



HACEMOS UN MUNDO
+ SOSTENIBLE
A TRAVÉS DE LO MEJOR DE *Colombia*



*Estrategias de adaptación y
mitigación al cambio climático en
el proceso de beneficio húmedo del
café*

Nelson Rodríguez Valencia
Disciplina Poscosecha
Noviembre 1 del 2023

El agua en el centro de la crisis climática.

El agua y el cambio climático están estrechamente relacionados.



- *La mayor parte de los impactos del cambio climático se reducen al agua ([ONU-Agua](#))*
- *El cambio climático está acelerando tanto la escasez de agua como los peligros relacionados con este recurso (como inundaciones y sequías), ya que el aumento de las temperaturas altera los patrones de precipitación y todo el ciclo del agua. ([UNICEF](#)).*
- *La agricultura climáticamente inteligente y otros medios para usar el agua de manera más eficiente puede ayudar a reducir la demanda de suministros de agua dulce ([UNEP](#)).*



Microcuenca	Q _{med} m ³ /s	Q _{cal} m ³ /s	Q _{ecol} m ³ /s	ICAg	Monitoreo	Cosecha café	Transecto	IVTDH
Río Chambery Salamina Caldas	1,744	0,436	0,233	0,64	1	Sí	P1-P2	3,93
	1,583	0,396	0,270	0,53			P2-P3	3,39
	2,998	0,750	0,443	0,51			P1-P3	1,99
	3,322	0,831	0,291	0,58	2	No	P1-P2	10,68
	5,716	1,429	0,281	0,44			P2-P3	8,15
	7,079	1,770	1,013	0,38			P1-P3	4,58
	1,728	0,432	0,069	0,72	3	No	P1-P2	4,49
	1,059	0,265	0,080	0,65			P2-P3	4,54
	4,294	1,074	0,639	0,50			P1-P3	2,63
	1,102	0,276	0,081	0,63	4	Sí	P1-P2	6,46
	3,259	0,815	0,198	0,65			P2-P3	6,04
	2,999	0,750	0,422	0,59			P1-P3	2,80
Quebrada El Tabor Balboa Risaralda	0,024	0,006	0,004	0,68	1	No	P1-P2	0,69
	0,056	0,014	0,011	0,67			P2-P3	3,19
	0,145	0,036	0,019	0,61			P1-P3	0,86
	0,040	0,010	0,004	0,66	2	Sí	P1-P2	0,90
	0,048	0,012	0,004	0,69			P2-P3	4,05
	0,177	0,044	0,019	0,66			P1-P3	1,12
	0,052	0,013	0,005	0,67	3	No	P1-P2	0,95
	0,053	0,013	0,007	0,59			P2-P3	4,90
	0,268	0,067	0,027	0,56			P1-P3	1,42
	0,011	0,003	0,001	0,69	4	Sí	P1-P2	0,32
	0,021	0,005	0,002	0,68			P2-P3	3,11
	0,138	0,035	0,012	0,75			P1-P3	0,77
Quebrada La Yaruma. Santuario Risaralda	0,023	0,006	0,004	0,72	1	Sí	P1-P2	1,64
	0,185	0,046	0,031	0,48			P2-P3	2,34
	0,241	0,060	0,028	0,46			P1-P3	1,05
	0,020	0,005	0,003	0,75	2	No	P1-P2	3,91
	0,351	0,088	0,033	0,67			P2-P3	6,71
	0,546	0,137	0,018	0,46			P1-P3	2,75
	0,032	0,008	0,004	0,72	3	No	P1-P2	1,56
	0,117	0,029	0,009	0,68			P2-P3	1,94
	0,146	0,037	0,021	0,54			P1-P3	0,83
	0,012	0,003	0,002	0,77	4	Sí	P1-P2	2,59
	0,205	0,051	0,007	0,71			P2-P3	4,07
	0,273	0,068	0,028	0,61			P1-P3	1,59

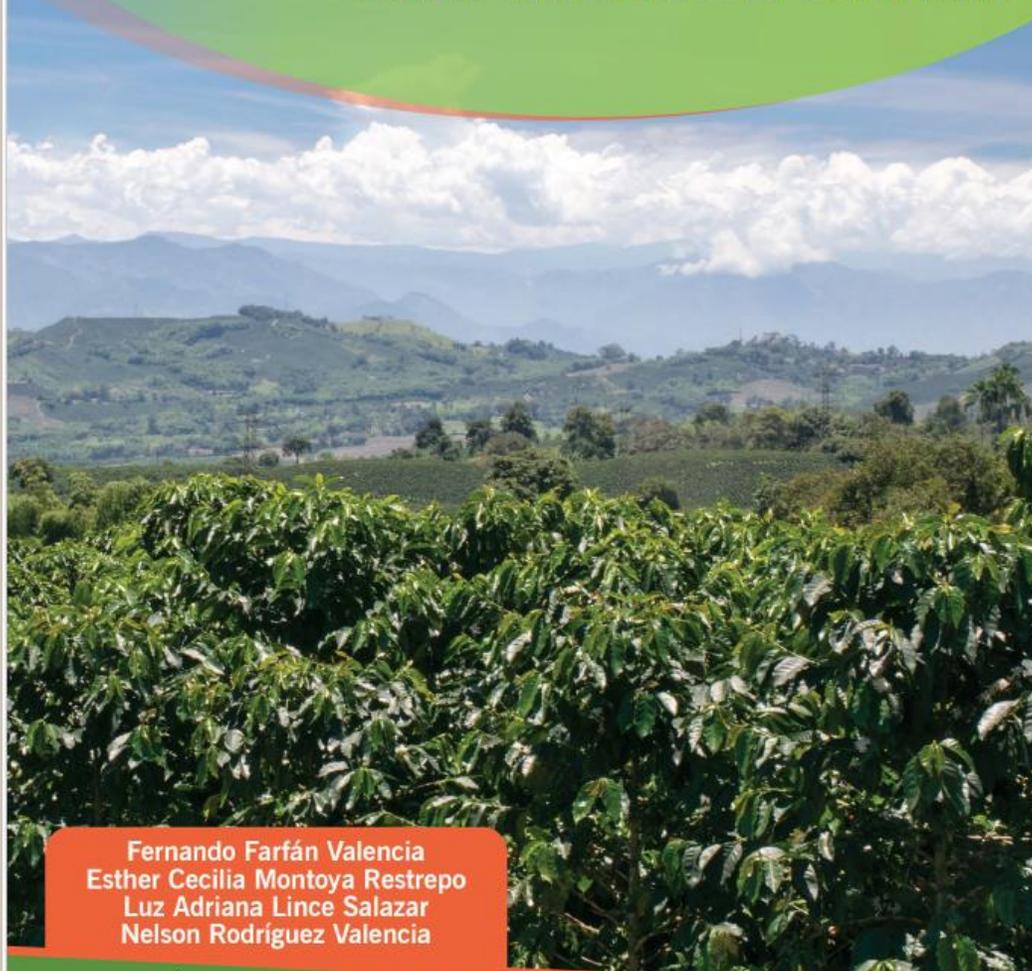


Índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad de agua.

$$IVTDH = (Q_{\text{medio}} - Q_{\text{cal}} - Q_{\text{ecol}}) / (\# \text{ hab} * 1700) * ICA_{\text{global}}$$

Valor del índice	Clasificación
≥ 1	Sin vulnerabilidad
0,86-0,99	Vulnerabilidad Baja
0,50-0,85	Vulnerabilidad Media
0,49-0,25	Vulnerabilidad Alta
$< 0,25$	Vulnerabilidad Extrema

Índice general de vulnerabilidad a la amenaza climática en tres zonas cafeteras de Colombia



Fernando Farfán Valencia
Esther Cecilia Montoya Restrepo
Luz Adriana Lince Salazar
Nelson Rodríguez Valencia



Boletín Técnico
Cenicafé 44



Beneficio ecológico del café.



ISSN 0120 - 047 X

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

Estrategia de adaptación al cambio climático

- Utiliza < 10 L de agua/kg de cps.

Estrategia de mitigación al cambio climático

- Realiza un manejo apropiado a los subproductos del beneficio del café (pulpa y mucílago).

Beneficio del café en Colombia

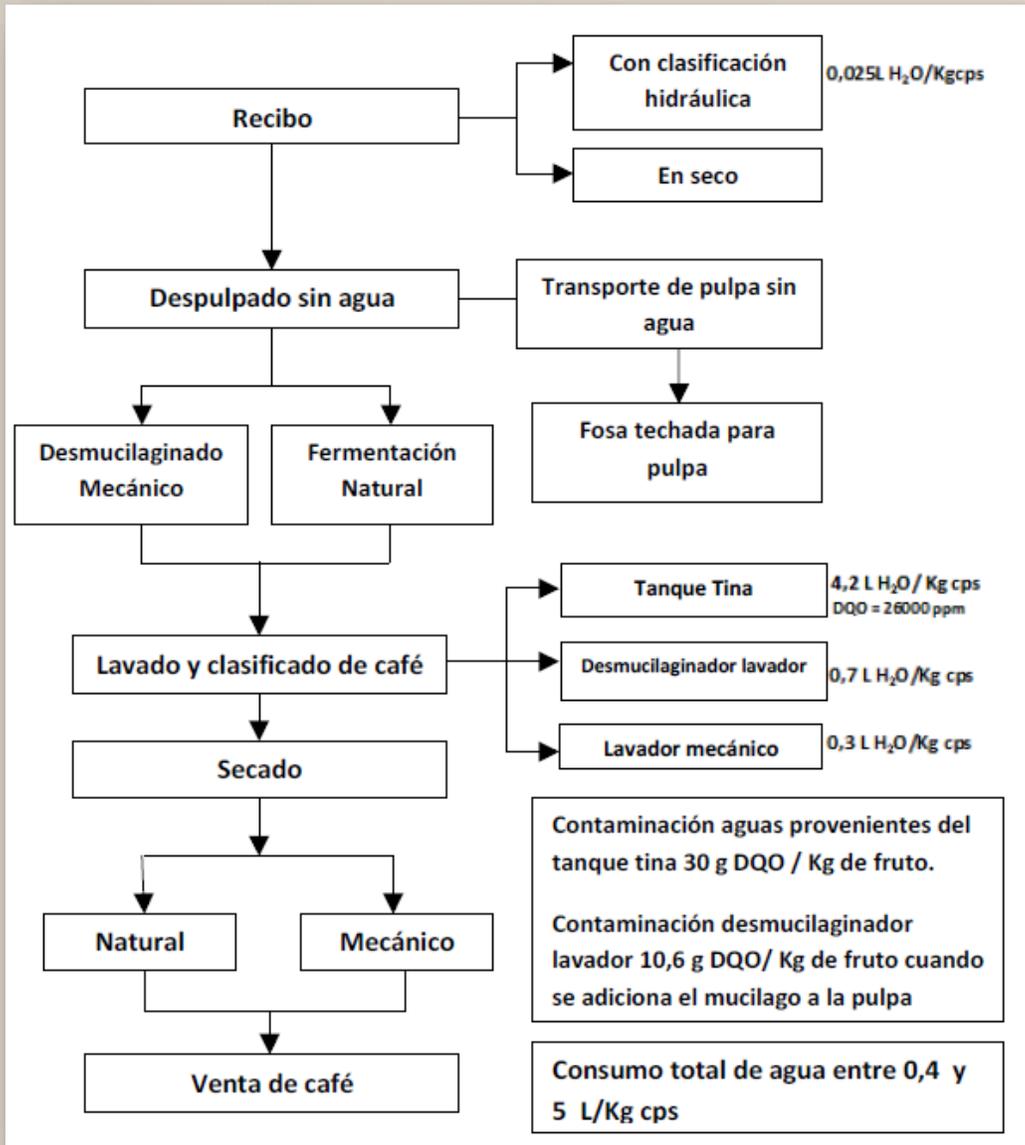
Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café

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



Beneficio ecológico del café.

