

537

Marzo de 2022
Gerencia Técnica /
Programa de Investigación Científica
Fondo Nacional del Café



Uso de cales para el tratamiento primario de las aguas residuales del café

El beneficio ecológico del café es aquel en el cual se utilizan menos de 10 L de agua para procesar los frutos y obtener 1 kilogramo de café pergamino seco (cps), realizando un manejo apropiado a los subproductos generados (pulpa, mucílago, aguas mieles), con la ventaja de tener un bajo impacto ambiental adverso en el ecosistema cafetero, generando productos de valor agregado (abono orgánico) y disminuyendo el tamaño de las plantas de tratamiento de las aguas residuales, al compararlo con el beneficio convencional que utiliza cerca de 40 L de agua por kilogramo de café pergamino seco.



Avances Técnicos
Cenicafé



Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Laura Vanessa Quintero Yepes
Asistente de Investigación
<https://orcid.org/0000-0002-9982-7790>

Nelson Rodríguez Valencia
Investigador Científico III
<https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>

Disciplina de Poscosecha
Centro Nacional de Investigaciones
de Café - Cenicafé
Manizales, Caldas, Colombia

DOI (Digital Object Identifier)
<https://doi.org/10.38141/10779/0537>

Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafé

Diagramación

Ma. del Rosario Rodríguez Lara

Imprenta

—

ISSN-0120-0178

ISSN-2145-3691 (En línea)

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8500707
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org

Las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio del café son biodegradables, con altos contenidos de materia orgánica, concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) superiores a 15.000 mg L⁻¹, cuando se adopta el beneficio ecológico y bajos valores de pH (Rodríguez et al., 2015).

Una de las alternativas para el tratamiento de las aguas residuales del café son los sistemas biológicos, que permiten la eliminación de más del 80% de la contaminación orgánica inicial presente en las mismas. Sin embargo, estos sistemas tienen como desventaja unos altos tiempos de retención hidráulica (aproximadamente de 1 semana) y además, requieren de monitoreo por parte del usuario de la tecnología para evitar que se presenten sobrecargas orgánicas, ya que la recuperación del sistema de tratamiento puede tardar varios meses, lo que se convierte en un inconveniente en el momento de adoptar la tecnología por parte del caficultor (Rodríguez, 2009). Una forma de optimizar el funcionamiento de estos sistemas es realizando un tratamiento primario que permita remover parte de los sólidos y de la materia orgánica presente en el agua residual.

El tratamiento químico, utilizando sales de hierro y aluminio, es una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café, dado que permite transformar los compuestos que están en forma de sólidos disueltos y coloidales en compuestos estables, y así eliminarlos por sedimentación. Sin embargo, el bajo pH del agua residual (valores entre 3,0 y 4,0) requiere de un tratamiento primario, que permita incrementar el pH del agua al rango de acción de los coagulantes, es decir, pH entre 5,0 y 11,0 (Lorenzo-Acosta, 2006; Castaño, 2011; Llano et al., 2014).

En Cenicafé se evaluaron procesos físico-químicos de neutralización y precipitación, mediante la adición de cales como una alternativa para el tratamiento primario de las aguas residuales del café. Para ello, se utilizaron tres tipos de cal, seleccionando aquella con la que se obtuvieran los menores valores de absorbancia, turbidez y pH, en los rangos requeridos para un tratamiento secundario. De igual forma, para la cal seleccionada se evaluó la eficiencia en la remoción de carga orgánica, en términos DQO y sólidos suspendidos totales (SST), parámetros utilizados por la autoridad ambiental para realizar el cobro de la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta de las fuentes de agua superficial para realizar el vertido (Decreto 2667 del 2012).

El tratamiento primario, en el contexto del tratamiento de aguas residuales, es un tratamiento posterior al preliminar (remoción de objetos grandes y abrasivos que puedan estar presentes en el agua a tratar) y tiene como propósito la remoción de la contaminación orgánica presente en forma insoluble, la cual normalmente se realiza por operaciones físicas como la sedimentación y en algunos casos por procesos químicos (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). En el tratamiento primario puede removerse entre el 40,0% al 55,0% de los sólidos en suspensión (SST) y entre el 25,0% y el 35,0% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Para ello, se emplean, entre otros, sedimentadores como tanques sépticos, tanques

Imhoff, tanques de sedimentación simple, clarificadores, tanques de flotación y tanques de precipitación química (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). En el caso de las aguas residuales del beneficio del café tratadas por digestión anaeróbica, el tratamiento primario se realiza en los reactores hidrolíticos – acidogénicos.

