

Nota de Investigación

POTENCIAL DE BUCHE DE POLLO (HETERANTHERA RENIFORMIS), LENTEJILLA (LEMNA L.) Y MALANGA (COLOCASIA ESCULENTA) PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE BENEFICIADOS DE CAFÉ^{1,2}

Astrid Racancoj-Coyoy³, Ramón Torres-López⁴ y Rebecca Tirado-Corbalá^{5}*

J. Agric. Univ. P.R. 103(1):95-99 (2019)

Después del petróleo, el café es uno de los productos de comercialización más importantes en el mercado y economía mundial. En Puerto Rico, es uno de los cultivos que más aporta al ingreso bruto agrícola. La producción de café sostiene de manera directa e indirecta en promedio a 200,000 residentes de la zona central de la Isla, representando aproximadamente el 47% del empleo agrícola (Donald, 2004; Flores, 2011). El proceso de beneficiado es el segundo eslabón entre la producción agrícola y la primera fase agroindustrial del café. Técnicamente, consiste en una serie de procesos a los que es sometido el fruto del café para eliminar todas sus cubiertas y transformarlo en pergamino seco. El proceso tradicional de beneficiado utiliza gran cantidad de agua que usualmente se extrae de ríos o fuentes subterráneas. Si las aguas residuales generadas durante el proceso de beneficiado del café se devuelven a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento, se pueden alterar las características físicas, químicas y biológicas por la carga de componentes orgánicos agregados (Olguín et al., 2001; Zayas et al., 2007).

La fitorremediación es una tecnología que utiliza especies vegetales para remover, contener o degradar contaminantes mediante los mecanismos biológicos innatos de la planta; es sustentable y de relativo bajo costo (Reichenauer y Germida, 2008; Miretzky et al., 2004). Los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes pueden ser de tres tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción y volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones óxido-reducción y fotoquímicas), y biológicos (resultado del metabolismo microbiano de plantas o de procesos de bioadsorción) (Delgadillo et al., 2011; Rylott y Bruce, 2009). La fitorremediación utiliza la luz solar como fuente de energía, no produce contaminantes secundarios y los recursos como el agua y la biomasa de las plantas se pueden reciclar (Eapen et al., 2007; Núñez et al., 2004). En Puerto Rico, no hay información de la aplicación de esta tecnología para el manejo de aguas residuales de los beneficiados de café.

La presente investigación fue diseñada para evaluar el potencial de dos macrófitas [buche de pollo (*Heteranthera reniformis*) y lentejilla (*Lemna L.*)], y una especie terrestre [malanga (*Colocasia esculenta*)] para mejorar las características químicas de las aguas re-

¹Manuscrito sometido a la Junta Editorial el 31 de mayo de 2018.

²Se agradece la colaboración del agrónomo/agricultor Luis Ángel Curbelo, propietario de la finca "La Perla" de donde se recolectó la pulpa de café y las aguas residuales del proceso de beneficiado seco que se utilizaron en el ensayo.

³Estudiante graduado, Departamento de Ciencias Agroambientales, Box 9000, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00681.

⁴Catedrático, Departamento de Ciencias Agroambientales, Box 9000, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00681.

⁵Investigadora Asociada, Departamento de Ciencias Agroambientales, Box 9000, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00681. *Autor para correspondencia. Tel.: 787-370-9179. Correo electrónico: rebecca.tirado@upr.edu.

