

Tipificación del beneficio del café en Colombia

Relación con el consumo de agua,
generación de vertimientos y
huellas hídricas azul y gris



Nelson Rodríguez Valencia
Juan Rodrigo Sanz Uribe
César Augusto Ramírez Gómez
Laura Vanessa Quintero Yepes
Carlos Alfonso Tibaduiza Vianchá



Tipificación del beneficio del café en Colombia

Relación con el consumo de agua, generación de vertimientos y huellas hídricas azul y gris

Nelson Rodríguez Valencia*

Juan Rodrigo Sanz Uribe*

César Augusto Ramírez Gómez**

Laura Vanessa Quintero Yepes***

Carlos Alfonso Tibaduiza Vianchá***

*Investigador Científico III. <https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>,
<https://orcid.org/0000-0001-9875-9426>,

**Investigador Científico I. <https://orcid.org/0000-0002-4773-4090>,

***Asistente de Investigación. <https://orcid.org/0000-0002-9982-7790>,
<https://orcid.org/0000-0002-7053-0942>, Disciplina de Poscosecha

Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.



COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público

José Manuel Restrepo Abondano

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Rodolfo Enrique Zea Navarro

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

María Ximena Lombana Villalba

Director del Departamento Nacional de Planeación

Luis Alberto Rodríguez

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros

Marcela Uruña Gómez

Período 1° enero/2019 - diciembre 31/2022

José Eliecer Sierra (Antioquia)

José Alirio Barreto (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Danilo Reinando Vivas (Cauca)

Juan Camilo Villazón (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar (Magdalena)

Jesús Armando Benavides (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Luis Javier Trujillo Buitrago (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

GERENTE GENERAL

Roberto Vélez Vallejo

GERENTE ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO

Juan Camilo Becerra Botero

GERENTE COMERCIAL

Juan Camilo Ramos Mejía

GERENTE TÉCNICO

Hernando Duque Orrego

DIRECTOR INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Álvaro León Gaitán Bustamante

ISSN

0120-047X

ISSN

2711-4732 (En línea)

DOI

10.38141/10782/046



Créditos

Edición de textos

Sandra Milena Marín L.

Diseño y diagramación

Óscar Jaime Loaiza E.

Fotografías

Archivo Cenicafé

Impreso por

2021

ISSN

0120-047 X

ISSN

2711-4732 (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.

El uso de nombres comerciales en esta publicación tiene como propósito facilitar su identificación y en ningún momento su promoción.

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

www.cenicafe.org

Comité Editorial Cenicafé

Pablo Benavides M.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña Z.
Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé

Diana María Molina V.
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión de textos y corrección de estilo

Sandra Milena Marín L.
M.Sc. Esp., Ing. Agrónoma. Divulgación y Transferencia, Cenicafé

Citación APA 7ed:

Rodríguez-Valencia, N., Sanz-Uribe, J. R., Ramírez, C. A., Quintero-Yepes, L., & Tibaduiza, C. A. (2021). Tipificación del beneficio del café en Colombia, relación con el consumo de agua, generación de vertimientos y huellas hídricas azul y gris. *Boletín Técnico Cenicafé*, 46, 1–40. <https://doi.org/10.38141/10782/046>



Tabla de CONTENIDO

1. Introducción	6
2. Tipificación del beneficio	6
Beneficio convencional o tradicional del café	6
Beneficio en transición a ecológico	7
Beneficio ecológico del café	7
Beneficio ecológico del café sin vertimientos	8
3. La huella hídrica	8
4. ¿Cómo lograr cero vertimientos en el proceso de beneficio?	9
¿Qué es un procesador de pulpa tipo invernadero?	11
¿Qué es un filtro verde?	12
5. Indicadores ambientales en el proceso de beneficio del café	14
Índice de manejo del agua en el beneficio del café	14
Índice de calidad ambiental en el beneficio del café	18
Características del beneficio ecológico	19
6. Tipificación de los beneficiaderos de café	20
Tipificación de los beneficiaderos convencionales de café	20
Tipificación de los beneficiaderos de café en transición a ecológico	21
Tipificación de los beneficiaderos ecológicos de café	21
Tipificación de los beneficiaderos ecológicos de café sin vertimientos	28
7. Huella hídrica de los diferentes tipos de beneficio	29
Huella Hídrica Azul (HHa)	29
Huella Hídrica Gris (HHg)	33
Huella Hídrica Total (HHt) del proceso de beneficio	33
Literatura citada	39

1. Introducción

En Colombia, para el proceso de beneficio de café, a través del tiempo han surgido diferentes tecnologías, cada vez más eficientes en el uso de agua, energía eléctrica y mano de obra. La adopción de las nuevas tecnologías de beneficio ha sido paulatina en las fincas cafeteras colombianas, por lo que aún se encuentran beneficiaderos con tecnologías tradicionales, sin la optimización del consumo de los recursos agua y energía, que generan impactos ambientales adversos al ambiente. Conscientes del cuidado del medio ambiente y alineados con la visión de una caficultura 100% sostenible, se ha propuesto una clasificación o tipificación de beneficiaderos en relación al uso de agua y manejo de la contaminación que se genera en el proceso, dado que el tipo de beneficio utilizado en la transformación del fruto en café pergamino seco tiene una gran influencia en el volumen de agua consumido, y en el volumen y la concentración de carga contaminante de las aguas residuales generadas.

Tecnologías de beneficio que utilicen bajos volúmenes

de agua contribuyen al uso eficiente y ahorro del recurso hídrico, permitiendo una mayor disponibilidad de agua en las microcuencas cafeteras para el sostenimiento del propio ecosistema y para satisfacer la demanda doméstica, así como la demanda por otras actividades productivas de los pobladores de la microcuenca. Como ventaja adicional se tiene que, menores consumos de agua generan menores volúmenes de aguas residuales, favoreciendo el manejo de las mismas y disminuyendo los volúmenes requeridos de las plantas de tratamiento, para realizar la depuración de las aguas residuales hasta alcanzar los parámetros de calidad exigidos por la normativa Colombiana para descargas a cuerpos de agua superficial, definida en la Resolución 631 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS (2015) o al suelo, según el Decreto Único 1076 y Decreto 50 del MADS (2015, 2018).

En este Boletín Técnico se hace una actualización de la clasificación del beneficio del café en relación al consumo de agua y al manejo de contaminación hídrica, se presentan equipos y procesos que permiten cambiar de categoría y clasificación del beneficio, hasta llegar a beneficiaderos que consumen bajos volúmenes de agua y no generan vertimientos. De igual forma, se presentan indicadores ambientales en el proceso de beneficio del café y valores de las huellas hídricas azul y gris para los diferentes tipos de beneficiaderos establecidos en Colombia.

En la actualidad, los beneficiaderos en Colombia, de acuerdo al consumo de agua y al manejo de la contaminación se clasifican en cuatro tipos: beneficio convencional, beneficio en transición a ecológico, beneficio ecológico y beneficio ecológico sin vertimientos.

2. Tipificación del beneficio

Beneficio convencional o tradicional del café

Con este nombre se conoce al proceso que tradicionalmente se ha utilizado en Colombia para procesar el fruto de café hasta obtener el café pergamino seco (cps) y en el cual se utiliza agua en las etapas de despulpado, lavado y transporte (del fruto hasta las tolvas de recibo, del café despulpado y del café lavado hasta las unidades de secado), con un consumo global cercano a los 40 L de agua para obtener 1,0 kg de

cps (Zuluaga & Zambrano, 1993; Roa et al., 1999), en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos o su manejo es limitado.

Beneficio en transición a ecológico

Con este nombre se conoce al proceso convencional que ha integrado tecnologías de ahorro de agua en algunas de sus etapas, como por ejemplo, el uso del tanque sifón con recirculación para la clasificación hidráulica del fruto o el uso de desmucilaginosos y lavadores mecánicos para la remoción del mucílago, pero que los consumos globales de agua siguen siendo mayores a 10 L kg^{-1} de cps. En esta categoría también se incluye el beneficio convencional que ha integrado prácticas para el manejo de la pulpa en procesadores techados o sistemas de tratamiento para las aguas residuales del beneficio, pero el cálculo de sus indicadores de manejo de agua y de calidad ambiental no permite clasificarlos como beneficio ecológico, siendo necesario que se adopten más prácticas de ahorro de agua y manejo de la contaminación en las diferentes etapas del proceso.

Beneficio ecológico del café

Es un proceso de beneficio de café, amigable con el ambiente, que permite obtener los cafés de alta calidad física y de taza, característicos de Colombia. Se define como “el conjunto de operaciones realizadas para transformar el fruto en café pergamino seco, conservando la calidad exigida por las normas de comercialización, evitando pérdidas del producto y eliminando procesos innecesarios, lográndose además el aprovechamiento de los subproductos lo cual representa el mayor ingreso económico para el caficultor y la mínima alteración del agua estrictamente necesaria en el beneficio” (Roa et al., 1999). Los beneficiaderos ecológicos se caracterizan por cumplir dos características fundamentales:

- A.** Que el consumo global de agua en el beneficio del café sea menor a 10 L kg^{-1} de cps.
- B.** Que se realice manejo parcial o total a los subproductos (pulpa y mucílago) generados en el proceso de beneficio, con la aplicación de buenas prácticas (Rodríguez et al., 2015).