Los procesos de neutralización y precipitación se utilizan como tratamientos primarios de aguas residuales, cuando el pH está por debajo de 5,0, con el fin de incrementar el valor para incorporar sales químicas para la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual.

La neutralización es una reacción entre un ácido y una base. En el tratamiento de aguas residuales se utiliza para incrementar el pH de aguas ácidas o disminuir el pH de aguas alcalinas, a valores que cumplan con la exigencia de la normativa ambiental. Valores bajos de pH en el agua a tratar influyen negativamente en los rendimientos de depuración, cuando se utilizan tratamientos químicos y biológicos. Adicionalmente, vertimientos ácidos al suelo o a cuerpos de aguas superficiales ocasionan acidificación de los suelos, requiriendo la aplicación de enmiendas y mortalidad de organismos acuáticos importantes en los procesos de autodepuración de los cuerpos de agua superficial.

La precipitación hace referencia a la separación de sustancias por sedimentación, mediante la adición de productos químicos que reaccionan con los contaminantes presentes en el agua para formar compuestos insolubles en ella y con densidades mayores, facilitando su separación por la gravedad.

Utilización de cales en el tratamiento de aguas residuales

Diferentes estudios reportan que, compuestos como el óxido de calcio, el hidróxido de calcio, el carbonato de calcio, entre otras fuentes de calcio, son útiles para realizar tratamiento primario a las aguas residuales, dado que permiten incrementar el pH, regular la alcalinidad, y reducir la presencia de sólidos y de carga orgánica (Orozco, 1973; Cordero, 1977; Lardé, 1996; Sevillano, 2017).

Dentro de los aspectos relevantes de estos estudios se encuentra el uso de cal apagada (hidróxido de calcio) para el tratamiento de aguas residuales del café con concentraciones de sólidos totales en un rango entre 7.100 a 18.500 mg L⁻¹, encontrando dosis óptimas entre 0,4 y 0,6% p/v y remociones del 39,7% en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (Larde, 1996).

Evaluación del uso de cales en el tratamiento primario de las aguas residuales del café

Para evaluar el efecto de las fuentes de calcio en el tratamiento de las aguas residuales del café provenientes del lavado en el tanque tina, se realizaron pruebas con tres tipos de cal: cal apagada (hidróxido de calcio), cal agrícola y cal dolomita, las cuales se evaluaron a cinco concentraciones. Se aplicó la cal en 500 mL del agua residual del café en agitación a 120 rpm durante 5 minutos, seguidamente se agitó a 60 rpm durante 25 minutos y, finalmente, se sedimentó (a temperatura ambiente) por 24 horas, de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 3903. La selección de la cal apropiada para el tratamiento del agua se realizó con base en las variables absorbancia, turbidez y pH. En la Figura 1 se ilustra el aspecto del agua residual antes y después de agregar la cal.



Figura 1. Aspecto del agua residual antes y después de agregar la cal.

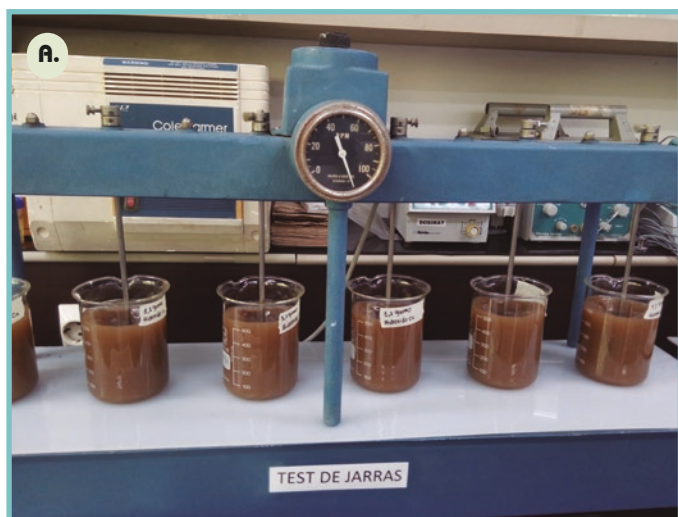
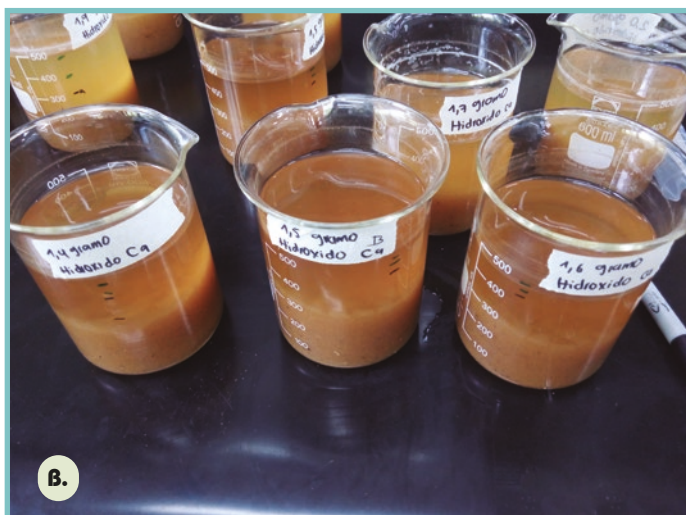