Estrategia de adaptación al cambio climático: Tecnologías de menor consumo de agua



Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín



Tanque tina



Becolsub



Ecomill®



Sistemas de tratamiento ARC

SEPARADOR HIDRÁULICO DE TOLVA Y TORNILLO SIN FÍN

Carlos E. Oliveros-Tascón*, Juan R. Sanz-Urbe, César A. Ramírez-Gómez, Claudia A. Mejía-González.



La calidad del café pergamino seco obtenida durante el proceso de beneficio está relacionada estrechamente con la materia prima utilizada, la tecnología empleada en cada etapa del beneficio, la

operación (calibración) y el mantenimiento de los equipos, y la destreza del operario. En la materia prima, es decir, la masa de café cereza cosechada, se encuentran además de frutos en diversos estados de maduración, frutos afectados por enfermedades y frutos vanos, secos y 'brocados', entre otros, los cuales deben ser retirados previamente al proceso de despulpado, para mejorar las condiciones del producto y el desempeño de la máquina despulpadora. La separación de este material contribuye al cumplimiento de las recomendaciones de las Buenas Prácticas Agrícolas para el café (7) y con los criterios unificados entre los miembros del Servicio de Extensión y los Investigadores de Cenicafé (1).

* Investigador Principal, Investigador Científico II, Investigador Científico I, Investigador Científico II, Investigador Científico I.

DESPULPADO DE CAFE SIN AGUA

José Álvarez-Gallo*



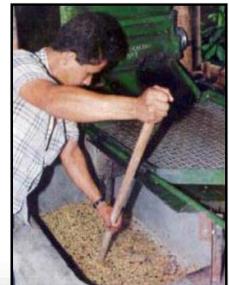
En la etapa de despulpado al café cereza se le retira el epicarpio (pulpa), labor que se realiza sometiendo la cereza a la acción de fuerzas de fricción y de cizallamiento, causadas por dos superficies, una fija y otra móvil.

En el mercado se encuentran distintos tipos de despulpadoras de cilindro horizontal, de cilindro vertical y de discos. Tradicionalmente su utilización ha sido acompañada del uso de agua, que afecta los recursos naturales, bien por la contaminación que causa o bien porque induce a un empobrecimiento del subproducto del café (pulpa) producido en esta etapa de beneficio.

En ensayos realizados comparando los distintos tipos de despulpadoras bajo la aplicación o no de agua, se demostró que es posible despulpar el café sin agua con diferentes modelos de máquinas comerciales, de cilindro horizontal. Se observó poca diferencia

FERMENTE Y LAVE SU CAFÉ EN EL TANQUE TINA

Diego A. Zambrano-Franco*



Es difícil establecer un consumo específico de agua durante la operación de lavado, en el proceso de beneficio húmedo del café (PBHC). Lo común es que en cada beneficiadero se lava con la cantidad de agua disponible, lo cual dificulta la estimación del consumo y el manejo del recurso para el control de la contaminación, después de esta etapa del proceso.

EL TANQUE TINA, una adaptación de los tanques convencionales, que consiste en redondear sus ángulos y las esquinas, propuesta por CENICAFÉ (8) y denominado así por los usuarios de esta infraestructura, permite conseguir no sólo economía de agua para lavar el café sino también un control de la contaminación generada durante esta etapa del PBHC, al conseguir reunir en un bajo volumen casi la totalidad del mucilago fermentado. Como requisito para su normal funcionamiento, es necesario que el despulpado y el transporte del café en baba al tanque se haya realizado sin agua (1, 10).

Desarrollo de la tecnología BECOLSUB para el Beneficio ecológico del café

Gonzalo Roa-Mejía*, Carlos Eugenio Oliveros-Tascón**, Juan Rodrigo Sanz-Urbe***, José Álvarez-Gallo****, César Augusto Ramírez-Gómez****, Jairo Batist Álvarez-Hernández**



Premio Nacional de Ecología PLANETA AZUL 1996-1997

Figura 1. Módulo BECOLSUB 1000 con capacidad para procesar 1000 kg de café cereza por hora, construido en Cenicafé.

El beneficio húmedo del café es reconocido como uno de los factores que da origen a los cafés de alta calidad física y de la bebida. El proceso tradicionalmente realizado en las fincas genera dos subproductos: pulpa y mucilago. Estos, al ser puestos en contacto con el agua, causan una contaminación de 114,0 g de DQO/kg de cereza, si se utilizan consumos específicos de agua de 50 L/kg de cereza (14). Cuando se despulpa sin agua y se transporta la pulpa por medios no hidráulicos se logra reducir la contaminación potencial en 74% (1, 14). El 26% de la contaminación restante (29,6 g de DQO/kg de cereza) es causada por el mucilago.

La tecnología BECOLSUB (Beneficio Ecológico del café y de los SUBproductos) (Figura 1), se desarrolló en Cenicafé, para obtener café de alta calidad física y de la bebida (8) y además, controlar la contaminación potencial de las fuentes de agua ocasionada por la pulpa y el mucilago, manteniendo o aumentando los ingresos del caficultor (2, 9).

* Investigador Principal I, Ingeniería Agrícola, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.
** Investigador Científico III, Ingeniería Agrícola, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.
*** Asistente de Investigación, Ingeniería Agrícola, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

Avances Técnicos Cenicafé

ECOMILL® Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café

La alta calidad del café colombiano es atribuible principalmente a las variedades cultivadas, al clima y los suelos de las zonas productoras, al manejo agronómico, la cosecha selectiva (principalmente frutos maduros) y al beneficio (húmedo) y secado, con aplicación de buenas prácticas.



El beneficio húmedo del café es un proceso en el cual se retiran dos estructuras que cubren las semillas, la pulpa y el mucilago, las cuales en la variedad Colombia representan el 43,58% y 14,85% del peso fresco del fruto, respectivamente (1). El mucilago se remueve utilizando procesos de degradación por fermentación natural, dejando el café despulpado en el tanque durante 14 a 20 h, o aplicando enzimas pectinolíticas (6), y lavándolo con agua limpia. Con fermentación natural, el volumen específico de agua empleado (VEA) varía de 4,17 a 20 L.kg⁻¹ de café pergamino seco (9, 12). Las aguas residuales de lavado (ARL), presentan alta carga orgánica, por lo cual se requiere tratarlas para disminuir el impacto ambiental.

Avances Técnicos Cenicafé

Método de las dos canecas: para separar flotes en pequeños lotes de frutos de café



Como consecuencia de ataques de broca, roya y otras enfermedades, la falta de agua en la época de llenado de los frutos, falta de nutrición y demora excesiva entre pases de recolección, la masa de frutos de café que llega al beneficiadero contiene frutos con densidad inferior a la del agua, denominados flotes, los cuales deben separarse para obtener café de mejor calidad y precio de venta.

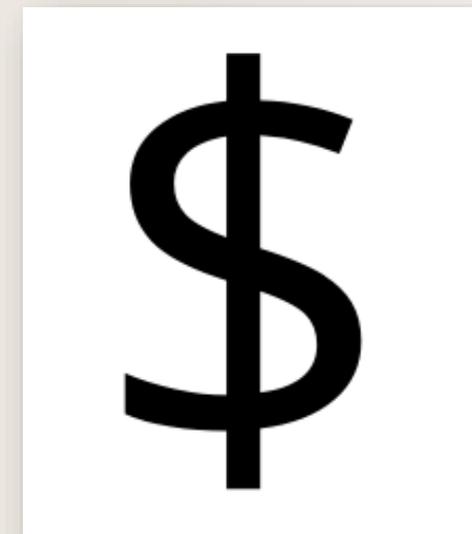


Impacto ambiental del beneficio ecológico.

En ahorro de agua.



Gracias a las tecnologías desarrolladas por Cenicafé en beneficio ecológico y a su implementación por parte de los caficultores, a cierre del 2021, **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.



10 millones m³ de agua

401,537 toneladas de cps/159.610 fincas (BT+BE, 89%)

\$ 7.452 millones COP

25 millones m³ de agua

1,013,040 toneladas de cps/542.906 fincas (BT y BE)

\$ 18.800 millones COP

35 millones m³ de agua

1,013,040 toneladas de cps/542.906 fincas (BE)

\$ 26.400 millones COP

Suficientes para satisfacer las necesidades anuales de abastecimiento demandadas por la población de ciudades como Ibagué o Bucaramanga.

543

Avances Técnicos
Cenicafé

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



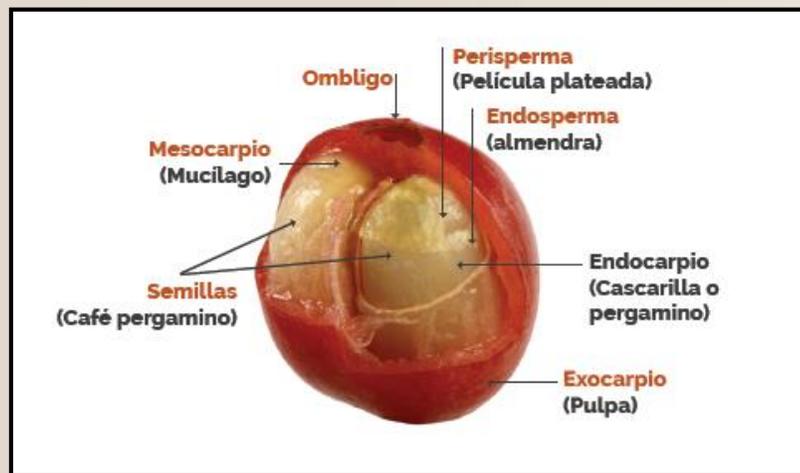
Adopción del beneficio ecológico del café en Colombia

Una de las tecnologías que tiene la caficultura en Colombia para contribuir a la meta de alcanzar su sostenibilidad ambiental es el beneficio ecológico del café, el cual se define como: *"El conjunto de operaciones realizadas para transformar el fruto de café 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).