Otras características son:

- 1. *El despulpado y transporte de la pulpa se realiza sin agua.*** Al despulpar sin agua se evita el 74% de la contaminación potencial de los recursos hídricos, por la disposición de los subproductos del beneficio, sin afectar el funcionamiento de la máquina despulpadora ni la calidad del producto (Álvarez, 1991).
- 2. *La remoción del mucílago se realiza de forma natural, mecánica o con aplicación de enzimas,*** utilizando desmucilaginosos (Oliveros et al., 1998; Oliveros et al., 1999), lavadores mecánicos (Oliveros et al., 2013) o tanques de fermentación (Zambrano, 1993). Permite lavar y clasificar el café, con consumo específico de agua inferior a 5 L kg^{-1} de cps.
- 3. *La transformación de la pulpa se realiza en procesador*** con el área correspondiente a la producción y debidamente techado.

4. Se realiza control de la contaminación mediante el aprovechamiento de los subproductos. La pulpa proveniente de un despulpado sin agua puede ser aprovechada para el cultivo de hongos comestibles y medicinales (Rodríguez & Jaramillo, 2005 a, b), para larvicultura (Giraldo et al., 2019), para la producción de abono orgánico (Blandón et al., 1998; Dávila & Ramírez, 1996) o para la producción de bioenergía (Rodríguez & Zambrano, 2010).

5. Se disminuye el consumo de agua. Contabilizadas las etapas de clasificación del fruto, lavado y clasificación de la semilla y lavado de los equipos, el consumo global de agua es menor a 10 L kg⁻¹ de cps.

6. Disminución de agua en el transporte del café. Se utiliza la gravedad o tornillos sinfín para transportar el café despulpado a los tanques de fermentación y bombas sumergibles con separador agua-café y recirculación de agua, para transportar el café lavado a las unidades de secado.

En el proceso de beneficio ecológico, la clasificación hidráulica utilizando la técnica de la doble caneca (Oliveros et al., 2020), la tolva seca o con recirculación de agua, la fermentación natural y el lavado y clasificado del grano en tanques de fermentación utilizando la técnica de los enjuagues (Zambrano, 1993) o el Ecomill® LH-300 (Oliveros et al., 2017), se recomiendan para caficultores con producciones menores a 1.000 kg de frutos de café, en el día pico o día de máximo acopio de frutos de café en el beneficiadero. Para caficultores con producciones mayores a 1.000 kg de frutos de café, en el día pico, se recomienda la clasificación hidráulica del fruto, con el uso del separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín (Oliveros et al., 2007), tolvas secas o húmedas con recirculación, remoción de mucílago con el uso de desmucilagadores (tecnología Becolsub) o por vía de fermentación con lavadores mecánicos (tecnología Ecomill®) y tanque con bomba sumergible y recirculación para el transporte de café lavado.

Beneficio ecológico del café sin vertimientos

Es aquel beneficio en el cual se hace un uso racional del agua y se tratan los subproductos generados (pulpa, mucílago, aguas residuales), de forma que no se generen

vertimientos en el proceso. Para ello los lixiviados generados en el proceso de descomposición de la pulpa son recirculados permanentemente sobre el material en descomposición hasta lograr su incorporación completa y las aguas tratadas provenientes de los sistemas de tratamiento son postratadas en sistemas de filtros verdes y sus efluentes recirculados nueva y completamente en este sistema.

3. La huella hídrica

Es un indicador que permite determinar el consumo de agua y la contaminación generada para la producción de un bien o servicio (Hoekstra et al., 2011). Para el caso del beneficio del café es un indicador que permite determinar a través de su huella verde o azul, el consumo de agua proveniente de la lluvia o de una fuente superficial para la transformación del fruto en café pergamino seco y el impacto generado por las aguas residuales (huella hídrica gris), medido como la cantidad de agua proveniente de una fuente natural necesaria para diluir la contaminación del agua residual generada, de forma que la calidad del

agua final esté catalogada como apropiada para sus diferentes usos (Rodríguez et al., 2020).

4. ¿Cómo lograr cero vertimientos en el proceso de beneficio del café?

Para lograr cero vertimientos, en el proceso de beneficio del café, es imprescindible el empleo de buenas prácticas como el despulpado sin agua y el transporte de la pulpa y del café despulpado sin el uso de agua. Cumplidas estas recomendaciones, dependiendo de la infraestructura, de las tecnologías de beneficio instaladas en la finca y del costo de su implementación, pueden emplearse solas o combinadas las siguientes prácticas para el manejo de las aguas residuales y de la pulpa:

1. La mezcla de las aguas residuales provenientes de la tecnología Becolsub o de la tecnología Ecomill ® con la pulpa que está en proceso de descomposición en el procesador (Figura 1) y la recirculación completa sobre la pulpa,



Figura 1. Adición de aguas-mieles a la pulpa.

de los lixiviados generados, hasta su agotamiento. Para este caso, es indispensable que los equipos de desmucilaginado o lavado estén calibrados con los caudales de agua recomendados y que las aguas de lavado de pisos y equipos se direccionen hacia un sistema de filtros verdes. El agua drenada del filtro verde se debe recircular, sobre el mismo, hasta su agotamiento.

2. Dado el bajo consumo específico de agua utilizado en la tecnología Becolsub (menos de $2 \text{ L kg}^{-1} \text{ cps}$) y en la tecnología Ecomill ® (menos de $1 \text{ L kg}^{-1} \text{ cps}$) y la alta concentración de mucílago fresco y degradado en el agua residual generada, otra opción investigada en Cenicafé es la utilización del secado solar (Figura 2) o mecánico para la deshidratación de las aguas mieles, las cuales pueden transformarse en un subproducto con valor agregado (Figura 3) que puede ser utilizado como fuente de materia orgánica o nutrientes para los procesos de producción agrícola de la finca cafetera (bioabono) (Ramírez, 2011).

3. Para productores que utilicen tanques para la fermentación del mucílago y el lavado del café con volúmenes de agua inferiores a $5 \text{ L kg}^{-1} \text{ cps}$, se sugiere:

- Utilizar procesadores de pulpa tipo invernadero y adicionar a la pulpa de café, presente en el



Figura 2. Secado de las aguas-mieles.



Figura 3. Material seco de las aguas-mieles.

procesador, materiales con altos contenidos de celulosa y lignina que estén presentes en la finca, que ayuden a la retención de las aguas residuales del lavado, tales como viruta de madera, hojas secas de los cultivos de plátano y café, materiales secos provenientes de la práctica de “limpias” de los cafetales, el capacho y la tusa de maíz, la cascarilla de café. Los materiales deben acondicionarse a un tamaño de partícula de 2,0 cm para que puedan mezclarse fácilmente con la pulpa de café y para optimizar su capacidad de retención de las aguas

residuales. Sobre esta mezcla se adicionan las aguas residuales del lavado (Figura 4), los drenados generados se recirculan completamente sobre la mezcla, logrando cero descarga y la obtención de abono orgánico.

- En caso de no disponer de material fibroso y seco para adicionar al procesador de pulpa, pueden llevarse a este sólo las dos primeras cabezas de lavado (agua residual generada en los dos primeros enjuagues en el lavado del café en el tanque) y recircular por completo al procesador, los drenados generados. El agua residual del tercero y cuarto enjuagues puede tratarse en filtros verdes con recirculación completa, sobre los mismos, de los drenados generados (Figura 5).

4. Productores que tengan instalados sistemas de tratamiento de las aguas residuales del café, pueden construir a continuación de la planta de tratamiento, un filtro



Figura 4. Mezcla de aguas-mieles con materiales orgánicos en el procesador.



Figura 5. Filtro verde para el manejo de aguas residuales.

verde y recircular completamente, en este, los drenados generados para alcanzar el objetivo de cero vertimientos.

5. Realizar el reúso total de las aguas residuales del café tratadas en los términos establecidos en la Resolución 1207 del MADS “uso de aguas residuales tratadas” (MADS, 2014), o en las resoluciones que la deroguen o modifiquen, asegurando que se cumpla con los requerimientos normativos respectivos.

¿Qué es un procesador de pulpa tipo invernadero?

Es una construcción sencilla, fabricada en guadua y esterilla, aislada del suelo, techada y con paredes cubiertas en plástico, donde se almacena, deshidrata-hidrata-deshidrata y se descompone la pulpa de café, sola o mezclada con otros materiales orgánicos disponibles en la finca (acondicionados a un tamaño de partícula similar al de la pulpa de café), en abono orgánico para su posterior utilización en los procesos productivos de la finca. En esta construcción un porcentaje de las aguas mieles queda retenido por la pulpa y los materiales orgánicos, mientras que otro porcentaje de las aguas-mieles drena, por lo que es necesario recolectarlos y adicionarlos de nuevo a la pulpa hasta su agotamiento total.

Se recomienda que el procesador tenga unas columnas en concreto para mayor durabilidad en el tiempo. La pulpa de café debe provenir de un despulpado sin agua, debe transportarse al procesador sin utilización de agua y distribuirla de manera homogénea en toda el área

disponible en el primero de los compartimientos del procesador.