siduales provenientes de beneficiados de café. El experimento se estableció en un sistema hidropónico en la casa malla localizada en la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. El diseño experimental utilizado fue uno completamente aleatorizado (DCA) con los tratamientos distribuidos en arreglo factorial (2×3). Se tenían dos tipos de aguas a tratar (agua recolectada del beneficiado seco y agua proveniente de la pulpa fermentada), tres tipos de plantas (malanga, lentejilla y buche de pollo) con tres repeticiones. En noviembre de 2017 se recolectó la pulpa de café y las aguas residuales del proceso de beneficiado seco en una finca privada ubicada en el barrio Bateyes en Mayagüez a $18^{\circ}20' N$ y $67^{\circ}06' O$. El agua residual recolectada se diluyó con agua destilada en una relación 1:7, la pulpa se fermentó por 24 horas colocando 18 L de agua por cada kilogramo de pulpa. En 18 contenedores de poliestireno (Styrofoam) según correspondía, se colocaron 18 L de cada tipo de agua residual. Según el contenedor se colocaron 500 g de buche de pollo, 200 g de malanga y 100 g de lentejilla (Figura 1). Se instaló un sistema de aireación que permaneció activo 24 horas diarias durante todo el experimento, utilizando una bomba ActiveAqua de 6 watts de 15 L por minuto. Utilizando una sonda multi-paramétrica YSI profesional plus^{®6} se determinaron el pH y la conductividad eléctrica (CE) de cada unidad experimental, en cuatro tiempos de retención hidráulica (TRH): a 11, 18, 25 y 31 días. La cosecha de las plantas se realizó a los 31 días de establecido el experimento. El material cosechado se secó en un horno por un período de 48 horas a $65^{\circ} C$ y se calculó la materia seca ($kg MS/m^3$ de agua). El material seco se procesó utilizando un molino tipo Wiley y se pasó por un cedazo de 1 mm. Se realizó el análisis de nitrógeno (N) según el método de Kjeldahl (Foss, 2002) y se calculó la proteína ($N \times 6.25$). Los nutrientes de las plantas cosechadas se determinaron mediante el método de "Dry ashing", detectando la concentración de los elementos por espectrometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, 1996). Los análisis de nutrientes se realizaron en la Estación de Investigación de Agricultura Tropical del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, en Mayagüez (USDA-TARS, por sus siglas en inglés).

Los efectos de las plantas se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el PROC GLIMMIX del paquete estadístico "Statistical Analysis System" versión 9.4 (SAS, 2009). Cuando existieron diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó una separación de medias utilizando los cuadrados mínimos (LSMEANS) ajustados según Tukey. Las variables de pH y CE se analizaron en PROC GLIMMIX con arreglo de medidas repetidas en el tiempo. Se utilizaron contrastes ortogonales para analizar las características de las plantas.

El buche de pollo no se adaptó al sistema hidropónico y murió a los 23 días de establecido el experimento. En este estudio no se encontró interacción ($p > 0.05$) entre el tipo de planta y el tipo de agua para pH. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) según el tipo de agua residual y el TRH. A los 11 días de establecido el experimento se obtuvo un pH de 7 y 8 para el agua del beneficiado y el agua de la pulpa fermentada, respectivamente. A los 31 días de establecido el experimento, el pH del agua de la pulpa cambió en una unidad igualando el pH del agua de beneficiado que era de 8. Se encontró interacción ($p < 0.05$) entre las plantas y el tipo de agua para la CE, y entre las plantas y el TRH (Cuadro 1). En todos los TRH la CE del agua de pulpa fue mayor que la CE del agua del beneficiado. A los 11 días el agua de la pulpa fermentada presentó mayor CE (398 $\mu S/cm$) con respecto al agua de beneficiado (255 $\mu S/cm$) (Cuadro 2). La lentejilla presentó los valores más bajos de CE en el agua de beneficiado comparada con los valores registrados por la malanga (Cuadro 3).

⁶Los nombres de compañías y de marcas registradas solo se utilizan para proveer información específica y su uso no constituye garantía por parte de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, ni endoso sobre otros productos o equipo que no se mencionan.

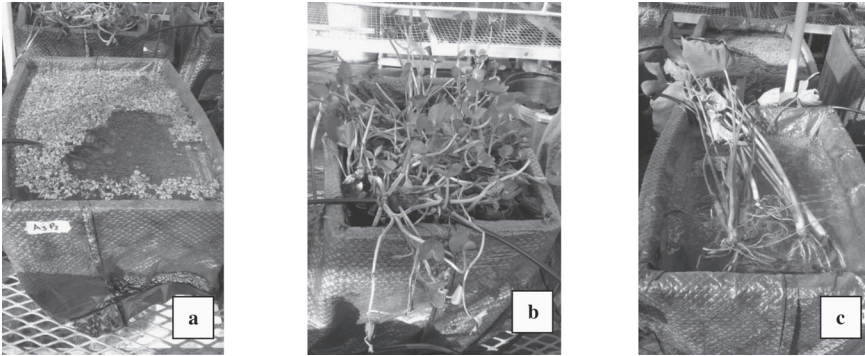


FIGURA 1. Plantas utilizadas en el experimento: lentejilla (a), buche de pollo (b) y malanga (c) establecidas en las neveras de poliestireno.