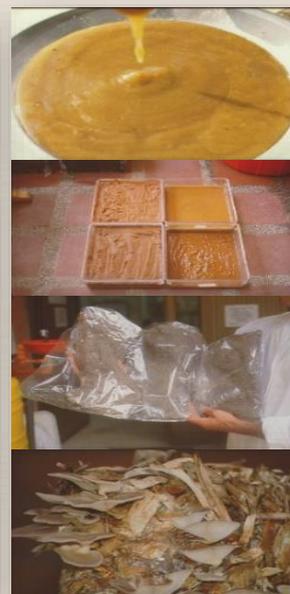


Valorización de los subproductos generados en la caficultura.

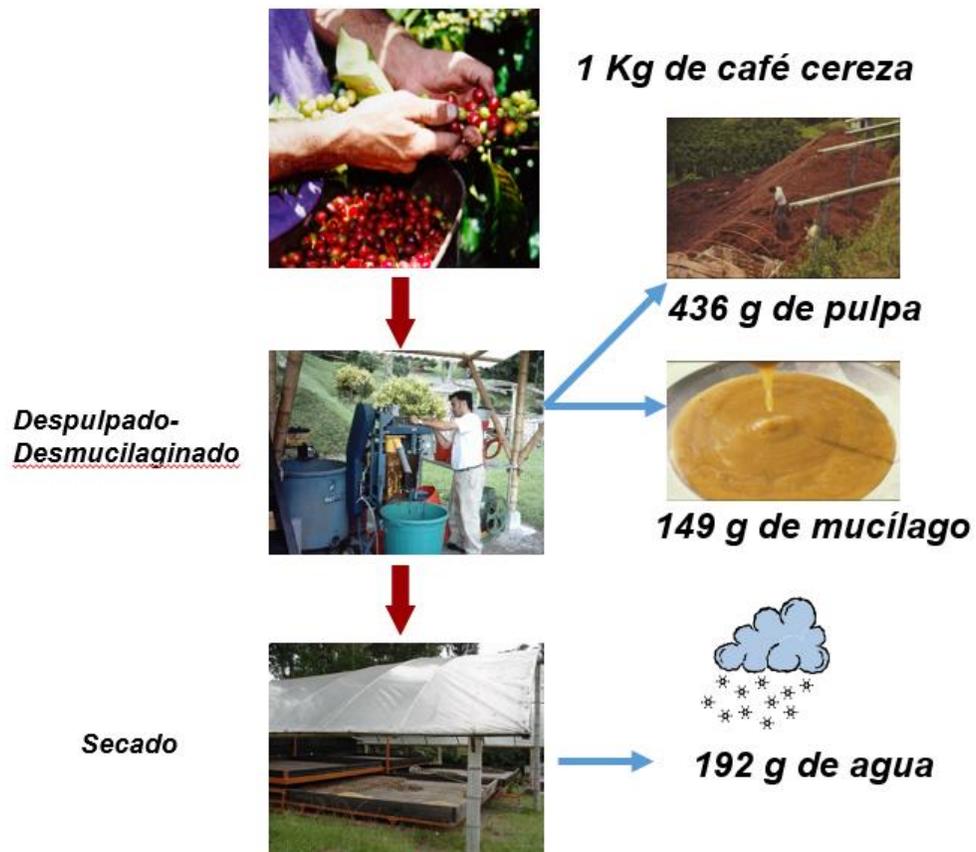
Estrategia de mitigación al cambio climático: Aprovechamiento de los subproductos del café



Alternativas de manejo



Balance de materia en el proceso de beneficio e industrialización del café.



Producción de cps: 1.013.040 toneladas (año 2021)

Producción de residuos: 4.608.206 toneladas (año 2021)

Elaboración de productos de valor agregado a partir de los principales subproductos del proceso de beneficio e industrialización del café.



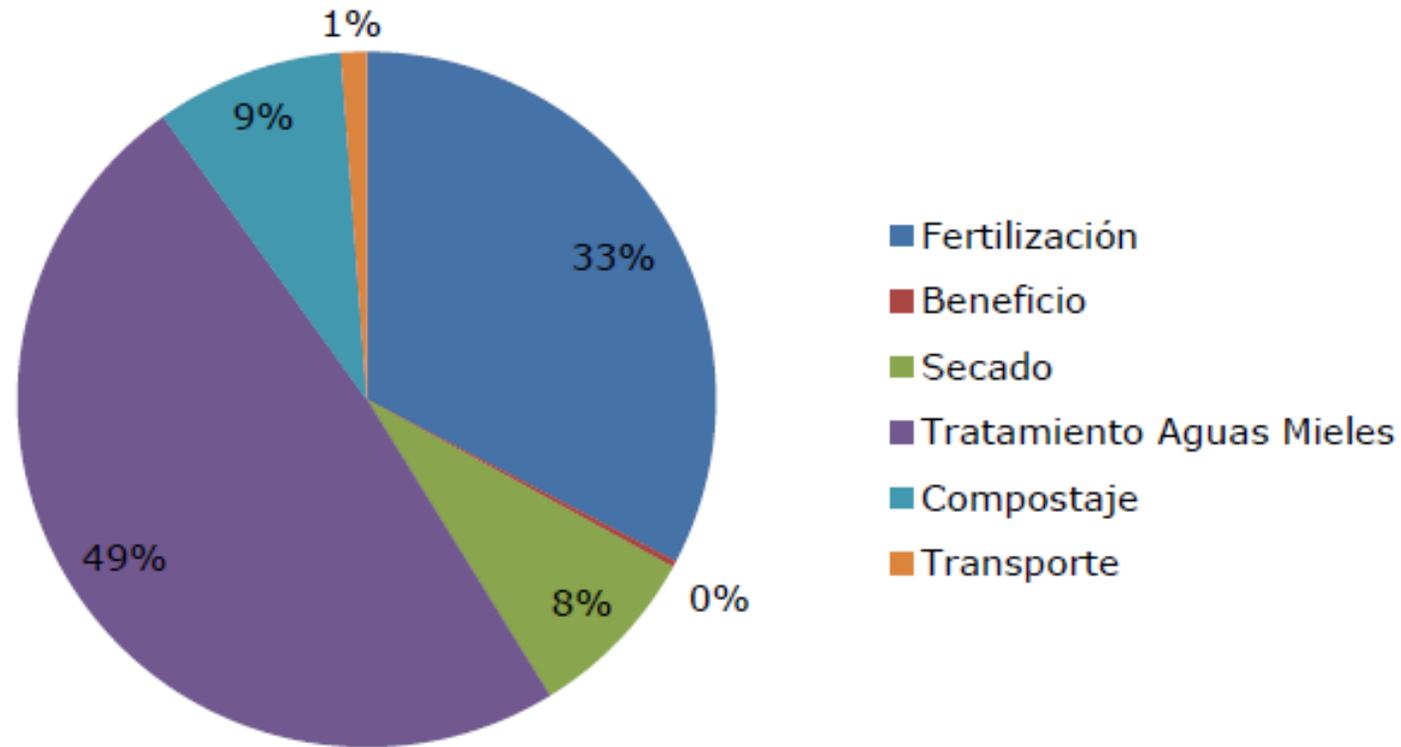
NAMA CAFÉ DE COLOMBIA.

NAMA CAFÉ DE COLOMBIA

Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA) en el sector Cafetero de Colombia



Gráfico 1 Distribución porcentual de las emisiones de GEI según etapa de proceso



Manejo de las aguas residuales del café con cero descargas.

Representan el 26% de la contaminación en el PBHC

Estrategia de mitigación al cambio climático



Aguas residuales del
beneficio del café
(ARnD)

Para el beneficio del café se debe utilizar agua limpia que permita conservar la calidad del café.

Las aguas residuales del beneficio del café se caracterizan por tener cargas orgánicas muy altas, superiores, en términos de DQO, a 20.000 mg/L y una alta acidez (valores de pH inferiores a 4).

Se estima, para la producción cafetera de los últimos años, que pueden llegar al suelo y al agua alrededor de 158.760 toneladas de DQO/año, equivalentes a la contaminación generada por las aguas residuales domésticas de una población de 4.349.589 personas/año (similar a la generada por toda la población del Valle del Cauca).

Filtros verdes para ARC con cero descargas.



Modelo investigado

Filtros verdes tipo invernadero, impermeabilizados con geomembrana y sembrados con pasto vetiver para el manejo y tratamiento de las ARC.

Recirculando el agua que percola, hasta agotamiento, no se generan descargas y no se requiere, por lo tanto, permiso de vertimientos (el cual está ligado a caracterizaciones periódicas del agua y suelo que se constituye en un gasto representativo para el caficultor), contribuyendo con ello a la sostenibilidad ambiental y económica de la caficultura.



Filtros verdes para ARC con cero descargas.



Vegetación recomendada

Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty).

- Gramínea, Originaria de la india
- Raíces > 4 m
- Tolerancia a pH (3,30 - 12,50)
- Alto nivel de tolerancia a herbicidas y plaguicidas
- Eficiente en absorber N, P y metales pesados
- Tolerante (acidez, alcalinidad, salinidad, sodicidad)
- Tolerante a inundaciones (45 días)
- Tolerancia a T (-15 a + 55°C)
- Rango amplio de suelo con diferentes niveles de fertilidad
- Consumo de agua hasta 28 L/m²-d
- Propagación por esquejes

Biomasa: Producción de aceites para perfumería, artesanías de hogar, alimentación animal, abonos verdes.



Filtros verdes para ARC con cero descargas.

Resultados de la investigación



Condición	Tipo de agua	Carga Hidráulica (mm)	Vegetación
1	Usada en el beneficio	20	Vetiver
2	Usada en el beneficio	40	Vetiver
3	Usada en el beneficio	60	Vetiver
4	Tanque tina	20	Vetiver
5	Tanque tina	40	Vetiver
6	Tanque tina	60	Vetiver
7	Lixiviados Pulpa-Mucílago	20	Vetiver
8	Lixiviados Pulpa-Mucílago	40	Vetiver
9	Lixiviados Pulpa-Mucílago	60	Vetiver
10	Mieles Ecomill	20	Vetiver
11	Mieles Ecomill	40	Vetiver
12	Mieles Ecomill	60	Vetiver
12	Usada en el beneficio	20	Natural
14	Usada en el beneficio	40	Natural
15	Usada en el beneficio	60	Natural

Seguimiento a las unidades de trabajo: 2 años (3 ciclos).

Alimentación 1: Spbre - Diciembre del 2019. 12 semanas.

Descanso 1: Diciembre del 2019- Junio del 2020.

Alimentación 2: Junio - Spbre del 2020. 12 semanas.

Descanso 2: Spbre - Diciembre del 2020.

Alimentación 3: Diciembre del 2020 – Marzo 2021. 12 semanas.

Descanso 3: Marzo - Junio del 2021.



Unidad de trabajo: FV de 1 m²

Tasas de evapotranspiración de los filtros verdes.

Resultados de la investigación



Variable	Parámetro	Filtros verdes con vetiver y aplicación de diferentes tipos de agua (limpia y de café)	Filtros verdes con vetiver y aplicación de aguas residuales del café
EVT (mm d ⁻¹)	Promedio	23,02	23,69
	Máximo	192,45	192,45
	Mínimo	17,28	17,28
	Datos	2142	1538
	DE	17,26	18,97
	CV	74,98	80,09
	IC	0,73	0,95
T (°C)	Promedio	24,52	25,02
	Máximo	28,20	28,20
	Mínimo	22,13	22,90
	Datos	2142	1538
	DE	1,09	0,82
	CV	4,46	3,28
	IC	0,05	0,04

De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró para filtros verdes tipo invernadero, impermeabilizados con geomembrana, sembrados con pasto vetiver y con aplicación de aguas residuales provenientes del proceso de beneficio del café, una tasa de evapotranspiración (ET) de 23,69 L m²-d⁻¹.



Cambios en las características químicas del suelo.

Resultados de la investigación



Parámetro	FV (1, 2, 3)	FV (4, 5, 6)	FV (7, 8, 9)	FV (10, 11, 12)	FV (13, 14, 15)
pH	5,87 (+22,22%)	6,60 (+23,75%)	8,77 (+56,55%)	6,17 (+12,12%)	6,13 (+23,49%)
CE (mS cm ⁻¹)	0,073 (+46,67%)	8,263 (+8754%)	5,420 (+20225%)	8,230 (+82200%)	0,107 (+146,15%)
N (%)	0,26 (+10,00%)	0,23 (+9,52%)	0,19 (+7,55%)	0,25 (+35,71%)	0,23 (-2,78%)
MO (%)	5,80 (+12,26%)	5,10 (+13,33%)	4,10 (+9,82%)	5,63 (+40,83%)	5,17 (-3,73%)
K (cmol kg ⁻¹)	0,41 (-30,51%)	12,39 (+308,01%)	26,43 (+1399%)	10,50 (+606,50%)	0,46 (+120,63%)
Ca (cmol kg ⁻¹)	5,53 (-3,43%)	3,88 (-24,53%)	1,93 (-62,09%)	2,21 (-50,11%)	4,24 (-25,18%)
Mg (cmol kg ⁻¹)	1,92 (+73,49%)	1,26 (-11,48%)	0,96 (-32,63%)	0,95 (-35,45%)	1,59 (+0,63%)
Al (cmol kg ⁻¹)	0,10 (-50,00%)	0,10 (-40,00%)	0,10 (-25,00%)	0,10 (0,00%)	0,10 (-40,00%)
CIC	15 (-2,13%)	13 (-4,76%)	13 (0,00%)	13 (+8,53%)	13 (-20,83%)
P (mg kg ⁻¹)	80 (-31,73%)	195 (+71,26%)	429 (+218,81%)	364 (+131,85%)	118 (-26,80%)
Fe (mg kg ⁻¹)	175 (-17,17%)	924 (+156,05%)	751 (+133,13%)	1016 (+126,11%)	238 (-9,51%)
Mn (mg kg ⁻¹)	15 (-15,09%)	65 (+129,41%)	64 (+131,33%)	49 (+57,45%)	24 (+10,94%)
Zn (mg kg ⁻¹)	5,50 (-27,63%)	3,20 (-28,89%)	4,13 (-28,45%)	5,07 (+9,35%)	4,60 (-54,30%)
Cu (mg kg ⁻¹)	15,73 (+2,16%)	21,10 (+17,44%)	20,67 (+16,68%)	21,70 (+9,05%)	16,70 (+7,74%)
B (mg kg ⁻¹)	0,18 (-39,77%)	1,50 (+229,20%)	17,16 (+1152,80%)	1,65 (+115,22%)	0,25 (+1,35%)
S (mg kg ⁻¹)	14,47 (-27,06%)	65,37 (+67,18%)	60,57 (+103,24%)	60,83 (+110,50%)	17,37 (-37,75%)
Arcilla (%)	13 (-35,48%)	12 (-40,00%)	8 (-52,00%)	9 (-48,00%)	11 (-33,33%)
Limo (%)	30 (+12,50%)	29 (+18,92%)	26 (0,00%)	27 (+15,71%)	28 (+23,19%)
Arena (%)	57 (+7,59%)	59 (+6,02%)	66 (+15,12%)	65 (+7,78%)	61 (0,00%)

* Entre paréntesis la variación presentada en cada parámetro del suelo respecto a su valor inicial (antes de la primera aplicación de agua).



De acuerdo con los resultados obtenidos, se logró determinar que la aplicación periódica de las aguas residuales del café sobre filtros verdes tipo invernadero, impermeabilizados con geomembrana y sembrados con pasto vetiver, permite incrementar el valor de los parámetros del suelo: pH, conductividad eléctrica, N, materia orgánica, K, P, Fe, Mn, Cu, B y S.

Tasa de crecimiento de la biomasa.

Resultados de la investigación



La producción total promedio de biomasa de pasto vetiver (hojas, tallos y raíces) para los filtros verdes con aplicaciones de aguas residuales del café fue de 71,75 t/ha-año (peso fresco) y 41,98 t/ha-año (peso seco).



Agua del beneficio



Cobertura plástica



Esquejes de pasto vetiver



5 Sistema de aplicación de agua residual

3 Área de aplicación

Soporte de nivelación de tubería de riego



Base de PVC-S que contiene la guadua



Capa superficial

Capa profunda

Tubería de aireación

Gravilla

Polisombra

Geomembrana

6 Unidad de drenados



Tubería de aireación y drenaje

Sistema de control de inundación



Componentes de la Tecnología de Filtros verdes



Primer aspecto para tener en cuenta

El objetivo

Disminuir GEI y eliminar los costos legales ambientales asociados con la generación de vertimientos:

1. Solicitud de permiso de vertimientos
2. Pago por la visita de la autoridad ambiental
3. Pago por la realización del muestreo del vertimiento
4. Pago por la caracterización del vertimiento
5. Pago de la tasa retributiva

En el mejor de los casos representa 2 millones/año

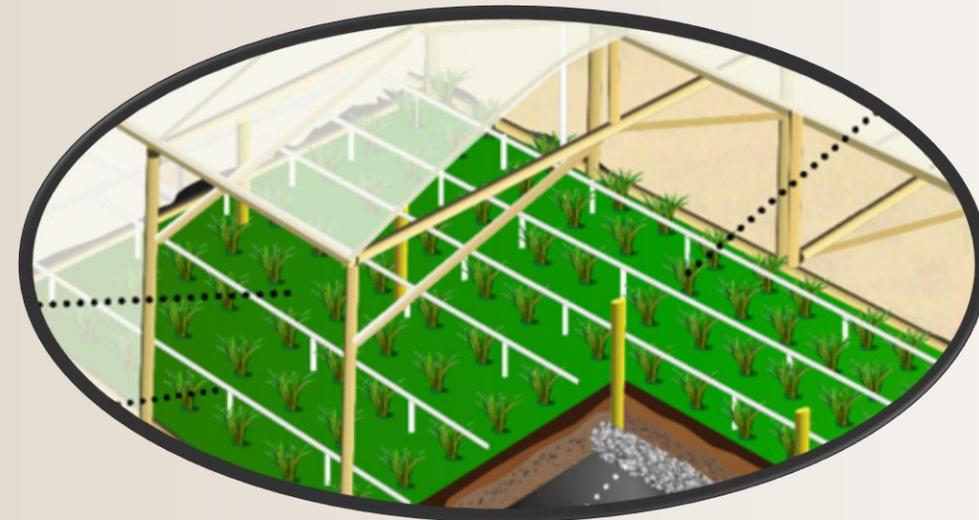
La nueva normativa colombiana del recurso hídrico para ARnD (Resolución 631 del 2015, Decreto 50 del 2018, Resolución 1256 del 2021), establece los parámetros de calidad que deben cumplir las aguas tratadas antes de su descarga o reúso, implicando unos costos legales ambientales anuales significativos para el productor, representados en la solicitud de un permiso de vertimientos, el muestreo y caracterización del vertimiento, el pago de la visita por parte del funcionario de la CAR y el pago de la tasa retributiva (superiores a 2 millones/año).

Segundo aspecto para tener en cuenta

Los componentes



Unidades de tratamiento y aplicación



Área de aplicación y siembra del material



Unidad de recolección de drenados

Componentes de un filtro verde

La trampa de pulpa



Objetivo: Evitar el ingreso de pulpa y de material sólido a la unidad de tratamiento primario, que ocasionen taponamiento en la tubería de conducción.

Dimensionamiento: Tanque plástico de 100 L.

Componentes de un filtro verde

Unidad para el tratamiento primario



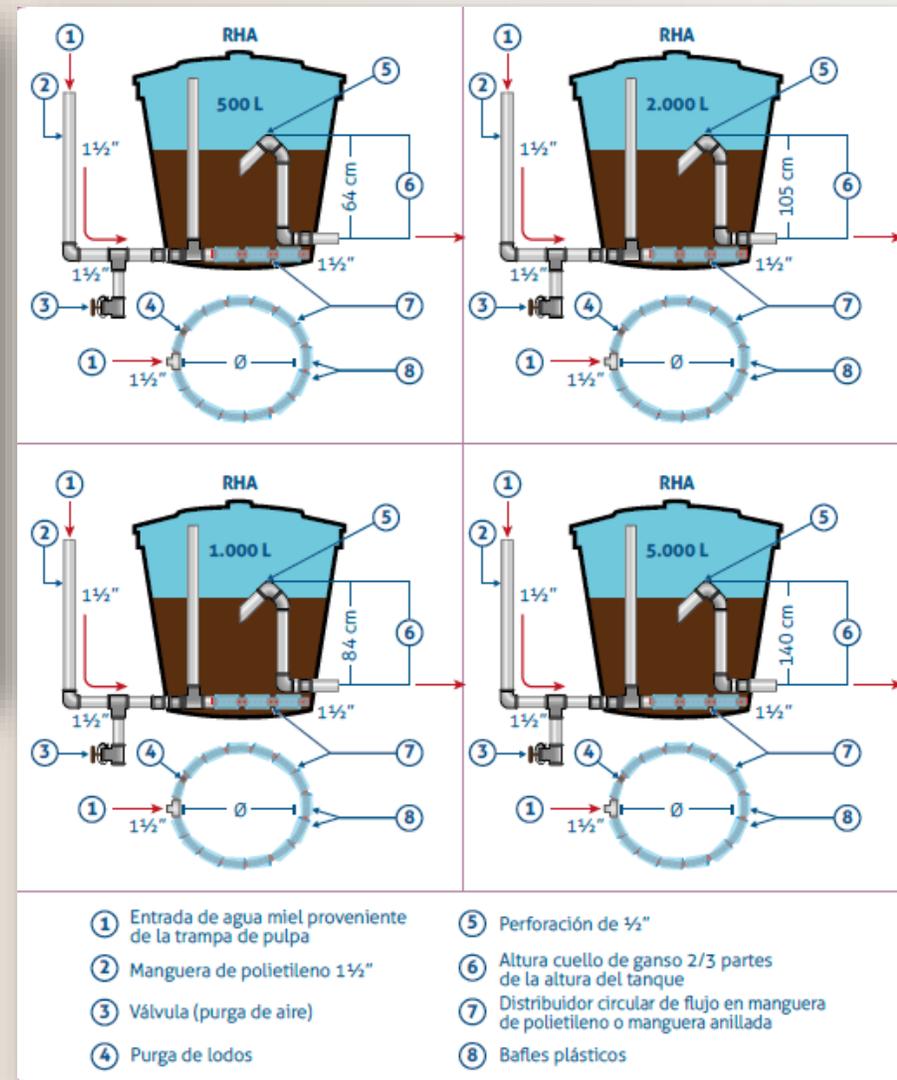
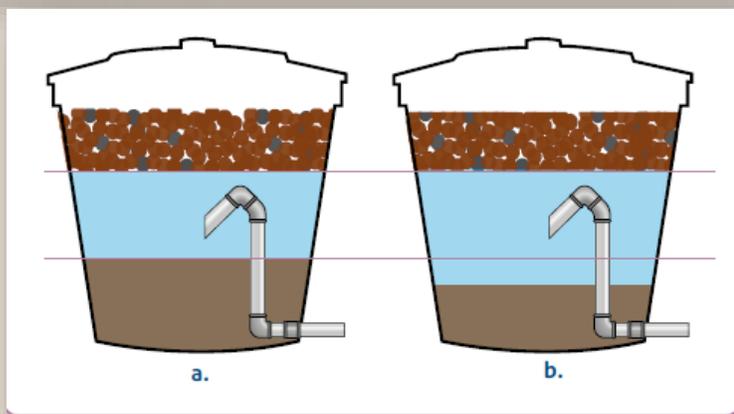
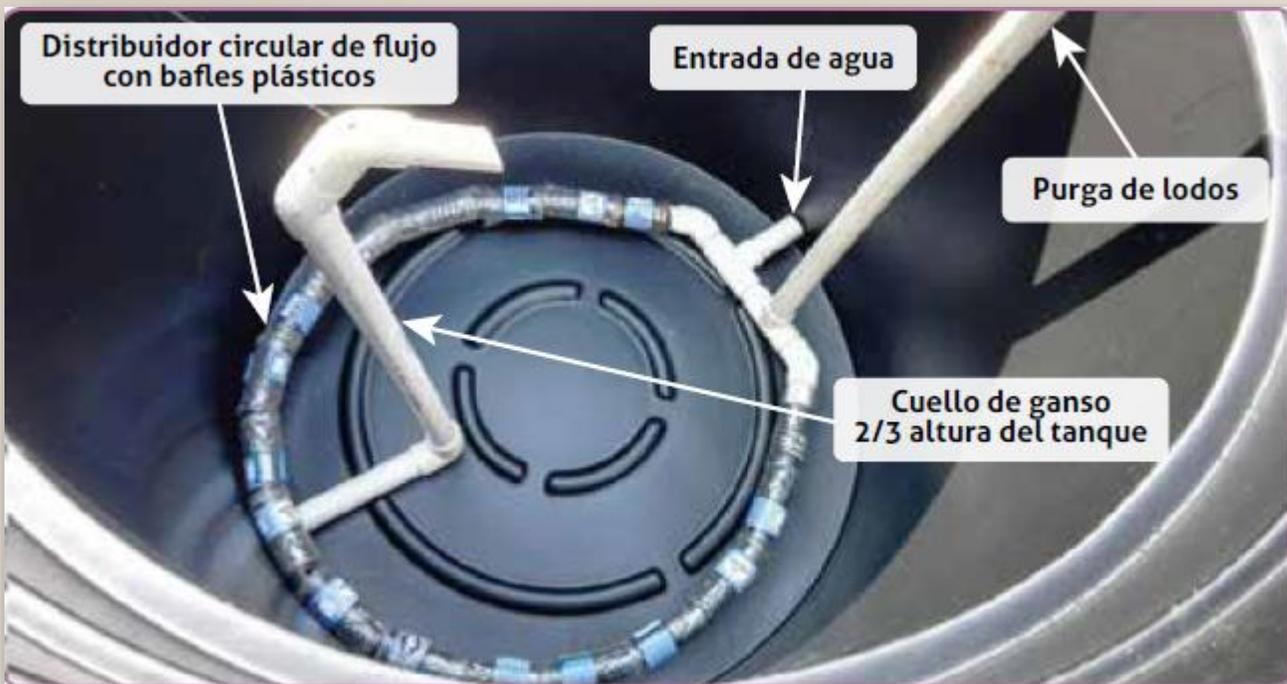
Objetivo: Eliminar una parte del material particulado presente en las aguas residuales, con el fin de disminuir el valor de la carga orgánica aplicada al área con vegetación y favorecer el manejo del agua residual para la aplicación como riego.

Dimensionamiento: Su capacidad debe ser el doble del volumen de agua generada en el día pico.

Cota de desnivel mínima: 70 cm (desde la salida de la trampa de pulpa hasta el nivel superior del tanque).

Componentes de un filtro verde

Unidad para el tratamiento primario



Componentes de un filtro verde

Unidad de aplicación del agua pre-tratada



Objetivo: Recibir el agua pre-tratada y las aguas no retenidas o no evaporadas en el área de cultivo, con el fin de eliminar material en suspensión aún presente que puedan taponar la tubería de riego y realizar la dosificación a caudal constante.

Dimensionamiento: Su capacidad debe ser igual al volumen de agua generada en el día pico.

Componentes de un filtro verde

Unidad de aplicación del agua pre-tratada



ISSN 0120 - 047 X

Dispositivos para el óptimo funcionamiento hidráulico de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA)

Nelson Rodríguez Valencia
Samuel Antonio Castañeda
Andrés Felipe Osorio Ocampo
Laura Vanessa Quintero Yepes

Boletín Técnico
Cenicafé 42

Tanques (L)	Diámetro inferior tanque (cm)	Diámetro superior tanque (cm)	Longitud del tubo del marco flotante		Diámetro tubería marco flotante (C)	Diámetro del filtro
			A (cm)	B (cm)		
500	70	108	40	18,5	1"	4"
750	90	125	60	28,5	1"	4"
1.000	90	137	60	28,5	1"	4"
2.000	116	157	80	40	1½"	4"
3.000	141	181	100	50	1½"	4"
5.000	165	222	120	60	1½"	4"
10.000	225	256	160	80	2"	4"
Tanques (L)	Longitud del filtro (D)(cm)	Longitud tubo interno del filtro (E) (cm)	Longitud tubos externos del filtro (F) (cm)	Longitud manguera interna del dosificador (G) (cm)	Altura total del dispositivo flotante (cm)	Distancia del agujero de descarga respecto al fondo del tanque (cm)
500	18	14	31	60	84	64
750	18	14	34	66	88	68
1.000	24	20	41	83	104	84
2.000	30	26	51	109	125	105
3.000	36	32	53	114	132	112
5.000	40	36	67	152	160	140
10.000	50	46	79	180	186	166

Componentes de un filtro verde

Área de cultivo



Objetivo: Retener y evapotranspirar el agua residual a través de procesos físicos y biológicos.

Dimensionamiento: El valor del área en m^2 se encuentra dividiendo el volumen (L) de agua generada en el día pico entre 24.

Componentes de un filtro verde

Área de cultivo



Delimitación del área



Excavación de 0,70 m



Para optimizar la compra de la geomembrana comercial (que viene de 7 m de ancho), se recomienda fijar el ancho del filtro verde en 5 m y su profundidad en 0,7 m

Impermeabilización con geomembrana de 20 mils y tubería de aireación y recolección de drenados

Componentes de un filtro verde

Área de cultivo



Llenado de la excavación



Siembra de pasto vetiver al cuadro cada 30 cm



Tubería de aireación

Para facilitar los procesos de evapotranspiración se recomienda incorporar, en el área de siembra, tubos de aireación en tubería PVC-S de 1½", enterrados 60 cm, con perforaciones de 5/16", cubiertos con polisombra, el área enterrada, a una distancia de 1,25 m de cada orilla y separados entre sí, a lo largo del filtro verde, cada 3 m y que sobresalgan del suelo 90 cm (altura total del aireador 1,50 m).

Componentes de un filtro verde

Cobertura plástica tipo invernadero



Objetivo: impedir el ingreso del agua lluvia al filtro verde y facilitar el incremento de la temperatura al interior del mismo para favorecer los procesos de evapotranspiración del agua residual.

Dimensionamiento: Altura de 2m, pestaña para salida del vapor de agua. Agrolene calibre 7 o superior.

Componentes de un filtro verde

Sistema de aplicación del agua residual



Objetivo: Distribuir uniformemente el agua residual sobre el área cultivada del filtro verde.