Debe calcularse apropiadamente el área y el volumen que debe tener el procesador de pulpa, con base en la producción anual de café.

El piso del procesador se construye preferiblemente en concreto, con una pendiente del 2% hacia el centro y frente del mismo. La pendiente permite canalizar los lixiviados hacia un drenaje, que los conduce hacia la parte externa para su recolección en un tanque destinado para tal fin.

El suelo del procesador debe impermeabilizarse colocando plástico o geomembrana que evite la infiltración de los lixiviados y colocar encima del suelo un falso piso construido en guadua, latas de guadua o esterilla que permitan el ingreso de aire fresco del ambiente, que contribuye a la deshidratación y descomposición del material orgánico, que facilita el drenaje y la recolección de los lixiviados.

Las paredes del procesador de pulpa deben forrarse en plástico y además debe colocarse un techo en

plástico o tejas de zinc, con el fin de generar un efecto invernadero en el interior del procesador, con el cual se facilite el incremento de la temperatura y la deshidratación de la pulpa. En la pared frontal y hacia la parte superior del techo se deja un espacio de 30 cm que permita la salida, por convección natural, del aire caliente y saturado de vapores de agua y de ácidos grasos volátiles producidos durante la descomposición de la materia orgánica. En uno de los lados debe construirse una puerta que permita el acceso al procesador.

Las aguas residuales del café deben adicionarse mediante un riego por goteo, levantado del piso y por gravedad sobre la pulpa esparcida en el procesador.

En la Figura 6 se muestra una secuencia de su construcción y en las Figura 7 y 8 detalles del procesador de pulpa.

¿Qué es un filtro verde?

Es una tecnología investigada por Cenicafé, para el manejo de las aguas residuales del café pretratadas, para su incorporación al suelo de forma que soporten la demanda evapotranspirativa de un cultivo herbáceo, sin que se presenten descargas de agua al suelo o fuentes de agua superficial.

Consta de cuatro elementos básicos:

1. Un tanque con capacidad para almacenar las aguas residuales del café pretratadas, que se generen en el día pico de cosecha, más los drenados que se generen del riego del área sembrada del filtro verde con las aguas residuales.
2. Un sistema de riego por goteo, a través del cual se aplica el agua residual pretratada sobre el área del filtro verde sembrada con la vegetación.
3. Un área sembrada con un material herbáceo (pasto vetiver, pasto elefante morado o especies similares), la cual debe estar impermeabilizada, utilizando material plástico o una geomembrana para evitar la infiltración en el suelo del agua residual.



1. Acondicionar el área.



2. a. Impermeabilizar el suelo con plástico o geomembrana y
b. colocar soporte para instalar un falso piso.



3. Instalar el falso piso en esterilla y con pendiente del 2% para recolectar lixiviados.



4. Forrar en plástico las paredes del procesador.



5. Dejar un espacio de ventilación para retirar el vapor de agua y gases de fermentación.



6. Disponer la pulpa en el procesador, adicionarle las aguas mieles por goteo levantado de la masa, realizarle volteos. Recolectar los lixiviados y adicionarlos de nuevo a la pulpa en el procesador hasta agotamiento de los mismos.

Figura 6. Secuencia de construcción de un procesador de pulpa tipo invernadero. Fuente: Zambrano & Cárdenas (2000).



Figura 7. Falso piso del procesador elaborado en guadua o madera rolliza.

4. Un tanque para la recolección de los drenados generados, los cuales deben ser acarreados o bombeados al primer tanque para continuar con el riego de la plantación hasta agotamiento del agua residual.

En la Figura 9 se muestra una secuencia de su construcción.

5. Indicadores ambientales en el proceso de beneficio del café

Existen dos factores que limitan la disponibilidad de agua para ser utilizada, uno de ellos es la cantidad de agua de la cual se

puede disponer y el otro es la calidad del agua disponible. En ocasiones no se dispone de la cantidad de agua necesaria para realizar un proceso y en otras, si bien se tiene la cantidad de agua, su calidad se encuentra por debajo de la necesaria para utilizarla.

De acuerdo con lo anterior, todas las actividades productivas deben propender por utilizar sólo la cantidad de agua necesaria para llevar a cabo el proceso productivo y tratar el agua residual generada en el proceso, de forma que su disposición final no altere la calidad del agua de las fuentes naturales ni la calidad del suelo.

Índice de manejo del agua en el beneficio del café

Para beneficiar el café en Colombia por métodos convencionales, se utilizan alrededor de 40 L de agua por cada kilogramo de cps obtenido, de los cuales aproximadamente la mitad se utiliza en la clasificación del fruto, el despulpado y transporte de la pulpa a los procesadores, el transporte de café despulpado a los tanques de fermentación y el transporte del café lavado a los silos de secado. Los canales de correteo, típicos en Colombia, para la clasificación y el lavado del café tienen consumos de agua entre 20 y 25 L kg⁻¹ cps.

Para cuantificar el consumo de agua en el proceso de beneficio del café y determinar su ahorro y uso eficiente, se generó el **Índice de Manejo del Agua en el Proceso de Beneficio Húmedo del Café (IMAPBHC)**. En este indicador se consideran cada una de las etapas del proceso de beneficio en las cuales se ha utilizado agua, asignándole una ponderación de acuerdo al consumo tradicional de agua. Por ejemplo, en la etapa de recibo de café es tradicional la utilización de 5 L kg⁻¹ cps, lo que

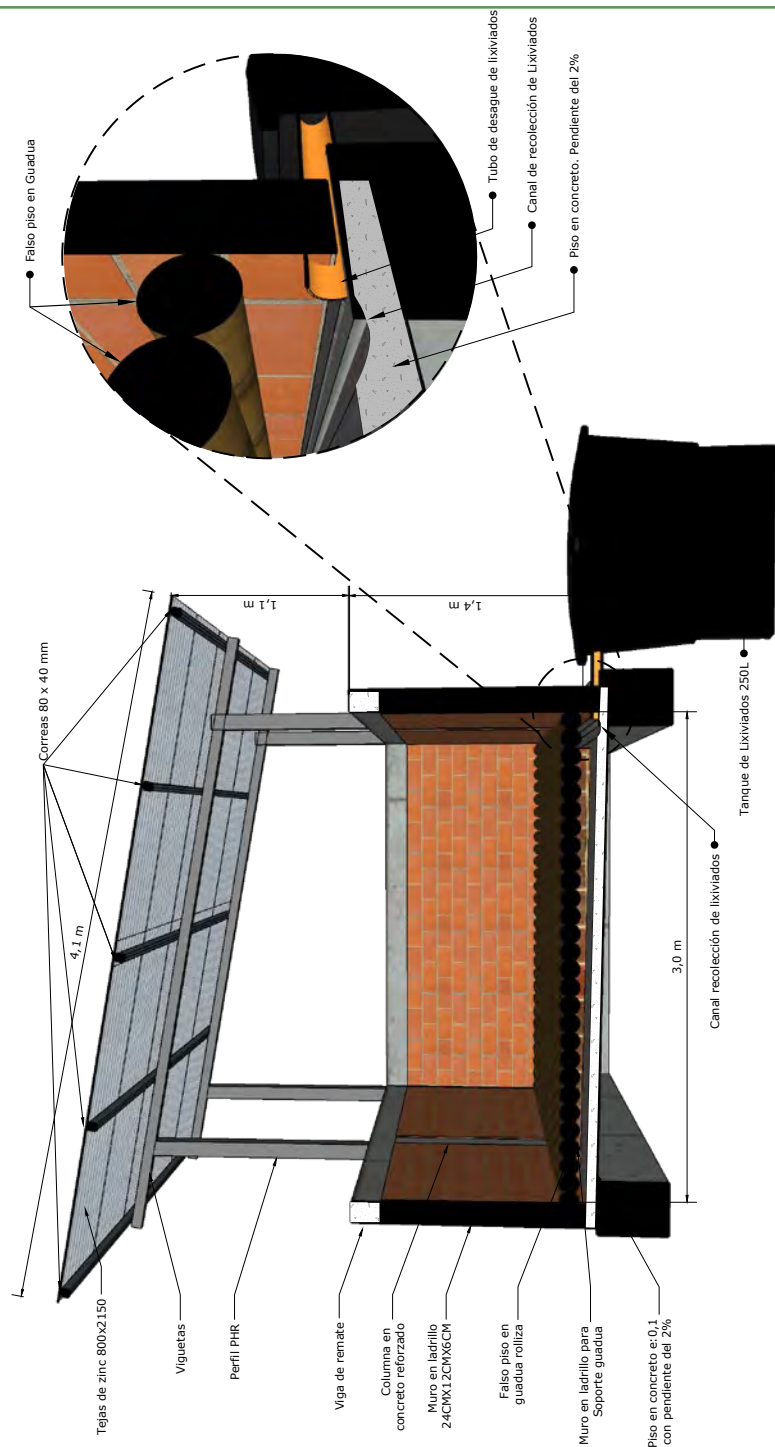


Figura 8. Procesador de pulpa de 3,0 x 3,0 m. Detalles de la conducción y recolección de los lixiviados.



1. Realizar una excavación de 0,70 m de profundidad, en el área calculada, con una pendiente del 2,0%, hacia el centro y hacia la parte inferior.



2. Impermeabilizar la excavación con geomembrana.



3. Colocar un tubo de PVC, en la parte central, con orificios distribuidos a lo largo del mismo para airear y permitir la salida de agua no retenida.



4. Colocar una capa delgada de grava para proteger el tubo de los taponamientos.



5. Adicionar el suelo extraído manteniendo las capas originales.



6. Sembrar el pasto vetiver o la herbácea seleccionada.

Continúa...

...continuación



7. Conducir el agua pretratada al filtro verde a través de un sistema de riego por goteo, elevado por lo menos 1,5 m del suelo.



8. Construir una infraestructura tipo invernadero sobre el filtro verde para evitar el ingreso del agua lluvia y favorecer la evaporación del agua.



9. Recolectar el agua de salida del filtro verde y adicionarla, de nuevo, al mismo hasta agotamiento.

Figura 9. Secuencia de construcción de un filtro verde.

representa el 12,5% del valor total de agua en el proceso convencional (consumo de agua de $40 \text{ L kg}^{-1} \text{ cps}$). El empleo de la tolva seca o de dispositivos de bajo consumo (separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín, tolvas húmedas con recirculación, tanque sifón con recirculación), permiten ahorrar casi la totalidad de este consumo, por lo que se les asigna el valor proporcional al ahorro de agua, expresado en forma de fracción.

La escala del IMAPBHC se mueve en el rango entre cero (0) a uno (1), en la cual un valor de cero (0) es indicador de gran consumo de agua (mayor a $40 \text{ L kg}^{-1} \text{ cps}$), donde no se presenta ahorro de agua y se interpreta como una acción de

presión sobre el recurso de agua superficial, mientras que un valor cercano a uno (1) es indicador de un bajo consumo de agua en el beneficio (Tabla 1). En la medida en que el indicador se aproxime a uno (1), es mayor el ahorro de agua realizado en el proceso de beneficio, lo cual indica un uso eficiente del agua en este proceso.

Tabla 1. Índice de manejo de agua en el proceso de beneficio del café.

Etapa de beneficio	Dispositivo/práctica	Consumo de agua (L kg ⁻¹ cps)	Ponderación	Valor máximo Etapa
Recibo	Tolva seca	0,000	0,125	0,125
	Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo sinfín	0,025	0,124	
	Tanque sifón sin recirculación	4,70	0,008	
	Tanque sifón con recirculación	2,00	0,075	
	Bomba sumergible	2,00	0,075	
Despulpado	Con agua	5,00	0,000	0,125
	Sin agua	0,00	0,125	
Transporte pulpa	Con agua	5,00	0,000	0,125
	Sin agua	0,00	0,125	
Transporte café despulpado	Con agua	5,00	0,000	0,125
	Sin agua	0,00	0,125	
Lavado	Lavador mecánico tecnología Ecomill®	0,30-0,50	0,490	0,500
	Otros lavadores	2,20-2,70	0,433 - 0,445	
	Desmucilaginator Deslim	0,70-1,00	0,479	
	Otros desmucilaginatores	1,50-3,30	0,418 - 0,463	
	Técnica enjuagues en tanque	4,00-5,00	0,375 – 0,400	
	Canal semisumergido	6,50-8,00	0,319	
	Bomba sumergible	6,50-9,00	0,306	
	Canal de correteo	20,00-25,00	0,000	
Total del Indicador				1,00

Fuente: Rodríguez et al. (2015).

Con la última tecnología generada en Cenicafe en el lavado del grano, como es el caso del Ecomill®, que consume menos de 1,0 L kg⁻¹ cps, sumado a un despulpado, transporte de pulpa y transporte del café despulpado, y del café lavado sin agua, se alcanza un valor en el indicador de 0,99.

Valores del indicador por encima de 0,75 reflejan un uso racional del recurso hídrico en el proceso del beneficio húmedo del café con valores de consumo de agua menores a 10 L kg⁻¹ cps.

Índice de calidad ambiental en el beneficio del café

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) son parámetros que miden la cantidad de oxígeno consumido en la

degradación de la materia orgánica presente en un residuo sólido o líquido.

Normalmente, la DBO se mide transcurridos cinco días de reacción, y por ello, se denomina DBO₅. Para el caso de las aguas residuales del café, la relación DQO/DBO₅ es, en promedio, de 2,07 (analizadas 72 muestras; CV=12,47%). En la cuantificación de la Demanda Química de Oxígeno de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo de café, constituidos por la pulpa y el mucílago, se encontró que, por cada kilogramo de fruto se producen, en promedio, 115,1 g de DQO, de los cuales el 73,7% (84,8 g) provienen de la pulpa y 26,3% (30,3 g) del mucílago (Zambrano & Isaza, 1998). En términos de DBO₅ los valores son de 42,5 g para la pulpa y 15,3 g para el mucílago, por cada kilogramo de fruto. Los valores expresados en términos de arroba de cps (12,5 kg de cps), son de 2,66 kg de DBO₅ para la pulpa y de 0,95 kg de DBO₅ para el mucílago, para un valor de 3,60 kg de DBO₅ producidos en los subproductos generados para obtener una arroba de cps.

Junto a la DBO₅, otro parámetro que se utiliza para el cobro de la tasa retributiva son los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Trabajos realizados en Cenicafé han permitido calcular que se generan 0,54 g SST/kg de fruto en las etapas de despulpado y transporte de la pulpa con agua y 52,06 g SST/kg de fruto en la pulpa residual. Para el mucílago y las aguas de lavado, el valor corresponde a 3,35 g SST/kg de fruto, para un total de 55,95 g/kg de fruto. Los valores expresados en términos de arroba (@) de cps, son de 3,29 kg de SST para la pulpa y de 0,21 kg de SST para el mucílago, para un valor de 3,50 kg de SST producidos en los subproductos generados para obtener una arroba de cps.

Características del beneficio ecológico

El beneficio ecológico se constituye en la principal estrategia para el manejo de los vertimientos provenientes del sector cafetero y se caracteriza, entre otros aspectos, por:

1. Eliminar el uso del agua en la etapa de despulpado y transporte de la pulpa al procesador.
2. Utilizar un procesador de pulpa con piso impermeabilizado (para evitar las infiltraciones del agua resultante del proceso de descomposición de la pulpa) y con techo (para evitar que las aguas lluvias arrastren algunos componentes de la pulpa fresca o en proceso de descomposición y contaminen el suelo o los acuíferos vinculados a este).
3. Racionalizar el consumo de agua en la etapa de lavado del grano.
4. Limitar el uso de agua: menos de 10 L kg⁻¹ cps.
5. Realizar un manejo apropiado a la pulpa, al mucílago y a las aguas residuales generadas.

El despulpado y transporte de la pulpa sin agua hasta procesadores techados, se constituye en la acción ambiental preventiva más importante, ya que esta práctica evita que el 74% de la contaminación potencial de los subproductos del beneficio húmedo del café, llegue a las fuentes hídricas a través de la pulpa,

perdiéndose la posibilidad de transformarla y darle valor agregado (Zambrano & Isaza, 1998).

El 26% restante de la contaminación se controla mediante la utilización del mucílago (para alimentación animal, producción de bio-alcoholes, producción de bebidas energizantes, producción de miel de café, entre otros usos) o su disposición en mezcla con la pulpa de café, la cual actúa como filtro biológico, lo que aunado a los procesos de compostaje, lombricompostaje, larvicompostaje de la mezcla, permite obtener abono orgánico. Otra alternativa es su tratamiento en fresco o degradado, puro o diluido en agua, utilizando sistemas biológicos (Zambrano et al., 2010).

Para valorar el impacto ambiental ocasionado por el manejo, disposición y tratamiento de los subproductos del café sobre los recursos naturales, en términos de DQO o DBO₅, generados en el proceso de beneficio del café y determinar las estrategias necesarias para disminuir su impacto sobre el medio ambiente, se generó el **Índice de Calidad Ambiental**

en el Proceso de Beneficio Húmedo del Café (ICAPBHC).

Este indicador se generó considerando cada una de las etapas del proceso de beneficio en las cuales se genera contaminación orgánica, asignándole una ponderación de acuerdo al impacto contaminante generado.

Por ejemplo, el despulpado y transporte de la pulpa con agua y su disposición a cielo abierto o en procesadores no techados, es responsable del 74% del potencial contaminante de los subproductos del café. Mediante el despulpado y el transporte de la pulpa sin agua y su descomposición en procesadores techados, con recirculación o tratamiento de lixiviados, puede evitarse este 74%, que al ser convertido a fracción genera un valor de 0,74.

La escala del ICAPBHC se mueve en el rango entre cero (0) a uno (1), en la cual un valor de cero (0) es indicativo del máximo impacto ambiental adverso sobre los recursos naturales, mientras que un valor de uno (1) es indicativo de un buen manejo, valorización y tratamiento de los subproductos del beneficio, sin generación de impactos adversos sobre el ecosistema cafetero. En la Tabla 2 se presenta la ponderación para cada una de las prácticas realizadas en las diferentes etapas de beneficio, relacionadas con la disminución en el potencial contaminante de los subproductos del café.

6. Tipificación de los beneficiaderos de café

A continuación, se presentan las cuatro categorías de tipificación de los beneficiaderos en Colombia.

Tipificación de los beneficiaderos convencionales de café

Se caracterizan por tener un consumo de agua cercano a los 40 L kg⁻¹ cps y no realizar un manejo apropiado a los subproductos.

En la Tabla 3 se presenta la tipificación para los diferentes beneficiaderos convencionales que pueden encontrarse en Colombia. En ella, se condensan las características para cada uno de los tipos de beneficio, en cada una de las etapas del proceso, se calculan los valores de DBO₅ y SST

generados, el índice de manejo del agua en el beneficio del café y el índice de calidad ambiental en el proceso de beneficio del café.

Una de las etapas que más identifica a los beneficiaderos convencionales es el lavado de café con el uso de canales de correteo, por su alto consumo de agua (entre 20 y 25 L kg⁻¹ cps) (Figura 10).

Tipificación de los beneficiaderos de café en transición a ecológicos

Son aquellos que tienen alguna de las siguientes características:

- Presentan una reducción en el consumo de agua, pero no en la contaminación generada. El consumo de agua es menor que en los beneficiaderos convencionales, pero mayor al consumo de agua de los beneficiaderos ecológicos.
- Presentan una reducción en la contaminación generada, pero no en el consumo de agua, que es muy similar al de los beneficiaderos convencionales. Se caracterizan por tener procesador de pulpa techado y planta de tratamiento de agua residual.
- Presentan una reducción en el consumo de agua y en la contaminación generada, pero no reúnen los requisitos para clasificarlos como beneficiaderos ecológicos.
- Presentan una alta reducción en el consumo de agua, menor a 10 L kg⁻¹ cps, reuniendo la primera de las condiciones para considerarlos como beneficiaderos ecológicos, pero no realizan un manejo a los subproductos generados.

En los beneficiaderos en transición pueden encontrarse tecnologías de ahorro de agua como la tecnología Becolsub (Figura 11) o procesadores de pulpa techados, para evitar el ingreso del agua lluvia que genera la lixiviación de los componentes de la pulpa fresca o en proceso de transformación, generando drenados altamente contaminantes para el suelo y para los cuerpos de agua superficiales o subterráneos (Figura 12).

En la Tabla 4 se presenta la tipificación para los diferentes beneficiaderos en transición.

Tipificación de los beneficiaderos ecológicos de café

Los beneficiaderos ecológicos se caracterizan por tener un consumo de agua menor a 10 L kg⁻¹ de cps y realizar un manejo parcial o total a los subproductos generados en el proceso de beneficio, con la aplicación de buenas prácticas. En la Tabla 5 se presenta la tipificación para los diferentes beneficiaderos ecológicos.



Figura 10. Lavado de café en canal de correteo en el sistema de beneficio tradicional del café.

Tabla 2. Índice de calidad ambiental en el proceso de beneficio del café.

Parte del fruto responsable de la contaminación	Etapas de beneficio	Dispositivo/práctica	Ponderación	Valor máximo Etapa
Pulpa Ponderación 0,74	Recibo	Tolva seca	0,020	0,020
		Separador hidráulico de tolva y tomillo sinfin	0,020	
		Tanque sifón sin recirculación	0,001	
		Tanque sifón con recirculación	0,012	
		Bomba sumergible	0,012	
	Despulpado	Con agua	0,000	0,150
		Sin agua	0,150	
	Transporte pulpa	Con agua	0,000	0,150
		Sin agua	0,150	
	Almacenamiento pulpa	Sin techo	0,000	0,150
		Con techo	0,150	
	Descomposición de la pulpa	Sin techo	0,000	0,150
		Con techo	0,150	
	Recolección y tratamiento drenados pulpa	No	0,000	0,120
		Sí	0,120	

Continúa...

...continuación

Parte del fruto responsable de la contaminación	Etapas de beneficio	Dispositivo/práctica	Ponderación	Valor máximo Etapa
Mucílago Ponderación 0,26	Lavado	Sistemas de tratamiento físico.	0,05	0,260
		Adición de mucílago a la pulpa, sin recirculación de lixiviados o adición de los dos primeros enjuagues del lavado a la pulpa, sin recirculación de lixivados.	0,130	
		Recirculación de lixivados provenientes de la mezcla de la pulpa con los dos primeros enjuagues de lavado, hasta agotamiento de estos, y manejo del tercer y cuarto enjuague en sistema de tratamiento.	0,200	
		Sistemas de tratamiento biológico o físico-químico, o adición de mieles del lavador a la pulpa sin recirculación de lixivados.	0,200	
		Utilización de todo el mucílago en alimentación animal y manejo de las aguas de lavado de equipos y del transporte del café lavado a los silos, en filtros verdes, con recirculación completa o manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas utilizando procesadores de pulpa y filtros verdes con recirculación completa de sus drenados, hasta agotamiento, o reúso de todas las aguas residuales en los términos de la Resolución 1207 del 2014 o de las normas que la sustituyan.	0,260	
Total del Indicador				1,00

Fuente: Adaptado de Rodríguez et al. (2015).

Tabla 3. Tipos de beneficiaderos convencionales.

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
Convencional 1 (C1)	Recibo	Más de 4,7 L de agua por 1,0 kg de cps. Ejemplo. Tanque sifón sin recirculación.	3,56	3,50	Consumo de agua igual o mayor a 40 L kg ⁻¹ cps, sin manejo de subproductos. IMAPBHC = 0,001 ICAPBHC = 0,001 - 0,015
	Despulpado	Despulpado con agua.			
		Transporte de pulpa con agua.			
		Disposición de la pulpa en cuerpos de agua.			
	Lavado	Más de 10 L de agua por 1,0 kg de cps. Ejemplo. Transporte de café despulpado y de café lavado con agua; canal de correteo.			
		Sin tratamiento de aguas residuales y su disposición en cuerpos de agua.			
Convencional 2 (C2)	Recibo	Igual a Convencional 1.	3,21	0,20	Consumo de agua igual o mayor a 40 L kg ⁻¹ cps, sin manejo de subproductos y con planta de tratamiento de agua. IMAPBHC = 0,001 ICAPBHC = 0,016 – 0,200
	Despulpado	Igual a Convencional 1. La pulpa se dispone en un procesador sin techo.			
	Lavado	Igual a Convencional 1.			
		Tratamiento de las aguas residuales generadas con eficiencias menores al 50%.			
Convencional 3 (C3)	Recibo	Igual a Convencional 1.	2,68	0,10	Consumo de agua cercano a 35 L kg ⁻¹ cps, sin manejo de subproductos y con planta de tratamiento de agua. IMAPBHC = 0,001 – 0,120 ICAPBHC = 0,210 – 0,300
	Despulpado	Igual a Convencional 1. La pulpa se dispone en un procesador sin techo.			
	Lavado	Igual a Convencional 1.			
		Tratamiento de las aguas residuales generadas con eficiencias entre 50% y 80%.			

Continúa...

...continuación

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
Convencional 4 (C4)	Recibo	Igual a Convencional 1.	2,14	0,05	Consumo de agua cercano a 35 L kg ⁻¹ cps, con procesador de pulpa techado o planta de tratamiento de aguas residuales. IMAPBHC = 0,001 - 0,120 ICAPBHC = 0,31 – 0,500
	Despulpado	Igual a Convencional 1. La pulpa se dispone en un procesador sin techo.			
	Lavado	Igual a Convencional 1.			
		Tratamiento de las aguas residuales generadas con eficiencias mayores al 80%. O sin tratamiento de aguas pero con procesador techado.			

Fuente: Adaptado de Rodríguez et al. (2015).

Tabla 4. Tipos de beneficiaderos en transición.

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
En transición con reducción de agua (T1)	Recibo	Más de 4,7 L de agua por 1,0 kg de cps.	3,05	0,25	Consumo de agua cercano a 20 L kg ⁻¹ cps, sin manejo de subproductos. IMAPBHC = 0,130 - 0,824 ICAPBHC = 0,001 -0,30
	Despulpado	Despulpado con agua.			
		Transporte de pulpa con agua.			
		Sin procesador o lo tiene sin techo.			
	Lavado	Entre 5 y 10 L de agua por 1,0 kg de cps.			
		Sin tratamiento de las aguas residuales generadas.			
En transición con reducción de contaminación (T2)	Recibo	Más de 4,7 L de agua kg ⁻¹ cps.	0,88	0,10	Consumo de agua cercano a 35 L/kg cps, con manejo de subproductos y con planta de tratamiento de agua. IMAPBHC = 0,001 -0,120 ICAPBHC = 0,510 – 1,00.
	Despulpado	Despulpado con agua.			
		Transporte de pulpa con agua.			
		Transporte del café baba con agua.			
		Procesador techado y descomposición de la pulpa.			
	Lavado	Más de 10 L de agua por 1,0 kg de cps.			
		Tratamiento de las aguas residuales generadas con eficiencias > al 50%.			

Continúa...

...continuación

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
En transición con reducción de agua y contaminación (T3)	Recibo	Más de 4,7 L de agua kg ⁻¹ cps.	1,24	0,22	Consumo de agua cercano a 20 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos. IMAPBHC = 0,130 – 0,824 ICAPBHC = 0,310 – 1,00
	Despulpado	Despulpado con agua.			
		Transporte de pulpa con agua.			
		Procesador techado y descomposición de la pulpa.			
	Lavado	Entre 5 y 10 L de agua kg ⁻¹ cps.			
		Sin tratamiento de las aguas residuales generadas.			
En transición con alta reducción de agua (T4)	Recibo	Tolva seca o tolva húmeda con consumo < 2 L de agua kg ⁻¹ cps.	2,49	0,25	Consumo de agua menor a 10 L kg ⁻¹ cps, sin manejo de subproductos y sin planta de tratamiento de agua. IMAPBHC = 0,825 -0,994 ICAPBHC = 0,001 - 0,611
	Despulpado	Despulpado con agua.			
		Transporte de pulpa sin agua.			
		Sin procesador o lo tiene sin techo.			
	Lavado	Menos de 1 L de agua kg ⁻¹ cps.			
		Sin tratamiento de las aguas residuales generadas.			

Fuente: Adaptado de Rodríguez et al. (2015).

Tabla 5. Tipos de beneficiaderos ecológicos.

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones	
			kg/@ de cps			
Ecológico 1 (E1)	Recibo	Tolva seca o tolva húmeda con consumo < 2 L de agua kg ⁻¹ cps.	1,22	0,21	Consumo de agua menor a 6 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa).	
	Despulpado	Despulpado sin agua.				
		Transporte de pulpa sin agua.				
		Procesador techado y descomposición de la pulpa.				
	Lavado	Entre 3 y 5 L de agua kg ⁻¹ cps. Ejemplo. Técnica de los cuatro enjuagues.				IMAPBHC = 0,825 - 0,875 ICAPBHC = 0,612 - 0,711
		Sin tratamiento de aguas residuales.				

Continúa...

...continuación

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
Ecológico 2 (E2)	Recibo	Igual a Ecológico 1.	0,86	0,12	Consumo de agua menor a 6 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago). IMAPBHC = 0,825 - 0,875 ICAPBHC = 0,712 - 0,811
	Despulpado	Igual a Ecológico 1.			
	Lavado	Igual a Ecológico 1.			
		Remojo de la pulpa con el mucílago o con las aguas mieles concentradas. Eficiencia de tratamiento < 50%.			
Ecológico 3 (E3)	Recibo	Igual a Ecológico 1.	1,04	0,12	Consumo de agua menor a 3 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago). IMAPBHC = 0,876 - 0,993 ICAPBHC = 0,612 - 0,811
	Despulpado	Igual a Ecológico 1.			
	Lavado	Menos de 3 L de agua por 1,0 kg de cps. Ejemplo. Deslim y lavadores mecánicos.			
		Remojo de la pulpa con el mucílago o con las aguas mieles concentradas. Eficiencia de tratamiento < 50%.			
Ecológico 4 (E4)	Recibo	Igual a Ecológico 1.	0,36	0,03	Consumo de agua menor a 6 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago) y tratamiento de las aguas residuales generadas. IMAPBHC = 0,825 - 0,875 ICAPBHC = 0,812 - 0,990
	Despulpado	Igual a Ecológico 1.			
	Lavado	Entre 3 y 5 L de agua por 1,0 kg de cps.			
		Manejo y tratamiento a las aguas residuales generadas (aguas mieles y lixiviados). Eficiencia de manejo y tratamiento mayor al 50% en la eliminación de carga orgánica.			

Continúa...

...continuación

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
Ecológico 5 (E5)	Recibo	Igual a Ecológico 1.	0,36	0,03	Consumo de agua menor a 3 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago) y tratamiento de las aguas residuales generadas. IMAPBHC = 0,876 - 0,993 ICAPBHC = 0,812 - 0,990
	Despulpado	Igual a Ecológico 1.			
	Lavado	Menos de 3 L de agua por 1,0 kg de cps			
		Manejo y tratamiento a las aguas residuales generadas (aguas mieles y lixiviados). Eficiencia de manejo y tratamiento mayor al 50% en la eliminación de carga orgánica.			

Fuente: Adaptado de Rodríguez et al. (2015).



Figura 11. Tecnología Becolsub.

Tecnologías empleadas en los beneficiaderos ecológicos, son: la utilización de la tolva seca y despulpado sin agua (Figura 13), el desmucilaginado mecánico (Figura 14), el lavado en tanques de fermentación (Figura 15) y el empleo de procesadores de pulpa techados (Figura 16).

Tipificación de los beneficiaderos ecológicos de café sin vertimientos

Los beneficiaderos ecológicos sin vertimientos se caracterizan por cumplir con tres características fundamentales:

1. Un consumo global de agua en el beneficio del café menor a 10 L kg⁻¹ de cps.
2. Un manejo total a los subproductos (pulpa y mucílago) generados en el proceso de beneficio, con la aplicación de buenas prácticas.



Figura 12. Procesadores de pulpa techados.

3. El reúso completo de las aguas residuales tratadas, en los términos establecidos en la Resolución 1207 del MADS (2014), o el manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas utilizando procesadores de pulpa y filtros verdes con recirculación completa de sus drenados, hasta su agotamiento.

En la Tabla 6 se presenta la tipificación para los diferentes beneficiaderos ecológicos sin vertimientos.

Tecnologías empleadas en los beneficiaderos ecológicos sin vertimientos son: la utilización de la tolva seca, el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín (Figura 17), la tecnología Becolsub, el lavado en tanques con la técnica de enjuagues, la tecnología Ecomill® (Figura 18) y el empleo de procesadores de pulpa techados con recirculación completa de lixiviados o filtros verdes con recirculación completa de drenados (Figura 19).

En la Tabla 7 se presentan los volúmenes de agua generados en cada una de las etapas de beneficio, dependiendo del dispositivo o práctica utilizada, los gramos de DQO, de SST y sus concentraciones en el agua residual. Con base en la información condensada en la Tabla 7, puede determinarse el volumen y la carga contaminante del agua residual generada.

7. Huella hídrica de los diferentes tipos de beneficio

La huella hídrica total de la etapa de beneficio es el resultado de la suma de las diferentes huellas (verde, azul y gris) empleadas para la producción de un kilogramo de café pergamino seco. Dado que aún no es común que en la etapa de beneficio se utilice el agua de la lluvia, que representaría la huella verde, la huella total está conformada por la suma de la huella hídrica azul y la huella hídrica gris.

Huella Hídrica Azul (HHa)

La HHa está definida como el agua extraída de la microcuenca que no regresa a esta. Dado que en el beneficio ecológico sin vertimientos no hay retorno del agua a la microcuenca y en los otros tipos de beneficio, la mayoría de los productores realizan descarga de vertimientos al suelo y en estos casos parte del agua queda contenida en el suelo y en la biomasa vegetal que se soporta en el mismo y la que drena no se tiene



Figura 13. Tolva seca y despulpado sin agua.



Figura 14. Desmucilaginado mecánico.



Figura 15. Tanques de fermentación.



Figura 16. Procesadores de pulpa techados.

Tabla 6. Tipos de beneficiaderos ecológicos sin vertimientos.

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
Ecológico sin vertimientos (E6)	Recibo	Tolva seca o tolva húmeda con consumo < 2 L de agua por 1,0 kg de cps.	0,00	0,00	Consumo de agua menor a 6 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago) y manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas, con reúso total o hasta agotamiento de las mismas. IMAPBHC = 0,825 - 0,875 ICAPBHC = 1,00
	Despulpado	Despulpado sin agua			
		Transporte de pulpa sin agua			
		Procesador techado y descomposición de la pulpa.			
	Lavado	Entre 3 y de 5 L de agua por 1,0 kg de cps.			
		Manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas utilizando procesadores de pulpa y filtros verdes con recirculación completa de sus drenados, hasta agotamiento, o reúso total del agua tratada.			
Ecológico sin vertimientos (E7)	Recibo	Igual a Ecológico 6	0,00	0,00	Consumo de agua menor a 3 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago) y manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas, con reúso total o hasta agotamiento de las mismas. IMAPBHC = 0,876 - 0,993 ICAPBHC = 1,00
	Despulpado	Igual a Ecológico 6			
	Lavado	Menos de 3 L de agua por 1,0 kg de cps.			
		Manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas utilizando procesadores de pulpa y filtros verdes con recirculación completa de sus drenados, hasta agotamiento, o reúso total del agua tratada.			

Continúa...

...continuación

Tipo de Beneficiadero	Etapa	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
Ecológico sin vertimientos (E8)	Recibo	Tolva seca o tolva húmeda que consume menos de 0,1 L de agua por 1,0 kg de cps.	0,00	0,00	Consumo de agua menor a 1 L kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago) y manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas, con reúso total o hasta agotamiento de las mismas. IMAPBHC = 0,994 -1,00 ICAPBHC = 1,00
	Despulpado	Igual a Ecológico 6			
	Lavado	Menos de 0,5 L de agua por 1,0 kg de cps (Ecomill®)			
		Manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas utilizando procesadores de pulpa y filtros verdes con recirculación completa de sus drenados, hasta agotamiento, o reúso total del agua tratada, o deshidratación de las aguas-mieles y utilización de filtros verdes con recirculación completa para las aguas de lavado de equipos, clasificación hidráulica y transporte del café lavado a los silos.			

Fuente: Adaptado de Rodríguez et al. (2015).



Figura 17. Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín (SHTTS).



Figura 18. Lavador Ecomill®.



Figura 19. Filtro verde.

la certeza de que regrese a la misma microcuenca, se considera, entonces, que todo uso de agua en el beneficio del café es consumo y, por lo tanto, se cuenta como huella hídrica azul. El beneficio convencional es el que genera los mayores valores de HHa, con un rango entre los 35 y 40 L kg⁻¹ cps, dependiendo de la categoría (C1, C2, C3, C4), seguido del beneficio en transición a ecológico, con HHa que varían entre 0,5 y 40 L kg⁻¹ cps, dependiendo de la categoría (T1, T2, T3, T4), y del beneficio ecológico y ecológico sin vertimientos, con HHa que varía entre 0,5 y 7 L kg⁻¹ cps.

Huella Hídrica Gris (HHg)

La HHg representa el impacto ambiental negativo sobre los recursos hídricos ocasionado por las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio del café y está definida como el volumen de agua dulce necesario para asimilar y diluir la carga de contaminantes vertida a un cuerpo receptor, de forma que se garanticen condiciones de calidad de agua para el ambiente, las personas y las actividades humanas, de acuerdo a la normatividad vigente. Expresa la reducción de la disponibilidad por afectación a la calidad del agua (Rojas et al., 2018).

La mayor HHg se presenta para el beneficio convencional y en transición, con un valor entre 6.227 y 7.152 L kg⁻¹ cps (Rodríguez et al., 2020), dependiendo de la categoría (C1, C2, C3, C4, T1, T2, T3, T4) seguido del beneficio ecológico, con HHg que varía entre 112 y 1.152 L kg⁻¹ cps y del beneficio ecológico sin vertimientos cuya HHg es cero.

Huella Hídrica Total (HHt) del proceso de beneficio

La HHt del proceso de beneficio del café se define como la suma de la HHa y la HHg y representa el volumen de agua utilizada para producir 1,0 kilogramo de cps, medido a lo largo de las diferentes etapas del proceso de beneficio. Es un indicador multidimensional que representa la apropiación humana del agua, que se evidencia en el impacto en términos de consumo y contaminación del agua por parte de los seres humanos; en otras palabras, se refiere al consumo y contaminación del agua con fines productivos.

La mayor HHt se presenta para el beneficio convencional, con valores que varían entre 6.262 y 7.192 L kg⁻¹ cps, seguido del beneficio en transición a ecológico, con valores que varían entre 6.228 y 7.192 L kg⁻¹ cps, seguido del beneficio ecológico, con HHt que varía entre 113 y 1.159 L kg⁻¹ cps y del beneficio ecológico sin vertimientos cuya HHt varía entre 1 y 7 L kg⁻¹ cps.

Tabla 7. Volúmenes de agua residual generados y concentraciones de DQO (mg L⁻¹) y SST (mg L⁻¹), por cada kilogramo de fruto de café, según la etapa de beneficio y el dispositivo utilizado.

Etapa de Beneficio	Dispositivo/práctica	L agua residual/ kg fruto (mg L ⁻¹)	g DQO/ kg fruto	g SST/ kg fruto	DQO (mg L ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)
Recibo	Tolva seca	0	0	0	0	0
	Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín	0,005	0,014	0,002	2.800	400
	Tanque sifón sin recirculación	1,00	2,20	0,40	2.200	400
	Tanque sifón con recirculación	0,40	1,00	0,20	2.500	500
Despulpado	Con agua	1,00	17,40	2,80	17.400	2.800
	Sin agua	0	0	0	0	0
Transporte pulpa	Con agua	1,00	17,40	2,80	17.400	2.800
	Sin agua	0	0	0	0	0
Almacenamiento pulpa	Sin techo	ND	17,40	2,80	ND	ND
	Con techo	0	0	0	0	0
Descomposición de la pulpa	Sin techo	ND	17,40	2,80	ND	ND
	Con techo	0	0	0	0	0
Recolección y tratamiento drenados pulpa	No	0,14	13,80	2,20	98.500	15.800
	Sí	0	0	0	0	0
Lavado	Lavador mecánico Ecomill ®	0,23	30	4	130.500	17.500
	Otros lavadores	0,65	30	4	46.200	6.200
	Desmucilaginator Deslim	0,33	30	4	91.000	12.200
	Otros desmucilaginatores	0,63	30	4	47.700	6.400
	Técnica cuatro enjuagues en el tanque	1,05	30	4	28.600	3.900
	Bomba sumergible	1,70	30	4	17.700	2.350
	Canal semisumergido	1,60	30	4	18.750	2.500
	Canal de correteo	5,00	30	4	6.000	800

ND: No determinado Fuente: Rojas et al. (2018).

Ejemplo 1.

Aplicación de la Tabla 7 para hallar el volumen y la carga contaminante del agua residual generada en un beneficiadero de café

Se requiere calcular el agua residual generada en una finca y su carga contaminante en la fase de beneficio y dentro de las etapas del mismo, de acuerdo con las siguientes características:

- El recibo de café se realiza utilizando un tanque sifón sin recirculación.
- El despulpado de café se realiza con agua.
- El transporte de la pulpa y del café en baba se realiza sin uso de agua.
- El lavado del café se realiza en un Ecomill ®.

La cantidad de agua residual se calcula sumando los gastos de cada proceso:

Dispositivo/práctica	Litros agua/kg fruto
Tanque sifón sin recirculación	1,00
Despulpado con agua	1,00
Lavador mecánico Ecomill ®	0,23
Cantidad de agua residual generada (L kg⁻¹ fruto)	2,23

La cantidad de carga orgánica, como DQO, se calcula sumando las cargas de cada proceso:

Dispositivo/práctica	g DQO/kg de fruto
Tanque sifón sin recirculación	2,20
Despulpado con agua	17,40
Transporte de la pulpa y del café en baba en seco	0,00
Lavador mecánico Ecomill	30,00
Total g DQO/kg fruto	49,60

La concentración de agua residual se calcula dividiendo la carga orgánica por el volumen

Carga generada (mg DQO/kg fruto)	49.600
Volumen de agua residual generada en el proceso (L kg ⁻¹ fruto)	2,23
Concentración del agua residual (mg DQO/L)	22.242

El volumen total de agua residual generada se calcula multiplicando el volumen generado por kilogramo de frutos de café, por la cantidad de café procesado en ese día. Por ejemplo, si ese día se procesaron 1.500 kg de frutos de café, el volumen de agua residual del día (a una concentración de DQO de 22.242 mg/L) es de: $2,23 \times 1.500 = 3.345$ litros.

Con el fin de optimizar el consumo de agua en el beneficio de esta finca, y por lo tanto, disminuir el volumen de agua residual para reducir sus costos de manejo y tratamiento, se recomienda eliminar el uso del agua en el despulpado del fruto y realizar la clasificación hidráulica con el separador hidráulico de tolva seca y tornillo sinfín. Realizando estas dos prácticas el volumen de agua residual generado disminuye de 3.345 litros a 353 litros, con una concentración de DQO de 127.719 mg L⁻¹, permitiendo su manejo en el procesador de pulpa con recirculación completa de los lixiviados generados y logrando cero vertimientos.

Ejemplo 2.

Aplicación de la Tabla 7 para hallar el volumen y la carga contaminante del agua residual generada en un beneficiadero de café

Se requiere calcular el agua residual generada en una finca y su carga contaminante en la fase de beneficio y dentro de las etapas del mismo, de acuerdo con las siguientes características:

- El recibo de café se realiza utilizando un tanque sifón sin recirculación.
- El despulpado de café se realiza con agua.
- El transporte de la pulpa y del café en baba se realiza sin uso de agua.
- El lavado del café se realiza en un desmucilagador de varillas.

La cantidad de agua residual se calcula sumando los gastos de cada proceso:

Dispositivo/práctica	Litros agua/kg fruto
Tanque sifón sin recirculación	1,00
Despulpado con agua	1,00
Desmucilagador de varillas	0,63
Cantidad de agua residual generada (L kg⁻¹ fruto)	2,63

La cantidad de carga orgánica, como DQO, se calcula sumando las cargas de cada proceso:

Dispositivo/práctica	g DQO/kg fruto
Tanque sifón sin recirculación	2,20
Despulpado con agua	17,40
Transporte de la pulpa y del café en baba en seco	0,00
Desmucilagador de varillas	30,00
Total g DQO/kg fruto	49,60

La concentración de agua residual se calcula dividiendo la carga orgánica por el volumen

Carga generada (mg DQO/kg fruto)	49.600
Volumen de agua residual generada en el proceso (L kg ⁻¹ fruto)	2,63
Concentración del agua residual (mg DQO/L)	18.859

El volumen total de agua residual generada se calcula multiplicando el volumen generado/kg de frutos de café, por la cantidad de frutos de café procesado en ese día. **Por ejemplo, si ese día se procesaron 1.500 kg de frutos de café, el volumen de agua residual del día (a una concentración de DQO de 18.859 mg/L) es de: $2,63 \times 1.500 = 3.945$ litros.**

Con el fin de optimizar el consumo de agua en el beneficio de esta finca, y por lo tanto, disminuir el volumen de agua residual para reducir sus costos de manejo y tratamiento, se recomienda eliminar el uso del agua en el despulpado del fruto y realizar la clasificación hidráulica con el separador hidráulico de tolva seca y tornillo sinfín. Realizando estas dos prácticas el volumen de agua residual generado disminuye de 3.945 litros a 953 litros, con una concentración de DQO de 47.266 mg L⁻¹, permitiendo su manejo en el procesador de pulpa con recirculación completa de los lixiviados generados y logrando cero vertimientos.

Ejemplo 3.

Aplicación de la Tabla 7 para hallar el volumen y la carga contaminante del agua residual generada en un beneficiadero de café

Se requiere calcular el agua residual generada en una finca y su carga contaminante en la fase de beneficio y dentro de las etapas del mismo. En la Figura 20 se presenta el beneficiadero, el cual consta de:

- La alimentación de frutos de café se realiza de forma manual a la tolva de la despulpadora.
- El despulpado de café se realiza en seco.
- El transporte de la pulpa se realiza de forma manual.
- El café despulpado cae por gravedad a los tanques tina.
- El lavado del café se realiza de forma manual con el uso de tanques tina y la técnica de los cuatro enjuagues.



Figura 20. Beneficiadero de café – Departamento del Cauca.

La cantidad de agua residual se calcula sumando los gastos de cada proceso:

Dispositivo/práctica	Litros agua/kg fruto
Tolva seca	0,00
Despulpado sin agua	0,00
Técnica de cuatro enjuagues	1,05
Cantidad de agua residual generada (L kg⁻¹ fruto)	1,05

Continúa...

...continuación

La cantidad de carga orgánica, como DQO, se calcula sumando las cargas de cada proceso:

Dispositivo/práctica	g DQO/kg fruto
Tolva seca	0,00
Despulpado sin agua	0,00
Transporte de la pulpa y del café en baba en seco	0,00
Técnica de los cuatro enjuagues	30,00
Total g DQO/kg fruto	30,00

La concentración de agua residual se calcula dividiendo la carga orgánica por el volumen

Carga generada (mg DQO/kg fruto)	30.000
Volumen de agua residual generada en el proceso (L kg ⁻¹ fruto)	1,05
Concentración del agua residual (mg DQO/L)	28.571

El volumen total de agua residual generada se calcula multiplicando el volumen generado/kg de frutos de café, por la cantidad de café procesado en ese día. **Por ejemplo, si ese día se procesaron 1.500 kg de frutos de café, el volumen de agua residual del día (a una concentración de DQO de 28.571 mg/L) es de: $1,05 \times 1.500 = 1.575$ litros.**

Para este caso se presenta un ahorro significativo en el consumo de agua en el beneficio del café al utilizar la tolva seca, el despulpado sin agua y el lavado del café en los tanques de fermentación. Se recomienda para la disposición final de las aguas residuales generadas, llevar el agua generada en los dos primeros enjuagues al procesador de pulpa y recircular los lixiviados hasta su agotamiento, y manejar el agua residual proveniente del tercer y cuarto enjuague en un filtro verde con recirculación completa de sus drenados para lograr cero vertimientos.

Impacto ambiental del beneficio ecológico

Gracias a las tecnologías desarrolladas por Cenicafé en beneficio ecológico y a su implementación por parte de los caficultores, a cierre del 2020, anualmente se han ahorrado 10 millones de metros cúbicos de agua, suficientes para satisfacer las necesidades anuales de abastecimiento demandadas por la población de ciudades como Tunja o Florencia.

Así mismo, con el buen uso de la tecnología y la adopción de buenas prácticas de beneficio, se ha evitado generar, anualmente, 110 mil toneladas de contaminantes orgánicos, que generalmente son descargados a las fuentes hídricas, equivalentes a la contaminación anual generada en aguas residuales domésticas por la población de ciudades como Cali o Medellín.

Agradecimientos

Al Ingeniero Carlos Mario Jaramillo Cardona, Líder Nacional de Extensión Rural de la FNC, por sus aportes permanentes para la tipificación de beneficiaderos, y al Servicio de Extensión Rural de la FNC por su labor de caracterización de los beneficiaderos de café de los caficultores colombianos.

SEÑOR CAFICULTOR

Adopte las diferentes tecnologías de beneficio ecológico generadas por Cenicafé, de acuerdo con su producción y su capacidad económica y mejore la rentabilidad de su negocio cafetero a la vez que contribuye a la protección de su microcuenca.

Literatura citada

Álvarez-Gallo, J. (1991). Aprenda a conocer las chinches depredadoras de plagas del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 164, 1–6. <http://hdl.handle.net/10778/745>

Blandón, G., Rodríguez-Valencia, N., & Dávila, M. T. (1998). Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Revista Cenicafé*, 49(3), 169–185. <http://hdl.handle.net/10778/753>

Dávila, M. T., & Ramírez, C. A. (1996). *Lombricultura en pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé*, 225, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/4248>

Giraldo, M., Rodríguez-Valencia, N., & Benavides Machado, P. (2019). *Uso potencial de Hermetia illucens (Linnaeus) (Diptera: Stratiomidae) para transformación de pulpa de café: Aspectos biológicos. Revista Cenicafé*, 70(2), 81–90.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The water*

footprint assesment manual: Setting the global standard. Earthscan. <https://waterfootprint.org/en/resources/publications/water-footprint-assesment-manual/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Decreto Número 50 de 2018. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuenca (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85084>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto Número 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

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. (2014). Resolución 1207 del 2014. Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf

Oliveros, C. E., Álvarez, J., Álvarez, F., Ramírez, C. A., & Álvarez, J. R. (1999). BECOLSUB 100: Beneficio ecológico para pequeños productores. *Avances Técnicos Cenicafé*, 261, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/4249>

- Oliveros, C.E., Rodríguez-Valencia, N., Ramírez, C. A., Sanz-Urbe, J. R., & Velásquez, J. (2020). Método de las dos canecas: para separar flotes en pequeños lotes de frutos de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 519, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0519>
- Oliveros, C.E., Sanz-Urbe, J. R., & Ramírez, C. A. (2017). Tecnología para el lavado del café en fincas de pequeños productores. Ecomill® LH-300. *Avances Técnicos Cenicafé*, 486, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4250>
- Oliveros, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Ramírez, C. A., Álvarez, J., & Álvarez, J. R. (1998). BECOLSUB 100: Beneficio ecológico para pequeños productores. *Avances Técnicos Cenicafé*, 253, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4251>
- Oliveros, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Ramírez, C. A., & Mejía, C. A. (2007). Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín. *Avances Técnicos Cenicafé*, 360, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4252>
- Oliveros, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Ramírez, C. A., & Tibaduiza, C. A. (2013). Ecomill®. Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 432, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/500>
- Ramírez, C. A. (2011). *Disminución del impacto ambiental en la tecnología BECOLSUB, mediante la evaporación de lixiviados* [Tesis de Maestría]. Universidad de Manizales.
- Roa, G., Oliveros, C. E., Álvarez, J., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., Álvarez, J. R., Dávila, M. T., Zambrano, D. A., Puerta, G. I., & Rodríguez, N. (1999). *Beneficio ecológico del café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/882>
- Rodríguez-Valencia, N., & Jaramillo, C. (2005). Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* en residuos agrícolas de la zona cafetera. *Boletín Técnico Cenicafé*, 27, 1–61. <http://hdl.handle.net/10778/582>
- Rodríguez-Valencia, N., & Jaramillo, C. (2005). Cultivo de hongos medicinales sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. *Boletín Técnico Cenicafé*, 28, 1–72. <http://hdl.handle.net/10778/583>
- Rodríguez-Valencia, N., Quintero, L. V., Castañeda, S. A., Trejos, J. F., Ospina, C. M., Menza, H. D., De Miguel, A., Romero, M. A., Lince, L. A., & Sarmiento, N. G. (2020). *Informe de la determinación experimental de la huella hídrica del café de Colombia* (Proyecto GIA). Cenicafé.
- Rodríguez-Valencia, N., Sanz, J. R., Oliveros, C. E., & Ramírez, C. A. (2015). *Beneficio del 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-Valencia, N., & Zambrano, D. A. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Avances Técnicos Cenicafé*, 393, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/351>
- Rojas, J. M., Rodríguez-Valencia, N., Romero, M. A., De Miguel, A., Montes, M. A., & Quintero, L. V. (2018). *Guía para la evaluación de la huella hídrica del café en Colombia*. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/publications/Huella_Hidrica.pdf
- Zambrano, D. A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchiná, *Avances Técnicos Cenicafé*, 197, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4253>
- Zambrano, D. A., & Cárdenas, J. (2000). Manejo y tratamiento primario de lixiviados producidos en la tecnología BECOLSUB. *Avances técnicos Cenicafé*, 280, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4207>
- Zambrano, D. A., Rodríguez-Valencia, N., López, U., & Zambrano, A. J. (2010). *Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/313>
- Zambrano, D. A., & Isaza, J. D. (1998). Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. *Revista Cenicafé*, 49(4), 279–289. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc049\(04\)279-289.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc049(04)279-289.pdf)
- Zuluaga, J., & Zambrano, D. A. (1993). Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. *Avances Técnicos Cenicafé*, 187, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/4254>





Cenicafé

Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana