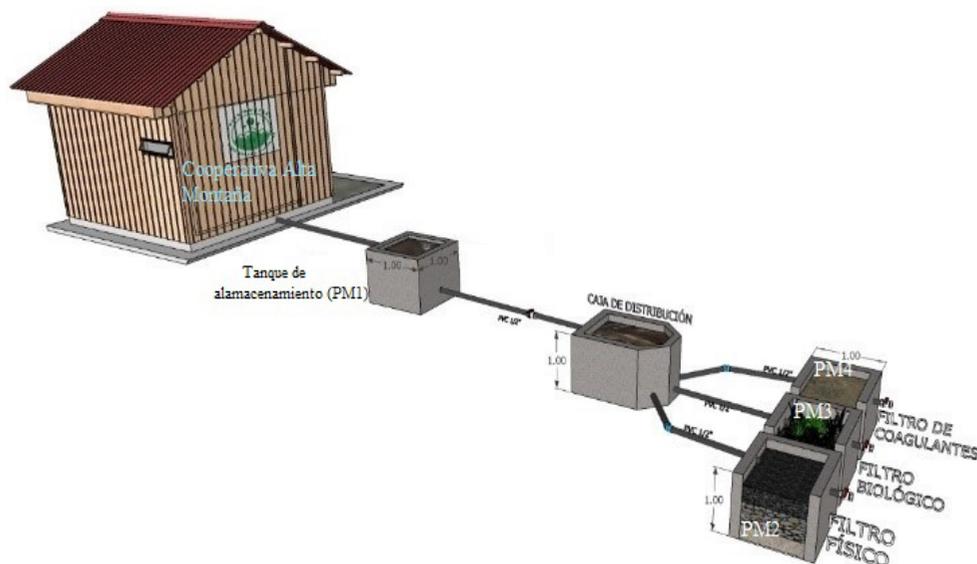


Figura 1. Diseño y distribución del sistema de tratamiento de aguas mieles de café

situ, con un medidor de agua multiparamétrico Hanna modelo HI 98194. Para los parámetros de DBO_5 , se tomaron muestras en frascos plásticos oscuros, mientras que para conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), alcalinidad, turbidez, nitratos y fosfatos, se tomaron muestras en frascos plásticos transparentes. Todas las muestras fueron refrigeradas a 4 °C durante su traslado, para su posterior análisis en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM).

Análisis de datos

El análisis de datos se realizó mediante el análisis discriminante lineal para comparar las diferencias significativas entre los parámetros a la entrada y salida del sistema. El análisis estadístico se realizó a un nivel de significancia de $p < 0.05$ con el software estadístico R v. 3.6.3 (Bunn y Korpela, 2020).

Resultados y discusión

Los resultados de la matriz de correlación de parámetros de calidad de agua (Tabla 1) presenta asociaciones cercanas a la linealidad entre algunos parámetros, por lo que se presume la existencia de colinealidad entre las covariables. En ese sentido, Gujarati y Porter (2010), señalan como regla práctica recomendable para diagnosticar multicolinealidad, observar el

coeficiente de correlación entre dos covariables. De allí que, se sugiere el uso de técnicas de análisis multivariado, como, análisis discriminante lineal, basado en las fuertes relaciones de dependencia lineal entre las covariables.

Los resultados del análisis discriminante lineal sobre datos de calidad de agua miel de café en el filtro coagulantes naturales (PM₄) se presentan en la Tabla 2. La primera función discriminante lineal (FDL₁), explica la mayor proporción de la variabilidad de los parámetros en los tres sistemas de tratamiento (0,9355) y, en consecuencia, es la que permite una mejor diferenciación de los tres puntos de muestreo. Esta función distingue fundamentalmente entre muestras con menor contenido de SDT y fosfatos, además de mayor contenido de OD. Esta primera función permite discriminar dos grupos conformados por las muestras del filtro físico (PM₂), filtro biológico (PM₃) y un grupo formado por las muestras del tanque de almacenamiento (PM₁) y el filtro de coagulantes naturales (PM₄) (Figura 2).

FDL₁=Función discriminante lineal del filtro físico (PM₂); FDL₂=Función discriminante lineal para el biofiltro (PM₃); FDL₃=Función discriminante lineal del filtro de coagulantes (PM₄).

Dado que los únicos centroides negativos en la primera función discriminante lineal corresponden a PM₂ y PM₄, se puede inferir que muestras con elevados contenidos de fosfatos y SDT se encuentran en PM₂ y PM₄, dado que los coagulantes naturales del tratamiento generan presencia de sólidos suspendidos y

Tabla 1. Análisis de correlación lineal de datos de calidad de agua.

	Turbidez	OD	CE	SDT	SST	Alcalinidad	Nitrato	Fosfato	DBO_5
pH	-0,3779	-0,1052	-0,3750	-0,1593	-0,4750	0,5078	-0,1517	0,0734	-0,5446
Turbidez		0,4244	0,4292	0,4492	0,1031	-0,0351	0,8318	0,1720	0,1867
OD			0,1735	0,5411	-0,2071	-0,4462	0,3621	-0,0967	0,1432
CE				0,1101	-0,2436	-0,2117	-0,0810	-0,0465	0,4807
SDT					-0,0485	0,1681	0,4948	0,5490	0,0773
SST						-0,4100	0,1461	-0,3009	0,4584
Alcalinidad							0,2066	0,7595	-0,5346
Nitratos								0,3957	-0,1731
Fosfatos									-0,2473

Tabla 2. Análisis discriminante lineal sobre los parámetros de calidad de agua en los tres sistemas de tratamiento.

Variable	Función discriminante lineal		
	FDL1	FDL2	FDL3
pH	1,477244706	1,586814113	-5,567736e-02
Turbidez	0,027538459	0,012481284	7,800670e-03
OD	5,135279347	-2,378153406	-2,658651e+00
CE	1,204863805	1,003598371	9,414646e-01
SDT	-13,589636221	-4,246069226	3,386373e+00
SST	0,035721101	0,002729717	4,268410e-02
Alcalinidad	-0,008864806	-0,007926159	4,533255e-05
Nitratos	-0,018749819	-0,015411554	-4,037803e-03
Fosfatos	-8,941718521	3,335564532	-1,301970e+00
DBO ₅	-0,049918140	-0,023575647	-9,061313e-03
Proporción de la traza	0,9355	0,0500	0,0145

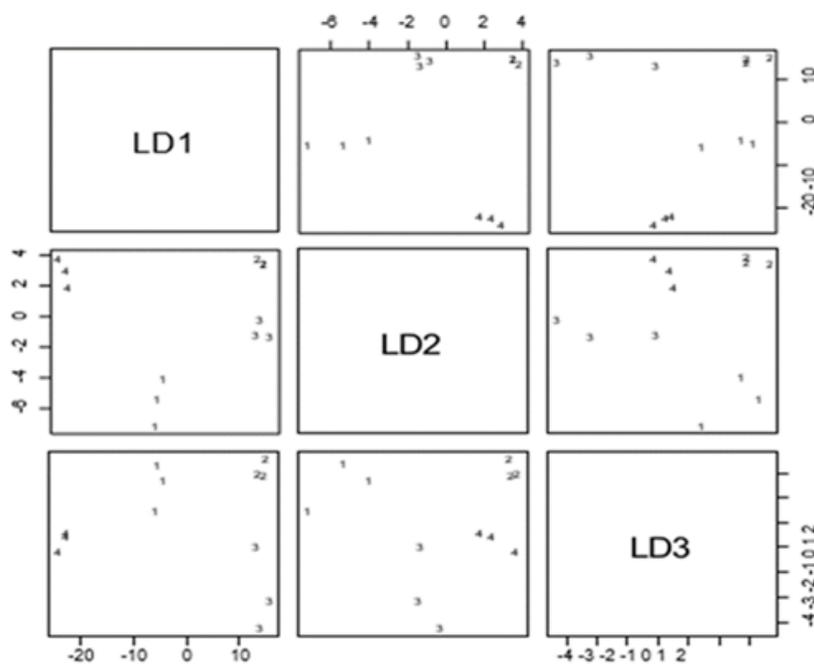


Figura 2. Proyección de los scores de calidad de agua en el plano de las funciones discriminantes lineales

está relacionada con la turbiedad, se debe al alto contenido de materia orgánica, que impide la penetración de la luz solar (Arcila y Peralta, 2015). Además, las partículas en suspensión, dispersan la luz disminuyendo la actividad fotosintética de plantas y algas, lo cual contribuye a disminuir el oxígeno del agua (Barrios, 2015).

Mientras que muestras con elevados niveles de OD se pueden encontrar en PM2 y PM3, asegurando que el efecto del filtro físico y el filtro

biológico ayudó a incrementar el OD de las aguas mieles de café. Sin embargo, otros estudios mencionan que los contaminantes orgánicos asociados con las descargas de desechos industriales, pueden reducir las concentraciones de OD (Mora et al., 2011).

La segunda función está asociada a valores positivos de fosfatos, dado que los únicos centroides positivos en esta función están vinculados con las muestras del PM2 y PM4.

Puede interpretarse que las muestras con elevados niveles de fosfatos se pueden clasificar como muestras del PM₂ y PM₄. Estos resultados sugieren una caracterización y la subsecuente comparación de estos dos grupos mediante análisis univariado en relación a los parámetros que determinan la discriminación entre las muestras, a saber: SDT, fosfatos y OD.

Los resultados de la comparación univariada del tanque de almacenamiento (PM₁) en condiciones normales, el filtro físico (PM₂) y los dos biofiltros (PM₃ y PM₄), aplicado sobre estimaciones de la calidad del agua se presentan en la Tabla 3. Es posible observar que existen dos grupos claramente diferenciados en cuanto a los niveles de fosfatos presentes en la muestra. Los fosfatos operan como nutrientes del crecimiento de algas, situación que conlleva a un proceso de eutrofización (Lavie et al., 2010). Es así que los biofiltros lograron disminuir la concentración de fosfatos, atribuyéndose al efecto de la depuración de las plantas (McEldowney et al., 1993). El OD en el filtro de coagulantes es menor, esto sucede por el consumo del OD en el agua, que determina su disminución para los seres vivos (Arteaga et al., 2014). Los SDT presentaron un comportamiento positivo en el filtro biológico y el filtro de coagulantes, que se atribuye a la precipitación de partículas (Haya, 1978). Con respecto al OD, estipulado en la normativa peruana para la calidad del agua ambiental, denominada Estándares de Calidad Ambiental para el agua (ECAs). En la categoría número 4, agua destinada para el riego de vegetales y bebida de animales, se establece como valor permisible un mínimo de 4 mg.L⁻¹ de OD, sin embargo, el agua miel de café presenta un valor inferior para OD. En consecuencia, se debería incluir en el sistema, una forma de aumentar el OD, al ser necesario para degradar los contaminantes, sobre todo la materia orgánica (Radzi et al., 2020). Mientras que para los SDT y los fosfatos no se encuentra contemplado en esta categoría de los ECAs.

Tabla 3. Comparación de media entre los cuatro puntos de muestreo en función de SDT, Fosfatos y OD

PM	Valor promedio		
	SDT mg/L	Fosfatos mg.L ⁻¹ PO ₄ ³⁻	OD mg/L
1	3,266667 a	2,7653333 a	2,4966667 a
2	3,000000 a	0,9753333 ab	2,2133333 a
3	2,556667 a	0,4433333 b	1,2833333 a
4	2,180000 a	0,2406667 b	0,9233333 a

*Letras diferentes significan grupos diferentes y letras iguales significan grupos iguales estadísticamente.

Conclusiones

Con los filtros biológicos y la incorporación de coagulantes se redujeron significativamente los valores de fosfatos y SDT, por lo que las aguas mieles tratadas con esta tecnología podrían ser empleadas en el riego agrícola. Se recomienda obtener valores experimentales con otros niveles de coagulantes y otros materiales para el filtro físico, y la combinación de ellos.

Agradecimientos

A la cooperativa cafetalera Alta Montaña del distrito de Huambo Provincia de Rodríguez de Mendoza.

Referencias

- Álvarez, J.; Smeltekop, H.; Cuba, N.; Loza, M. 2011. Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (*Coffea arabica*) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(1), 34-42. <http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v2n1/a05.pdf>
- Arcila, H.R; Peralta, J. J. 2015. Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Arteaga, M.; Garcés, N.; Guridis, F.; Pino, J. A. 2014. Una revisión sobre indicadores integradores para evaluar el impacto de las sustancias húmicas sobre el sistema suelo-agua de lixiviación (I). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 83-88. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n3/rcta13314.pdf>
- APHA, AWWA, y WEF. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (R. B. Baird, A. D. Eaton, & E. W. Rice, Eds.). Washington DC: American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment

- Federation. 1796 p.
- Barrios, R. L. A.; Sierra, C. A. S.; Morales, J. D. C. J. 2015. Bacterias resistentes a antibióticos en ecosistemas acuáticos. *Producción+ Limpia*, 10(2). 160-172. <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/906>
- Bunn, A.; Korpela, M. 2020. Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Claass, M. 2003. *Realización de una planta piloto de tratamiento descentralizada. Documentación e investigación de una pequeña planta técnicabiológica para aguas residuales de la producción del café, desde la planeación hasta la optimización* (Tesis doctoral). Facultad de Técnicas Ambientales y de Biotécnica. Fachhochschule Huyesen Friedberg, Alemania.
- Coniglio, M. S.; Busto, V. D.; González, P. S.; Medina, M. I.; Milrad, S.; Agostini, E. 2008. Application of *Brassica napus* hairy root cultures for phenol removal from aqueous solutions. *Chemosphere*, 72(7), 1035-1042. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.003>
- Cervantes, R.; Ponce de León, D.; Balmaseda, C.; Cabrera, J. R.; Fernández, L. 2015. Efecto de la pulpa de *Coffea arabica* L., sobre suelos del macizo montañoso Guamuhaya. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 38-43. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n2/rcta06215.pdf>
- Costa, M.S. 2013. Application rates and filtering materials for biofilters in house sewage. *IDESIA (Chile)*, 31(1), 5-13. <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/12635/art02.pdf?sequence=1>
- Choque-Quispe, D.; Choque-Quispe, Y.; Solano-Reynoso, A. M.; Ramos-Pacheco, B. S. 2018. Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n2/rtq08218.pdf>
- Delgadillo-López, A. E.; González-Ramírez, C. A.; Prieto-García, F.; Villagómez-Ibarra, R.; Acevedo-Sandoval, O. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Garay, J.; Rivero, J. 2016. Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo de café, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca, 2014. *Manglar*, 11(1), 43-50. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2014.006>
- Gujarati, D., Porter, D. 2010. *Econometría*. 5a. ed., McGraw-Hill, New York. 902 p.
- Gutiérrez, N.; Valencia, E.; Aragón, R.A. 2014. Eficiencia de remoción de DBO5 y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arabica*). *Colombia forestal*, 17(2), 151-159. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a02>
- Hernández, J.; Hidalgo, G. 2000. *Evaluación de 3 metodologías para reducir los niveles de contaminantes en efluentes de tratamiento primario de las aguas residuales del procesamiento de café en Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica, p. 85.
- Hoyos, A. A.; Ramirez, A.; Fernandez, V. A.; Sanchez, N. E. 2016. Water lentil (*Lemna minor*) for the treatment of waste water from the washing of fique fibre (*Furcraea bedinghausii*). *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 25-34. <https://doi.org/10.25100/iyc.v18i2.2151>
- Haya, L. 1978. Filtración lenta en arena para abastecimiento público de agua en países en Desarrollo. Manual de diseño y construcción. Documento técnico 11. Centro internacional de referencia para abastecimiento publico de agua de la OMS. 215 p <https://www.ircwash.org/sites/default/files/255.1-78FI-18897.pdf>
- Ibarra-Taquez, H. N.; Dobrosz-Gómez, I.; Gómez, M.A. 2018. Optimización multiobjetivo del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de café soluble. *Información tecnológica*, 29(5), 111-122. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500111>
- López, C. 2017. Optimización del uso del agua en el lavado del café. *Aphapi*, 3(1), 24-38. <http://www.ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/103>
- Lavie, E.; Morábito, J.; Bermejillo, A.; Filippini, M. F. 2010. Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1). https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3553/t42-1-12-lavie.pdf
- Mera-Alegría, F.; Gutiérrez-Salamanca, L.; Montes-Rojas, C.; Paz-Concha, P. 2016. Moringa oleifera effect in the sewage water treatment in cauca, Colombia. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 100-109. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)100-109](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)100-109)
- McEldowney, S., Hardman, D.J., Waite, S. (1993). Macrophyte systems for nitrate and phosphate removal. Pollution: ecology and biotreatment. *Longman Scientific & Technical, Harlow, UK*, 174-189. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB9611361>
- Mora, C. D.; Flores, H. E.; Durán, A.; Ruiz, J. A. 2011. Cambio climático y el impacto en la concentración de oxígeno disuelto en el Lago de Chapala. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe2), 381-394. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2nspe2/v2spe2a16.pdf>
- Rodríguez, A. 2000. *Programa de tratamiento para las aguas residuales del beneficiado de café en Costa Rica*. Editorial Cicafe. Heredia, Costa Rica. 200, 7p.
- Rodríguez-Miranda, J. P.; Gómez, E.; Garavito, L.; López, F. 2010. Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 59-68. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v1n1/v1n1a5.pdf>
- Radzi, M. E. Z.; Wahab, M. S.; Sahdan, M. Z.; Hamdan, R.; Zakariah, R. A. 2020. Gravitational Aeration Tower Filter System to Increase the Dissolved Oxygen Amount for Iron Removal in Groundwater. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(3), 207-215. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/5361>
- Torres, J.; Batista, P.; Silva, M.; Dos Santos, C.; Duarte, A. 2016. Enzymatic oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater. *Water Science and Technology*, 1(73), 39-50. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.332>