Figura 2. Prueba de jarras utilizado en el tratamiento primario del agua residual del café. A. Agitación de la muestra de agua residual y cal. B. Sedimentación del material coagulado, a las 24 horas.



B.

Los mejores resultados se obtuvieron cuando se utilizó cal apagada (hidróxido de calcio), entre 4.000 a 4.600 mg L⁻¹, con una dosis óptima de 4,63 mg L⁻¹, obteniendo los menores valores de absorbancia (0,588 a 0,613) y turbidez (734 a 773), así como valores de pH de 7,89 a 8,09, en los rangos de acción de algunos coagulantes químicos, adecuados para el tratamiento

secundario al agua residual del café. Con esta cal se alcanzan porcentajes de remoción en la carga orgánica expresada como DQO cercanos al 50% y de los SST superiores a 75%.

La selección de cal apagada como un producto de utilidad en el tratamiento de las aguas residuales del café

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del agua residual del café después del tratamiento primario con hidróxido de calcio (promedio de cinco repeticiones).

| Dosis de cal apagada (mg L ⁻¹) | DQO inicial 25.000 mg L ⁻¹ | | SST inicial 2.700 mg L ⁻¹ | |
|--|---------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|
| | DQO final (mg L ⁻¹) | Remoción (%) | SST final (mg L ⁻¹) | Remoción (%) |
| 4.000 | 12.874 | 48,5 | 674 | 75,0 |
| 4.600 | 13.046 | 47,8 | 564 | 79,1 |
| 5.200 | 15.800 | 36,8 | 511 | 81,1 |

se ajusta a lo encontrado en otras investigaciones, con otro tipo de aguas residuales, en las cuales se menciona que el hidróxido de calcio es una base que reacciona contra la acidez, elevando el pH. Adicionalmente, es un producto económico con capacidad de precipitar metales y sólidos que se encuentran disueltos facilitando su remoción; por lo cual, es utilizado en diversos tratamientos químicos (Tejada, 2017).

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica del agua residual del café después de realizar el tratamiento con cal apagada en el rango en el cual se presentaron los menores valores de absorbancia y turbidez.

De acuerdo con las caracterizaciones fisicoquímicas del agua residual, después del tratamiento primario con cal apagada, se alcanzaron valores promedio de remoción de carga orgánica en términos de DQO entre 36,8% y 48,5% y de SST entre 75,0% y 81,1%.

En la Figura 3 se observan las capas de separación en el agua (sedimentos, agua clarificada y sobrenadante) después de realizar el tratamiento primario con cal apagada.

En la Figura 4 se presenta el proceso completo para el tratamiento primario, con cal apagada, de las aguas residuales del café provenientes del tanque tina.