Dimensionamiento: Deben instalarse cuatro líneas de riego, levantadas a 25 cm del suelo y con agujeros de 3/32 pulg separados cada 10 cm.

Cota de desnivel: 35 cm

Componentes de un filtro verde

Unidad para recolección de drenados



Objetivo: Recibir los drenados que puedan generarse en el área cultivada

Dimensionamiento: Su capacidad debe ser igual al volumen de agua generada en el día pico.

Tercer aspecto para tener en cuenta

Actividades de mantenimiento

- A. Corte periódico al pasto vetiver (bimensual o trimestral) a 50 cm del nivel del suelo.
- B. Eliminación del material seco.
- C. Mantenimiento periódico (bimensual o trimestral) de la tubería de riego o cuando se presenten obstrucciones.
- D. Lavado de la tubería de riego
- E. Eliminación periódica de lodos de los tanques de tratamiento.
- F. Tanto por higiene, como por la apariencia del filtro verde y con el propósito de mantener el proceso fotosintético de la vegetación y su productividad (el crecimiento del pasto vetiver se afecta con la sombra), es necesario mantener limpia la cubierta plástica del filtro verde.
- G. Construir y mantener en funcionamiento canales que permitan la desviación de las aguas lluvias que puedan ingresar al interior del filtro verde.



Implementación de la solución Cenicafé. Sede La Granja.



**Filtro verde beneficiadero experimental Cenicafé. 200 m²
10.000@ cps/año. Operando desde 2019**

Implementación de la solución Cenicafé. Sede Naranjal.



Sitio de ubicación del filtro verde y aspecto de la excavación de 70 cm de profundidad, impermeabilización del fondo de la misma con geomembrana de 20 mils e instalación del tubo de aireación y descarga de drenados.



Llenado de la excavación impermeabilizada con suelo estratificado, conservando su perfil original y techado del filtro verde y cubrimiento de las paredes con plástico.

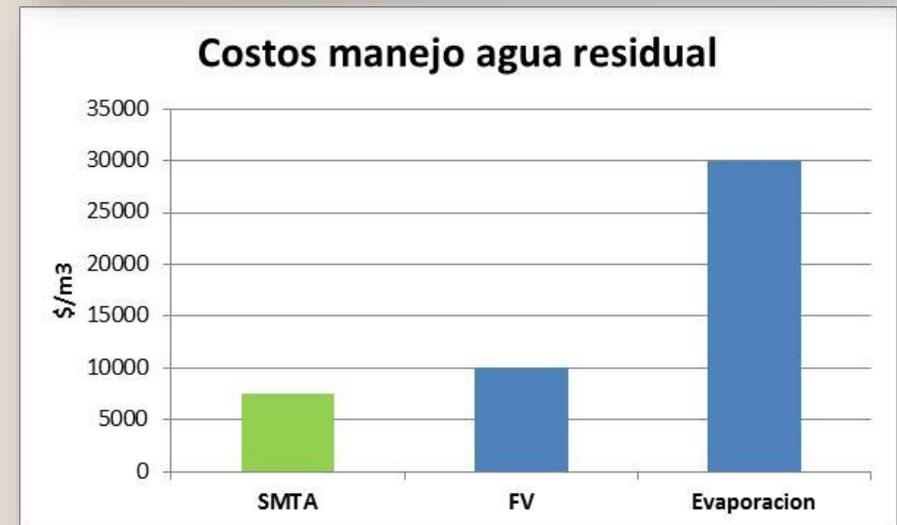
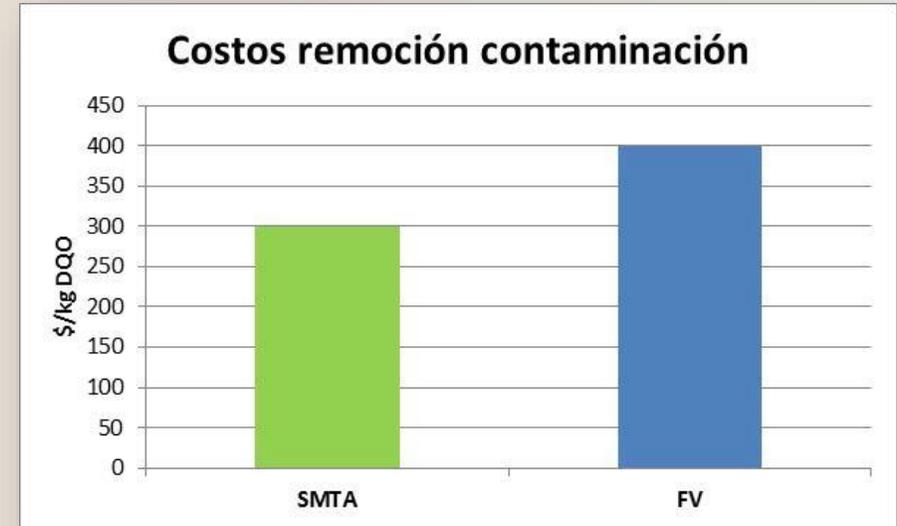
Filtro Verde Estación Naranjal. 65 m²
Operando desde 2021

Costos estimados del manejo del ARC con filtros verdes (ZLD).



Considerando un volumen promedio de agua residual de 2,5 L/kg cps:

- Se requieren 10 m² de Filtro verde/ha
- El costo del Filtro verde se estima en \$ 100.000/m².
- El costo del Filtro verde/ha es aproximadamente \$ 1,000,000
- Se estima la vida útil del plástico en 5 años, de los tanques plásticos en 30 años y del sistema de riego en 15 años.
- Se estima que evaporar 1 m³ de agua en el filtro verde cuesta, en promedio, \$ 20.000 (considerando los tanques para el tratamiento primario y la recirculación de los drenados). Sin considerar tanques (tal como se estimó en la evaporación solar del agua residual) el valor sería de \$ 10.000/m³ vs 30.000/m³ en la evaporación solar.



Impacto en la caficultura al solucionar el problema.



Eliminación
Costos legales mínimos estimados/año

Permiso vertimientos: \$ 100,000
Visita funcionario CAR: \$ 300,000
Muestreo, Caracterización: \$ 1,500,000
Pago Tasa retributiva: \$ 100,000

Total: \$ 2.000.000



Impacto ambiental del manejo del ARC con filtros verdes (ZLD).



Se estima, para la producción cafetera de los últimos años, que pueden llegar al suelo y al agua alrededor de 158.760 toneladas de DQO/año (proveniente de las aguas mieles del café), equivalentes a la contaminación generada por las aguas residuales domésticas de una población de 4.349.589 personas/año.



Y con su recirculación sobre el área sembrada se logra las cero descargas

Con los filtros verdes se encontraron unos elevados porcentajes de remoción de carga orgánica (superiores al 98%).

Impacto ambiental del manejo del ARC con filtros verdes (ZLD).



Si se implementara este tipo de tecnología en todas las fincas cafeteras de Colombia, se evitaría el vertido de carga orgánica por aguas residuales del café, además que permitiría el reciclaje de los nutrimentos de las aguas residuales del café, al suelo, para su aprovechamiento en agricultura, que sería del orden:

*1.157 toneladas de N
96 toneladas de P
1.220 toneladas de K.*

Impacto ambiental del manejo del ARC con filtros verdes (ZLD).



Como resultado del tratamiento se cosechan anualmente alrededor de 34 toneladas de biomasa seca/ha, la cual tiene una composición química similar a la pulpa de café en los macronutrientes N, P, K, lo que representaría, para toda la caficultura, una disponibilidad adicional de 431, 42 y 749 toneladas anuales, respectivamente, para su reincorporación al suelo como abono orgánico.

Huella Hídrica Gris. Etapa de beneficio.



Beneficio convencional o tradicional del café. Es aquel 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 litros de agua/kg de cps y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos o su manejo es limitado (Rodríguez *et al.*, 2015).



HH gris Beneficio convencional 7152 L/kg cps



HH gris Beneficio ecológico. Naranjal 112 L/kg cps
64 veces menor

HH gris Beneficio ecológico sin vertimientos. 0 L/kg cps



Tecnología de filtros verdes para el manejo, tratamiento y cero descargas de las aguas residuales de la finca cafetera

■ Nelson Rodríguez V. ■ Laura Vanessa Quintero Y. ■ Samuel A. Castañeda



548

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



Filtro verde para el manejo y tratamiento de las aguas residuales del café con cero descargas

Los filtros verdes son un sistema de tratamiento natural del agua, de baja carga, que se basan en la aplicación controlada del agua residual pretratada a un cultivo forestal o herbáceo, y que aprovecha la capacidad autodepuradora de la zona no saturada del suelo y la captación de nutrimentos por parte de la vegetación. El uso de especies arbóreas o pastos de rápido crecimiento, con grandes requerimientos hídricos y cuyas raíces son tolerantes a condiciones parcialmente saturadas y anaerobias permiten la aplicación de altos volúmenes de agua residual, logrando su evapotranspiración total, alcanzando el objetivo de cero descargas (Rodríguez et al., 2022).

A continuación, se describen y dimensionan cada uno de los componentes de un filtro verde con cero descargas para las aguas residuales del café.

Avances Técnicos
Cenicafé



Manejo y aprovechamiento de la pulpa de café. Representa el 74% de la contaminación en el PBHC



Estrategia de mitigación al cambio climático

1. Elaboración de abono orgánico por procesos de compostaje

El abono orgánico es el material que se obtiene de la degradación y mineralización de la materia orgánica presente en residuos agrícolas y que se aplica al suelo con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas y sus características químicas y biológicas, buscando incrementar el rendimiento de los cultivos.



En el caso de los subproductos del café se ha utilizado la pulpa de café sola y mezclada con mucílago para la producción de abono orgánico, y se ha considerado como criterio para dar por terminado el proceso de transformación una relación C/N menor a 12 en el producto final.

Elaboración de productos de valor agregado a partir de la pulpa de café.



2. Elaboración de abono orgánico por procesos de lombricompostaje

La lombricultura consiste en el cultivo intensivo de la lombriz roja en residuos orgánicos. Tiene como ventaja que acelera el proceso de descomposición de los residuos y se obtiene lombricompostado y lombrices.

La pulpa generada por una finca que produzca 1000 @ cps/año (aproximadamente 27 toneladas de pulpa fresca) se puede manejar en un área efectiva de 25 m² de lombricultivo, teniendo una densidad de lombriz pura de 5 Kg/m² equivalente a manejar alrededor de una tonelada de pulpa de café/m² - año.