No se encontró interacción ($p > 0.05$) entre la planta y el tipo de agua para biomasa. Contrastes ortogonales (malanga versus lentejilla) mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para rendimiento entre las especies. La malanga presentó valores de 1.67 kg MS/m^3 de agua, mientras que la lentejilla presentó menor rendimiento, siendo de 0.14 kg MS/m^3 de agua. La capacidad limitada de las macrófitas de acumular biomasa obliga a realizar retiros periódicos para permitir el crecimiento de nuevas plantas emergentes (Celis et al., 2005). Los sistemas hidropónicos no se limitan únicamente a especies de plantas acuáticas, se pueden utilizar especies terrestres con sistemas radiculares extensos, que tengan buena capacidad de acumulación de compuestos inorgánicos y producción de biomasa (Dushenkov y Kapulnik, 2000). Algunas plantas pueden ser cosechadas fácilmente, y una vez cosechadas se pueden identificar posibles usos para la biomasa y proveer algún recurso económico, tales como: la incorporación como fertilizante, la manufactura de cartón, la producción de combustibles, el uso como material absorbente de colorantes y metales pesados o para alimentación animal (Obek y Hasar, 2002).

No se encontró interacción ($p > 0.05$) entre la especie de planta y el tipo de agua para la concentración de nutrientes de las plantas. Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en las concentraciones de nutrientes y niveles de proteína entre las especies cosechadas. Se reporta un 18 y 32% de proteína para malanga y lentejilla, respectivamente. La lentejilla presentó las mayores concentraciones en N y fósforo (P) en comparación a la malanga, también puede hacer disponibles otros micronutrientes como hierro (Fe), aluminio (Al) y zinc (Zn) (Cuadro 4). El contenido proteínico de la lentejilla junto con su

CUADRO 1.—*Parámetros estadísticos de conductividad eléctrica.*

Factor	Pr >F
Tipo de agua	<0.0001
Tipo de planta	0.0014
TRH ¹	<0.0001
Agua × tipo de planta	0.0018
Agua × TRH	<0.0001

¹Tiempo de retención hidráulica

CUADRO 2.—Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) según el tipo de agua en los diferentes tiempos de retención hidráulica.¹

Tipo de agua	Tiempo de retención hidráulica (días)			
	11	18	25	31
Beneficiado	255 b	327 b	438 b	520 b
Pulpa fermentada	398 a	475 a	688 a	806 a
Pr >F	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

¹Valores dentro de la misma columna representan promedios. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

CUADRO 3.—Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) según tipo de agua y planta.¹

Planta	Tipo de agua	
	Fermentada	Beneficiado
Malanga	589	422 a
Lentejilla	498	306 b
Pr >F	0.125	0.002

¹Valores dentro de la misma columna representan promedios. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

CUADRO 4.—Contenido de nutrientes de las plantas después de la cosecha.¹

	Malanga	Lentejilla	p<0.05
<i>Macronutrientes (%)</i>			
N	2.80 b	5.09 a	<0.0001
P	0.36 b	0.71 a	<0.0001
K	6.91 a	2.63 b	<0.0001
Ca	1.58	1.49	0.5390
Mg	0.34 b	0.51 a	0.0020
<i>Micronutrientes (mg/kg)</i>			
Fe	62.6 b	856 a	0.0030
Mn	24.5 a	237 b	0.0090
B	25.4	23.6	0.5430
Al	53.6 b	723 a	0.0030
Zn	75.3 b	324 a	0.0004

¹Valores dentro de la misma fila representan promedios. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

alta palatabilidad y su facilidad de suministro, la hace opción ideal para alimentación de cerdos, aves, ganado o peces (Arroyave, 2004; Olgún y Hernández, 1998).

En conclusión, en este estudio se confirma que la fitorremediación es una alternativa que permite mitigar los impactos ambientales generados por la industria cafetalera, al mejorar las características químicas de las aguas residuales. Se identifica a la lentejilla

como especie remediadora de aguas residuales de beneficiados de café por el potencial de rizofiltración que demostró en este estudio. La lentejilla demostró efectos sobre el pH y conductividad eléctrica de las aguas residuales. Además de su fácil manejo y cosecha, también presentó los valores más altos en proteína (38%), característica que le confiere una ventaja como alternativa para la alimentación animal.

LITERATURA CITADA

- Arroyave, M., 2004. La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una planta acuática promisoría. *Revista EIA* (1) 33-38.
- Celis, J., J. Junod y M. Sandoval, 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria* 14 (1):17-25.
- Delgado, A., C. González, F. Prieto, J. Villagómez y O. Acevedo, 2011. Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales* 14(2): 597-612.
- Donald, P., 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18 (1): 17-37.
- Dushenkov, S. y Y. Kapulnik, 2000. Phytofiltration of metals. In: *Phytoremediation of toxic metals using plants to clean up the environment* (Eds. I. Raskin y B.D. Ensley). Wiley, New York. pp. 89-106.
- Eapen, S., S. Singh y S. D'Souza, 2007. Advances in development of transgenic plants for remediation of xenobiotic pollutants. *Biotechnology Advances* 25: 442-451.
- Flores, C., 2011. Informe empresa de café, 2011. Estación Experimental Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas. Río Piedras, Puerto Rico. 29 p.
- Foss, T., 2002. The determination of nitrogen according to Kjeldahl using block digestion and steam distillation, Application Note, Höganäs, Sweden.
- Miretzky, P., A. Saralegui y A. Fernández, 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere* 57: 997-1005.
- Núñez, R., Y. Meas, R. Ortega y E. Olguín, 2004. Fitorremediación: fundamentos y aplicación. *Ciencia*. 69-82 p.
- Obek, E. y H. Hasar, 2002. Role of duckweed (*Lemna minor* L.) harvesting in biological phosphate removal from secondary treatment effluents. *Fresenius Environmental Bulletin* 11 (1): 27-29.
- Olguín, E. y E. Hernández, 1998. Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater. Institute of Ecology, Environmental Biotechnology. Vancouver.
- Olguín, E., G. Sánchez, G. Mercado, D. Márquez y J. Vásquez, 2000. Evaluación de los costos sociales y económicos del incumplimiento de la legislación y normas ambientales derivados de la agroindustria en el Estado de Veracruz y una alternativa de solución. *En: M. Bañuelos, (coord.), Sociedad, derecho y medio ambiente. Conacyt/SEP/UAM/ Semarnap/Profepa, México, pp. 319-258.*
- Olguín, E., G. Sánchez, G. Mercado, E. Hernández y T. Pérez, 2001. Contribución al rescate de tres de las principales cuencas del estado de Veracruz, mediante el desarrollo, promoción y transferencia de tecnologías limpias. Reporte a SIGOLFO (Conacyt), 135 pp.
- Perkin-Elmer, 1996. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry*. The Perkin-Elmer Corporation. Norwalk, Connecticut, USA. 300 p.
- Reichenauer, T. y J. Germida, 2008. Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater. *ChemSusChem*. 1: 708-717.
- Rylott, E. y N. Bruce, 2009. Plants disarm soil: engineering plants for the phytoremediation of explosives. *Trends Biotechno.* 27: 73-81.
- SAS, 2009. *SAS User Guide*. Statistical Analysis Institute Inc. Cary, NC.
- Zayas, T., G. Geissler y F. Hernandez, 2007. Chemical oxygen demand reduction in coffee wastewater through chemical flocculation and advanced oxidation processes. *Journal of Environmental Sciences* 19(3): 300-305.