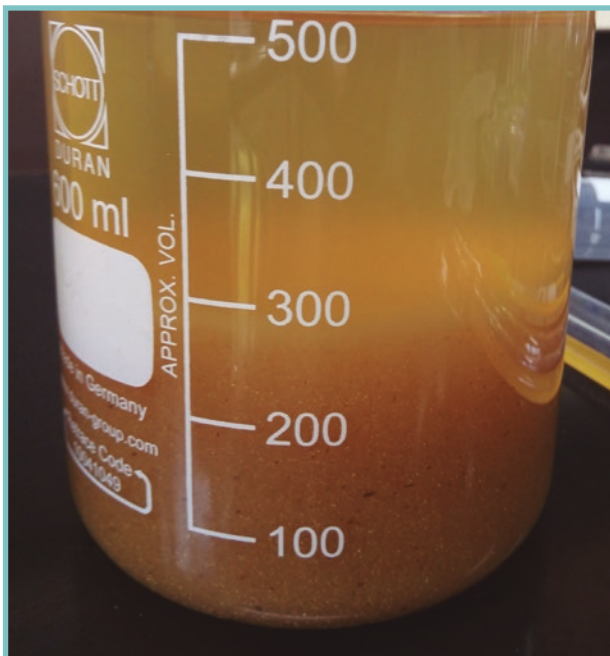


Figura 3. Aspecto del agua después del tratamiento primario con cal apagada. Se aprecian 3 capas de arriba hacia abajo: agua clarificada, sobrenadante y sedimento.



Figura 4. Procedimiento para el tratamiento primario del agua residual del café con cal apagada. **A.** Ingreso del agua al tanque, **B.** Adición de la cal, **C.** Agitación y precipitación, **D.** Aspecto final del agua residual después de la separación de lodos.

Literatura citada

- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA], & Water Pollution Control Facility [WPCF]. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Cordero, O. (1977, mayo). Tratamiento de los residuos del café. Método: precipitación química y sedimentación acelerada. *IV Congreso de Ingenieros de los Comités de Cafeteros*. Neiva, Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2006). *NTC 5424:2006 Productos químicos básicos para la industria agrícola. Enmiendas inorgánicas*. <https://tienda.icontec.org/gp-productos-quimicos-basicos-para-la-industria-agricola-enmiendas-inorganicas-ntc5424-2006.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2010). *NTC 3903:2010 Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras*. <https://tienda.icontec.org/gp-procedimiento-para-el-ensayo-de-coagulacion-floculacion-en-un-recipiente-con-agua-o-metodo-de-jarras-ntc3903-2010.html>
- Lardé, G. (1995, octubre 23-27). Efecto coagulante del hidróxido cálcico en aguas residuales del café. En Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café Procafé & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, *XVII Simposio de Caficultura Latinoamericana* [Memorias]. IICA. San Salvador, El Salvador.
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Información Tecnológica*, 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(2), 10–17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 631 del 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Decreto Número 2667 de 2012 la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones*. <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Decreto2667.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18911>
- Murillo -Castaño, D. M. (2011). *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada* [Tesis de Doctorado]. Universidad Tecnológica de Pereira. <http://hdl.handle.net/11059/2081>
- Olivero-Verbel, R., Florez -Vergara, A., Vega-Fellizola, L., & Villegas de Aguas, G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus y Moringa oleífera* en clarificación de aguas. *Producción+ Limpia*, 12(2), 71–79. <http://dx.doi.org/10.22507/pml.v12n2a6>
- Orozco, R. A. (1973, junio 04–09). Purificación de aguas residuales del beneficio del café mediante tratamiento químico. *Proceedings of 6th International Scientific Colloquium on Coffee*. Bogotá, Colombia. <https://www.asic-cafe.org/conference/6th-international-scientific-colloquium-green-and-roasted-coffee-chemistry>
- Rodríguez, N., Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A. (2015). *Beneficio de café en Colombia: Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/659>
- Rodríguez, N. (2009). *Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas* [Tesis doctoral no publicada]. Universidad Politécnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/4342>
- Sevillano, R. L. (2017). *Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio* [Tesis Pregrado]. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/6897>
- Tejada, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago-B* [Tesis Pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4695>

Señor caficultor

- La cal apagada o hidróxido de calcio es un producto adecuado para realizar un tratamiento primario a las aguas residuales del café, provenientes del tanque tina, ya que con este producto se obtienen bajos valores de absorbancia y de turbidez, además se logra acondicionar el pH del agua a valores en los cuales puede realizarse un tratamiento posterior con productos químicos o con tratamientos biológicos.
- El uso de hidróxido de calcio o cal apagada como alternativa para el tratamiento primario de las aguas residuales del café, permite optimizar el funcionamiento de los sistemas biológicos que actualmente se encuentran construidos y abre la posibilidad al uso de otro tipo de tratamiento como lo son los tratamientos químicos con sales de hierro y aluminio.
- Bajo las condiciones evaluadas en este estudio, la mejor dosis de cal apagada para aguas residuales del café provenientes del tanque tina fue de **4,63 kg/m³** de agua residual; con lo cual se logran remociones de carga orgánica, en términos de DQO cercanas al 50% y de SST superiores al 75%, disminuyendo los costos de los tratamientos posteriores, necesarios para dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente.

