

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

Juan Garay Román¹, José Rivero Méndez²

Resumen

Una de las formas más comunes, en la ceja de selva peruana, de contaminación del medio ambiente es con el agua residual del beneficio húmedo de café, como lo vienen haciendo los caficultores del distrito La Coipa, provincia de San Ignacio, Departamento de Cajamarca. El tratamiento para depuración de estas aguas en tiempo de campaña de cosecha de café (abril – setiembre) de cada año, fue posible con la construcción de un biosistema o humedal con macrófitas sembradas como *Eichhornia crassipes* ("Jacinto acuático"), donde se retenía las aguas de lavado de café. El análisis del agua residual de despulpado de café, al inicio del experimento presentó una DBO₅: 5847 mg/L y ST: 7977 mg/L; ambas son descargadas a quebradas de las fincas cafetaleras, cuyo impacto total fue DBO₅ igual a 13134 mg/L, ST equivalente a 19332 mg/L, como resultado de la exposición de ácidos carboxílicos menores. Al cabo de 50 días en el biosistema, el agua que sale del humedal artificial tenía una DBO₅ de 98 mg/L y ST de 148 mg/L, y un pH alrededor de 5; con lo cual cumple las normas ambientales que establece los límites máximos permisibles para arrojar aguas utilizadas a los cauces de aguas dulces como quebradas o ríos. El biosistema con "jacinto acuático" alcanzó una reducción para la DBO₅ de 86,57 % y para ST de 98,14 %.

Palabras clave: Café, agua residual despulpado café, biosistema, *Eichhornia crassipes*.

Abstract

One of the most common forms, in the Peruvian jungle eyebrow, environmental pollution is the waste water from the wet processing of coffee, as they have done growers La Coipa district, province of San Ignacio, department Cajamarca. Treatment for purification of these waters in time of campaign coffee harvest (April - September) of each year, was made possible with the construction of a biosystem or wetland macrophytes planted as *Eichhornia crassipes* ("Water Hyacinth"), where it is retained the washings of coffee, analysis of wastewater from coffee pulping at the beginning of the experiment presented a BOD₅: 5847 mg/L and ST: 7977 mg/L; both are discharged to streams of coffee farms, whose full impact was equal to 13 134 BOD₅ mg/L, equivalent to 19332 mg/L, as a result of exposure to lower carboxylic acids ST. After 50 days in the biosystem, the water leaving the artificial wetland had a BOD₅ of 98 mg/L and ST 148 mg/L, and a pH of about 5; which it complies with environmental regulations that establishes the maximum permissible limits used to throw water to the rivers and freshwater streams or rivers. The biosystem with "water hyacinth" achieved BOD₅ reduction of 86,57% and 98,14% ST.

Keywords: Coffee, coffee pulping wastewater, biosystem, *Eichhornia crassipes*.

Introducción

La caficultura es la principal actividad agrícola en los valles de la selva peruana y los mayores rendimientos se obtienen en Junín, Cajamarca y San Martín, donde se tiene el 64 % de la producción nacional. La investigación se realizó en el caserío Llano Grande del distrito La Coipa en los valles bajos de los ríos Chinchipe y Tabaconas en la provincia de San Ignacio, Cajamarca. El problema de contaminación por las aguas residuales del beneficio húmedo del café, es que genera en los cauces de aguas superficiales un gran aumento de la contaminación orgánica (expresada como demanda bioquímica de oxígeno – DBO₅ y la demanda química de oxígeno – DQO), un aumento de la concentración de materia suspendida, generación de olores desagradables, turbidez y pérdida de la calidad visual.

Para obtener el café (*Coffea arabica*, var. *Typica*, principalmente, Palomino 2014) en calidad pergamino, que es el estado comercial para su venta, se requiere alrededor de 10 L de agua/kg de café fresco, esto es, se gasta 1 m³ de agua dulce por cada 1,7 quintales de café. Si se conoce que la provincia de San Ignacio produce alrededor de 50 mil quintales anuales, y asumiendo el gasto de agua en la relación mencionada; por campaña se tendría una contaminación aproximada de 29 411 000 litros de agua dulce, que atenta contra el principal recurso ambiental que se tiene.