Camas de 1 m. de ancho, 2 a 3 m. de largo y 40 cm de altura (sustrato de 4 cm de espesor).

2. Elaboración de abono orgánico por procesos de lombricompostaje

Se determinó:

La lombriz consume, en pulpa, la mitad de su peso al día.

El incremento de la biomasa de lombriz es del 50% en 2,3 meses, equivalente a 13 kg m²-año.

La biomasa de lombriz puede utilizarse en alimentación animal (gallinas ponedoras, pollos de engorde y piscicultura) dado que su contenido de proteína es superior al 60%.



ISSN - 0120 - 0178

AVANCES TÉCNICOS 225

Cenicafé

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Marzo de 1996

LOMBRICULTURA EN PULPA DE CAFÉ

María Teresa Dávila-A.**; César Augusto Ramírez-C.***

Lombricomposto obtenido de la transformación de la pulpa de café mediante la acción de la lombriz roja.



En este Avance Técnico se resumen los resultados más importantes de la investigación relacionada con la lombricultura, que CENICAFÉ ha realizado en conjunto con distintos caficultores que están cultivando de la lombriz roja*

La lombricultura consiste en el cultivo intensivo de la lombriz roja *Eisenia foetida*, en residuos orgánicos (8).

Es una actividad sencilla que puede emprender cualquier caficultor, con las ventajas de acelerar el proceso de descomposición de la pulpa de café y obtener lombricomposto y lombrices para utilización en la misma finca (2).

Con este sistema se pueden manejar adecuadamente los subproductos del beneficio del café (pulpa y mucilago).

* Investigación en desarrollo en la Central de Beneficio Ecológico de Café en Anserma (Caldas), con la colaboración de Bioagro de Colombia y el lombricultivo Mi Jardín.
** Asistente de Investigación, Química Industrial. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná. Caldas, Colombia.
*** Asistente de Investigación, Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná. Caldas, Colombia.

3. Elaboración de abono orgánico por procesos de larvicompostaje

El larvicompostaje es otro método especial de compostaje, en el que participan tanto larvas de moscas como los microorganismos presentes en el sustrato.

*La mosca soldado negro *Hermetia illucens* es un insecto originario de América, cuyas larvas se alimentan de pulpa de café.*

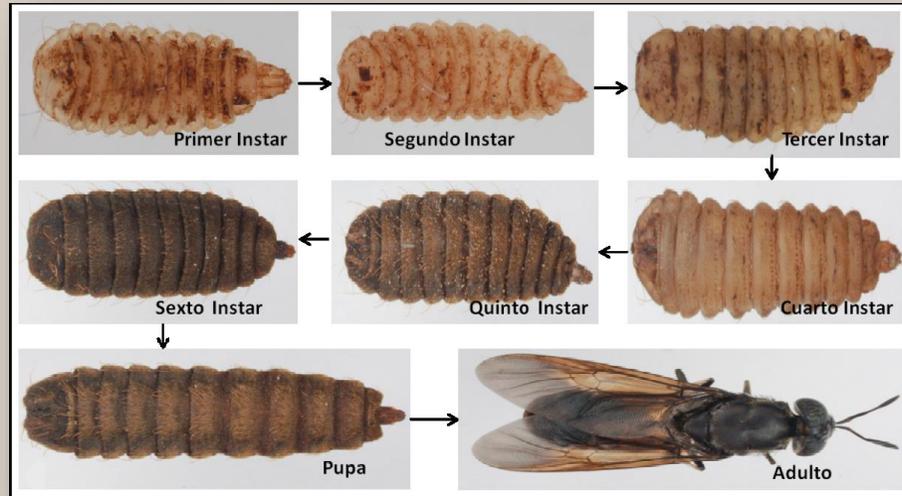
Los adultos viven, se aparean y ponen sus huevos en grietas y hendiduras cerca del hábitat de las larvas.

La mosca soldado negro no es reconocida como una plaga debido a que el adulto no se siente atraído por las viviendas humanas o alimentos.



*Las larvas de *H. Illucens* son más resistentes que las lombrices a diversas sustancias tales como el amoníaco y el alcohol, soportan valores de pH en el rango ácido y las temperaturas que se generan durante el proceso de compostaje.*

3. Elaboración de abono orgánico por procesos de larvicompostaje



Las larvas de la mosca se pueden recolectar utilizando tamices o trampas de agua y se pueden secar para la elaboración de harina para la alimentación animal, dado que su contenido de proteína cruda es del 38,5% y su contenido de grasa de 6,63% .

USO POTENCIAL DE *Hermetia illucens* (LINNAEUS) (DIPTERA: STRATIOMIDAE) PARA TRANSFORMACIÓN DE PULPA DE CAFÉ: ASPECTOS BIOLÓGICOS

Marisol Giraldo Jaramillo*, Nelson Rodríguez Valencia**, Pablo Benavides Machado*

GIRALDO J., M.; RODRÍGUEZ V., N; BENAVIDES M., P. Uso potencial de *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomidae) para transformación de pulpa de café: Aspectos biológicos. Revista Cenicafé 70(2):81-90. 2019

La conversión de materia orgánica con el uso de organismos ha tenido un amplio desarrollo en las últimas décadas. La mosca soldado negra *Hermetia illucens*, por contener proteínas y grasas, se ha considerado como alimento para animales. El objetivo de la presente investigación fue determinar el desarrollo de *H. illucens* en pulpa de café bajo condiciones controladas y realizar la descripción morfológica de sus estados biológicos. El trabajo se desarrolló a una temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, humedad relativa de $80\% \pm 10\%$ y fotoperíodo 12:12. Se realizó seguimiento diario para obtener las variables: longevidad y sobrevivencia (%) de cada uno de los estados biológicos, incluyendo los adultos machos y hembras y razón sexual. Se obtuvo el ciclo completo de *H. illucens* en pulpa de café. Los análisis descriptivos de las variables mostraron una duración en días del periodo de incubación de $3,06 \pm 0,09$, la fase larval de $22,83 \pm 0,17$ y la pupa de $19,92 \pm 0,17$, con una viabilidad total (huevo-adulto) de 80% y una longevidad de los adultos hembras y machos de $10,43 \pm 0,48$. Se describieron los estados biológicos de huevo, larva, pupa y adultos. Los resultados de esta investigación soportan apuestas futuras de proyectos de desarrollo tecnológico que permitan la cría de la mosca *H. illucens* para alimentación animal y el uso de los subproductos en fertilización de cultivos orgánicos.

Palabras clave: Mosca soldado negra, conversión materia orgánica, proteína animal, residuos orgánicos.

Elaboración de productos de valor agregado a partir de la pulpa de café.

4. Producción de hongos comestibles y nutraceuticos



Los hongos comestibles son aquellos que se utilizan en gastronomía, siendo los más populares los champiñones, que pertenecen al género *Agaricus spp.*



Pleurotus spp



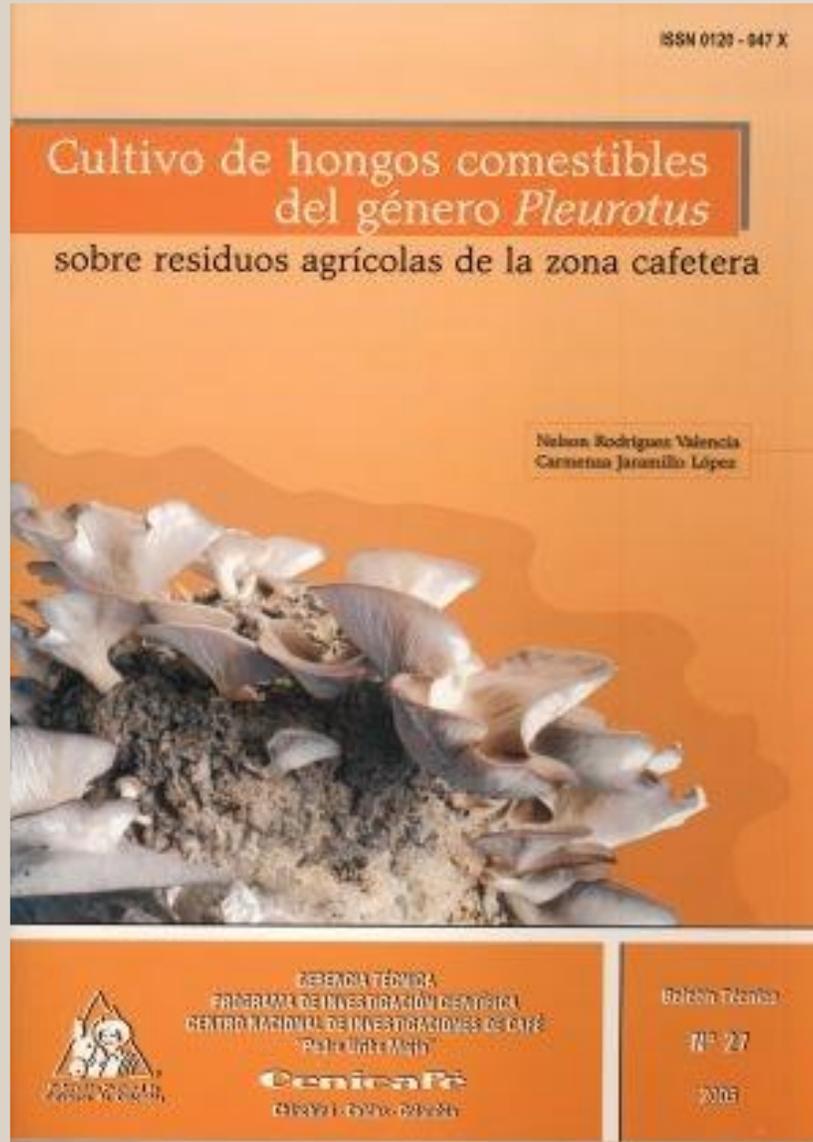
Ganoderma spp



Shiitake

Los hongos nutraceuticos son aquellos que tienen tanto propiedades nutritivas como farmacéuticas.

4. Producción de hongos comestibles y nutraceuticos



5. Pectinas de la pulpa de café

La pectina es un polisacárido complejo de alto peso molecular que es utilizada en las industrias alimenticia, cosmética y farmacéutica por sus propiedades gelatinizantes, espesantes y estabilizantes.

