

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

Nelson Rodríguez Valencia
Juan Rodrigo Sanz Uribe
Carlos Eugenio Oliveros Tascón
César Augusto Ramírez Gómez



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

**Nelson Rodríguez Valencia,
Juan Rodrigo Sanz Uribe,
Carlos Eugenio Oliveros Tascón,
César Augusto Ramírez Gómez**





Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Mauricio Cárdenas Santamaría
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Aurelio Iragorri Valencia
Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Cecilia Álvarez Correa
Director del Departamento Nacional de Planeación
Simón Gaviria Muñoz

COMITÉ NACIONAL

Período 1° enero/2015- diciembre 31/2018

Jose Fernando Montoya Ortega
Jose Alirio Barreto Buitrago
Eugenio Velez Uribe
Danilo Reinaldo Vivas Ramos
Cliford Enrique Bonilla Smith
Javier Bohorquez Bohorquez
Octavio Oliveros Collazos
Edilberto Rafael Alvarez Pineda
Leonardo Javier Pabón Sanchez
Alfredo Yañez Carvajal
Carlos Alberto Cardona Cardona
Alejandro Corrales Escobar
Jorge Julian Santos Orduña
Luis Javier Trujillo Buitrago
Camilo Restrepo Osorio

Gerente General

ROBERTO VÉLEZ VALLEJO

Gerente Administrativo

CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ ARBOLEDA

Gerente Financiero

JUAN CAMILO BECERRA BOTERO

Gerente Comercial

CARLOS FELIPE ROBAYO DUQUE

Gerente Técnico

HERNANDO DUQUE ORREGO

Director Investigación Científica y Tecnológica

HERNANDO DUQUE ORREGO (E)

ISBN 978-958-8490-17-5

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.

Comité Editorial Cenicafé

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

Juan Rodrigo Sanz U.
Ph.D. Ing. Mecánico. Ingeniería Agrícola,
Cenicafé

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

José Ricardo Acuña S.
Ph.D. Microbiólogo. Mejoramiento Genético,
Cenicafé

Siavosh Sadeghian Kh.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Sandra Milena Marín L.
MSc. Ing. Agrónomo. Divulgación y
Transferencia, Cenicafé

Edición de textos

Sandra Milena Marín L.

Diseño y diagramación

Carmenza Bacca Ramírez

Fotografías

Archivo Cenicafé

Impreso por

Tabla de contenido

Beneficio convencional del café

5

Beneficio ecológico del café

6

Beneficio ecológico del café sin vertimientos

11

Indicadores ambientales en el proceso de beneficio del café

14

Índice de manejo del agua en el beneficio del café
Índice de calidad ambiental en el beneficio del café

Tipificación de los beneficiaderos

18

Tipificación de los beneficiaderos convencionales de café
Tipificación de los beneficiaderos ecológicos de café
Tipificación de los beneficiaderos ecológicos de café sin vertimientos

Prácticas y estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio del café

26

Agradecimientos

33



El fruto maduro del café (café cereza), una vez cosechado, es un material perecedero, por lo cual debe ser transformado rápidamente a café pergamino seco, con humedad en el rango del 10% al 12%, base húmeda, para preservar su calidad intrínseca. El proceso utilizado para transformarlo se denomina beneficio húmedo, porque se utiliza agua para el lavado de la semilla (15). Se da el nombre de beneficiadero al establecimiento en el cual se realizan las operaciones y procesos destinados a transformar el café cereza en café pergamino seco (15, 20).

El objetivo de esta publicación es dar a conocer la relación que existe entre los diferentes tipos de beneficio de café con respecto al uso eficiente, ahorro de agua y contaminación hídrica en la zona cafetera, con el fin de concientizar a los productores de café sobre la necesidad de conservar las

microcuencas, mejorando la cantidad y calidad del agua. Como medio para alcanzar el objetivo propuesto se presentan prácticas y estrategias de fácil adopción, por parte de los productores, que contribuyen a una Gestión Integral del Recurso Hídrico en el proceso de beneficio húmedo del café.

En la actualidad, existen en Colombia tres tipos de beneficio para el fruto, los cuales se describen a continuación:

Beneficio convencional del café

Con este nombre se conoce al proceso que tradicionalmente se ha utilizado en Colombia para transformar el fruto en semilla y en el cual se utiliza agua en las etapas de despulpado, lavado y transporte (del fruto, del café despulpado y del café lavado), con un consumo global cercano a los 40 litros de agua por cada kilogramo de

café pergamino seco (cps) (20, 33) y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos.

Presenta, entre otras, las siguientes características (10):

- Alto consumo específico de agua- 40 L.kg-1 de café pergamino seco
- Alta contaminación orgánica (115 g de DQO por kilogramo de café cereza).
- Requiere de infraestructura especializada para medianas y grandes producciones.

Beneficio tradicional de café





Beneficio por canal
de correteo



Beneficio ecológico del café

Es un proceso de beneficio de café amigable con el ambiente, que permite obtener cafés con la calidad física y de taza característicos del café de Colombia.

Se define como “El conjunto de operaciones realizadas para transformar el café cereza 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” (20).



Beneficio del café. Despulpado sin agua

Al despulpar sin agua y realizar el transporte no hidráulico de la pulpa hasta una fosa techada, se evita el 74% de la contaminación potencial de los recursos hídricos, por causa de los subproductos del proceso de beneficio, sin afectar el funcionamiento de la máquina despulpadora ni la calidad del producto (3). La pulpa sin agua puede aprovecharse para el cultivo de hongos comestibles y medicinales (22, 23), para la producción de abono orgánico (4, 7) o para la producción de bioenergía (26).

Al usar la tecnología Becolsub (beneficio ecológico del café y aprovechamiento de los subproductos), en la que se usa

Este beneficio del café presenta, entre otras, las siguientes características:

- El despulpado y transporte de la pulpa se realiza sin agua
- La eliminación del mucílago se realiza de forma natural o mecánica, utilizando desmucilaginosos, lavadores mecánicos o tanques de fermentación.
- Permite lavar y clasificar el café, con consumo específico de agua inferior a 5 L.kg⁻¹ de cps.
- La transformación de la pulpa se realiza en una fosa, con el área correspondiente a la producción y debidamente techada.
- Se realiza el control de la contaminación mediante el aprovechamiento de los subproductos.



**Desmucilaginator
mecánico**



**Módulo
Becolsub**



**Tanque
Tina**



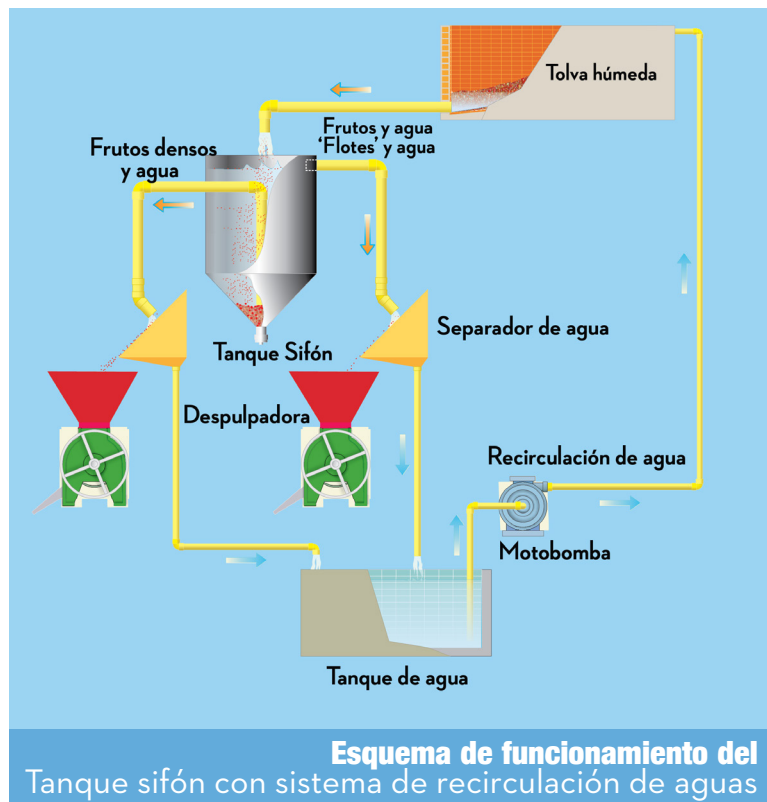
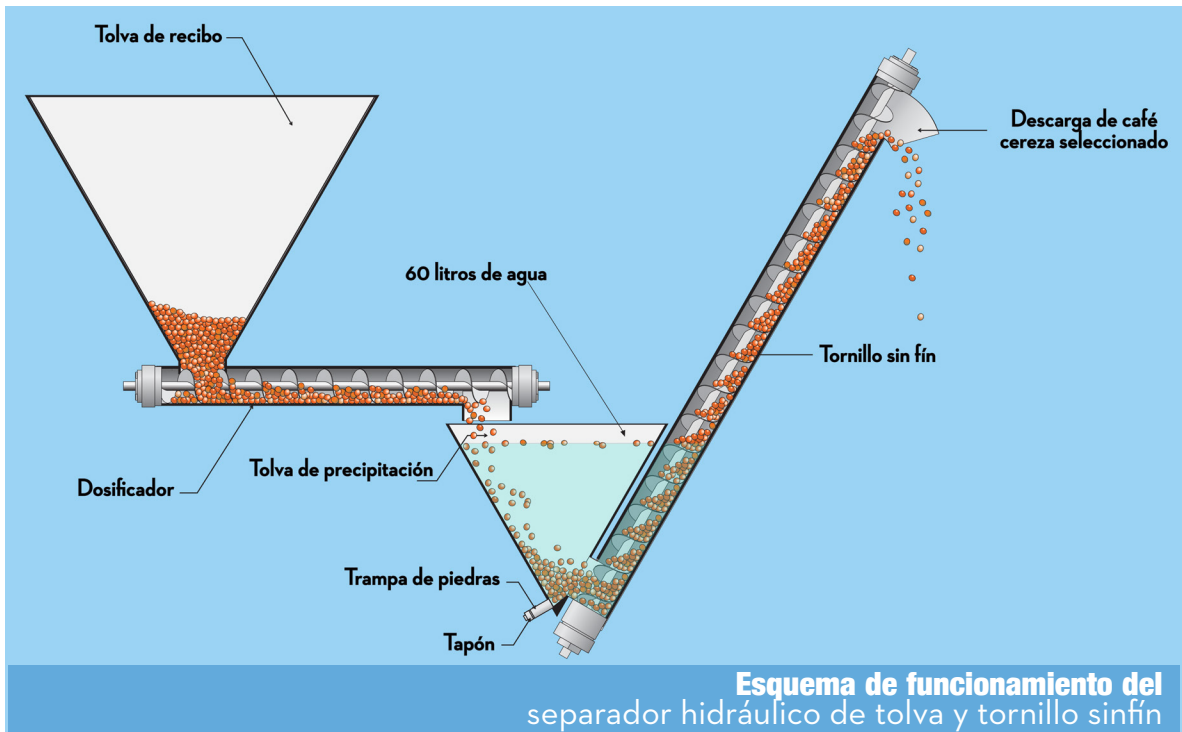
**Paleta para agitar
el café durante el lavado**

el desmucilaginator mecánico DESLIM (desmucilaginator-lavador-limpiador), con un consumo específico de agua entre 0,7 y 1,0 L.kg⁻¹ de cps, y la mezcla de la pulpa y el mucílago en un transportador de tornillo sinfín, se logra controlar la contaminación de los recursos hídricos en cerca de un 20% adicional (11, 12).

Para los caficultores que emplean la fermentación natural, una opción complementaria al despulpado sin agua

consiste en racionalizar el agua en el lavado del café, utilizando menos de 5 L.kg⁻¹ de cps, mediante el empleo del tanque tina y la práctica de los cuatro enjuagues (29), y remojar la pulpa en el proceso de transformación con las aguas provenientes de los dos primeros enjuagues del lavado del café.

Otras opciones para el manejo de las aguas residuales consisten en su reúso en el mismo cultivo o en cultivos diferentes, después



de tratamientos previos de acuerdo con la Resolución 1207 del 2014 (18), o su utilización para la producción de biocombustibles como biogás y bioetanol (26), con el fin de generar valor agregado al mucílago.

En el proceso de beneficio ecológico, 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 (29), se aconsejan para caficultores que procesan máximo 1.000 kg de café cereza en el día pico. Para caficultores con producciones mayores, para la clasificación hidráulica del fruto se recomienda el uso del separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín (13), así como tolvas húmedas con recirculación, tanque sifón con recirculación y para el lavado del grano el uso de desmucilagadores-lavadores y de lavadores mecánicos.





Beneficio ecológico del café
utilizando la tecnología Ecomill®

Beneficio ecológico del café sin vertimientos

Es aquel beneficio en el cual se hace un uso racional del agua y se tratan los subproductos como pulpa, mucílago y 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 se recirculan permanentemente sobre el mismo material, hasta lograr su incorporación completa, y las aguas tratadas, provenientes de los

sistemas de tratamiento, son utilizadas en el riego de los cultivos de la zona, en las condiciones establecidas en la Resolución 1207 del 2014.

La tecnología Ecomill® (14) es la nueva propuesta de la Federación Nacional de Cafeteros para realizar el beneficio de café, más amigable con los recursos naturales. Esta tecnología consiste en una serie de

Este beneficio del café presenta, entre otras, las siguientes características:

- El despulpado y transporte de la pulpa se realiza sin agua
- La eliminación del mucílago se realiza de forma natural o mecánica, utilizando desmucilagadores, lavadores mecánicos o tanques de fermentación.
- Permite lavar y clasificar el café, con consumo específico de agua inferior a 5 L.kg⁻¹ de cps.
- La transformación de la pulpa se realiza en una fosa, con el área correspondiente a la producción y debidamente techada.
- Se realiza el control de la contaminación mediante el aprovechamiento de los subproductos.



equipos y prácticas con las que se logra eliminar los vertimientos relacionados con el beneficio húmedo del café. Consiste en el despulpado sin agua, transporte del café despulpado y de la pulpa sin agua, proceso de fermentación natural en tanques cilíndricos que no necesitan agua para el vaciado del café, sistema mecánico de lavado con mínima cantidad de agua (menos de $0,5 \text{ L.kg}^{-1}$ de cps) y manejo de las aguas resultantes con cero vertimientos.

Para lograr cero vertimientos existen varias posibilidades dentro de las que se destacan la mezcla de las aguas residuales viscosas con la pulpa que está en proceso de descomposición; con esta metodología se logra la total retención de las aguas residuales en tres aspersiones a la pulpa. Así mismo, dado el bajo consumo específico de agua y la alta concentración de

mucílago, otra opción sería usar secadores solares para la deshidratación de las aguas residuales, las cuales pueden transformarse en un subproducto con valor agregado, que puede ser utilizado como fuente de materia orgánica o nutrientes (bioabono) (16).

De esta manera, las únicas aguas residuales generadas son las aguas remanentes del proceso, como por ejemplo aquellas de la clasificación hidráulica y las provenientes del lavado de equipos, que se caracterizan por sus bajos volúmenes y su baja carga orgánica. Se recomienda utilizar este tipo de aguas para remojar la pulpa en proceso de descomposición, para el riego de los lombricultivos o realizar el tratamiento en plantas biológicas anaeróbicas, que tendrían una décima parte del volumen necesario si se usa el lavado en el tanque de fermentación.



Aspecto de las aguas residuales viscosas
obtenidas con la tecnología Ecomill®



Deshidratación de las aguas residuales
provenientes del Ecomill®



Subproducto obtenido de la deshidratación
de aguas residuales. Bioabono



Adición de las aguas del
beneficio en la pulpa en proceso de
descomposición

Indicadores ambientales en el proceso de beneficio del café

El café colombiano lleva implícita una característica de calidad, asociada al proceso de beneficio húmedo de los frutos, donde se requiere el empleo de agua, que lo enmarca dentro de una categoría conocida como “café suaves lavados”.

Bajo este aspecto, es indudable pensar que si se requiere del agua para beneficiar el fruto de café y transformarlo en café pergamino seco, el uso de la misma debe asumirse con responsabilidad ambiental, la cual se logra adoptando tecnologías que enmarquen el producto dentro de un sistema productivo amigable con la naturaleza.

El despulpado y transporte de la pulpa sin agua hasta fosas techadas, 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 (30). El 26% restante de la contaminación se previene mediante la disposición del mucílago en mezcla con la pulpa de café, la cual actúa como filtro biológico, lo que aunado a los procesos de compostaje o lombricompostaje de la mezcla, permite obtener abono orgánico. Otras disposiciones son su uso en la alimentación animal o su tratamiento en sistemas biológicos como los sistemas modulares de

tratamiento anaeróbico desarrollados en Cenicafe (31) o la utilización de sistemas de tratamientos físico-químicos que permitan reducir la contaminación orgánica hasta los valores permisibles por la normatividad ambiental colombiana según la Resolución 631 del 2015. (17).

Índice de manejo del agua en el beneficio del café

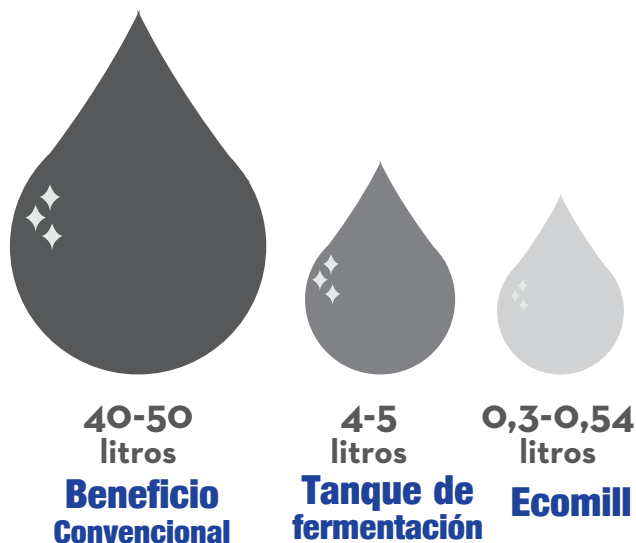
Para beneficiar el café en Colombia por métodos convencionales, se requieren entre 40 y 50 L.kg⁻¹ cps, de los cuales aproximadamente la mitad se utiliza en la clasificación del fruto, el despulpado y transporte de la pulpa a las fosas y el transporte de café despulpado a los tanques de fermentación. 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.

Con el fin de disminuir el consumo de agua en la clasificación del café en cereza, en Cenicafe se desarrolló el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín (SHTTS), un dispositivo en el cual se combinan, en forma eficiente, las ventajas de la separación hidráulica y el transporte con tornillo sinfín, con bajo consumo específico de agua, permitiendo disminuir el 99,5% del consumo de agua, con respecto al dispositivo tradicional, el tanque sifón (6), de acuerdo como se presenta en la Tabla 1.

Despulpar en seco el fruto de café y transportar la pulpa y el café despulpado por medios no hidráulicos, permite eliminar el consumo del agua en esta etapa y conservar la totalidad de la materia orgánica aprovechable de la pulpa.

Cuando la eliminación del mucílago se realiza por fermentación natural y lavado, el uso eficiente y racional del agua durante el lavado del café en el mismo tanque de fermentación y usando la técnica de los cuatro enjuagues permite reducir el 80% del consumo de la misma, al compararla con el lavado convencional (29).

Con el fin de reducir el consumo de agua y la contaminación en el proceso de beneficio para lavar el café, surgió la tecnología Becolsub (Beneficio Ecológico del café y aprovechamiento de Subproductos), la cual utiliza una máquina especialmente desarrollada para retirar el mucílago al café recién despulpado, usando la menor cantidad de agua posible (0,7 - 1,0 L.kg⁻¹ de cps). Adicional al eficiente sistema de desmucilaginado, la tecnología Becolsub cuenta con el despulpado sin agua y el transporte y mezcla de la pulpa con el mucílago, con los cuales se logra un control



de más del 90% de la contaminación potencial de las fuentes de agua.

Recientemente, para retirar el mucílago degradado por fermentación natural, Cenicalfé desarrolló la tecnología Ecomill® que consiste en tanques de fermentación cilíndricos que aprovechan la gravedad para el vaciado del café que está listo para ser lavado y un lavador mecánico que es alimentado dosificadamente y que requiere bajos volúmenes de agua para la separación del mucílago fermentado (6).

Tabla 1. Tecnologías utilizadas en la clasificación hidráulica del fruto de café

Tecnología	Consumo específico de agua (L.kg ⁻¹ cps)	Eficacia en la separación de flotes (%)	Eficacia en la separación de objetos duros (%)
Tanque sifón sin recirculación de agua	4,7	89,0	49,0
Separador hidráulico de tolva y tornillo sin fin	0,025	98,8	88,2

Fuente: Cenicalfé (6).

En la Tabla 2 se presentan los consumos de agua en el lavado del grano, utilizando diferentes tecnologías, evaluadas en Cenicafé.

La escala del indicador se mueve en el rango entre cero (0) y uno (1), en la cual un valor de cero (0) es indicador de gran consumo de agua (mayor a 40 L.kg⁻¹ cps), en el cual no se presenta ahorro de agua y se interpreta como una acción de presión sobre el recurso de agua superficial, mientras que un valor de uno (1) es indicador de no uso de agua en el beneficio. En la medida en que el indicador se aproxime a uno (1), es mayor el ahorro de agua realizado en el proceso de beneficio, con lo cual se indica un uso eficiente del agua en este proceso.

Con la última tecnología generada en Cenicafé en el lavado del grano, como es el caso del Ecomill® que consume menos de 0,5 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 de cps.

En la Tabla 3, se presenta la ponderación para cada una de las prácticas realizadas en las diferentes etapas de beneficio, relacionadas con el ahorro y uso eficiente del agua.

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 (25). 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 de cps, lo que representa el 12,5% del valor total de agua en el proceso convencional (consumo de agua de 40 L.kg⁻¹ de 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.



Módulo Becolsub

Tabla 2. Tecnologías utilizadas en Cenicafé en el lavado del grano del café

Tecnología	Consumo específico de agua (L.kg ⁻¹ de cps)
Lavado mecánico con Ecomill®	0,3 - 0,5
Desmucilaginado mecánico con Becolsub	0,7 - 1,0
Otros lavadores	2,2 - 2,7
Otros desmucilaginosos	1,5 - 3,3
Tanque de fermentación	4,0 - 5,0
Canal semisumergido	6,5 - 8,0
Bomba sumergible	6,5 - 9,0
Canal de correteo	20,0 - 25,0

Fuente: Cenicafé (6), Mejía et al. (9)

Tabla 3. Índice de manejo de agua en el proceso de beneficio

Etapa de Beneficio	Dispositivo/práctica	Ponderación	Valor máximo Etapa
Recibo	Tolva seca	0,125	0,125
	Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo sinfín	0,124	
	Tanque sifón sin recirculación	0,008	
	Tanque sifón con recirculación	0,075	
	Bomba sumergible	0,075	
Despulpado	Con agua	0,000	0,125
	Sin agua	0,125	
Transporte pulpa	Con agua	0,000	0,125
	Sin agua	0,125	
Transporte café despulpado	Con agua	0,000	0,125
	Sin agua	0,125	
Lavado	Lavador mecánico tecnología Ecomill®	0,490	0,500
	Otros lavadores	0,433 - 0,445	
	Desmucilaginoso DESLIM	0,479	
	Otros desmucilaginosos	0,418 - 0,463	
	Técnica enjuagues en tanque	0,375 - 0,400	
	Canal semisumergido	0,319	
	Bomba sumergible	0,306	
	Canal de correteo	0,000	
Total del Indicador			1,00

Fuente: Rodríguez y Quintero (25)

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. Mediante estos parámetros se cuantifica la cantidad de oxígeno necesario para oxidar, por vía química (DQO) o por vía biológica (DBO), la materia orgánica presente en el residuo, siendo proporcional el valor encontrado a la cantidad de materia orgánica presente.

Normalmente, la DBO se mide transcurridos 5 días de reacción, y por ello, se denomina DBO_5 . Para el caso de las aguas residuales del café, la relación DQO/DBO_5 es de 2,07 (analizadas 72 muestras; $CV=12,47\%$), en promedio.

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% (85 g) provienen de la pulpa y 26,3% (30 g) provienen del mucílago (30).

Crterios para medir la calidad del agua

DQO: Demanda química de Oxígeno

DBO: Demanda biológica de Oxígeno

SST: Sólidos Suspensidos Totales

La escala del indicador se mueve en el rango entre cero (0) y uno (1), en la cual un valor de cero (0) es indicador del máximo impacto ambiental adverso sobre los recursos naturales, mientras que un valor de uno (1) es indicador de un buen manejo, valorización y tratamiento de los subproductos del beneficio, sin generación de impactos adversos sobre el ecosistema cafetero. En la Tabla 4 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.

Tipificación de los beneficiaderos

Tipificación de los beneficiaderos convencionales de café

Los beneficiaderos convencionales se caracterizan por las siguientes características:

- Que el consumo global de agua en el beneficio del café sea mayor a 10 L.kg^{-1} de cps
- Que no se realice manejo parcial o total a los subproductos (pulpa y mucílago) generados en el proceso de beneficio.

En la Tabla 5 se presenta la tipificación para los diferentes beneficiaderos convencionales que pueden encontrarse en

Tabla 4. Índice de calidad ambiental en el proceso de beneficio

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 Tornillo sinfín	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	No	0,000	0,120
Sí		0,120		
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 las aguas provenientes de los dos primeros enjuagues del lavado del café a la pulpa, sin recirculación de lixiviados	0,100	
		Recirculación o reúso de lixiviados, provenientes de la mezcla pulpa-mucílago, pulpa-enjuagues, hasta agotamiento de éstos, y manejo del tercer y cuarto enjuagues del tanque de lavado en sistema de tratamiento, con posterior reúso.	0,160	
		Sistemas de tratamiento biológico o físico-químico o adición de mieles de lavadores a la pulpa sin recirculación de lixiviados.	0,200	
		Reúso del agua tratada. Recirculación o reúso de lixiviados de la adición de mieles de lavadores a la pulpa, hasta agotamiento.	0,060	
		Utilización de todo el mucílago en alimentación animal o incorporación de todas las mieles a la pulpa o reúso de todas las aguas residuales, sin vertimientos.	0,260	
Total del indicador				1,00

Fuente: Rodríguez y Quintero (24).

Para valorar el impacto ambiental ocasionado por el manejo, disposición y tratamiento de los subproductos del café sobre los recursos naturales, en términos de DBO_5 , generados en el proceso de beneficio del café y determinar las estrategias y acciones 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 (24). 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 fosas no techadas, 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 fosas techadas, con recirculación o tratamiento de lixiviados, se puede evitar este 74% del potencial contaminante, que al ser convertido a fracción nos genera un valor de 0,74, tal como se presenta en la Tabla 4.



Beneficio del café.
Despulpado con agua

Colombia. En ella, se condensan las características para cada uno de los tipos de beneficio, en cada una de las etapas del proceso y se calculan los valores de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) generados y los valores del Índice de manejo del agua en el beneficio del café y del Índice de Calidad Ambiental en el Proceso de Beneficio.

Tipificación de los beneficiaderos ecológicos de café

Los beneficiaderos ecológicos se caracterizan por cumplir 2 características fundamentales:

- Que el consumo global de agua en el beneficio del café sea menor a 10 L.kg⁻¹ de cps y
- 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.

En la Tabla 6 se presenta la tipificación para los diferentes beneficiaderos ecológicos que se pueden encontrar en Colombia. En ella se presentan las características, para cada uno de los tipos de beneficio, en cada una de las etapas del proceso y se calculan los valores de DBO₅ y SST generados y los valores del Índice de Manejo del Agua en el Beneficio del Café y del Índice de Calidad Ambiental en el Proceso de Beneficio.

Aspecto del café lavado
proveniente del beneficio ecológico



Tabla 5. Tipos de beneficiaderos convencionales

Tipo de beneficiadero	Operación	Características	DBO ₅	SST	Observaciones
			kg/@ de cps		
Convencional 1	Recibo	Más de 4,7 L de agua /kg cps	3,59	3,50	Consumo de agua mayor a 10 L.kg ⁻¹ cps, sin manejo de subproductos. IMAPBHC = 0,000. ICAPBHC = 0,000.
	Despulpado	Despulpado con agua			
		Transporte de pulpa con agua Sin fosa o la tiene sin techo			
	Lavado	Más de 5 L de agua /kg cps Ej.: Transporte del café despulpado y lavado con agua; canal de correteo.			
Sin tratamiento de las aguas residuales generadas					
Convencional 2	Recibo	Igual a Convencional 1	2,87	0,70	Consumo de agua mayor a 10 L.kg ⁻¹ cps, sin manejo de subproductos y con planta de tratamiento de aguas. IMAPBHC = 0,000. ICAPBHC = 0,200.
	Despulpado	Igual a Convencional 1			
	Lavado	Igual a Convencional 1			
		Tratamiento de las aguas residuales generadas			
Convencional 3	Recibo	4,7 L de agua/kg cps. Ej: Tanque sifón sin recirculación	2,51	0,24	Consumo de agua mayor a 10 L.kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos. IMAPBHC = 0,008. ICAPBHC = 0,300.
	Despulpado	Despulpado con agua			
		Transporte de pulpa con agua Fosa techada y descomposición de la pulpa			
	Lavado	Más de 5 L de agua /kg cps			
Sin tratamiento de las aguas residuales generadas					
Convencional 4	Recibo	Igual a Convencional 3	1,79	0,05	Consumo de agua mayor a 10 L.kg ⁻¹ cps, con manejo de subproductos y planta de tratamiento de aguas residuales. IMAPBHC = 0,008 ICAPBHC = 0,500
	Despulpado	Igual a Convencional 3			
	Lavado	Igual a Convencional 3			
		Tratamiento de las aguas residuales generadas			
En transición con reducción de agua	Recibo	Menor a 4,7 L de agua/kg cps. Ej: Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín, tanque sifón con recirculación, tolva con recirculación o tolva seca.	3,58	3,47	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ cps, sin manejo de subproductos. IMAPBHC = Entre 0,433 y 0,550 ICAPBHC = 0,001
	Despulpado	Despulpado con agua			
		Transporte de pulpa con agua Sin fosa o la tiene sin techo			
	Lavado	Menos de 3 L de agua por kilogramo de cps Ej: Desmucilaginosos y lavadores mecánicos			
Sin tratamiento a las aguas residuales generadas					

Fuente: Adaptado de Zambrano (28).

Tabla 6. Tipos de beneficiaderos ecológicos

Tipo de beneficiadero	Operación	Características	DBO5	SST	Observaciones
			kg/@ cps		
Ecológico 1	Recibo	Tolva seca o tolva húmeda con consumo menor a 2 L de agua por 1 kg de cps. Ej. Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín, tanque sifón con recirculación, tolva con recirculación	Entre 1,39 y 1,36	0,21	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ de cps, con manejo de subproductos (pulpa). IMAPBHC = Entre 0,825 y 0,875. ICAPBHC = Entre 0,612 y 0,620.
	Despulpado	Despulpado sin agua			
		Transporte de pulpa sin agua Fosa techada y descomposición de la pulpa			
Lavado	Menos de 5 L de agua por 1 kg de cps. Ej: Lavado en tanque con la técnica de los cuatro enjuagues				
	Sin tratamiento de las aguas residuales generadas				
Ecológico 2	Recibo	Igual al Beneficio Ecológico 1	Entre 1,03 y 1,01	0,12	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ de cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago). IMAPBHC = Entre 0,825 y 0,875. ICAPBHC = Entre 0,712 y 0,720.
	Despulpado	Igual al Beneficio Ecológico 1			
	Lavado	Menos de 5 L de agua por 1 kg de cps.			
Remojo de la pulpa con el mucílago o con las aguas mieles concentradas					
Ecológico 3	Recibo	Igual al Beneficio Ecológico 1	Entre 1,03 y 1,01	0,12	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ de cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago). IMAPBHC = Entre 0,875 y 0,993. ICAPBHC = Entre 0,712 y 0,720.
	Despulpado	Igual al Beneficio Ecológico 1			
	Lavado	Menos de 3 L de agua por 1 kg de cps. Ej: Desmucilaginosos y lavadores mecánicos			
Remojo de la pulpa con el mucílago o con las aguas mieles concentradas					
Ecológico 4	Recibo	Igual al Beneficio Ecológico 1	Entre 0,67 y 0,00	Entre 0,03 y 0,00	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ de cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago) y reúso o tratamiento de las aguas residuales generadas. IMAPBHC = Entre 0,825 y 0,875. ICAPBHC = Entre 0,812 y 1,00.
	Despulpado	Igual al Beneficio Ecológico 1			
	Lavado	Menos de 5 L de agua por 1 kg de cps.			
Reúso o tratamiento a las aguas residuales generadas (aguas mieles y lixiviados).					
Ecológico 5	Recibo	Igual al Beneficio Ecológico 1	Entre 0,67 y 0,00	Entre 0,03 y 0,00	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ de cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago) y reúso o tratamiento de las aguas residuales generadas. IMAPBHC = Entre 0,875 y 0,993 ICAPBHC = Entre 0,812 y 1,00
	Despulpado	Igual al Beneficio Ecológico 1			
	Lavado	Menos de 3 L de agua por 1 kg de cps.			
Reúso o tratamiento a las aguas residuales generadas (aguas mieles y lixiviados).					

Fuente: Adaptado de Zambrano (28).

Tipificación de los beneficiaderos ecológicos de café sin vertimientos

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

- Que el consumo global de agua en el beneficio del café sea menor a 10 L.kg⁻¹ de cps
- 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
- Que se recirculen o reúsen las mieles o las aguas residuales tratadas, sin generación de vertimientos

En la Tabla 7 se presenta la tipificación para los diferentes beneficiaderos ecológicos sin vertimientos que pueden encontrarse en Colombia. En ella, se observan las características para cada uno de los tipos de beneficio, en cada una de las etapas del proceso y se calculan los valores de DBO₅ y SST generados y los valores del Índice de Manejo del Agua en el Beneficio del Café y del Índice de Calidad Ambiental en el Proceso de Beneficio

La información de DBO₅ y SST presentada en las Tablas 5, 6 y 7, se obtuvo del procesamiento de datos registrados en publicaciones de Cenicafé, referentes al beneficio convencional del café (despulpado y transporte de la pulpa con agua) y lavado del grano en los tanques de fermentación, y al balance de masas bajo condiciones controladas del proceso de beneficio (30, 32). En estas investigaciones

se encontró que beneficiando muestras de café en cereza, con diferentes estados de madurez y desmucilaginado por fermentación natural, la pulpa produce una DQO de 84,8 g.kg⁻¹ fruto y unos contenidos de SST de 0,54 g.kg⁻¹ fruto en las aguas de despulpado y transporte de la pulpa, y de 52,06 g.kg⁻¹ fruto en la pulpa residual, mientras que el mucílago fermentado produce una DQO de 30,3 g.kg⁻¹ de fruto y una cantidad de SST de 3,35 g.kg⁻¹ de fruto (30).

De lo anterior, se calcula que por cada 12,5 kg de café pergamino seco obtenidos se generan por la pulpa y el mucílago 3,59 kg de DBO₅ y 3,50 kg de SST, estando presentes en las aguas de despulpado, transporte de la pulpa y lavado del grano una cantidad de 0,24 kg de SST.



Tabla 7. Tipos de Beneficiaderos Ecológicos sin Vertimientos

Tipo de Beneficiadero	Operación	Características	DBO5	SST	Observaciones
			kg/@+cps		
Ecológico 6	Recibo	Tolva seca o tolva húmeda que consume menos de 2 L de agua por 1 kg de cps. Ej. Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfn, tanque sifón con recirculación, tolva con recirculación	0,00	0,00	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ de cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago, aguas residuales) y reúso de las aguas residuales sin generación de vertimientos. IMAPBHC = Entre 0,825 y 0,875. ICAPBHC = 1,00
	Despulpado	Despulpado sin agua			
		Transporte de pulpa sin agua			
		Fosa techada y descomposición de la pulpa.			
	Lavado	Menos de 5 L de agua por 1 kg de cps. Ej. Lavado en tanque con la técnica de los cuatro enjuagues			
Reúso o tratamiento de las aguas residuales generadas (aguas mieles y lixiviados), con reúso de las aguas tratadas sin generación de vertimientos					
Ecológico 7	Recibo	Igual al Beneficio Ecológico 6	0,00	0,00	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ de cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago, aguas residuales) y reúso de las aguas residuales sin generación de vertimientos. IMAPBHC = Entre 0,875 y 0,990 ICAPBHC = 1,00
	Despulpado	Igual al Beneficio Ecológico 6			
	Lavado	Menos de 3 L de agua por 1 kg de cps.			
		Reúso o tratamiento de las aguas residuales generadas (aguas mieles y lixiviados), con reúso de las aguas tratadas sin generación de vertimientos			
Ecológico 8	Recibo	Igual al Beneficio Ecológico 6	0,00	0,00	Consumo de agua menor a 10 L.kg ⁻¹ de cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago, aguas residuales) y reúso de las aguas residuales sin generación de vertimientos. IMAPBHC = 0,99 ICAPBHC = 1,00
	Despulpado	Igual al Beneficio Ecológico 6			
	Lavado	Menor de 0,5 L de agua por 1 kg de cps (Ecomill®)			
		Remojo de la pulpa con todas las aguas residuales de lavado, sin generación de vertimientos y/o deshidratación o secado de las mieles provenientes del lavado			

Fuente: Adaptado de Zambrano (28).
 *@=12.5 kg

Los sólidos disueltos constituyen la mayor fracción de sólidos en las aguas de despulpado y transporte de la pulpa (98%) y también en las aguas de lavado (87%), lo que requiere que se implementen sistemas biológicos o físico-químicos para su tratamiento, con el fin de eliminar la contaminación soluble, complementando aquellos sistemas de tratamiento basados en principios físicos.

Prácticas y estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio del café

A continuación se describen las principales prácticas y estrategias para el ahorro y el uso eficiente del agua, con el fin de disminuir o evitar la contaminación potencial sobre los recursos naturales, por la inadecuada disposición de los subproductos del café. Con su aplicación puede transformarse un beneficiadero convencional a ecológico y un beneficiadero ecológico a beneficiadero ecológico sin vertimientos.

Uso de tolva seca o tolva húmeda con consumo de agua menor a 2 L.kg^{-1} de cps, para el recibo y la clasificación del fruto.

Dentro de los dispositivos para clasificación hidráulica del fruto que permiten tener bajos consumos de agua se tienen el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín, la tolva húmeda con recirculación y el tanque sifón con recirculación. Para evitar la contaminación, deben llevarse las aguas residuales de la clasificación hidráulica a un sistema de tratamiento para su uso de nuevo en el cultivo.



Adopción del despulpado y transporte de la pulpa sin agua

La adopción del despulpado de los frutos sin agua y su transporte por gravedad a las fosas se constituye en la acción ambiental más importante en el beneficio húmedo del café, dado que el agua en esta etapa genera el mayor impacto ambiental negativo sobre los ecosistemas, por la gran cantidad de compuestos orgánicos de baja biodegradabilidad, que se solubilizan en el agua cuando ésta entra en contacto con la pulpa, la cual es responsable de las tres cuartas partes de la contaminación potencial que puede producirse en los beneficiaderos de café. Su costo de implementación es bajo.



Construcción de una fosa techada para almacenar y procesar la pulpa

La pulpa y el mucílago representan el 100% de los residuos que se generan durante el proceso de beneficio húmedo de café. La sola construcción de una fosa techada para la descomposición de la pulpa evita el 74% de la contaminación hídrica, si el transporte de la pulpa se realiza por gravedad o mecánicamente, sin la utilización de agua.

Las fosas para la pulpa deben ser construcciones sólidas y duraderas (elaboradas en adobe y cemento), techadas y con el tamaño suficiente para almacenar y procesar la pulpa durante la cosecha del café.

La fosa se divide en compartimientos, de 2 a 6 m de ancho, dependiendo de la producción,



para facilitar el almacenamiento y manejo de la pulpa. El largo de la fosa puede variar entre 3 a 25 m, dependiendo de la cantidad de pulpa a procesar. Las divisiones se hacen con guaduas, que se sostienen en cajas de adobe o concreto, construidas en los extremos. La altura de los muros de la fosa no debe ser mayor a 2 m. El piso de la fosa debe construirse en cemento, y es

aconsejable cubrirlo con tableta de gres para darle mayor vida útil, con un desnivel del 2% hacia fuera, que permita canalizar los lixiviados provenientes de la descomposición de la pulpa, para llevarlos a un sistema de tratamiento o almacenarlos para asperjarlos nuevamente, a la pulpa. Para todos los casos, el piso de la fosa debe estar aislado del suelo, para evitar la infiltración de los lixiviados generados.

Transformación de la pulpa en abono orgánico mediante un compostaje o lombricompostaje, bajo techo

El lombricompostaje de la pulpa de café se considera la práctica más sencilla para el aprovechamiento eficiente de este subproducto, dado que acelera su proceso de transformación, disminuye la mano de obra y mejora los rendimientos del abono orgánico obtenido.

Los lombricultivos pueden construirse utilizando diferentes sistemas de manejo como lechos en guadua, esterilla, ladrillo y cajas plásticas, en los cuales se encontró que la pulpa generada por una finca que produzca 1.000 @ al año de cps (aproximadamente 25 toneladas de pulpa fresca), puede manejarse en un área efectiva de 25 m² de lombricultivo, con una densidad de lombriz pura de 5 kg.m². Es decir, que se



puede manejar alrededor de una tonelada de pulpa de café por metro cuadrado de lombricultivo al año (7).

Si no se dispone de lombrices puede realizarse la transformación de la pulpa mediante volteos periódicos bajo techo, para evitar que las aguas lluvias lixivien los componentes de la pulpa y ocasionen impactos negativos en el ecosistema.

Racionalización en el consumo de agua en las etapas de desmucilaginado, lavado y clasificado del café y en la limpieza del beneficiadero

El uso racional del agua en el desmucilaginado natural o mecánico y lavado del café, ha permitido reducir el

volumen y aumentar la concentración de la contaminación orgánica en los residuos líquidos producidos, lo que ha hecho más económico su tratamiento biológico.

Cuando la eliminación del mucílago se realiza por fermentación natural, el uso eficiente y racional del agua durante el lavado del café permite reducir el 80% del

consumo de la misma. Para efectuar dicho control se desarrolló la práctica de realizar enjuagues para lavar el café dentro de los tanques de fermentación: tecnología del Tanque Tina (29).

El potencial de usuarios de la Tecnología Tanque Tina sobrepasa el medio millón de Unidades Productoras Agrícolas (UPAs), las cuales corresponden en más del 90% a pequeños productores de café. En el año 2004 Cenicafé apoyó la transferencia de la tecnología en lavado en tanque tina a 574 productores de café orgánico de la Sierra Nevada de Santa Marta (0,38% de la producción nacional), lo que representó una economía de agua por el uso de tanque tina para estas pequeñas fincas cafeteras, del orden de 56,4 millones de litros de agua limpia, que permiten suplir las necesidades diarias de agua en una ciudad de 378 mil habitantes, o las necesidades anuales de una población de 1.000 habitantes (6).

Cuando la eliminación del mucílago se realiza por desmucilaginado mecánico (utilizando la tecnología Becolsub), un



sencillo sistema de control de caudal, desarrollado en Cenicafé, permite tener un flujo cercano a $0,8 \text{ L.kg}^{-1}$ de cps (27). Después de 20 años de haber sido entregada, la tecnología Becolsub a la industria nacional para su fabricación, en Colombia se utilizan actualmente cerca de 20.000 equipos, que permiten obtener cada año 291 millones de kilogramos de café pergamino seco, con un ahorro de 11,4 millones de metros cúbicos de agua (6).

Utilización del mucílago en la alimentación animal o su incorporación a la pulpa. Adición sobre la pulpa, de las aguas residuales de los dos primeros enjuagues, cuando se lava el café en el tanque.

Considerando los bajos volúmenes de agua que se utilizan en el desmucilaginado mecánico y en el lavado mecánico del café, la aplicación del mucílago fresco o fermentado sobre la pulpa, se constituyen



en una buena práctica de manejo, dada la gran cantidad de sólidos que puede retener la pulpa, cuando se aplican sobre ella residuos muy concentrados. De igual manera, las aguas residuales provenientes de los dos primeros enjuagues en el tanque pueden ser retenidos, en buena proporción, por la pulpa. Los lixiviados generados

durante la mezcla (mucílago fresco, mucílago fermentado, aguas residuales provenientes de los dos primeros enjuagues) con la pulpa, deben recolectarse y reintegrarse a la pulpa en proceso de descomposición (para no generar vertimientos) o llevarlos a un sistema de tratamiento.

Sistemas modulares de tratamiento anaerobio y humedales artificiales para tratar todas o parte de las aguas residuales generadas (aguas mieles y lixiviados de la mezcla mucílago-pulpa).

La factibilidad técnico económica para la implementación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café depende en gran medida de la simplicidad y confiabilidad del sistema, así como del volumen y carga orgánica del residuo a tratar. En consecuencia, no utilizar agua para transportar pulpa y la racionalización del consumo de agua en la operación de lavado, permiten reducir la contaminación y el volumen de agua que es necesario tratar.

Las aguas residuales que se producen durante el proceso de beneficio húmedo del fruto del café son biodegradables, pero poseen características fisicoquímicas particularmente agresivas con el medio ambiente: pH bajo, acidez alta y concentraciones de materia orgánica altas, que corresponden a poderes contaminantes entre 60 y 240 veces superiores a las aguas residuales domésticas.



Para el tratamiento de las aguas mieles provenientes del lavado del grano y después de más de 25 años de investigación a escala de laboratorio, planta piloto y prototipos de finca, se diseñaron los Sistemas Modulares para el Tratamiento Anaerobio-SMTA, los cuales permiten el tratamiento del mucílago fermentado, que corresponde al 26% de la contaminación total que generan los subproductos, y que está presente en las aguas residuales de lavado, con un aporte de 24 g de Demanda Química de Oxígeno (DQO) por kilogramo de café en cereza, y una concentración entre 25.000 y 30.000 mg.L⁻¹, cuando se utilizan en el lavado cantidades de agua entre 4 y 5 L.kg⁻¹ de cps. Estos sistemas

de tratamiento, bien operados, permiten generar vertimientos que cumplen con las disposiciones normativas para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales, Resolución 631 del 2015 (17). Con el fin de proteger los recursos hídricos presentes en la zona cafetera, la implementación de humedales artificiales, utilizando plantas acuáticas como el buchón de agua, el repollo de agua, la oreja de agua y la lenteja de agua, ubicados a continuación de los SMTA permite obtener efluentes más limpios, los cuales contribuyen a la preservación del recurso hídrico, a la vez que la biomasa cosechada puede utilizarse para la producción de abonos orgánicos (21).

El reúso total de las aguas tratadas, siguiendo los lineamientos contenidos en la Resolución 1207 del 2014 (18), permite obtener cero vertimientos en el proceso de beneficio del café.

Ventajas ambientales de la eliminación del agua en las etapas de despulpado y transporte de la pulpa

El beneficio convencional se caracteriza por la utilización de agua en las etapas de despulpado y transporte de la pulpa a las fosas de descomposición, a diferencia del beneficio ecológico en el cual el despulpado se realiza sin agua y el transporte de la pulpa a las fosas de descomposición se realiza por gravedad, con aire o mediante transporte mecánico (tornillo sinfín).

En investigaciones realizadas en Cenicafé se han encontrado valores del 9% de sustancias grasas (5) y compuestos fenólicos del orden



de 8,7%, como taninos, y 10,8% como ácidos clorogénicos, calculados como DQO (8). Estas sustancias son incorporadas al agua cuando ésta se utiliza en el despulpado y transporte de la pulpa, y tienen como desventaja su baja tasa de degradabilidad, lo que retarda el proceso de depuración. Las aguas residuales provenientes del lavado del grano, básicamente están constituidas por azúcares, pectinas y ácidos, con velocidades de degradación alta. No se reporta la presencia de aceites y grasas, en ellas.

Estudios realizados en Cenicafé permitieron determinar que el principal componente del mucílago de café es la humedad (91,77%),

seguido de los azúcares totales (6,43%), las pectinas (0,81%) y el nitrógeno (0,12%) (19).

En las caracterizaciones realizadas a las aguas residuales provenientes del lavado del café, que son tratadas en los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio, instalados en Cenicafé La Granja y en la Estación Experimental Naranjal, se reportan

valores de aceites y grasas del orden de 10,0 y 7,6 ppm (2) y de 6,1 y 4,8 ppm (1). Estos valores, de forma natural, antes de ingresar a tratamiento, son inferiores a los valores máximos permisibles para vertimientos puntuales del sector cafetero, provenientes del beneficio ecológico, dado que la norma exige un valor máximo de 30 ppm (Resolución 631 del 2015).

Agradecimientos

A los doctores Carlos M. Jaramillo, Raúl Hernández y Húver Posada de la Gerencia Técnica; a los Ing. Diego A. Zambrano y Laura V. Quintero, de Cenicafé; a los profesionales del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros: Arturo Correa (Comité de Antioquia); Humberto Araque (Comité de Caldas); Milton Vidal y Harold Rodríguez (Comité del Cauca); Mauricio Salazar y Rafael Perdomo (Comité del Huila); Roberto Parra (Comité del Magdalena); Julián Chacón (Comité del Quindío); Alejandro Cano (Comité de Risaralda); Humberto Leyton y Héctor Hincapié (Comité del Tolima) y Claudia Mejía (Comité del Valle).

Literatura Citada

1. ACUATEST. Caracterización de vertimientos Cenicafé. Informes 14-719 y 14-719¹. Manizales. 80 p. 2014.
2. ACUATEST. Caracterización de vertimientos Cenicafé. Informes 13-502 y 13-503. Manizales. 40 p. 2013.
3. ÁLVAREZ G., J. (1991). Despulpado de café sin agua. Chinchiná, CENICAFE. 6 p. (Avances Técnicos N° 164).
4. BLANDÓN C., G.; RODRÍGUEZ V., N.; DÁVILA A., M.T. (1998). Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Cenicafé (Colombia)* 49(3):169'85.
5. CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná (Colombia). *Cenicafé*. 1977. 84 p. (Boletín Técnico N° 6).
6. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana. 2011.91p (Premio Planeta Azul, 2011 Categoría Empresarial).
7. DÁVILA A., M. T.; RAMÍREZ G., C.A. Lombricultura en pulpa de café. *Cenicafé*, 1996. 11 p. (Avances Técnicos Cenicafé N° 225).
8. FIELD, J. (1987). Aguas residuales de café. In: Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodos -UASB-. Manual del curso. Santiago de Cali (Colombia). p. H1-H11.
9. MEJÍA G., C.A.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; MORENO C., E.L.; RODRÍGUEZ H., L.A. Evaluación del desempeño técnico y ambiental de un desmucilagador de café con rotor de varillas. *Cenicafé* 58(2): 122'33. 2007.
10. OLIVEROS T., C. E. (2002). El beneficio Ecológico del Café. In: Seminario sobre tecnología para la producción y beneficio de café orgánico. Chinchiná (Colombia). CENICAFÉ-ICONTEC. p. 54-55.
11. OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; ÁLVAREZ M., F.; RAMÍREZ G., C.A.; ÁLVAREZ H., J.R. El BECOLSUB 100: Beneficio ecológico para pequeños productores. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 261:1-4. 1999.
12. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; ÁLVAREZ G., J.; ÁLVAREZ H., J.R. El BECOLSUB 300. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 253:1-8. 1998.
13. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; MEJÍA G., C.A. Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfn. *Avances Técnicos Cenicafé (Colombia)* No. 360:1-8. 2007.
14. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; TIBADUIZA V., C.A. Ecomill. Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café. *Avances Técnicos Cenicafé (Colombia)* No. 432:1-8. 2013.
15. PUERTA Q., G. I; RODRÍGUEZ V., N. (2001). Buenas Prácticas de Manufactura, Programa de Saneamiento y Plan HACCP para el proceso del café en la finca. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería de Alimentos. 360 p. (Tesis: Especialización Gestión de Calidad e Inocuidad de Alimentos).
16. RAMÍREZ G., C.A. Disminución del impacto ambiental en la tecnología BECOLSUB, mediante la evaporación de lixiviados". Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Tesis de Maestría. Manizales. Colombia. 105p. 2011.
17. REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 del 2015. Parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y al alcantarillado público. 62 p.

18. REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1207 del 2014. Uso de aguas residuales tratadas. 11 p.
19. RÍOS, A., S. Informe anual de actividades 1998-1999. Disciplina Química Industrial. Cenicafé. Chinchiná. 1999. 23 p.
20. ROA, G.; OLIVEROS, C.E.; ÁLVAREZ, J.; RAMÍREZ, C.A.; SANZ, J.R.; DÁVILA, M.T.; ÁLVAREZ, J.R.; ZAMBRANO, D.A.; PUERTA, G.I.; RODRÍGUEZ, N.(1999). Beneficio Ecológico del café. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. 1999. 300 p.
21. RODRÍGUEZ V., N. Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. Valencia (España), Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería hidráulica y Medio ambiente, 2009. 508 p. (Tesis: Doctor).
22. RODRÍGUEZ V. N.; JARAMILLO L., C. (2005). Cultivo de hongos medicinales sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. Boletín Técnico Cenicafé N° 28. Chinchiná. Caldas. 72 p.
RODRÍGUEZ V. N.; JARAMILLO L., C. (2005). Cultivo de hongos comestibles del género Pleurotus en residuos agrícolas de la zona cafetera. Boletín Técnico Cenicafé N° 27. Chinchiná. Caldas. 56p.
23. RODRÍGUEZ V., N.; QUINTERO Y., L. V. (2015). Índice de calidad ambiental en el proceso de beneficio húmedo del café. Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación. 2015. 2 p.
24. RODRÍGUEZ V., N.; QUINTERO Y., L. V. (2015). Índice de manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café. Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación. 2015. 2 p.
25. RODRÍGUEZ V., N.; ZAMBRANO F., D.A. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Chinchiná. CENICAFÉ, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 393). 35 Refs. Esp.
26. SANZ U., J. R., OLIVEROS T., C. E.; RAMÍREZ G., C. A.; LÓPEZ P., U.; VELÁSQUEZ H., J. Controle los flujos de café y agua en el módulo Becsub. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) No. 405:1-8. 2011
27. ZAMBRANO F., D. A. (1997). Curso Taller Sobre el Pago de Tasas Retributivas por Contaminación Producida en los Beneficiaderos de Café. Cenicafé, octubre 15 al 17. 11 p.
28. ZAMBRANO F., D. A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchiná, CENICAFÉ. 8 p. (Avances Técnicos N° 197).
29. ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. (1998). Demanda Química de Oxígeno y Nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. Cenicafé (Colombia) 49(4):279-289. 1998.
30. ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; ZAMBRANO G., A.J. Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles [cd rom]. Chinchiná. CENICAFÉ, 2010. 36 p.
31. ZAMBRANO F., D. A.; ZULUAGAV., J. Balance de materia en un proceso de beneficio húmedo del café. Cenicafé (Colombia): 44(2): 45-55. 1993.
32. ZULUAGA V., J.; ZAMBRANO F., D. A. (1993). Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. Chinchiná (Colombia). Cenicafé, 1993. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé N. 187).



Cenicafé

Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

www.cenicafe.org