El impacto ambiental del procesamiento de café vía húmeda es el excesivo uso de agua y la generación de aguas residuales con altos niveles de contaminación orgánica, que se expresan en una DBO en el rango de 2 400–21 900 mg/L, sólidos totales por encima de 5 000 mg/L; además, el pH de las aguas oscila entre 4 y 5, que constituye en conjunto una forma de contaminación severa del agua (Borges, Matos y De Pinto, 2000).

Son dos los procesos de beneficiado del café: seco y húmedo. El beneficiado húmedo que

utiliza agua como medio de despulpado, otorga la ventaja de fermentar y secar al café en un tiempo de 2 ó 3 días aproximadamente. En cambio el beneficiado en seco, no utiliza agua pero requiere un mínimo de 20 ó 30 días (Bello *et al.*, 1993). La mejor alternativa de tratamiento para depurar las aguas contaminadas está en función de la finalidad para la que se destinará el efluente. El diseño del sistema de tratamiento es consecuencia de la caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales del beneficio húmedo del café para finalmente convertir el efluente en inocuo para el medio ambiente. Son dos los contaminantes mayores de estas aguas: DBO₅ y los sólidos en suspensión; y en menor grado, las sustancias coloidales disueltas. Las diferentes alternativas de depuración se clasifican en función del rendimiento de depuración.

En diferentes trabajos de investigación se han realizado estudios de caracterización físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales generadas por el beneficio del café, todos ellos tienen en común la expresión de elevados contaminantes orgánicos y minerales (elevado DBO, DQO, ST - sólidos totales, SD - sólidos disueltos y SS - sólidos suspendidos) valores independientes de la variedad del grano de café y de la calidad del agua empleada para el beneficio húmedo de café.

Hazelip (1998), utilizó para el beneficio húmedo del café (despulpado) 4,5 litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco y en el lavado del café realizado después de 24 horas, empleó 15 litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco.

Lardé y Saravia (1997), realizaron mediciones en 31 fincas en El Salvador reportando el consumo promedio de agua de 10,4 L/kg de café pergamino seco. En otros países (Hill and Jenkins, 1989) se reportan demandas de agua para el mismo proceso, como Colombia (1 - 6 L/kg), Cuba (4 - 17 L/kg), Kenia (4 - 6 L/kg), Nicaragua (4 - 9 L/kg), Nueva Guinea (4 - 8 L/kg), Vietnam (4 - 15 L/kg), México (8 - 10 L/kg).

También, Hill and Jenkins (1989), encontraron que el café colombiano arrojaba una agua residual de despulpado con una DBO de 8 122, una DQO de 13 635 mg/L, sólidos totales de 12 198 mg/L, pH aguas de despulpado entre 3,72 y 4,53; y pH para agua de lavado en el rango 3,73 y 4,21; mientras que el café de Kenia presentaba una DBO de 6 821, un DQO de 11 858 ppm, sólidos totales de 12 831 mg/L, sólidos disueltos de 11 188 mg/L y sólidos suspendidos de 1 643 mg/L. Archila (1985) empleó técnicas tradicionales de microbiología para el café

brasileño, determinando la presencia de grupos aerobios mesófilos, coliformes totales y fecales, estreptococos fecales o enterococos y globalmente, los hongos y levaduras, además encontró que en la etapa de fermentación del mucílago se produjo gran proliferación microbiana, las pruebas para patógenos *Clostridium perfringen*, *Shigella* y *Salmonella* arrojó negativo, debido a que los bajos valores de pH de estas aguas, no favorecieron su proliferación.

Material y Métodos

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en las fincas del caserío Llano Grande del distrito La Coipa en los valles bajos de los ríos Chinchipe y Tabaconas (4°18' a 5°28' de latitud sur y desde 78°57' a 79°23' de longitud oeste, dentro de la provincia de San Ignacio ubicada a 1324 m.s.n.m. (78°59'15" longitud oeste y los 05°07'35" latitud sur), del Departamento de Cajamarca. El tratamiento para depuración de estas aguas en tiempo de campaña de cosecha de café (abril - setiembre) del año 2014.

Objeto de estudio

El objeto de estudio fue el agua residual que se generó por el despulpado de café y por cada kilogramo de café en calidad per-

gamino. Se gastó 4 litros de agua en el despulpado y 6 litros para el lavado (Figura 1a); por cada 100 kg de café se arrojan 68 kg de pulpa, cáscara y mucílago. Las aguas que discurren del beneficio húmedo se las denomina aguas mieles de café. Después del despulpado sigue drenando agua contaminada hasta el día siguiente, actividad necesaria para la fermentación del grano (Figura 1b)

El agua residual del café llega a los cursos de agua por gravedad (Figura 2a) y causa contaminación y eutrofización, hasta llegar a la cuenca del río Tabaconas (Figura 2b), reduciendo el oxígeno disuelto del agua, y generando gran impacto de contaminación ambiental.



Figura 1. Despulpado de café a), y drenaje del agua contaminada para fermentación del grano b)

Variables:

Variable independiente: Biosistema, *Eichhornia crassipes* ("jacinto acuático")

Variable dependiente: Parámetros químicos: DBO₅, ST, pH.

Otros: Nitrógeno Kjeldahl (ppm), Azúcares totales (ppm)



Figura 2. Agua residual de despulpado de café hacia cursos de agua a), y desagüe en la cuenca del río Tabaconas b)

Procedimientos

Se determinó el tipo de contaminación existente, a través de:

Análisis físico, para determinar los sólidos totales de la muestra contaminada.

Análisis químico, para determinar el grado de contaminación del agua residual valorada en DBO₅ y pH.

Análisis bacteriológico, para determinar el nivel de bacterias patógenas en el agua residual.

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio Rivelab SAC de la ciudad de Trujillo.

Métodos y Técnicas

Dado que el biosistema es un tratamiento secundario, se aplicó un modelo similar al propuesto por Hammer (1991), que para un filtro percolador también es un tratamiento secundario.

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{A_{exp}}{Q} [-0,7 (K_T) (A_v)^{1,75} (L) (W) (y) (n)]^2 \quad \text{----- (1)}$$

Donde:

C_e = Concentración DBO₅ del efluente, mg/L.

C_o = Concentración DBO₅ del afluente, mg/L.

A = Fracción de DBO no removida como sólidos sedimentables a la entrada del sistema, es una variable que depende de la calidad del agua (es una fracción decimal).

K_T = Constante de primer orden dependiente de la temperatura, d⁻¹

A_v = Superficie específica de actividad microbiológica, m²/m³.

L = Longitud del sistema, m.

W = Ancho del sistema, m.

y = Profundidad promedio del sistema, m.

n = porosidad del sistema (espacio disponible para el paso del agua) como fracción decimal.

Q = caudal promedio en el sistema, m³/d.

El factor A, adquiere un valor estimado entre 0,70 y 0,85, que es el que corresponde a tratamientos secundarios.

El valor A_v en filtros percoladores y biodiscos corresponde en su totalidad al área mojada, para el caso del biosistema acuático será la medida del área superficial de la porción de la vegetación y que está en contacto con el agua residual. Por tanto, el valor de A_v será 15,7 m²/m³ que es un valor recomendado por Sauter and Leonard (1997). Dado que el área superficial del biosistema (A_s) es igual a (W)(L) se hace posible sustituir y reordenar la ecuación (1) para poder estimar el área requerida para el tratamiento biológico.

$$A_s = \frac{Q [\ln(C_o) - \ln(C_e) + \ln(A)]}{K_T (y)(n)} \quad \text{---- (2)}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal, m².

K_T = K₂₀ (1,06)^(T-20),

K₂₀ = 0,2779 d⁻¹

n = 0,65 – 0,75 (valores menores son para vegetación densa y madura).

A_v = 15,7 m²/m³.

La ecuación (2) puede brindar el área superficial, sin embargo por la dificultad para determinar A y A_v, se realizó una segunda aproximación a partir del análisis de los datos de rendimiento de sistemas similares a esta operación.

$$C_e/C_o = e^{-K_T t} \quad \text{----- (3)}$$

$$K_T = K_{20} (1,06)^{(T-20)} \quad \text{----- (4)}$$

$$K_{20} = 0,678 \text{ d}^{-1} \quad \text{----- (5)}$$

Entonces, el área del humedal se determinó con la ecuación:

$$A_s = \frac{Q (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T (y)(n)} \quad \text{---- (6)}$$

K_T = Constante de temperatura proviene de la ecuación (4) y (5), d^{-1} .

y = profundidad del diseño del biosistema, (0,1 – 0,46 m).

n = porosidad del humedal (0,65 – 0,75)

La ecuación (6) es la que mayormente se utiliza para diseño de humedales superficiales.

Aplicando la ecuación recomendada se calculó el volumen de la poza tomando en cuenta, las variables de diseño, la construcción fue: profundidad: 0,40 m, ancho: 0,5 m y largo: 1,20 m.

Construcción del biosistema

La construcción del biosistema o humedal artificial fue utilizando los materiales existentes en las fincas cafetaleras; tal como se describe a continuación:

Se construyó una poza con estructura de cañas de bambú y cobertura interior de manta de polietileno para represar las aguas mieles y cultivar la planta “jacinto acuático”.

En las aguas mieles represadas se sembró el “jacinto acuático”, solamente colocando las sobre la superficie del agua, sin necesidad de sostenimiento artificial. Las plantas se desarrollaron con normalidad.



Figura 2. Secuencia de la construcción del biosistema o humedal artificial.

Resultados

Parámetros químicos

Los parámetros químicos pH, Nitrógeno y Azúcares totales, disminuyeron sosteniblemente desde el inicio al final del experimento que fue a las 72 horas (Tabla 1).

mente desde el inicio al final del experimento que fue a las 72 horas (Tabla 1).

Tabla 1. Evolución del pH, nitrógeno y azúcares de aguas de despulpado de café.

Parámetros químicos	Tiempo de almacenamiento (horas)			
	0	24	48	72
pH	5,7	5.6	5.4	5.1
Nitrógeno Kjeldahl (mg/L)	56,8	48,5	40,4	35,7
Azúcares totales (mg/L)	2945	2776	2683	2365

Remoción de DBO₅

La remoción de la DBO₅ en el biosistema fue efectiva hasta en menos de dos meses, lográndose disminuir de 5847 a solo 98 mg/L; asimismo el pH se incrementó de 5,1 a 6,6. Por el contrario en un sistema sin “jacinto acuático” la DBO₅ disminuyó de 5 847 solo a 4 502 mg/L (Tabla 2).

Remoción de Sólidos Totales

La remoción de los sólidos totales en el biosistema también fue efectiva hasta en menos de dos meses, lográndose disminuir de 7977 a solo 148 mg/L. Por el contrario en un sistema sin “jacinto acuático” los sólidos totales disminuyeron de 7 977 solo a 4 811 mg/L (Tabla 3).

Tabla 2. Remoción en el biosistema de la DBO₅ de agua de lavado de café despulpado

Tiempo (días)	Biosistema ^(a) DBO ₅ (mg/L)	pH	Sistema blanco ^(b) DBO ₅ (mg/L)
0	5847	5,7	5847
5	5104	5,1	5434
10	4606	5,0	5365
15	3490	5,1	5248
20	2672	5,4	5178
25	1834	5,6	4869
30	1384	5,7	4790
35	953	5,9	4694
40	583	6,2	4607
45	270	6,4	4598
50	98	6,6	4502

(a) Humedal con siembra de Jacinto acuático.

(b) Humedal sin vegetación alguna, excepto la natural.

Tabla 3. Remoción en el biosistema de sólidos totales de agua de lavado de café.

Tiempo (días)	Biosistema ^(a) sólidos totales (mg/L)	Sistema blanco ^(b) sólidos totales (mg/L)
0	7977	7977
5	7235	7632
10	6479	7102
15	5395	6543
20	4408	6234
25	3586	5743
30	2498	5567
35	1654	5286
40	995	5053
45	565	4962
50	148	4811

(a) Humedal con siembra de Jacinto acuático.

(b) Humedal sin vegetación alguna, excepto la natural.

Discusión

Las aguas procedentes del despulpado de café, almacenadas durante 72 horas, evidencian variación en su comportamiento químico. El pH tiende a bajar, que se explica por la generación de ácidos carboxílicos durante la fermentación espontánea, cuya cadena sería C3 y C4. Aunque Zuluaga y Zambrano (1993), reportaron haber encontrado ácido malónico, ácido láctico y en mayor proporción ácido cítrico; en tanto

que, Orozco (1973), menciona que a pH neutros predominan ácidos cuya cadena son de C2, como el ácido acético.

Para aguas de despulpado y las aguas de lavado de café que tienen un alto grado de contaminación orgánica (DBO: 1 3134 mg/L) se hace adecuada su degradación por varios métodos, siendo el método aeróbico en un humedal con "jacinto acuático" (*Eichhornia*

crassipes) el más recomendable por su fácil manejo por los mismos caficultores. El cultivo del “jacinto acuático” no requiere de altos niveles de capacitación, y es ideal para que los caficultores puedan emplearlo en el tratamiento de las aguas residuales (aguas mieles) en cada campaña de café. La ventaja es que *Eichhornia crassipes*, tiene buena adaptabilidad a climas tropicales (hasta 35 °C), como los que presenta el Caserío Llano Grande, en el distrito La Coipa, en el departamento de Cajamarca.

El alto contenido de materia orgánica total (agua de despulpado y agua de lavado del café) generan una DBO₅ total de 13134 mg/L, que va en desmedro del oxígeno disuelto de las quebradas y las cuencas de agua. De forma similar, la existencia de sólidos disueltos equivalente a un total de 19332 mg/L, como resultado de la exposición de ácidos carboxílicos menores. Estos valores sobrepasan las normas ambientales que establece los límites máximos permisibles peruanos; impactando negativamente sobre la fotosíntesis que debe darse de forma natural en las cuencas, impidiendo la formación de fitoplancton, alimento principal del zooplancton, que a su vez es alimento natural de los peces, cuya desaparición afecta a la población que vive en las riberas de los ríos.

El biosistema o humedal instalado en las fincas del caserío Llano Grande, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca; ha logrado descontaminar el agua residual proveniente del despulpado y lavado del café, durante los meses de cosecha, pues redujo este efluente que contenía DBO₅ de 5847 mg/L y sólidos totales de 7 977 mg/L, hasta reducirlo en 50 días a DBO₅ de 98 mg/L y sólidos totales a 148 mg/L; esto permite cumplir las normas ambientales que ordena disponer en cursos de agua con aguas residuales que contengan DBO₅ hasta de 100 mg/L y sólidos totales de 150 mg/L. El biosistema con “jacinto acuático” alcanzó una reducción para la DBO₅ de 86,57 % y para ST de 98,14 %.

Los niveles bajos de nitrógeno Kjeldahl (nitrógeno total), se deben probablemente al tratamiento anaeróbico (fermentación) al que son sometidos los residuos orgánicos como los azúcares, pues una etapa importante en esta fermentación es la acetogénesis, que viene a ser la acidificación del medio, por la producción de ácido acético, cuya descomposición dará lugar a la formación posterior del metano y dióxido de carbono. Por ello, Houbron, Larrinaga y Rustrian (2003), mencionan que las aguas mieles de café son fácilmente hidrolizadas en un reactor acidogénico.

Conclusiones

1. Las aguas residuales que se generan durante el proceso de beneficio húmedo del café, impactan agresivamente el medio ambiente por ser aguas ácidas, que ponen en riesgo de acidificar el agua dulce receptora con un pH alrededor de 5.
2. El biosistema con *Eichhornia crassipes* alcanzó una reducción para la DBO₅ de 86,57 %, y para ST de 98,14 %.
3. La instalación de un biosistema (hume-

dal artificial) con el cultivo de *Eichhornia crassipes*, en la práctica se ha convertido en una técnica alterna con cualquier tratamiento secundario, al eliminar sólidos disueltos, disminuir la DBO₅; incluso se lo puede considerar como parte de un tratamiento terciario, con la ventaja que su rendimiento de remoción de los contaminantes orgánicos es muy alto, a un costo económico bajo.

Agradecimiento

A la comunidad del caserío Llano Grande y la Sidra pertenecientes al distrito La Coipa, departamento de Cajamarca; por todo el apoyo logístico prestado para la presente investigación.

Referencias Bibliográficas

Archila G., M. 1985. *Análisis bacteriológico de aguas residuales de beneficio de café*. Bogotá

(Colombia). Tesis: Microbiólogo. Universidad de Los Andes. Facultad de Microbiología.

- Bello, R.; L. Calvo; J. Sánchez; G. Y. Lau, y R. Cuevas. 1993. *Diagnóstico de la contaminación en las aguas residuales de los beneficios húmedos de café en el Soconusco* En: XVI Congr. Lat. Cafecultura, Managua, Nicaragua, 123.
- Borges, J.D; A.T. Matos, e A.B. De Pinto. 2000. Caracterizacao das águas residuárias da lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro e possibilidade de seu uso na fertirrigacao. In: Seminario Internacional sobre Biotecnologia na Agroindústria Cafeeira, 3. Londrina (Brasil), Maio 24-28, 1999. *Anais Londrina* (Brasil), UFPR- IAPAR-IRD. p. 395-396.
- Hammer, D.A. 1991. *Constructed wetlands for wastewater treatment; Municipal, Industrial and Agricultural*. Chelsea, Michigan (Estados Unidos), Lewis Publishers. 831 p.
- Hazelip, E. 1998. Depuración natural de aguas residuales. Bioconstrucción. *Revista Estacional La Osa*. Guía de vida natural del Cantábrico. España. Accedido, enero 4 de 2008 <http://www.laosa.org/revista/6/biocons.htm>.
- Hill, D. and S. Jenkins. 1989. Measuring alkalinity accurately in aqueous systems containing high organic acid concentration. *Trans. ASAE*. 32 (6), 2175-2178.
- Houbron, E.; A. Larrinaga y E. Rustrian. 2003. Liquefaction and methanization of solid and liquid coffee wastes by two phases anaerobic digestion process. *Wat. Sci. Tech.* 48 (6), 255-262.
- Lardé, G. y L. Saravia. 1997. Infiltración y evaporación de agua del lavado del café en el beneficio EL 77, Chalchuapa, El Salvador. In: Simposio Latinoamericano sobre Caficultura, 18. San José (Costa Rica), Septiembre 16-18, 1997. *Memorias. San José* (Costa Rica), ICAFE-IICA-PRMECAFE. p 415-418.
- Sauter, G. and K. Leonard. 1997. Wetland design methods for residential wastewater treatment. *Journal of the American Water Resources Association* 33(1):155-162.
- Orozco S., R. A. 1973. Purificación de aguas residuales del beneficio del café mediante tratamiento químico. In: *Colloque Scientifique International sur le Café*, 6. Juin 4-9. París (Francia), ASIC. p. 290-296.
- Palomino, C.; C. López; R. Espejo; R. Mansilla y J. Quispe V. 2014. Evaluación de la diversidad genética del café (*Coffea arabica* L.) En Villa Rica (Perú). *Ecología Aplicada*, 13(2): 129-134
- Zuluaga V. y F. Zambrano. 1993. Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. Chinchiná, CENICAFÉ. Avances Técnicos 187, 8 p.