Contenido de pectina de la pulpa de café

Muestra	pH	Humedad (%)	Grados Brix	Azúcares reductores (% bs)	Contenido pectina (% bs)
1	4,46	76,40	3,80	17,08	6,86
2	4,34	77,05	3,90	16,98	8,64
3	4,58	80,40	2,70	12,24	8,20
4	4,29	77,60	3,70	17,51	12,73
5	4,45	74,60	4,70	24,71	11,42
6	4,51	75,90	4,30	18,18	5,36
7	4,50	78,90	3,60	19,26	10,59
8	4,56	83,75	2,30	17,62	6,73
9	4,06	80,03	2,80	13,59	8,92
10	4,48	77,69	3,00	18,83	7,69
11	4,31	77,30	3,40	17,76	8,12
12	4,57	76,20	3,30	12,95	4,14
13	4,48	75,40	3,50	14,05	9,48
14	4,36	76,20	3,90	16,22	6,20
15	4,45	75,90	4,00	19,35	5,57
16	4,40	75,40	4,50	20,58	7,42
Promedio	4,43	77,42	3,59	17,31	8,00 1,81% bh



Las materias vegetales más usadas para la elaboración de pectina son la manzana y las frutas cítricas (naranja, toronja y limón). El contenido de las sustancias pécticas en los frutos está entre 0,5% a 1,0% del peso de la fruta fresca; en las cáscaras de los frutos cítricos se reportan valores entre el 3,0% y el 4,0% en peso fresco.

Por cada 10 toneladas de pulpa fresca se pueden producir 113 kg de pectinas.

6. Miel de café

La miel del café es un subproducto generado de la concentración de los jugos azucarados de la pulpa y del mucílago de café y ha mostrado ser de gran utilidad en la industria alimenticia y en la alimentación de cerdos. Se presenta en la forma de un jarabe denso de color castaño oscuro, semejante a la miel de caña y de sabor dulce.

Composición de la miel de pulpa

Parámetro	Miel de pulpa
Rendimiento (%)	7,30
°Brix	60
pH	3,72
Acidez titulable	0,96
Azúcares reductores (mg/100 g)	73,44
Azúcares totales (g/ 100 g)	26,05
Polifenoles (mg de ácido gálico/L)	252,55
Actividad antioxidante (%)	18,03

Manrique & Monteblanco, 2015



Se pueden obtener 7,3 kg de miel por cada 100 kg de pulpa de café

7. Suplemento de concentrados para alimentación animal

Los subproductos generados en el proceso de beneficio e industrialización del café pueden utilizarse directamente o después de ser transformados, como materias primas en la elaboración de raciones para la alimentación animal.

Alimentación de pollos de engorde



<https://axoncomunicacion.net/las-razas-de-pollos-de-crecimiento-lento-son-mas-saludables-y-felices-segun-un-estudio/>

Calle (1977), en Cenicafé, reporta la alimentación de pollos utilizando pulpa de café ensilada y proveniente de los procesadores y peletizada, después de ser mezclada con maíz amarillo, salvado de trigo, harina de carne, aceite de hígado, mezcla mineral, cal apagada y sal, en la cual la pulpa de café representó el 60%.

Se registró una tasa de aumento en peso diario de 16 g/animal para la dieta con pulpa ensilada y de 17 g/animal para la dieta con pulpa de los procesadores, mientras que para el testigo (dieta sin pulpa de café) la tasa de aumento en peso diario fue de 13 g/animal

Se concluyen que los aumentos de peso en los pollos alimentados con raciones suplementadas con pulpa de café fueron satisfactorios y demuestra que puede utilizarse la pulpa de café provenientes de los procesadores, dado que la proliferación de larvas en los mismos producen proteína animal que es aprovechada en la avicultura.

8. Producción de biocombustibles



Por cada 10 toneladas de pulpa fresca se pueden producir 250 m³ de biogás.

(Calle 1974; Arcila, 1979).



Por cada 10 toneladas de pulpa fresca se pueden producir 252 litros de alcohol carburante.

(Rodríguez y Zambrano, 2010)

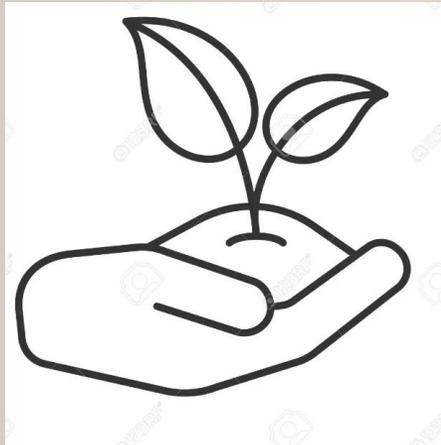


Aplicación de la economía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos

Nelson Rodríguez Valencia



Impacto ambiental del beneficio ecológico. En contaminación evitada (pulpa+aguas mieles).



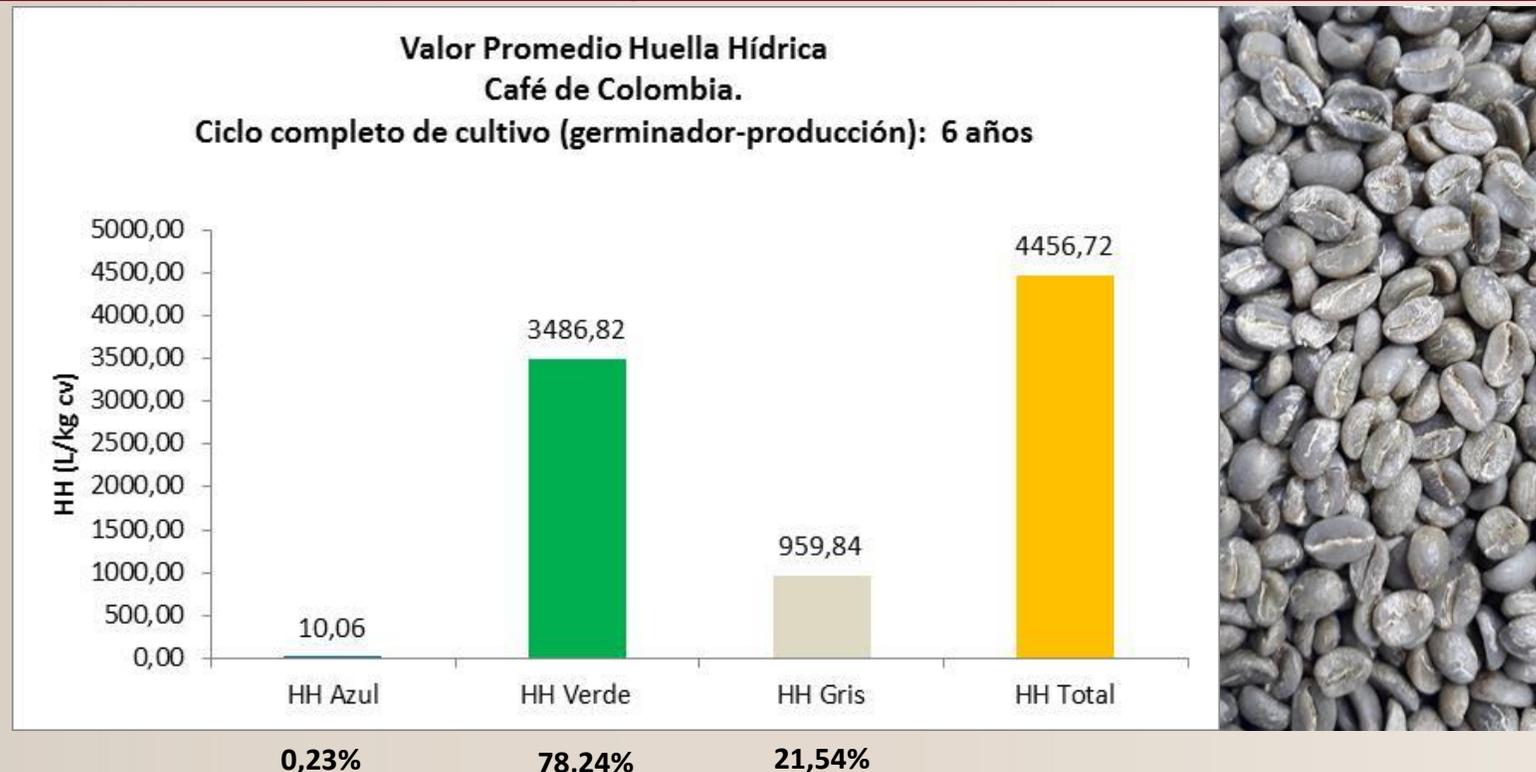
Con el buen uso de la tecnología y la adopción de buenas prácticas de beneficio, se ha evitado generar, anualmente, **110 mil toneladas de contaminantes orgánicos**, que generalmente son descargados a las fuentes hídricas, equivalentes a la contaminación anual generada en aguas residuales domésticas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



110.000 toneladas DQO	← 401,537 toneladas de cps/159.610 fincas (BT+BE, 89%) →	\$ 55.000 millones COP
277.500 toneladas DQO	← 1,013,040 toneladas de cps/542.906 fincas (BT y BE) →	\$ 138.760 millones COP
477,780 toneladas DQO	← 1,013,040 toneladas de cps/542.906 fincas (BE) →	\$ 238.890 millones COP

Equivalentes a la contaminación anual generada en aguas residuales domésticas por la población de la zona caribe colombiana.

Huella hídrica del café de Colombia. Ciclo completo



HH verde m ³ /t cv	HH azul m ³ /t cv	HH gris m ³ /t cv	HH total m ³ /t cv	Referencia
13033	0	1533	14566	Adaptado de Mekonnen y Hoestra (2010).
-	-	-	11113	Arévalo <i>et al.</i> , 2012.
7460	0	147	7607	Builes, 2013.
25444	0	-	-	Adaptado de IDEAM, 2015.
4378,48	-	13,87	-	Adaptado de Barragán y Siachoque, 2017.
7973	20,28	-	-	Adaptado de Ariza y Arévalo, 2018
7973	13,61	133661	-	Adaptado de Mild Coffee Company Huila <i>et al.</i> , 2018.
12632	0,703	-	-	Adaptado de IDEAM, 2019.

Huella hídrica del café de Colombia. Ciclo completo

Estrategia de adaptación al cambio climático



Producir una tasa de café de 125 ml (7 g de café tostado y molido)

Bajas densidades de siembra
Beneficio convencional



140 L

Chapagain and Hoekstra, 2003



Producir una tasa de café de 125 ml (7 g de café tostado y molido)

Altas densidades de siembra
Beneficio Ecológico



37 L

(Reducción del 73,57%)



Gracias

cenicafe@cafedecolombia.com 



www.cenicafe.org



agroclima.cenicafe.org



biblioteca.cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC