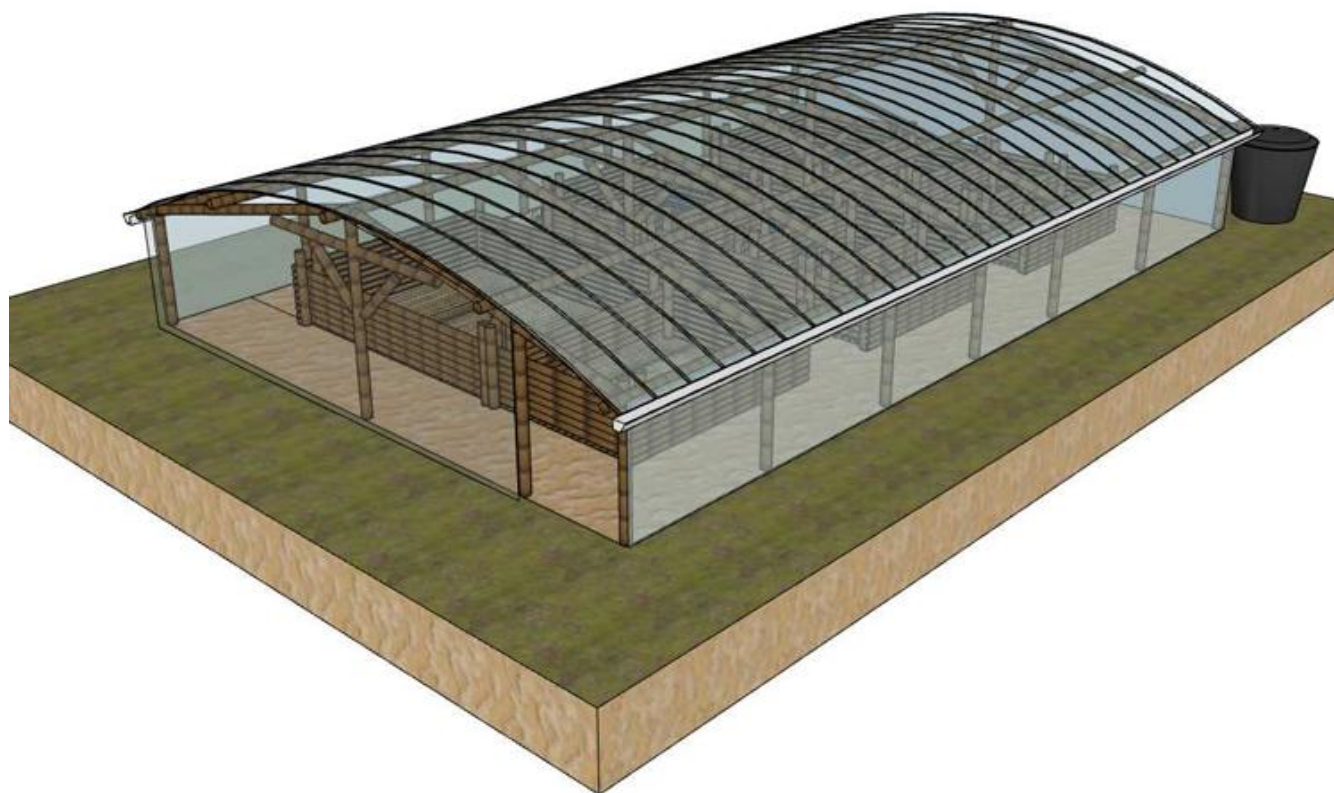




Londoño et al. (2026)



*Procesadores de pulpa con cero descargas: **Una solución para la GIRH en las fincas cafeteras***

*Nelson Rodríguez Valencia
Disciplina de Ingeniería*

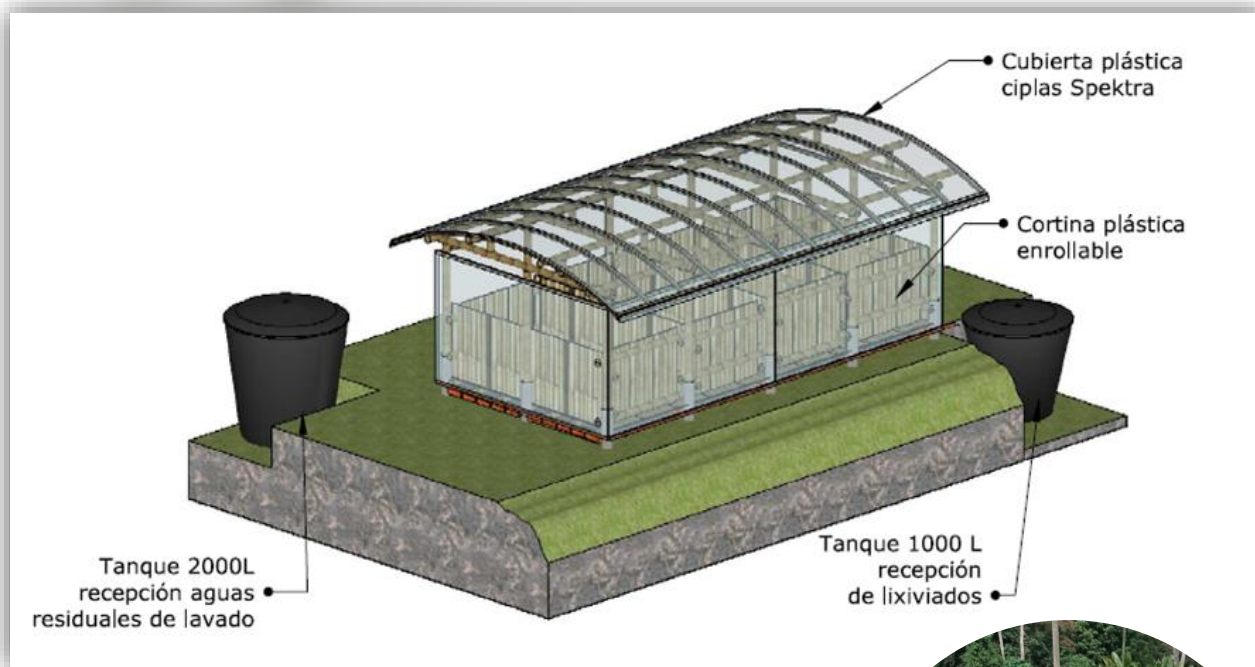
SABEMOS
LO QUE HACEMOS

Cenicafé®
Centro Nacional de Investigaciones de Café


Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia



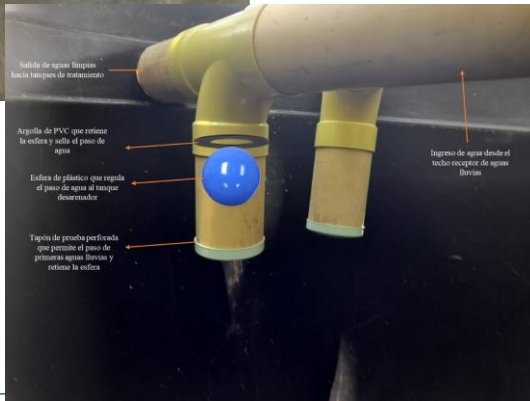
¿En qué consiste la solución?



- En invernaderos con piso impermeabilizado en los que se dispone la pulpa de café y las aguas mieles provenientes del **beneficio ecológico** para su transformación en abono orgánico.
- Los lixiviados que se generan durante el proceso de transformación se recolectan y recirculan sobre el material en descomposición hasta su agotamiento total.
- Permite la cosecha de agua para su utilización en riego o en otros fines, en la finca cafetera, contribuyendo a la adaptación de la caficultura al cambio climático (aumentan disponibilidad de agua por cosecha de lluvia y por no generar vertimientos) .



¿Cómo contribuye la solución a la GIRH?



- Permiten el manejo de las aguas residuales generadas durante el proceso de beneficio ecológico de café, incorporándolas a la pulpa y evitando la generación de vertimientos y por lo tanto, eliminando los costos legales ambientales asociados a la solicitud del permiso de vertimientos:

- * Pago por el permiso, * pago por las caracterizaciones del vertido, * pago por tasa retributiva, * pago por visita de la CAR .

- Permiten incrementar la disponibilidad de agua en la finca mediante la cosecha de agua, eliminando los costos legales asociados a la solicitud del permiso de concesión:

- * Pago por el permiso, * costos en adecuación de Infraestructura en la bocatoma, * costos asociados al equipamiento de regulación de caudal, * pago por la tasa de uso de agua, * pago por visita de la CAR.



¿Qué ventajas presenta la solución?



- **Permiten el ciclaje de nutrientes** por la mezcla de la pulpa de café con las aguas mieles obteniéndose un abono enriquecido química y microbiológicamente por los aportes de las dos materias primas principales en el proceso de beneficio de café: la pulpa y las aguas mieles.
- **Contribuyen con el modelo de la bioeconomía circular** en la finca cafetera al convertir la biomasa residual del proceso de beneficio (pulpa y aguas mieles) en un abono orgánico con múltiples aplicaciones en la producción agrícola de la finca.
- **Contribuyen a la conservación de los recursos naturales** de la finca cafetera al evitar los vertimientos de las aguas mieles y los vertimientos de los lixiviados generados durante el proceso de transformación de la pulpa en abono orgánico.
- **Contribuyen a la disponibilidad de agua** en la finca cafetera mediante la cosecha de agua, siendo una medida de adaptación de la caficultura al cambio climático.



¿Qué cobertura tiene la solución?



- Aplica para los diferentes tamaños de las fincas cafeteras, dado que en todas ellas es necesario disponer de un área para el manejo de la pulpa de café.
- Aplica para las aguas de lavado del grano de las diferentes tecnologías de **beneficio ecológico**.



Tecnología Ecomill (Consumo de agua cercano a 0,5 L/kg cps)
Tecnología Becolsub (Consumo de agua cercano a 1,0 L/kg cps)
Tecnología Tanque Tina (Consumo de agua cercano a 5,0 L/kg cps)



¿Qué problemática resuelve la solución?

Contaminación ambiental



1000 gramos
café cereza



590 gramos
subproductos



80 gramos bebida



Contaminación 1
persona en ARD



1 millón de sacos



162,900 t



55,510 t



1,178,750 habitantes/año

Rodríguez N. 2023. Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos: Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0032>



¿Qué problemática resuelve la solución?



Requerimientos legales

 **MINAMBIENTE**

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

RESOLUCIÓN No. **0631**

(17 MAR 2015)

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

EL MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

 **REPÚBLICA DE COLOMBIA**

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

DECRETO No. **050**

(16 ENE 2018)

"Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones"

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA

 **REPÚBLICA DE COLOMBIA**

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

DECRETO NÚMERO **1553** DE 2024

23 DIC 2024

"Por el cual se sustituye el Capítulo 7 del Título 9 de la Parte 2 del Libro 2, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se dictan otras disposiciones"

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA

Hay una normativa ambiental estricta en el país y su incumplimiento genera sanciones económicas importantes.

 **Ambiente**

RESOLUCIÓN NÚMERO _____ DE _____

"Por medio de la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales No Domésticas Tratadas al Suelo, y se dictan otras disposiciones"

¿Qué problemática resuelve la solución?

El dimensionamiento de los procesadores

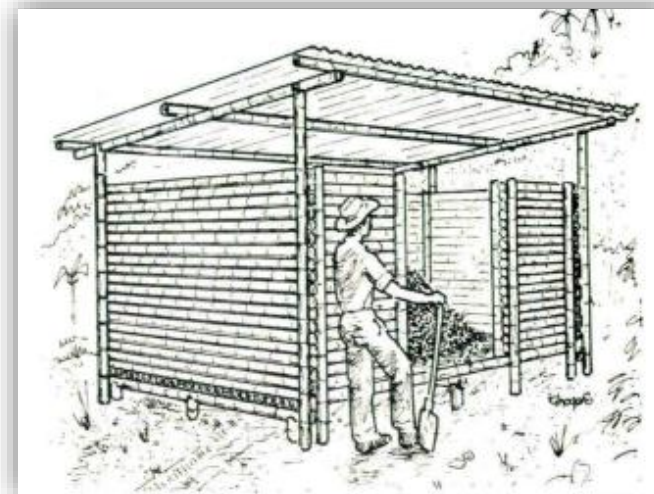
Objetivo: Almacenar y procesar la pulpa para obtener abono orgánico



TABLA 1. DIMENSIONES DE LAS FOSAS SEGUN LA PRODUCCION ANUAL DE CAFE PERGAMINO SECO.

Producción anual arrobas*	Altura de la fosa metros	Ancho de la fosa metros	Largo de la fosa metros	Volumen de la fosa metros ³
500	2.00	2.00	3.00	12
600	2.00	2.00	4.00	16
700	2.00	2.00	4.50	18
800	2.00	2.00	5.00	20
900	2.00	2.00	5.50	22
1.000	2.00	3.00	4.00	24
1.200	2.00	3.00	5.00	30
1.400	2.00	3.00	6.00	36
1.600	2.00	3.00	7.00	42
1.800	2.00	3.00	7.50	45
2.000	2.00	3.00	8.00	48
2.500	2.00	4.00	8.00	64
3.000	2.00	4.00	9.50	76
3.500	2.00	4.00	11.00	88
4.000	2.00	4.00	12.00	96
4.500	2.00	4.00	14.00	112
5.000	2.00	5.00	12.50	125
6.000	2.00	5.00	15.00	150
7.000	2.00	5.00	17.50	175
8.000	2.00	5.00	20.00	200
9.000	2.00	5.00	22.50	225
10.000	2.00	5.00	25.00	250

* Una arroba 12.5 kilos.



$$A = 0,0005 \text{ m}^2/\text{kg pulpa}$$

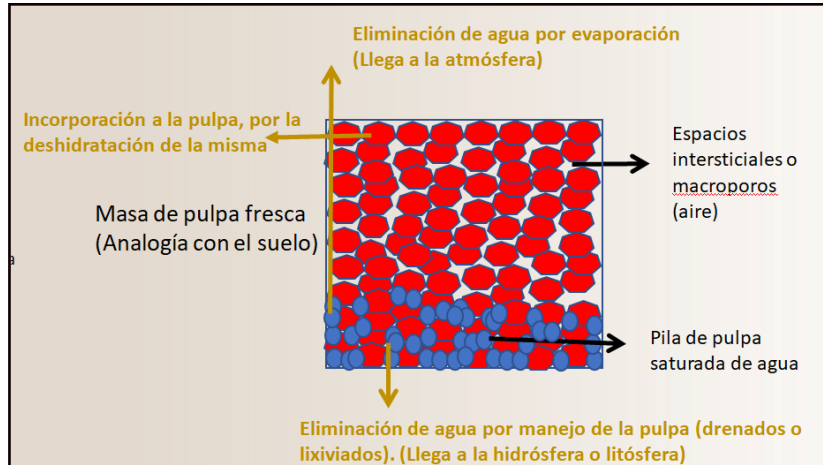
$$V = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg pulpa}$$



¿En qué procesos físicos se apoya la solución?



Estructura de la pulpa de café



Ddad pulpa fca = 298,2 g/L (Montilla, 2006)

Ddad pulpa mojada = 420,0 g /L (Roa et al., 1999)

Retención de agua = 121,8 g/L

1 kg pulpa fresca ocupa = 3,3 L

Volumen retenido = 410 mL/kg Pulpa



Mieles Ecomill® = 0,57 L AR/kg pulpa

Becolsub = 0,80 L AR/kg pulpa

Tanque tina = 2,27 L AR/kg pulpa

Evaporación

Proceso físico en el que un líquido pasa de manera lenta y gradual a estado gaseoso desde su superficie, sin necesidad de alcanzar su punto de ebullición



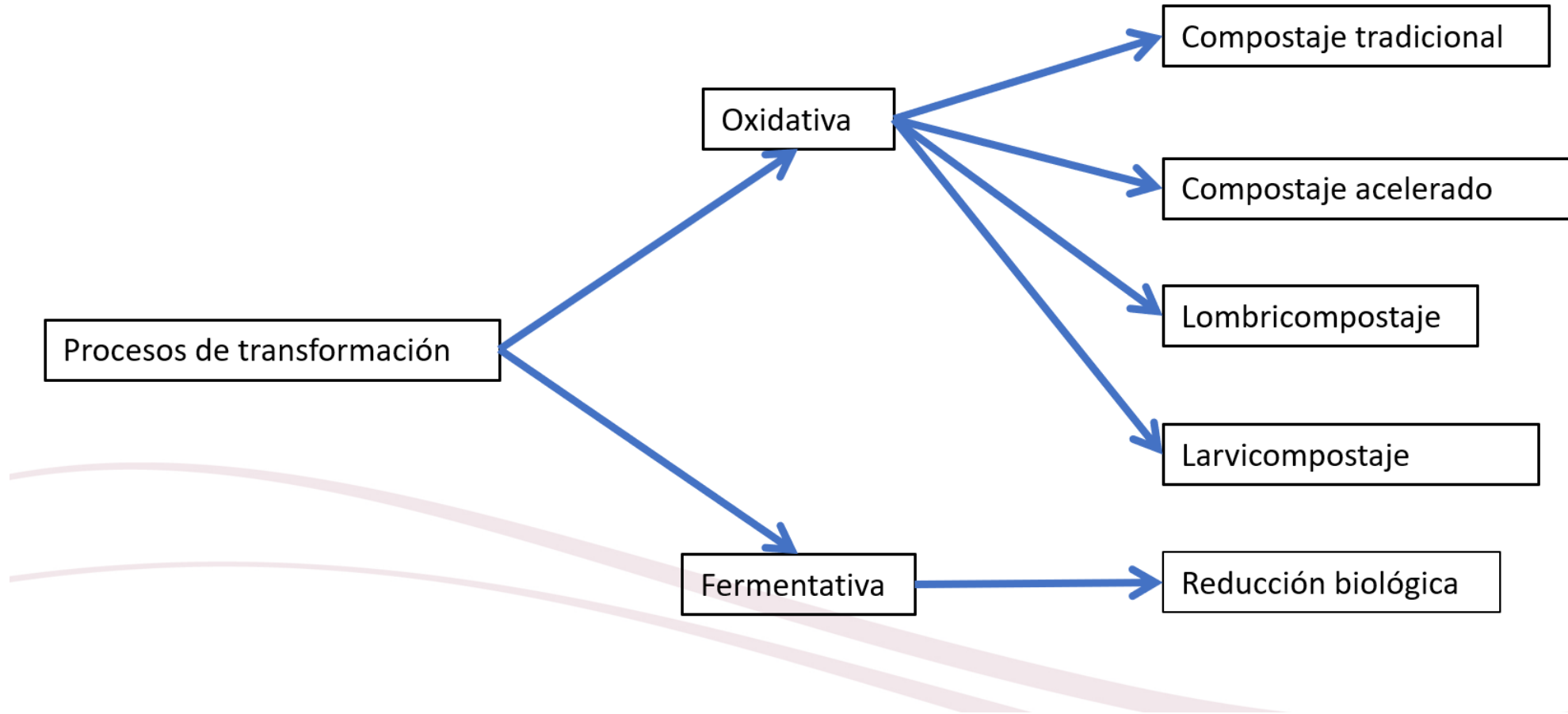
Las corrientes de aire ayudan a retirar el vapor de la superficie y aceleran el cambio de estado



¿En qué procesos biológicos se apoya la solución?



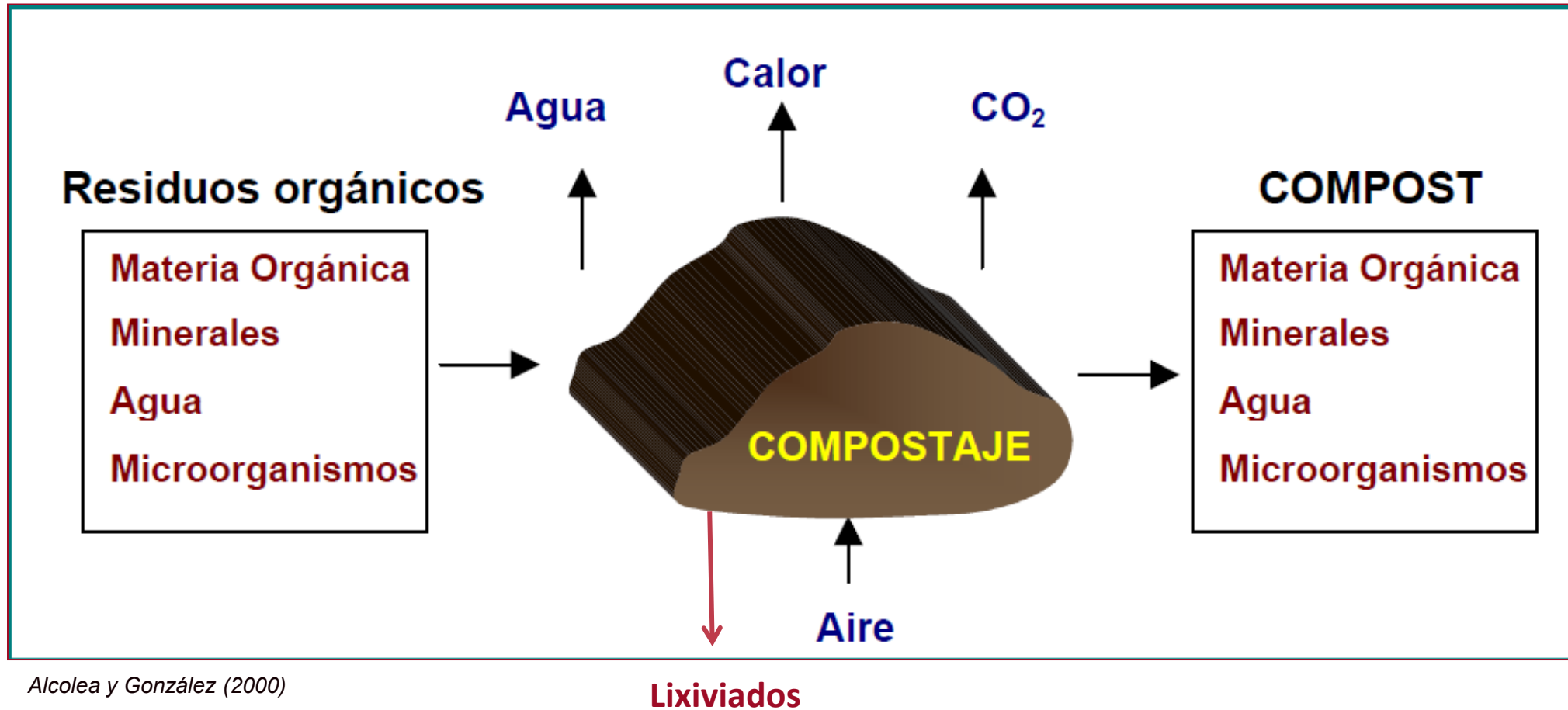
Procesos biológicos





Proceso de compostaje

Es la transformación de la materia orgánica por microorganismos en presencia de aire y bajo condiciones controladas.



Alcolea y González (2000)



Proceso de compostaje



En el proceso se generan temperaturas termófilas debido la producción de calor por los microorganismos obteniéndose como resultado un producto estable, higiénico, semejante a un manto rico en sustancias húmicas, que se utiliza como abono orgánico y acondicionador de suelos.

Generales

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m³	<700 kg/m³	<700 kg/m³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	~1%

Román et al. (2013)

Pulpa de café

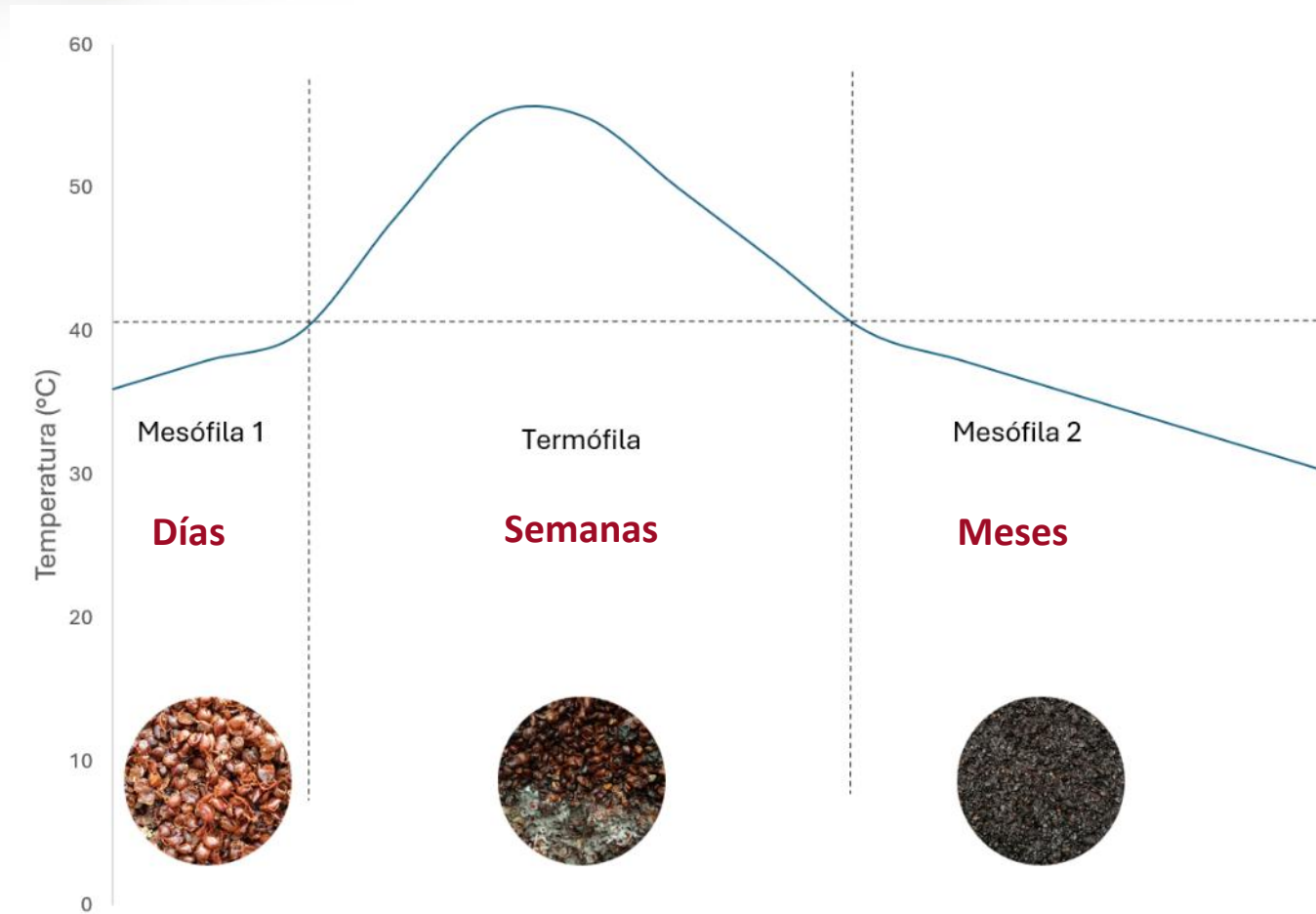
Parámetro	Valor
C/N (adimensional)	31,0 – 31,5
Humedad (%)	74,83 - 79,50
Tamaño de partícula (cm)	2,00
pH (Unidades)	3,60 - 4,40
Temperatura (°C)	45,00 - 60,00
Densidad (kg/m³)	300 – 420
Materia orgánica (% bs)	89,50 – 93,56
Nitrógeno total (% bs)	1,25 - 1,76
Aerobios mesófilos (UFC/g)	2x10 ⁶ – 5x10 ⁷
Mohos y levaduras (UFC/g)	4x10 ⁶ – 3x10 ⁸

Rodríguez y Arboleda (2026)



Fases del proceso de compostaje

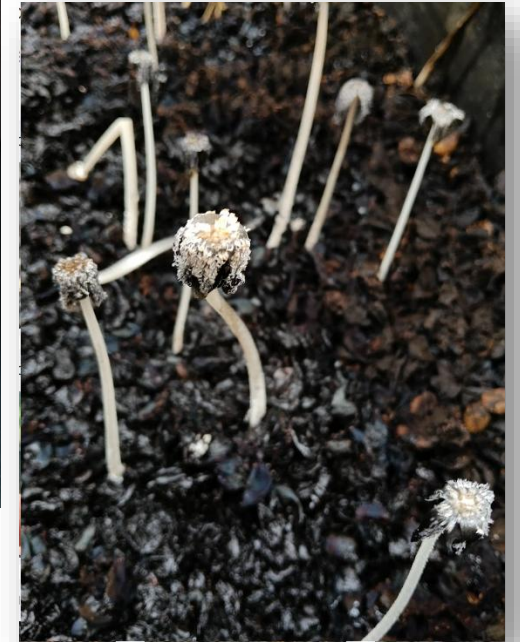
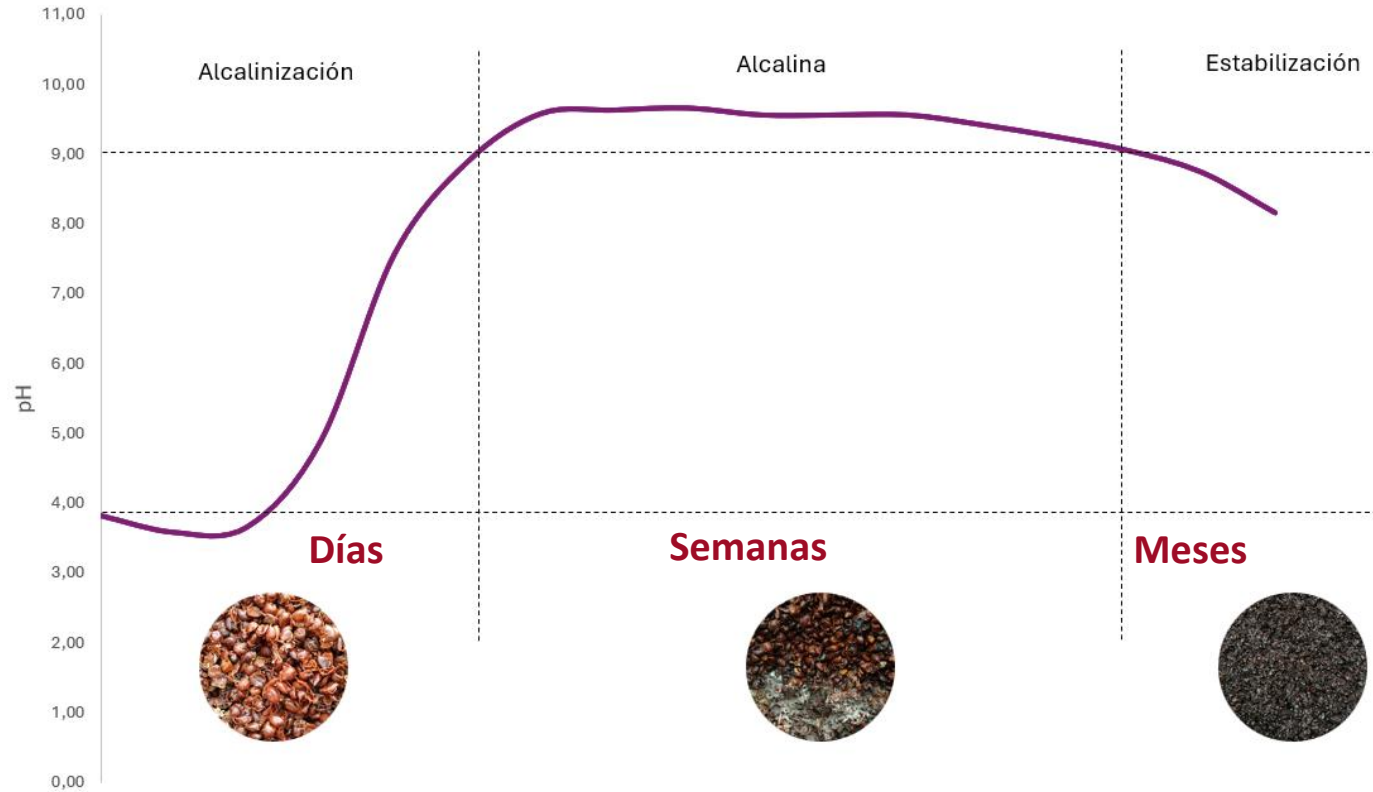
Temperatura en pulpa de café





Fases del proceso de compostaje

pH en pulpa de café



Coprinopsis spp



Monitoreo del proceso de compostaje



Generales



Pulpa de café

Tabla 1 Control de la aireación

Porcentaje de aireación	Problema		Soluciones
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación .
5% - 15% Rango ideal			
>15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)

20 Volteos (semanales a quincenales)



Román et al. (2013)



Monitoreo del proceso de compostaje



Generales

Tabla 2 Parámetros de humedad óptimos

Porcentaje de humedad	Problema		Soluciones
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)
45% - 60% Rango ideal			
>60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

Román et al. (2013)

Pulpa de café

Parámetro	Valor
Rango óptimo de Humedad	75,00 - 80,00%
Humedad Insuficiente	< 70,00%
Humedad limitante	> 90,00%





Problemas del compost no estabilizado



- **Fitotoxicidad.** En un material que no haya terminado el proceso de compostaje correctamente, el nitrógeno está más en forma de amonio en lugar de nitrato. El amonio en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta y dando lugar a malos olores. Igualmente, un material sin terminar de compostar contiene compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para las semillas y plantas.

Predomina NH_4^+ sobre NO_3^+ y ácidos (tóxicos)



- **Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como "hambre de nitrógeno".** Ocurre en materiales que no han llegado a una relación Carbono : Nitrógeno equilibrada, y que tienen material mucho más rico en carbono que en nitrógeno. Cuando se aplica al suelo, los microorganismos consumen el C presente en el material, y rápidamente incrementan el consumo de N, agotando las reservas de N en el suelo.

$\text{C/N} > 35$

Román et al. (2013)



Calidad del abono orgánico



Los indicadores de madurez y estabilidad son parámetros complementarios por medio de los cuales se puede determinar la calidad de un compost para su utilización como enmienda orgánica (Torti et al, 2019).

Generalmente, el término “estabilidad” se refiere a la tasa o grado de descomposición de la materia orgánica y puede expresarse como una función de la actividad microbológica. A mayor estabilidad menor actividad microbiana.

El término “madurez” se refiere al grado de descomposición de fitotóxicos (sustancias orgánicas producidas durante el proceso de compostaje) y se puede evaluar utilizando semillas o plantas (Wu et al., 2000).

Parámetros de la estabilidad y madurez de los abonos orgánicos.

Parámetro	Valor	Referencia
Color	Café oscuro o negro	Sugahara et al. (1979)
Temperatura	Cercana a la ambiente	Stickelberger (1975)
pH	Cercano a la neutralidad	Gray et al. (1971); Finstein and Miller (1985)
Conductividad eléctrica	Estable	Avnimelech et al. (1996), Wu et al. (2000)
C/N	< 20	Poincelot (1974); Cardenas and Wang (1980); Golueke (1981)
	< 15	Juste (1980); Roig et al. (1988)
	< 12	Iglesias Jiménez and Pérez García (1992); Bernal et al. (1998)
C/N (Soluble en agua)	5-6	Chanyasak and Kubota (1981)
Cw/COT	< 0,70	Hue and Liu (1995)
NH ₄	< 0,04%	Zucconi and de Bertoldi (1987)
NH ₄ /NO ₃	< 0,16	Bernal et al. (1998)
CIC	>60 meq/100 g	Harada and Inoko (1980)
CIC/COT	>1,70	Roig et al. 1988
AH/AF	>1,90	Saviozzi et al. (1988); Iglesias Jiménez and Pérez García (1992)
IH	>30	Raj and Antil (2011), Bernal et al. (1998)
IG	>50%	Zucconi et al. (1981)
	>80%	Tiquia et al. 1996; Sellami et al. 2008
	>110%	Ko et al. (2008)
CO ₂	<120 mg CO ₂ /kg-h	Hue and Liu (1995)
Recuento de microorganismos(bacterias, hongos y actinomicetos)	Decremento en bacteria y hongos e incremento en actinomicetos estable al final del proceso	Petkova and Kostov (1996); Antil and Raj (2012)
Recuento de microorganismos(CT, CF, y enterococos)	<500 NMP/g	Vuorinen and Saharinen (1997); Dahshan et al. (2013)
Actividad enzimática (celulasa, xylanasa y proteasa)	Máximo entre 30 y 60 días de compostaje	Goyal et al. (2005)



Calidad del abono orgánico

Norma Técnica Colombiana

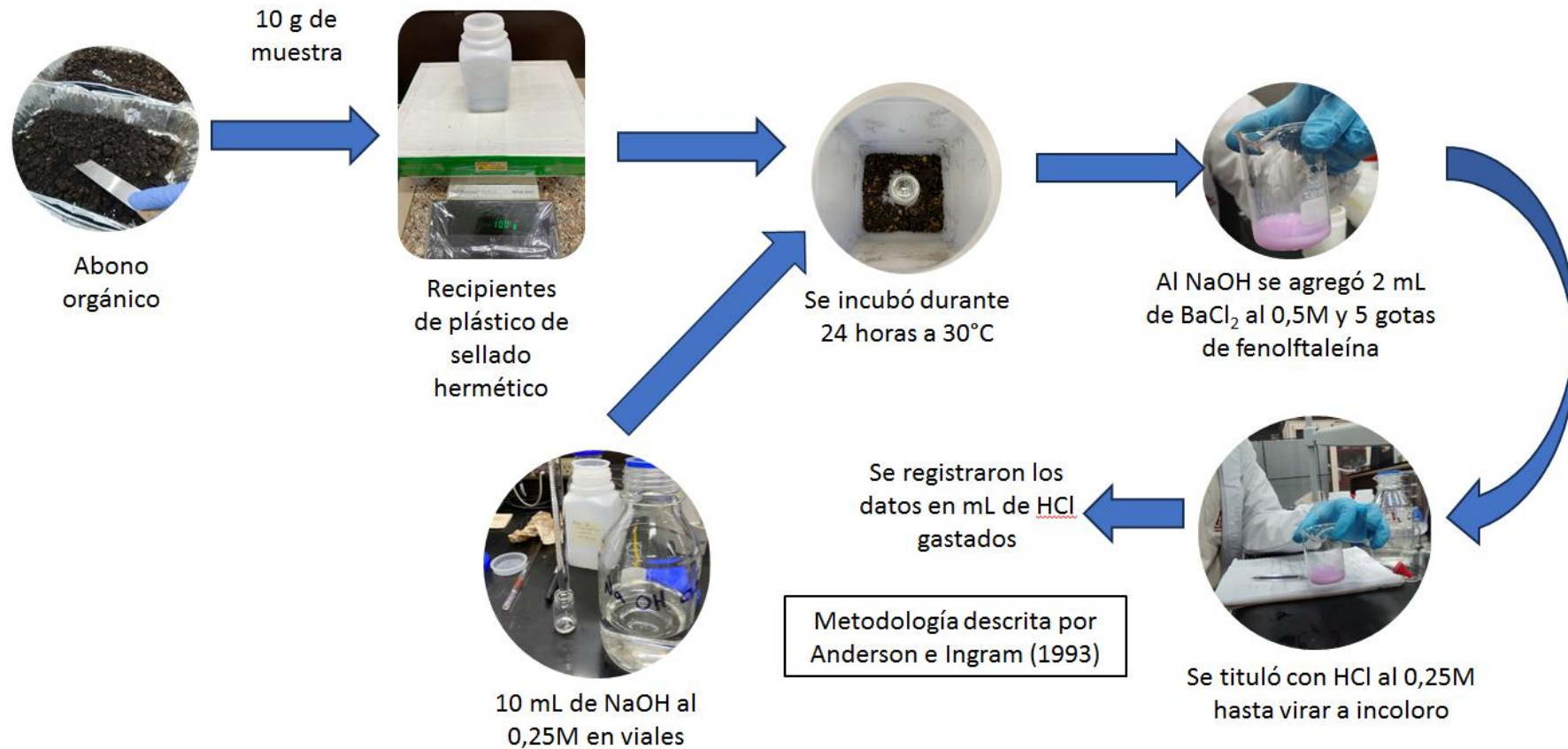
Parámetros que deben cumplir los abonos orgánicos (ICONTEC, 2011)

Parámetro	Valor
Contenido de cenizas	Máximo 60%
Contenido de humedad	Máximo 30%
Contenido de C orgánico oxidable Total	Mínimo 15%
N, P ₂ O ₅ , K ₂ O	Reportar si cada uno es mayor al 1%
SiO ₂	Máximo 50% en las cenizas
CIC	Mínimo 30 meq/100 g
Capacidad de retención de humedad	Mínimo su propio peso
pH	Entre 4 y 9
Densidad real en base seca	Máximo 0,6 g/cm ³
<i>Salmonella</i> spp	Ausente en 25 g
Coliformes totales	Menor a 1000 UFC/g
Huevos de Helminto viables	Menor a q en 4 g de muestra seca
Fitopatógenos	Ausente



Calidad del abono orgánico

Metodología para determinar Respiración



Calidad del abono orgánico

Metodología para determinar Fitotoxicidad





¿En qué investigaciones anteriores se apoya la solución?



En la Tecnología Becolsub

La mezcla de la solución mucílago-agua con la pulpa de café en tornillo sinfín, permite que la pulpa retenga más del 50% de las aguas residuales (Roa et al., 1999).

Narváez (2000) establece que al mezclar la pulpa con las aguas mieles generadas durante el proceso de beneficio en los módulos Becolsub, se retiene el 65% de las mieles, drenando un 35% de su volumen.

En la Tecnología Ecomill®

Oliveros et al. (2022) en Cenicafé, evaluaron tres relaciones de pulpa y ARL de Ecomill®.



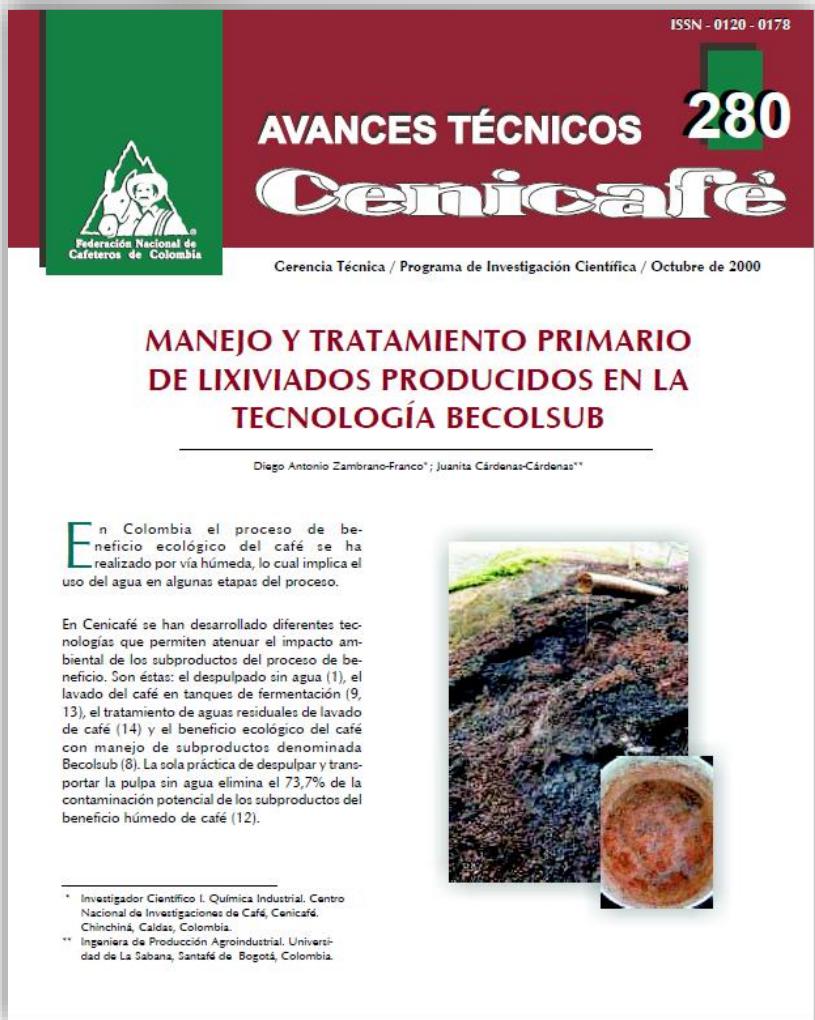
150 kg de pulpa/módulo

Porcentaje de retención en pulpa de café de aguas de lavado de Ecomill®, 24 h después de su aplicación. Fuente: Oliveros et al. (2022).

Parámetro	Relación Pulpa: ARL (kg/L)		
	2,0 :1,0	2,5: 1,0	3,0:1,0
Media (%)	83,3	85,6	89,2
Desviación estándar (%)	3,5	4,5	5,3
Máximo (%)	89,8	92,3	95,9
Mínimo (%)	79,1	80,4	80,0



¿En qué investigaciones anteriores se apoya la solución?



Los resultados de las investigaciones realizadas en Cenicafé permitieron determinar que se requiere 1,0 m² de secador para deshidratar, en 5 a 9 días, 12 litros de mieles generadas por la tecnología Ecomill® (Sanz et al., 2013). Lo que equivale a 2,74 L/m²-d.

*¿En qué investigaciones actuales se apoya la
solución?*



Experimento POS106007

***“Evaluación de acelerantes para la
transformación de la pulpa de café en
abono orgánico”***

(Octubre 2022 – Spbre 2026)



Experimento POS106007

Objetivo

Evaluar acelerantes para la transformación de la pulpa de café sola y mezclada con mieles del Ecomill[®] en abono orgánico.

Pregunta de Investigación

¿Con la utilización de acelerantes cambia el tiempo de transformación de la pulpa de café en abono orgánico?

Hipótesis

Con al menos uno de los acelerantes evaluados, se disminuye el tiempo de transformación de la pulpa de café, en mínimo, un 20%, (respecto al testigo absoluto), independiente del sustrato y el producto final cumpliendo con los parámetros de calidad exigidos en la NTC.





Experimento POS106007



La investigación se realizó en tres etapas: **Primera etapa:** Se evaluaron acelerantes a escala de laboratorio. **Segunda etapa:** Se evaluaron a escala piloto los acelerantes seleccionados en la primera etapa. **Tercera etapa:** Se realizó la evaluación en campo del acelerante seleccionado en la etapa 2.

Primera etapa

Sustrato	Acelerantes
Pulpa fresca	8 Comerciales
	1 Enzimático
	3 Preparados
Pulpa fresca + mieles de la Tecnología Ecomill®	8 Comerciales
	1 Enzimático
	3 Preparados
Testigo relativo (Pulpa fresca + mieles de la Tecnología Ecomill®)	Sin acelerantes
Testigo Absoluto (Pulpa fresca)	Sin acelerantes

26 tratamientos

Acelerantes comerciales productos que involucraron bacterias, hongos, levaduras, enzimas, probióticos.

El acelerante enzimático fue un complejo multienzimático con carbohidrasas (arabanasa, celulasa, beta-glucanasa, hemicelulasa y xilanasa).

- **Acelerante preparado 1:** Adición de capas de suelo de 3 cm de espesor cada 40 cm de pulpa + adición de 14 kg de cal apagada/tonelada de pulpa.
- **Acelerante preparado 2:** Adición de material orgánico con al menos 1 mes de proceso a una tasa de inoculación del 2,5% .
- **Acelerante preparado 3:** aplicación de 14 kg de cal apagada/tonelada de pulpa + 100 g de levadura seca + 1 kg de miel de purga/20 L agua-tonelada pulpa fresca.

Experimento POS106007

Primera etapa

Dosis utilizadas de los acelerantes evaluados

Producto	Dosis comercial	Dosis/10kg sustrato	Número de Dosis
Acelerante comercial_1	1,0 kg/40,00 t	0,125 g/10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante comercial_2	2,0 L/10,00 t	0,50 mL/10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante comercial_3	1,5 L/1,50 t	2,50 mL/ 10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante comercial_4	6,0 L/1,00 t	15,00 mL/ 10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante comercial_5	1,5 L/ 1,00	3,75 mL/10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante comercial_6	1,0 L/3,00 t	1,00 mL/10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante comercial_7	1,0 kg/ 8,00 t	0,50 g/10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante comercial_8	1,0 L/10 t	0,50 mL/10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante enzimático	0,6 L/ 1,0 t	1,50 mL/10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante_Preparado_1	14 kg/1,0 t	35,00 g/10 kg	4 (1 semanal)
Acelerante_Preparado_2	25 kg/1,0 t	60,00 g/10kg	4 (1 semanal)
Acelerante_Preparado_3	14 kg/1,0 t	35,00 g/10 kg	4 (1 semanal)

Acelerante	Precio/kg sustrato
Acelerante comercial 1	\$107 COP
Acelerante comercial 2	\$ 28 COP
Acelerante comercial 3	\$ 110 COP
Acelerante comercial 4	\$ 66 COP
Acelerante comercial 5	\$ 27 COP
Acelerante comercial 6	\$ 44 COP
Acelerante comercial 7	\$ 10 COP
Acelerante comercial 8	\$ 10 COP
Acelerante enzimatico	\$ 172 COP



Experimento POS106007

Primera etapa

Diseño experimental

Los tratamientos se evaluaron bajo el diseño experimental bloques completos al azar en arreglo factorial 2 X 12 + 2.

Unidad de trabajo

Estuvo conformada por un tubo en PVC-S de 6" y 1,50 m de longitud que tenía en el extremo inferior, una altura libre de 5 cm para recolectar los lixiviados generados durante la experimentación. Adicionalmente, el tubo contenía un tubo central y 2 tubos adicionales de PVC-P de 1/2" perforados para permitir el ingreso de aire.

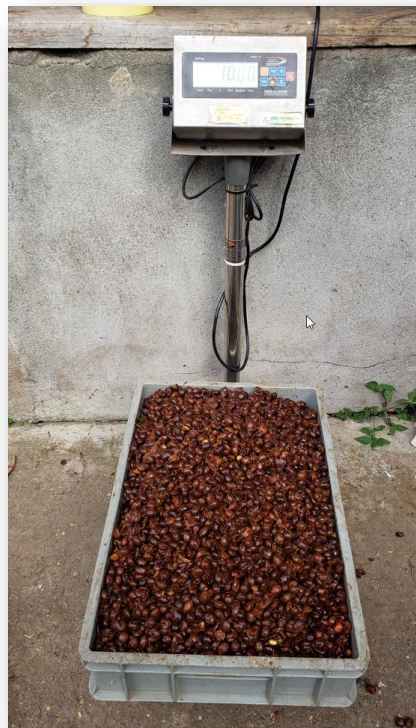
10 kg de pulpa fresca y 10 kg de pulpa + 5 L de mieles del Ecomill ®.
Volumen Neto 28,5 L





Experimento POS106007

Primera etapa. Materiales



Cada tratamiento tuvo 4 réplicas (unidades de trabajo). Se tuvieron cuatro factores de bloqueo (tanques de 2 m³)
Cada factor de bloqueo contuvo 26 unidades de trabajo, relleno el espacio entre tubos con pulpa de café.



Experimento POS106007

Primera etapa. Materiales





POS106007. Solución propuesta



Primera etapa. Materiales





Experimento POS106007

Primera etapa. Métodos



Determinación de C/N (Vrespuesta)
T, Densidad aparente, % humedad, pH, CE,
Volumen lixiviados (Vcomplementarias)



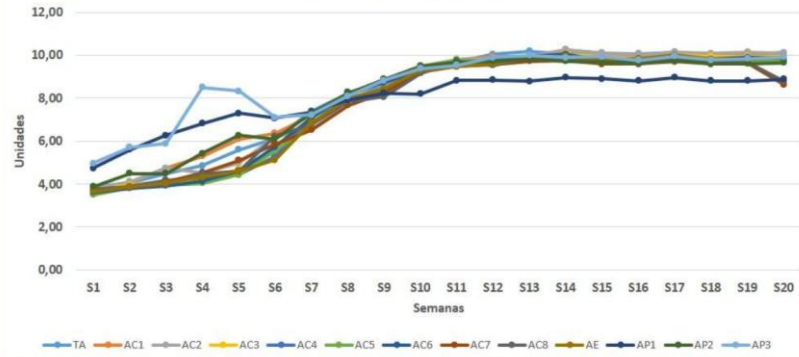


Experimento POS106007

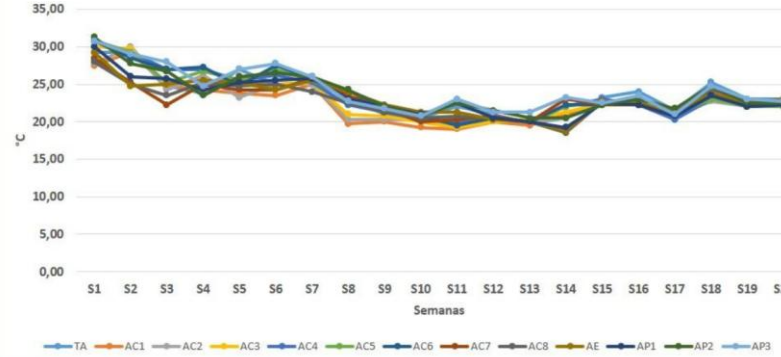
Primera etapa. Resultados



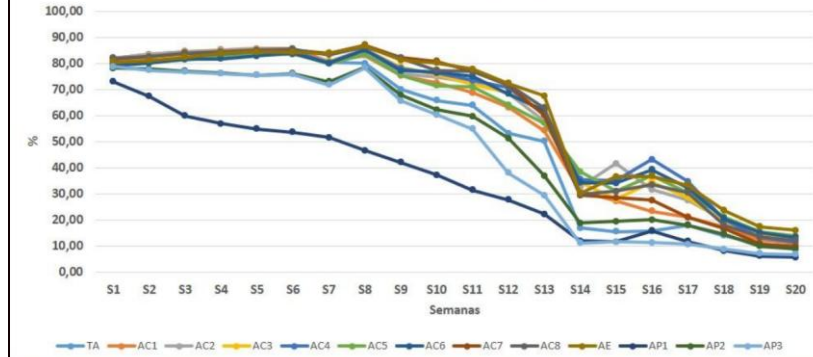
Dinámica del pH
Proceso de compostaje pulpa de café



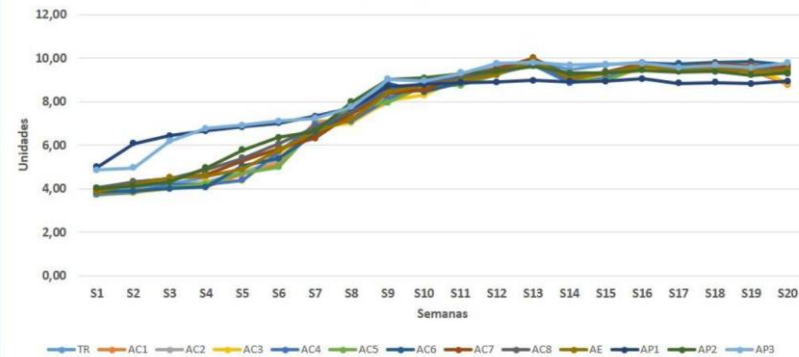
Dinámica de la Temperatura
Proceso de compostaje pulpa de café



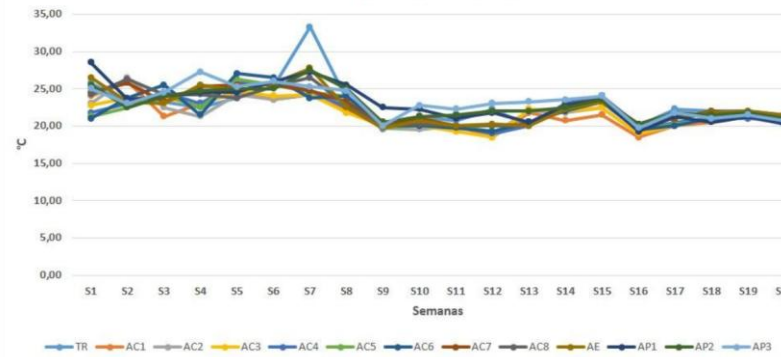
Dinámica de la Humedad
Proceso de compostaje pulpa de café



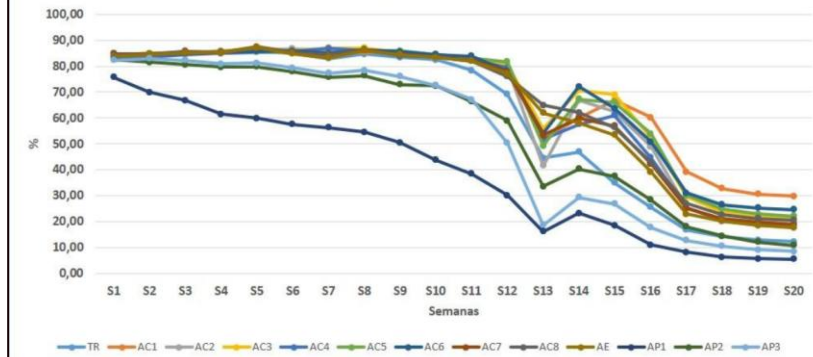
Dinámica del pH
Proceso de compostaje de pulpa+mieles



Dinámica de la Temperatura
Proceso de compostaje de pulpa+mieles



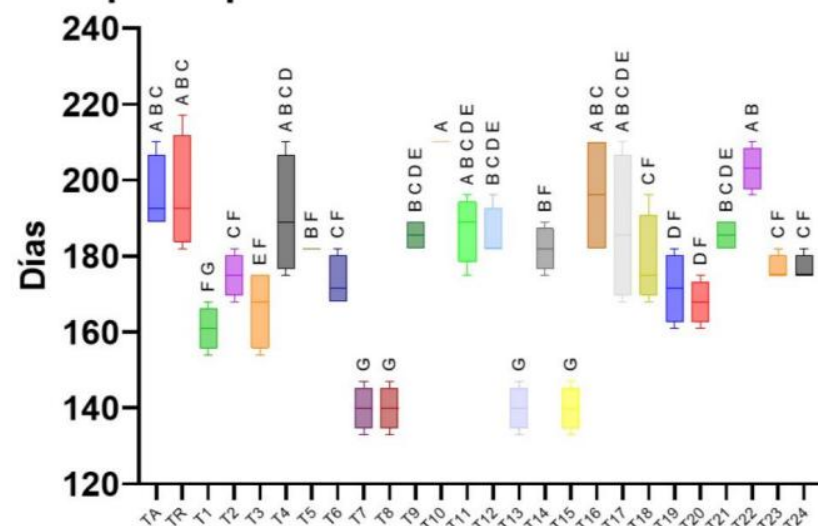
Dinámica de la Humedad
Proceso de compostaje pulpa+mieles



Experimento POS106007

Primera etapa. Resultados. Tiempos. Rendimientos

Tiempo de procesamiento hasta relación C/N <12



Tratamiento	Tiempo proceso (semanas)	Peso húmedo (kg)		Peso seco (kg)		Rendimientos (%)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Base húmeda	Base seca
Sustrato pulpa de café							
Testigo Absoluto	28,00	10,00	0,69	2,24	0,44	6,95	19,44
Acelerante Comercial 1	23,00	10,00	0,88	2,24	0,47	8,82	21,00
Acelerante Comercial 2	25,00	10,00	0,85	2,24	0,45	8,47	20,27
Acelerante Comercial 3	23,75	10,00	0,85	2,24	0,47	8,45	21,03
Acelerante Comercial 4	27,25	10,00	0,65	2,24	0,41	6,46	18,14
Acelerante Comercial 5	26,00	10,00	0,60	2,24	0,38	6,04	17,08
Acelerante Comercial 6	24,75	10,00	0,70	2,24	0,43	7,02	19,13
Acelerante Comercial 7	20,00	10,00	1,01	2,24	0,55	10,10	24,61
Acelerante Comercial 8	20,00	10,00	1,00	2,24	0,53	10,00	23,80
Acelerante Enzimático	26,50	10,00	0,90	2,24	0,50	8,96	22,54
Acelerante Preparado 1	30,00	10,00	1,50	2,24	1,05	15,03	46,88
Acelerante Preparado 2	26,75	10,00	1,05	2,24	0,91	10,51	40,82
Acelerante Preparado 3	26,50	10,00	1,56	2,24	0,95	15,57	42,41
Sustrato pulpa + Mieles Ecomill®							
Testigo Relativo	28,00	15,00	0,73	2,68	0,47	4,88	17,56
Acelerante Comercial 1	20,00	15,00	1,11	2,68	0,54	7,40	20,11
Acelerante Comercial 2	26,00	15,00	0,96	2,68	0,51	6,41	19,21
Acelerante Comercial 3	20,00	15,00	1,12	2,68	0,59	7,47	22,06
Acelerante Comercial 4	28,00	15,00	1,00	2,68	0,54	6,65	20,15
Acelerante Comercial 5	26,75	15,00	1,03	2,68	0,57	6,84	21,15
Acelerante Comercial 6	25,50	15,00	0,97	2,68	0,53	6,47	19,75
Acelerante Comercial 7	24,50	15,00	0,91	2,68	0,53	6,05	19,66
Acelerante Comercial 8	24,00	15,00	0,87	2,68	0,51	5,79	18,97
Acelerante Enzimático	26,50	15,00	0,91	2,68	0,53	6,05	19,91
Acelerante Preparado 1	29,00	15,00	1,47	2,68	1,14	9,81	42,54
Acelerante Preparado 2	25,25	15,00	1,41	2,68	1,09	9,41	40,76
Acelerante Preparado 3	25,25	15,00	1,36	2,68	1,11	9,04	41,58

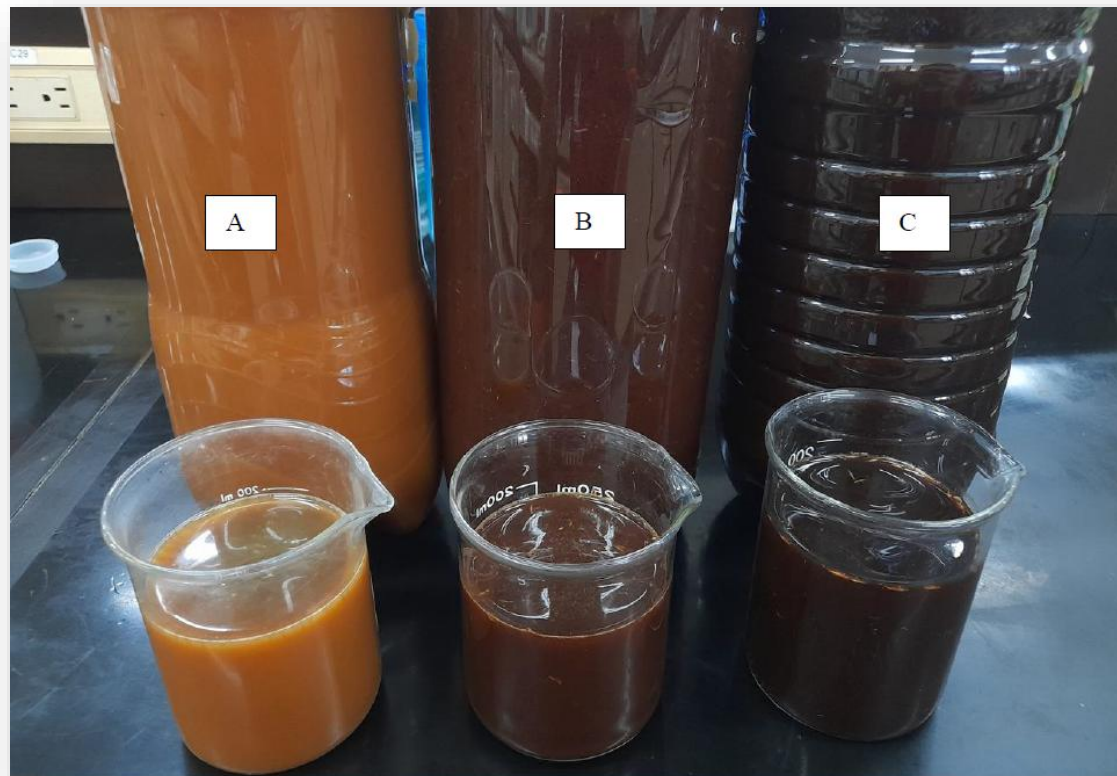


Experimento POS106007

Primera etapa. Resultados. Lixiviados

Para los tratamientos con pulpa

Los lixiviados variaron entre 270 mL y 1760 mL, representando entre el 2,7 y el 17,6% del peso de la pulpa fresca.



- A. Al inicio del proceso.
- B. Al intermedio del proceso (1 a 2 M).
- C. Al final del proceso (3 a 4 M).

Para los tratamientos con pulpa+mieles Ecomill®

Los lixiviados variaron entre 2.150 mL y 7,560 mL, representando entre el 14,3 y el 50,4% del peso de la pulpa fresca+mieles



Experimento POS106007

Primera etapa. Resultados. Abono



Parámetro	Tratamiento					
	Pulpa de café			Pulpa + Mieles Ecomill®		
	Testigo Absoluto	Acelerante comercial_7	Acelerante comercial_8	Testigo relativo	Acelerante comercial_1	Acelerante comercial_3
pH (unidades)	8,52	8,30	8,43	7,95	8,03	7,89
Resp (mg CO ₂ /kg bs-h)	50,19	111,87	46,29	46,99	53,35	43,77
Germinación (%)	99,77	101,63	69,79	71,55	99,15	65,15
CE (mS/cm)	1,52	1,32	1,35	1,10	1,10	1,14
Cenizas (% bs)	49,20	46,90	45,40	40,60	44,20	43,10
COoxidable (%)	22,10	23,10	23,75	25,84	24,27	24,75
Humedad (% bs)	67,53	66,86	55,27	28,32	60,38	50,48
Ntotal (% bs)	3,52	3,86	3,67	3,38	4,87	3,83
P (% bs)	0,26	0,37	0,36	0,25	0,27	0,30
K (% bs)	6,73	7,12	7,36	5,38	5,71	5,65
Ca (% bs)	1,57	1,03	0,92	2,49	1,22	1,20
Mg (% bs)	0,15	0,23	0,18	0,18	0,20	0,21
Fe (mg/kg bs)	1.109	194,20	122,30	1.295	157,30	135,40
Mn (mg/kg bs)	95,30	111,80	94,50	84,00	70,10	65,00
Zn (mg/kg bs)	12,60	8,10	7,30	14,20	8,00	7,00
C/N	8,37	7,98	8,63	10,19	6,65	8,62
Tiempo proceso (d)	196	140	140	196	140	140
Rendimiento (% bs)	19,44	24,61	23,80	17,56	20,11	22,06



Experimento POS106007

Segunda etapa. Materiales



Unidad experimental: Un tanque de polietileno de 1 m³. Volteos semanales

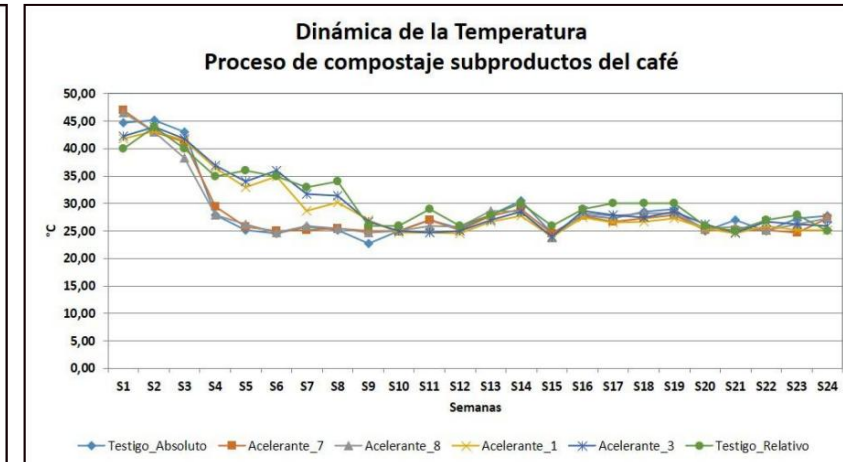
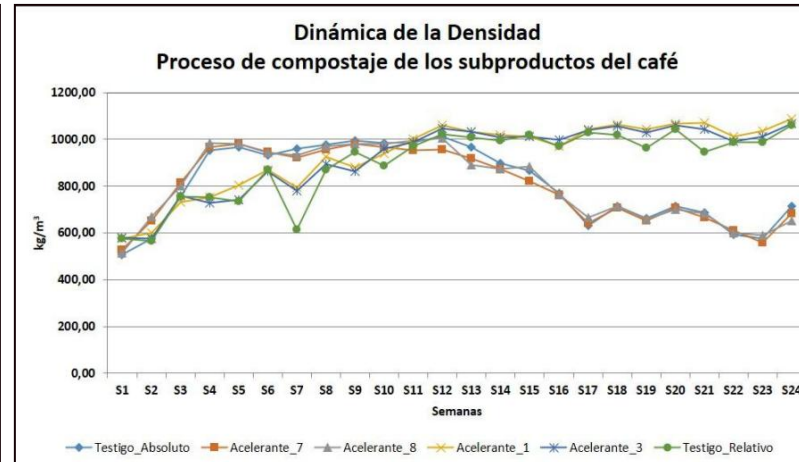
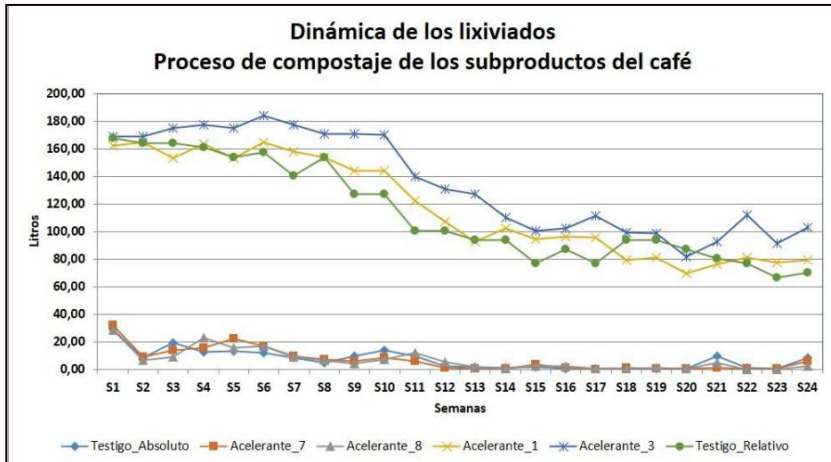
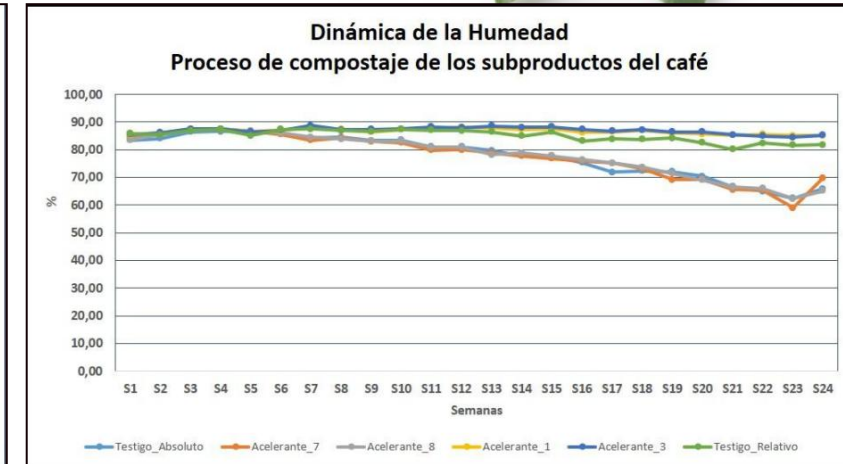
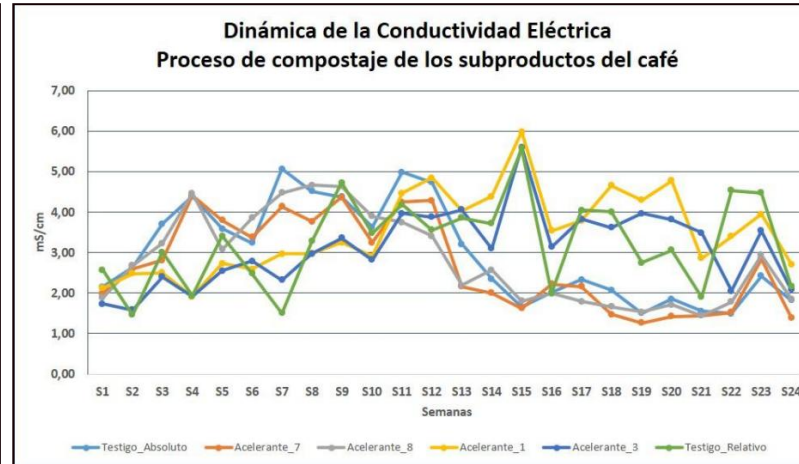
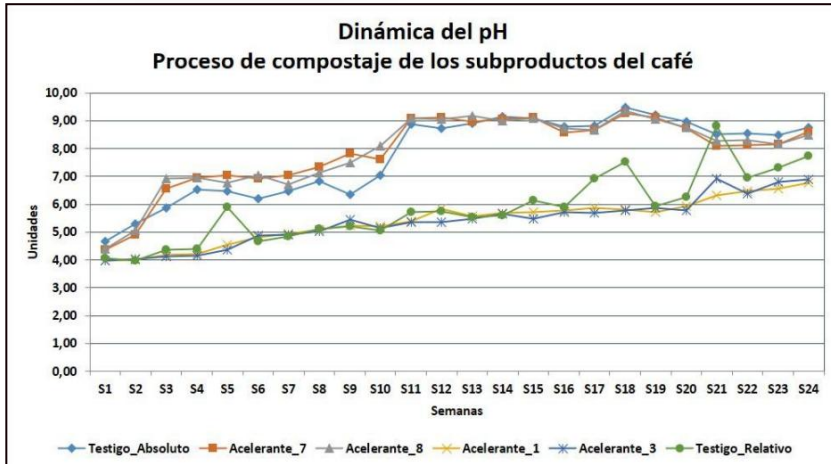
Sustrato	Acelerantes
Pulpa fresca	Acelerante comercial 7
	Acelerante comercial 8
Pulpa fresca + micles de la Tecnología Ecomill®	Acelerante comercial 1
	Acelerante comercial 3
Testigo Absoluto (Pulpa fresca)	Sin acelerantes





Experimento POS106007

Segunda etapa. Resultados

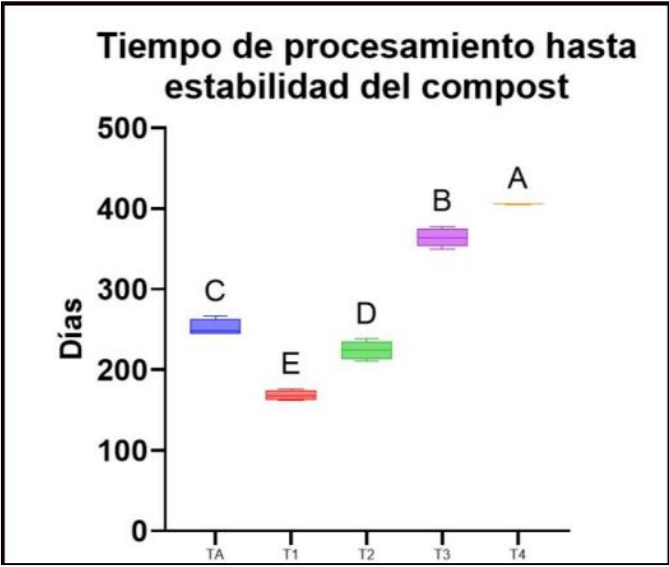




Experimento POS106007

Segunda etapa. Resultados. Tiempos. Rendimientos

Tratamiento	Tiempo proceso (semanas)	Peso húmedo (kg)		Peso seco (kg)		Rendimientos (%)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Base húmeda	Base seca
Testigo Absoluto	36	400	31,64	77,52	9,12	7,91	11,76
Acelerante Comercial 7	24	400	37,30	77,52	12,27	9,33	15,83
Acelerante Comercial 8	32	400	28,47	77,52	9,06	7,12	11,69
Testigo Relativo	65	600	65,74	92,34	15,44	10,96	16,72
Acelerante Comercial 1	52	600	68,97	92,34	14,91	11,50	16,15
Acelerante Comercial 3	58	600	62,23	92,34	14,06	10,37	15,23



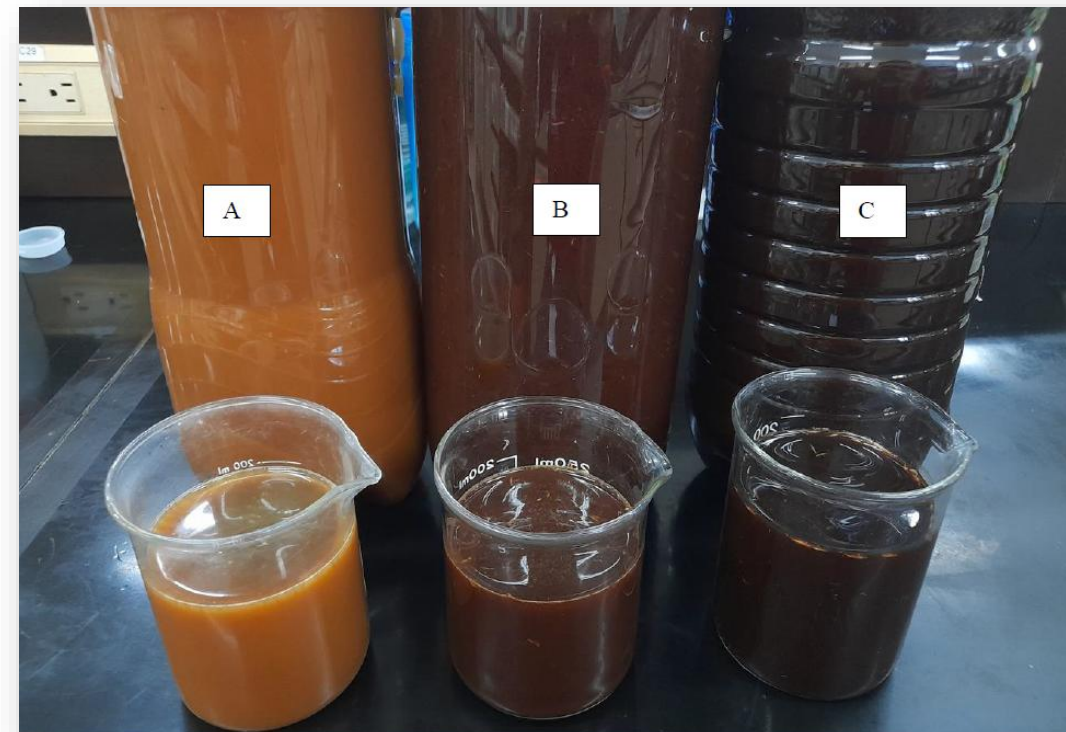


Experimento POS106007

Segunda etapa. Resultados. Lixiviados

Tratamiento	Peso fresco Inicial kg	Lixiviados (L)	% peso fresco	ST (mg/L)	Materia seca lixiviados (kg)	Peso seco inicial (kg)	Base seca
Testigo Absoluto	400,00	168,75	42,19	29.200	4,93	77,52	6,36
Acelerante Comercial 7	400,00	160,75	40,19	27.600	4,44	77,52	5,72
Acelerante Comercial 8	400,00	157,75	39,44	26.000	4,10	77,52	5,29
Testigo Relativo	600,00	0,000	-	-	-	-	-
Acelerante Comercial 1	600,00	0,000	-	-	-	-	-
Acelerante Comercial 3	600,00	0,000	-	-	-	-	-

En promedio, el volumen de lixiviados generados durante el proceso de compostaje, para los tratamientos con sustrato sólo pulpa fue de 162,42 L (representando el 40,61% en bh y 5,79% en bs)



- A. Al inicio del proceso.
- B. Al intermedio del proceso (1 a 2 M).
- C. Al final del proceso (3 a 4 M).



Experimento POS106007

Segunda etapa. Resultados. Abono



Parámetro	Unidades	Valor Promedio 16 muestras
Acelerante comercial 7		
pH	Unidades	7,48
Tasa de Respiración	mg CO ₂ /kg bs-h	62,85
Índice de Germinación	%	66,46
Conductividad Eléctrica	mS/cm	1,15
Cenizas	% base seca	44,64
N	% base seca	5,04
C orgánico oxidable	% base seca	24,08
P	% base seca	0,22
K	% base seca	5,11
Ca	% base seca	0,71
Mg	% base seca	0,16
Fe	mg/kg	1.180
Mn	mg/kg	96,63
Zn	mg/kg	11,73
C/N	Adimensional	6,37
Tiempo proceso	días	168
Rendimiento (% bs)	% bs	15,83



Experimento POS106007

Tercera etapa. Materiales



Se realizó la validación del mejor acelerante comercial, seleccionado de la etapa piloto, en 3 estaciones experimentales de Cenicafé (El Rosario, La Catalina y La Trinidad), con el fin de evaluar el efecto de la variabilidad ambiental y el volumen de pulpa en el proceso de transformación.

Se evaluaron 6 pilas de pulpa de café fresca, para su transformación en abono orgánico estable y maduro, cada una de 1 tonelada de peso y las cuales estuvieron bajo cubierta para evitar su deshidratación y protegerlas de las aguas de lluvia.

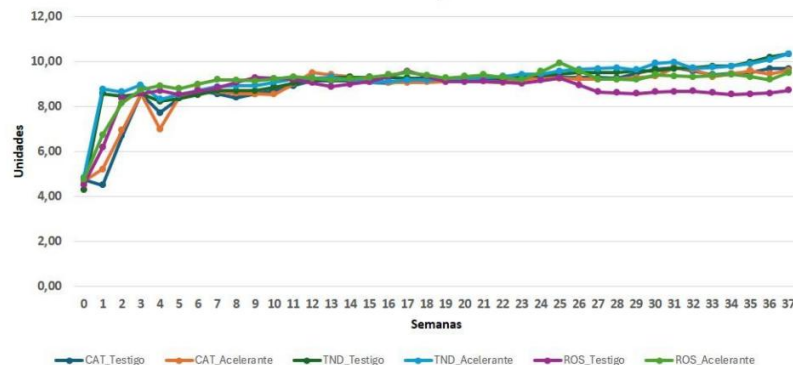
Se realizaron volteos quincenales.



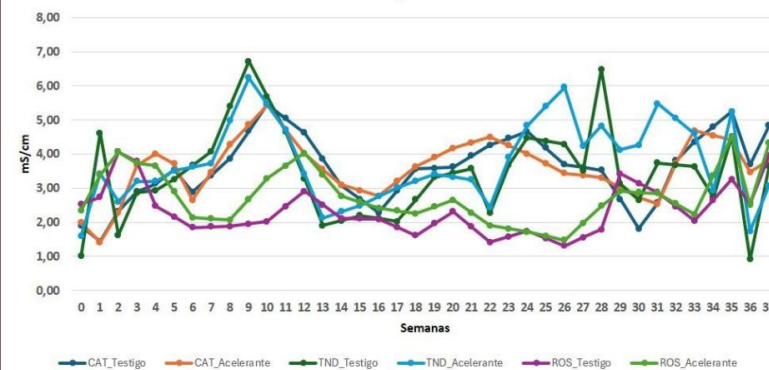
Experimento POS106007

Tercera etapa. Resultados

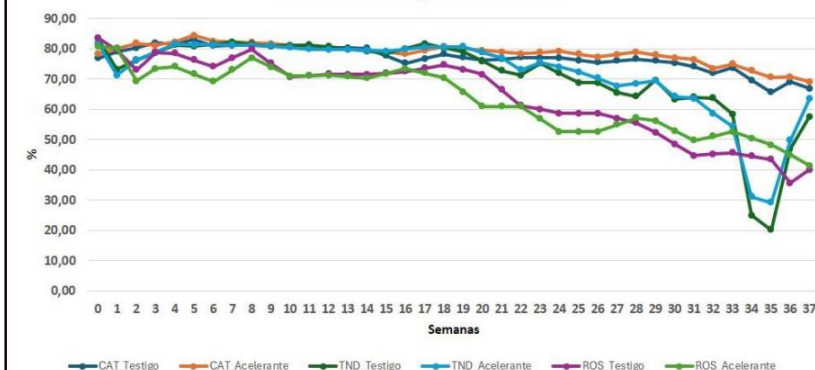
Dinámica del pH. Proceso de compostaje de la pulpa de café
Estaciones Experimentales



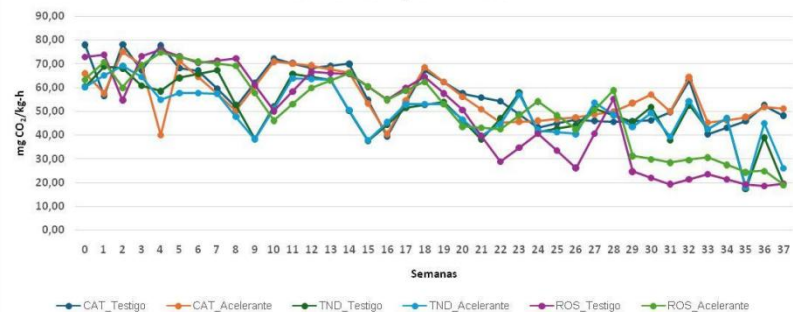
Dinámica CE. Proceso de compostaje de la pulpa de café
Estaciones Experimentales



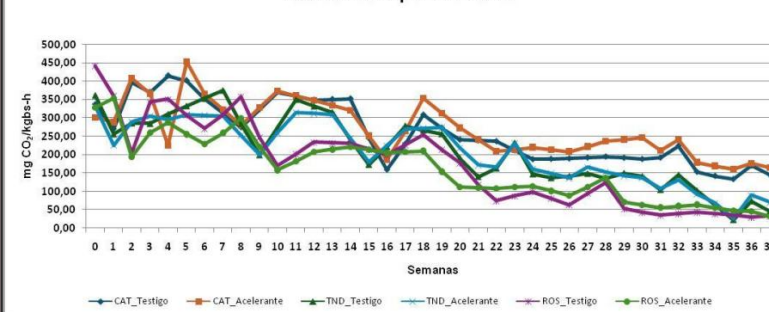
Dinámica Humedad. Proceso de compostaje de la pulpa de café
Estaciones Experimentales



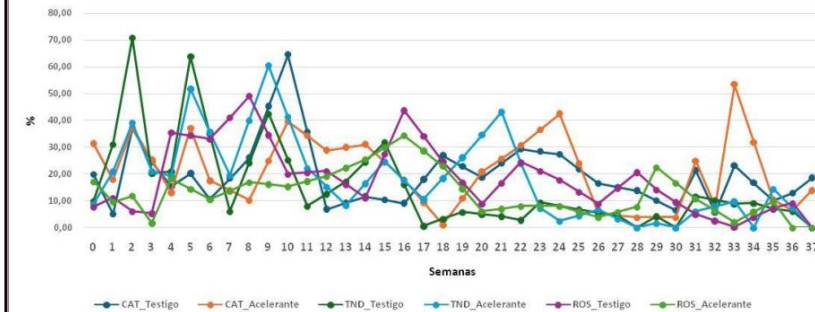
Dinámica Respiración Base húmeda. Compostaje de la pulpa de café
Estaciones Experimentales



Dinámica Respiración Base seca. Compostaje de la pulpa de café
Estaciones Experimentales



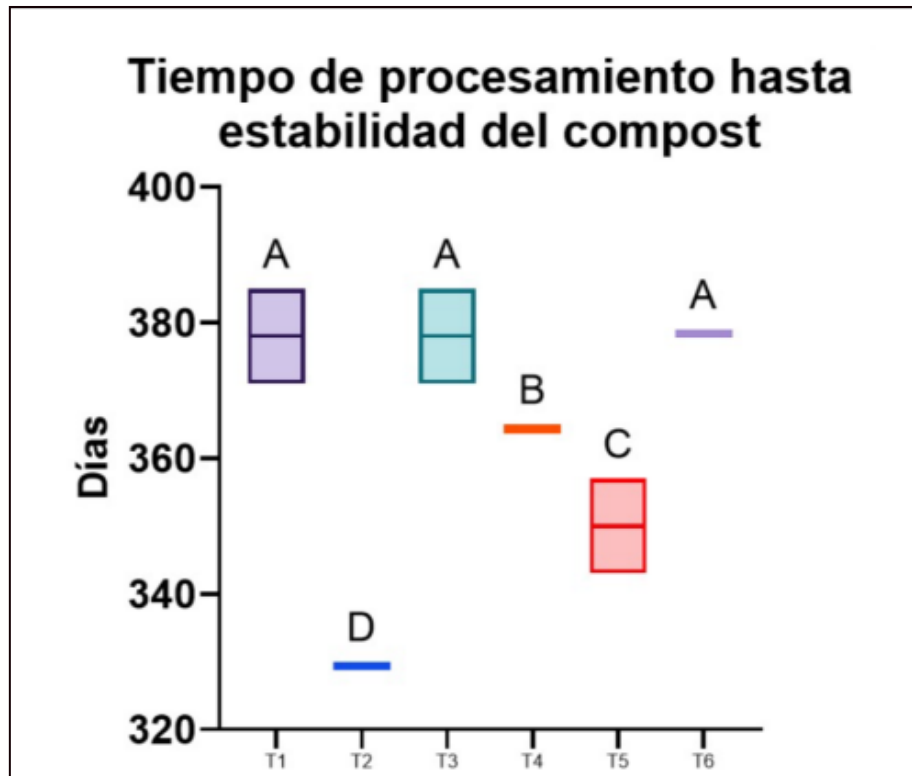
Dinámica Germinación. Compostaje de la pulpa de café
Estaciones Experimentales





Experimento POS106007

Tercera etapa. Resultados. Tiempos. Rendimientos



Tratamiento	Tiempo proceso (semanas)	Peso húmedo (kg)		Peso seco (kg)		Rendimientos (%)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Base húmeda	Base seca
Estación Experimental La Catalina							
Testigo	54	1000	130	232	43	13,00	18,53
Acelerante Comercial 7	47	1000	151	218	46	15,10	21,10
Estación Experimental La Trinidad							
Testigo	54	1000	104	166	35	10,40	21,08
Acelerante Comercial 7	52	1000	127	181	39	12,70	21,55
Estación Experimental El Rosario							
Testigo	50	1000	72	165	36	7,20	21,82
Acelerante Comercial 7	54	1000	90	192	40	9,00	20,83

La diferencia en tiempo y rendimientos en la Estación Experimental La Catalina entre el acelerante y el testigo fue del 14,89 y 13,87%, respectivamente.



Experimento POS106007

Tercera etapa. Resultados. Abono



Estación Experimental La Catalina			
Parámetro	Unidades	Valores Promedio 3 réplicas	
		Testigo	Acelerante
pH	Unidades	8,76	8,72
Tasa de Respiración	mg CO ₂ /kg bs-h	73,82	82,41
Índice de Germinación	%	78,80	89,44
Conductividad Eléctrica	mS/cm	2,40	2,08
Cenizas	% base seca	44,37	45,68
N	% base seca	3,93	3,87
C orgánico oxidable	% base seca	24,20	23,63
P	% base seca	0,48	0,52
K	% base seca	8,14	7,80
Ca	% base seca	1,60	1,69
Mg	% base seca	0,26	0,33
Fe	mg/kg	1.235,0	1.116,7
Mn	mg/kg	224,7	219,2
Zn	mg/kg	13,50	13,00
Cu	mg/kg	0,83	1,00
C/N	Adimensional	8,21	8,14
Tiempo proceso	días	378	329
Rendimiento (% bs)	% bs	18,53	21,10

¿En qué investigaciones actuales se apoya la solución?



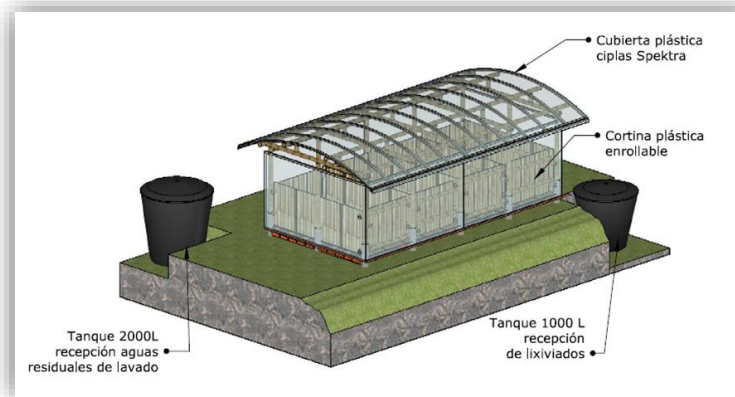
Experimento POS104012

“Manejo de aguas mieles, con recirculación completa mediante procesadores de pulpa tipo invernadero”

(Agosto 2023 – Spbre 2026)



Experimento POS104012



Objetivo

Generar la información necesaria para el óptimo dimensionamiento y operación de procesadores de pulpa en los cuales se mezcle la pulpa (sola o con material seco de las desyerbas) con aguas residuales del beneficio y se obtenga un abono orgánico estable y maduro sin la generación de vertimientos.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es el área de los procesadores de pulpa tipo invernadero con la cual se logra el manejo de las aguas mieles con cero descargas durante las etapas de almacenamiento y procesamiento de la pulpa?



Experimento POS104012



Tratamiento	Descripción
Testigo Absoluto	Pulpa de café en procesador convencional
Testigo Relativo	Pulpa de café en procesador tipo invernadero
Tratamiento 1	Pulpa de café + Mieles del Ecomill®. Relación 2 a 1 p/v
Tratamiento 2	Pulpa de café + 2 primeros enjuagues del lavado en tanque tina. Relación 1 a 1 p/v
Tratamiento 3	Pulpa de café + 4 enjuagues del lavado en tanque tina. Relación 0,5 a 1 p/v
Tratamiento 4	Pulpa de café + 10% de arvenses secas + 2 primeros enjuagues de lavado en tanque tina.
Tratamiento 5	Pulpa de café + 10% de arvenses + 4 enjuagues del lavado en tanque tina.
Tratamiento 6	Pulpa de café + 20% de arvenses secas + 2 primeros enjuagues del lavado en tanque tina.
Tratamiento 7	Pulpa de café + 20% de arvenses + 4 enjuagues del lavado en tanque tina.



Pulpa de café fresca



Material desyerba. Su composición fue principalmente de hierbas de la familia Poaceae.



Mieles Ecomill®



La unidad experimental estuvo constituida por un set de cuatro canastillas plásticas acopladas verticalmente conteniendo una altura máxima de 1 m de capa de pulpa (Área 0,24 m² y volumen interno de 47 L/canastilla).



Experimento POS104012

Materiales y Métodos



- Durante 10 días (de lunes a viernes) se adicionaron a cada canastilla 10 cm de sustrato (pulpa sola o mezclada con arvenses secas) y se regaron con aguas residuales.
- El lixiviado generado en la primera semana se recolectó y se adicionó el lunes siguiente a la pulpa contenida en las canastillas (Fase de almacenamiento).
- El manejo de los sustratos se realizó en un invernadero completamente forrado en material plástico.
- Una vez transcurridas las dos primeras semanas, se realizó el volteo de los sustratos correspondientes a los tratamientos y testigos, adicionando los lixiviados generados durante la segunda semana. Se continuó adicionando los lixiviados y realizando los volteos a la pulpa semanalmente hasta agotamiento y descomposición del material orgánico (Fase de procesamiento).



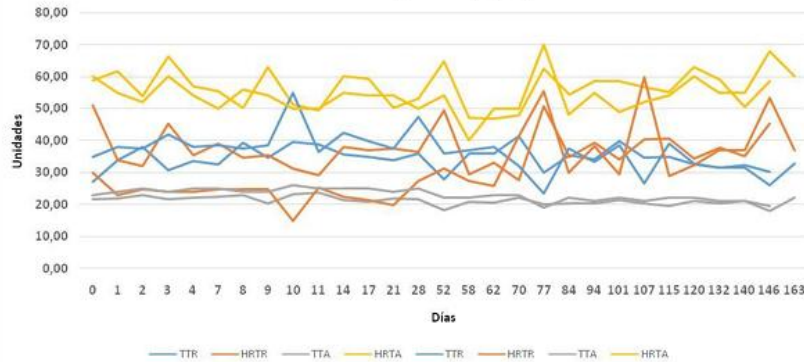


Experimento POS104012

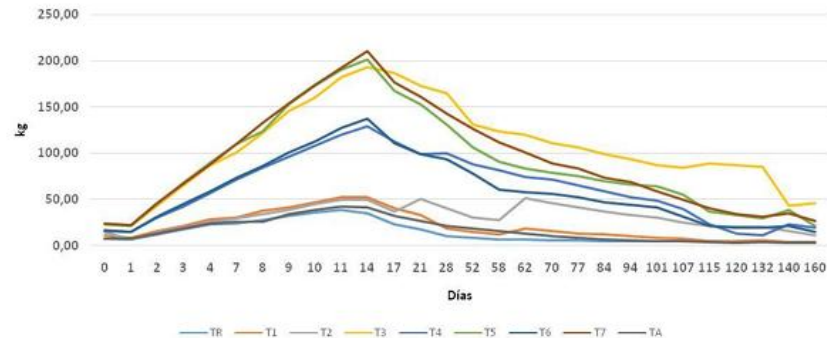
Resultados



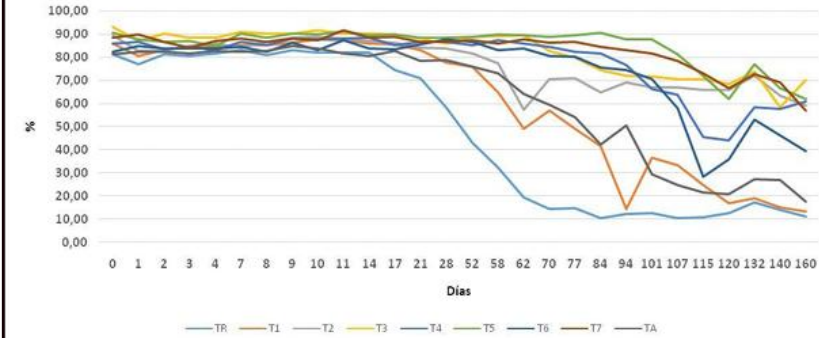
Dinámica de las variables ambientales
Promedio Réplicas 1, 2, 3, 4



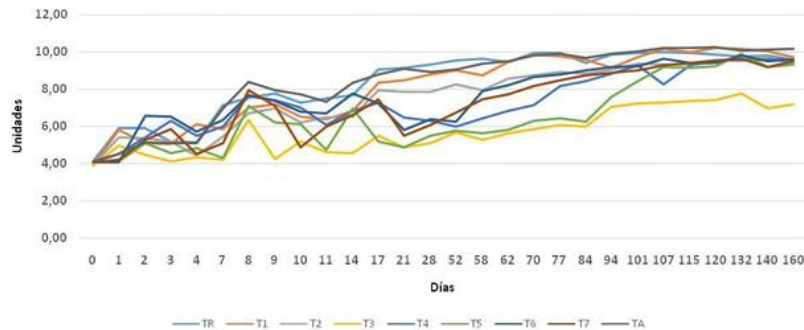
Dinámica de la variación del peso húmedo
Promedio Réplicas 1, 2, 3, 4



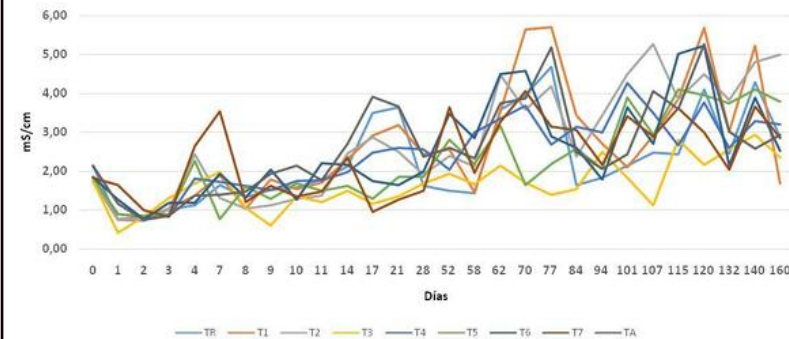
Dinámica de la variación de la humedad
Promedio Réplicas 1, 2, 3, 4



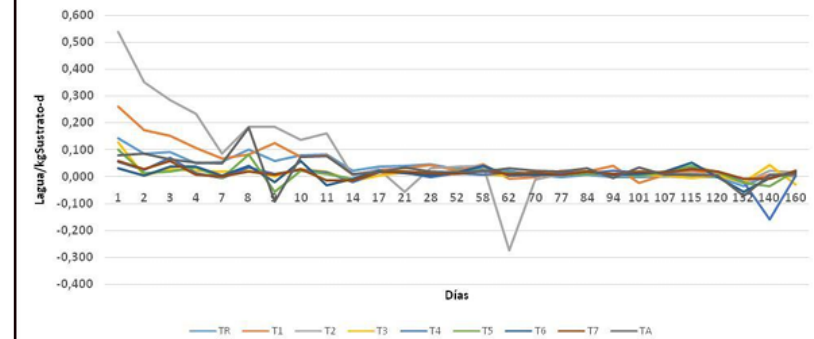
Dinámica de la variación del pH
Promedio Réplicas 1, 2, 3, 4



Dinámica de la variación de la Conductividad Eléctrica
Promedio Réplicas 1, 2, 3, 4



Dinámica de la variación de la pérdida de agua
Promedio Réplicas 1, 2, 3, 4



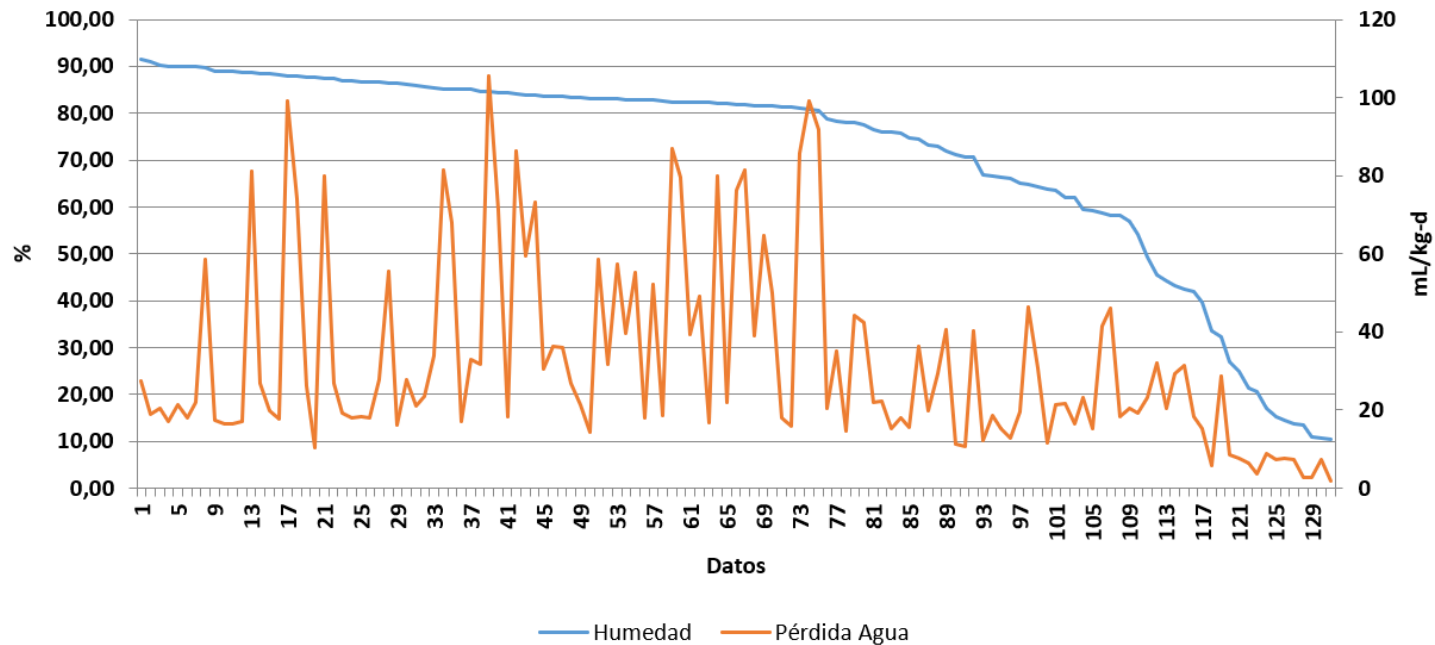


Experimento POS104012

Resultados



**Relación entre la Humedad del sustrato y la pérdida de agua
Consolidado tratamientos**



Las mayores tasas promedio de evaporación, en 5 meses de proceso, fueron de 35 mL/kgS-d (17,0 L/m²-d).

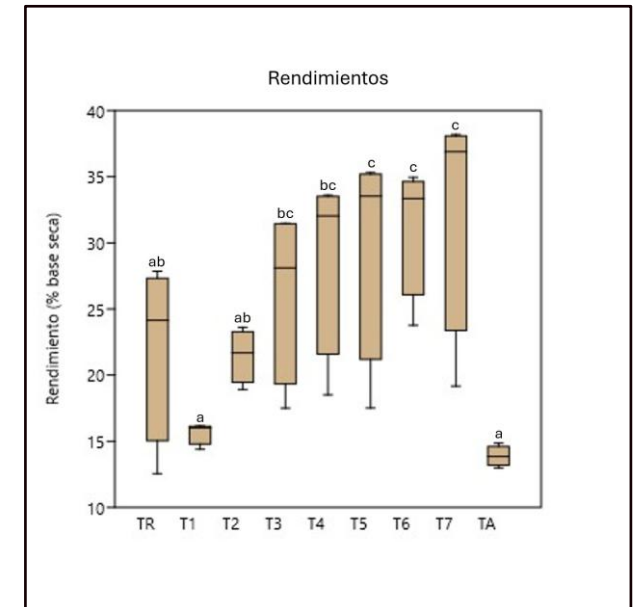
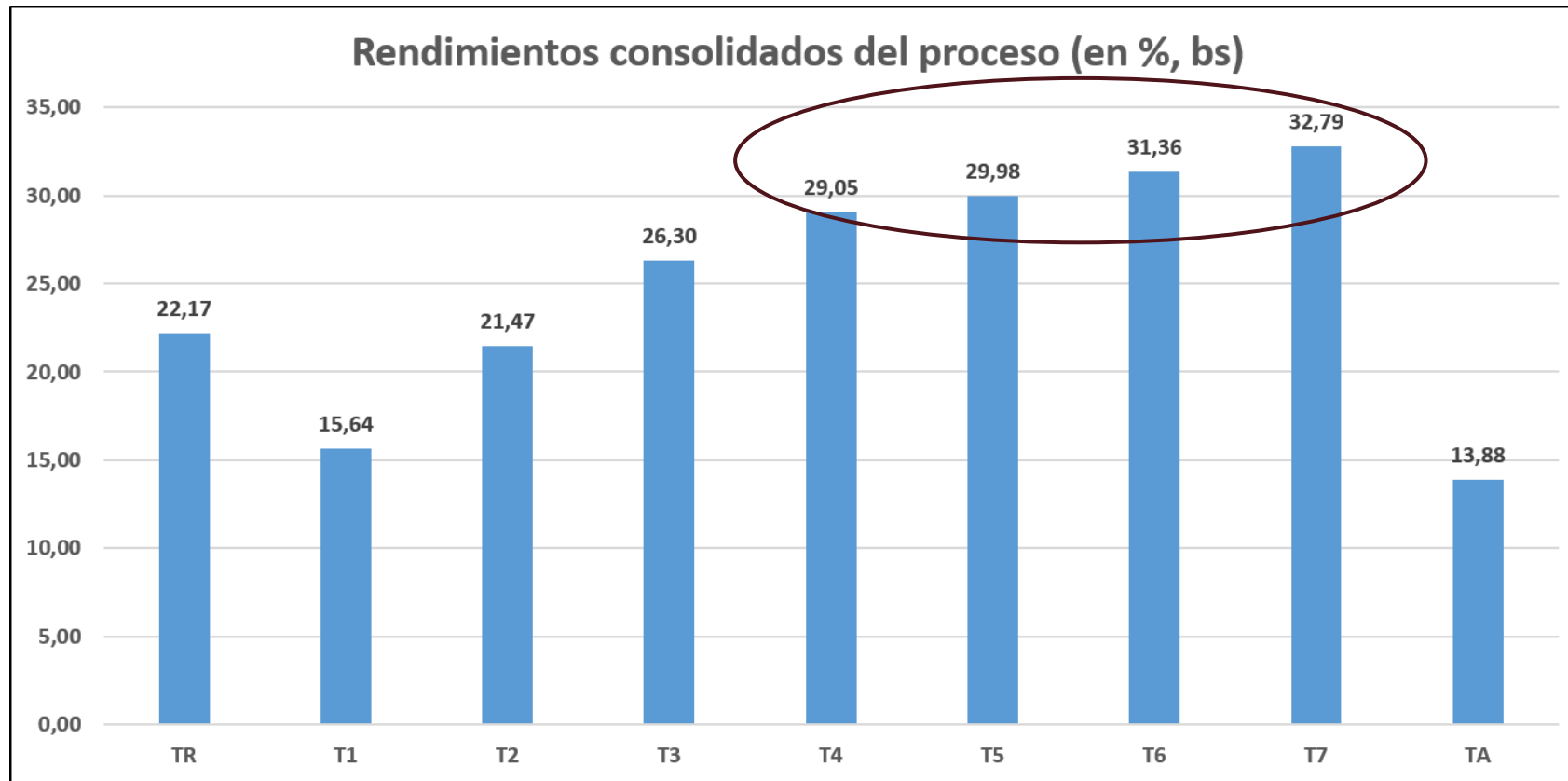
76 mL/kgS-d en la etapa de almacenamiento (2 semanas) y 19 mL/kg S-d (4,5 meses).

Rango de humedad en el sustrato entre 80 y 85% permite una tasa de evaporación de 51 mL/kgS-d (24,8 L/m²-d) vs 23,6 L/m²-d en los FV



Experimento POS104012

Resultados



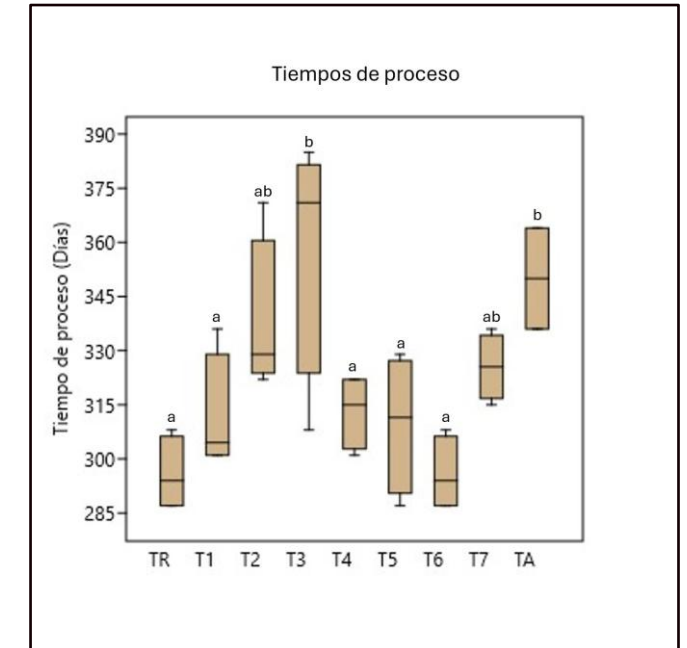
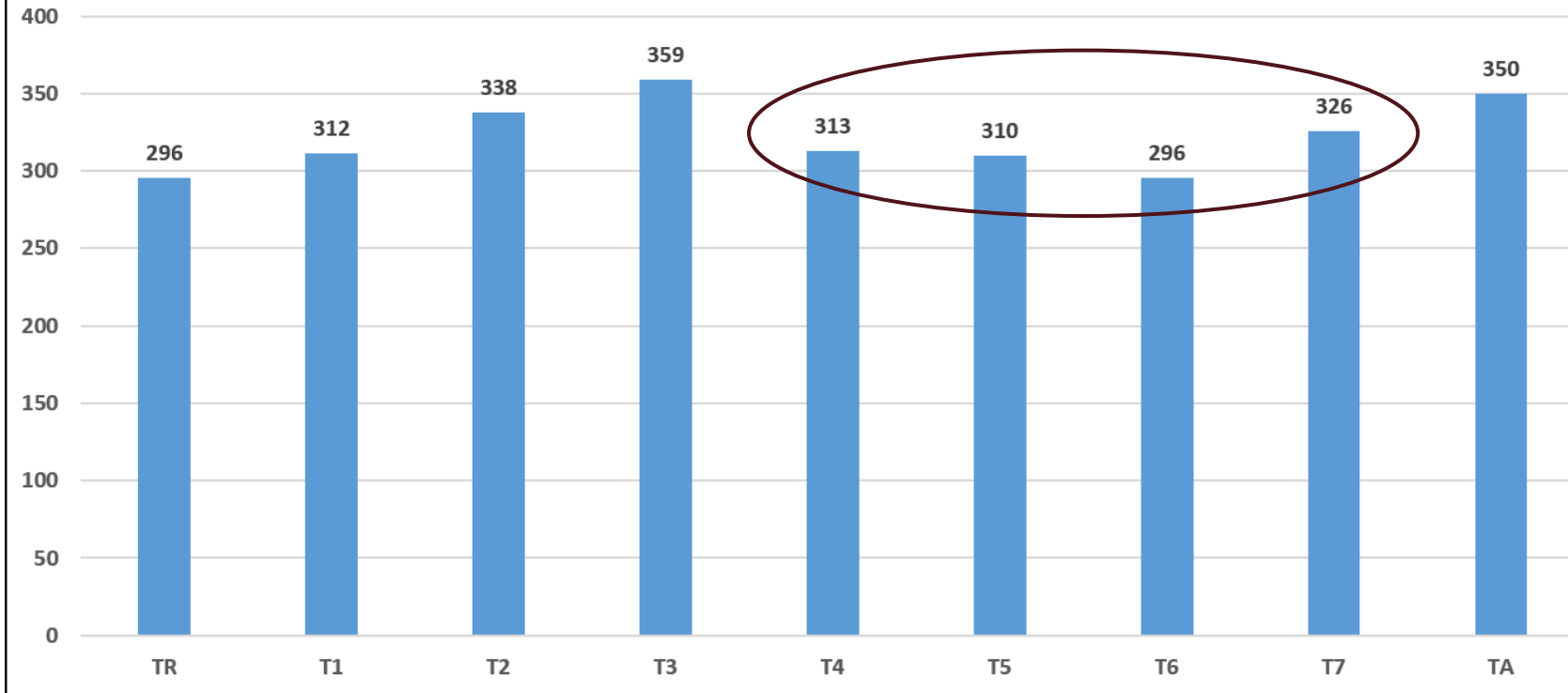


Experimento POS104012

Resultados



Tiempo consolidado del proceso (en días)





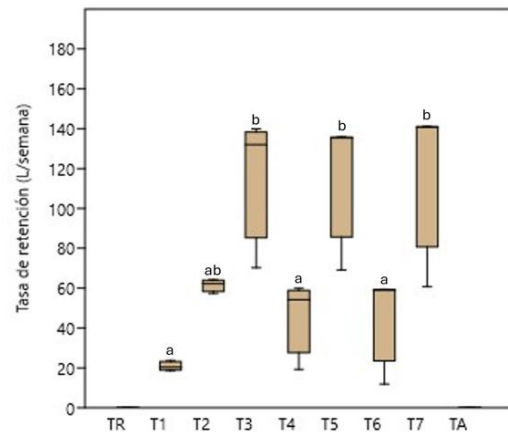
Experimento POS104012

Resultados



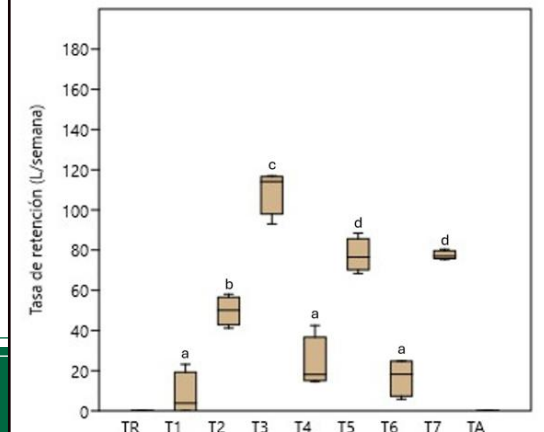
Retención de agua. Promedio Réplicas 1, 2, 3, 4.				
Tratamiento	Volumen de agua aplicado (L)	Peso inicial (kg)	Retención de agua (L)	Retención (L/kg sustrato)
TR	0,00	7,50	3,08	0,41
T1	3,75	11,25	3,08	0,00
T2	7,50	15,00	3,08	0,00
T3	15,00	22,50	3,08	0,00
T4	7,50	15,75	7,16	0,65
T5	15,00	23,25	7,16	0,00
T6	7,50	16,50	11,24	0,78
T7	15,00	24,00	11,24	0,00
TA	0,00	7,50	3,08	0,00
Incremento en la retención de agua por adición del 10% de material seco				59,57%
Incremento en la retención de agua por adición del 20% de material seco				90,60%

Tasa de retención en etapa de almacenamiento



Considerando que no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las retenciones alcanzadas con los tratamientos con 10 y 20% de inclusión de material de desyerba, tanto en relaciones pulpa-aguas mieles de 1:1 y 1:2, en las etapas de almacenamiento y procesamiento, por disponibilidad como por eficiencia en el manejo de la biomasa residual, **se recomienda la adición de material seco de desyerba en proporciones del 10% respecto a la pulpa fresca** para favorecer el manejo con cero descargas de las aguas residuales del beneficio del café.

Tasa de retención en etapa de procesamiento





Experimento POS104012

Resultados



Parámetro	Unidad de Medida	Tratamientos								
		TR	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	TA
pH	Unidades	8,67	8,80	8,78	8,76	8,81	8,58	8,51	8,49	8,66
Respiración	mgCO ₂ /kgbs-h	78,97	84,69	76,06	85,30	77,52	76,39	73,70	77,90	68,46
Germinación	%	86,60	83,33	87,75	89,89	83,83	86,34	87,38	85,44	81,95
CE	mS/cm	1,65	1,85	1,92	1,11	1,50	1,71	1,51	1,88	1,54
Cenizas	%, bs	48,62	46,11	39,70	46,51	48,41	42,28	46,85	42,28	45,89
N	%, bs	4,08	4,11	4,07	3,72	3,40	3,62	3,36	3,61	3,92
COox	%, bs	22,35	23,44	26,23	23,27	22,44	25,11	23,12	25,11	23,54
P	%, bs	0,35	0,42	0,40	0,36	0,41	0,43	0,40	0,40	0,33
K	%, bs	5,72	6,22	6,35	5,32	5,36	4,60	4,65	4,91	5,90
Ca	%, bs	0,85	0,89	1,01	0,90	1,05	1,00	0,95	0,91	0,71
Mg	%, bs	0,20	0,25	0,29	0,29	0,37	0,36	0,37	0,32	0,20
Fe	mg/kg, bs	530,28	1042,70	521,40	1187,30	1543,20	2261,93	2131,15	1425,18	2669,98
Mn	mg/kg, bs	108,88	124,78	117,08	167,93	206,85	234,40	265,78	224,23	128,20
Zn	mg/kg, bs	10,35	16,15	14,60	25,38	35,10	42,30	45,75	32,05	20,63
Cu	mg/kg, bs	2,18	2,35	1,73	13,38	18,00	19,35	19,10	18,23	10,40
C/N	Adimensional	7,30	7,60	8,59	8,34	8,80	9,25	9,17	9,27	8,01
Tiempo	d	296	312	338	359	313	310	296	326	350
Rendimiento	%, bs	22,17	15,64	21,47	26,30	29,05	29,98	31,36	32,79	13,88

El tratamiento T5 que involucra la mezcla de la pulpa de café con aguas mieles en proporción 1:2 y adición de material seco de desyerbas en proporción al 10% p/p respecto a la pulpa se destaca como el recomendado dado que permite alcanzar altos rendimientos del proceso de compostaje (cerca al 30%), permite manejar, sin descargas, un volumen alto de aguas residuales (relación pulpa-aguas residuales de 1:2) y tiempos de proceso cercanos a los 10 meses.



Experimento POS104012

Nuevos acelerantes



Tiempos de descomposición (días)			
Muestra	Sin invernadero	En Invernadero	% de disminución
Testigo	252	154	38,89
AC8	224	113	49,55



Mesófilos.....	3,4*10 ⁵ UFC/g
Termófilos.....	1,0*10 ¹ UFC/g
Mohos.....	0,0 UFC/g
Levaduras.....	0,0 UFC/g
Enterobacterias.....	2,1*10 ¹ UFC/g
Celulolíticos.....	0,0 UFC/g
Proteolíticos.....	1,2*10 ² UFC/g
Fijadores de nitrógeno.....	9,7*10 ⁴ UFC/g
Solubilizadores de fósforo.....	7,8*10 ³ UFC/g
Salmonella/25g.....	Negativo

Parámetro	Unidad medida	Testigo	Acelerante 1 Sistemas sépticos	Acelerante 2 Sistemas sépticos
Precio	\$ COP/L	N/A	80.000	113.000
Dosis	mL/kg pulpa	N/A	1,0	1,0
Peso Inicial	kg	200,00	200,00	200,00
Peso Final	kg	18,50	33,20	33,60
Humedad Inicial	%	79,80	77,20	76,80
Humedad Final	%	54,30	69,00	70,40
pH inicial	Unidades	4,81	3,72	3,60
pH final	Unidades	9,16	8,98	8,52
Respirometría Inicial	mg CO ₂ /kg bs-h	410,91	358,16	352,39
Respirometría Final	mg CO ₂ /kg bs-h	58,32	122,50	115,26
Índice Germinación inicial	%	9,70	9,80	8,02
Índice Germinación Final	%	36,80	66,48	50,60
Rendimientos Base húmeda	%	9,25	16,60	16,80
Rendimientos Base seca	%	20,93	22,57	21,43
Tiempo de proceso	Días	154	105	105
Tiempo de reducción	%	-	31,82	31,82

¿En qué investigaciones actuales se apoya la solución?



Experimento POS104014

“Desarrollo de estrategias para cosecha, tratamiento y uso del agua de lluvia en fincas cafeteras como medida de adaptación a la variabilidad climática”

(Enero a diciembre del 2025)



Experimento POS104014

Objetivo

Diseñar sistemas para la cosecha, tratamiento y almacenamiento del agua de lluvia para su uso en consumo humano, beneficio de café y riego de cafetales en etapa de levante.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es el área de captación y tipo de tratamiento del agua de lluvia, para satisfacer las necesidades hídricas de una finca promedio cafetera, durante al menos un período de tiempo de 90 días (50 m³)?

5 personas, 40 L/p, BE < 10 L/kg cps, 20,5 sacos/ha, 1,3 ha (162 @ cps)

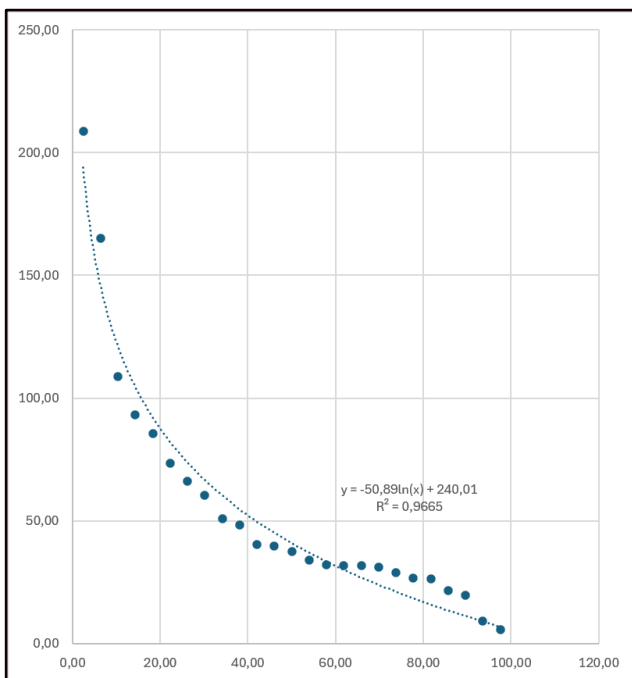




Experimento POS104014

Área de captación

Se analizó una serie mensual histórica de lluvia de 25 años (2000 al 2024) para las Estaciones Experimentales Pueblo Bello (Zona Norte), Naranjal (Zona Centro) y El Tambo (Zona Sur), con un valor de excedencia del 75% (P75) lo que significa un 75% de probabilidad que el valor mensual de la lluvia sea igual o superior al valor estimado para ese mes.



Pluviosidad esperada (P75) en mm			
Mes	Pueblo Bello	Naranjal	El Tambo
Enero	0,00	102,46	136,04
Febrero	0,00	120,88	121,51
Marzo	42,02	210,81	141,78
Abril	121,06	249,79	139,19
Mayo	231,72	266,15	107,66
Junio	122,31	179,41	44,20
Julio	93,59	151,17	20,29
Agosto	168,98	135,50	11,31
Septiembre	209,35	151,04	49,73
Octubre	247,92	269,05	191,33
Noviembre	150,75	260,51	271,98
Diciembre	16,43	163,04	207,87
Total	1.404,13	2.259,81	1.442,89

Promedio 1.700 L/m² - año (30 m² de área de captación)



Experimento POS104014

Caracterización. Agua de lluvia

Las aguas de lluvia **no cumplen** con los valores límite admisibles, en los parámetros microbiológicos evaluados, ni en el pH, para su destinación para consumo humano (Resolución 2115 del 2007).



Las aguas de lluvia **cumplen** con los valores límite admisibles, en los parámetros químicos evaluados, para su destinación para consumo humano (Resolución 2115 del 2007).

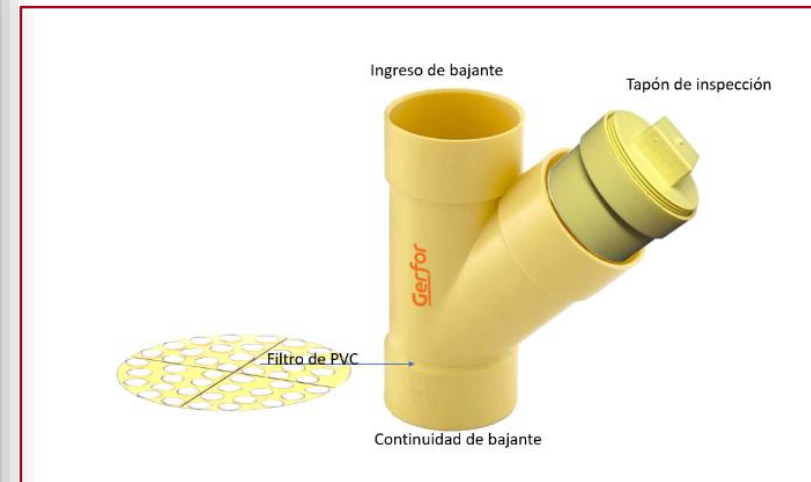
Muestra Agua de lluvia proveniente de:	Coliformes Totales (UFC/100mL)	Escherichia coli (UFC/100 mL)
1. Techo Galvanizado	289	0
2. Tanque primeras lluvias. Uso Doméstico (1 m ³)	87	1
3. Primer Tanque de Sedimentación. Uso Doméstico (2 m ³)	69	6
4. Segundo Tanque de Sedimentación. Uso Doméstico (2m ³)	124	13
5. Tanque primeras Lluvias. Uso Agrícola (1 m ³)	88	0
6. Primer Tanque de Sedimentación. Uso Agrícola (2 m ³)	180	2
7. Segundo Tanque de Sedimentación. Uso Agrícola (2 m ³)	137	3
8. Cosecha directa, sin contacto con superficies_1	80	2
9. Cosecha directa, sin contacto con superficies_2	60	0

Parámetro (mg/L)	Muestra				
	1	2	3	4	5
Calcio Total	1,22	1,48	5,62	5,33	5,47
Zn	2,04	2,63	0,142	0,144	0,156
Al	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,124	< 0,10
Fluoruros	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Mg	< 0,10	< 0,10	0,351	0,160	0,163
Mn	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Cu	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Dureza cálcica	5,25	5,66	11,10	13,00	14,80
Cd	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
As	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Dureza total	14,30	9,80	12,00	14,30	16,80
Cloruros	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Sulfatos	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00
Hierro Total	< 0,090	< 0,090	0,101	< 0,090	< 0,090
Nitritos	< 0,004	< 0,004	< 0,004	0,011	< 0,004
Nitratos	< 1,40	< 1,40	< 1,40	< 1,40	< 1,40



Experimento POS104014

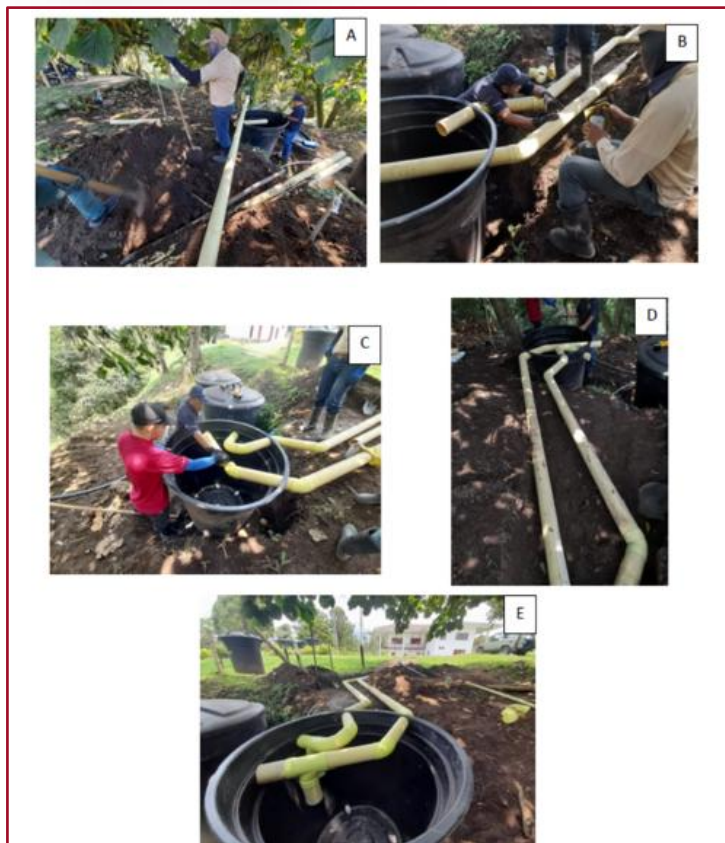
Pretratamiento





Experimento POS104014

Tratamiento



Instalación de la unidad de
tratamiento primario



Instalación del sistema de almacenamiento,
bombeo y distribución



¿Cómo se calcula el área de la solución?

$$A_T = 0,197 * P * C_{dp} * \% \text{ de la Cosecha principal} * \# \text{ volteos}$$

A_T = Área total del procesador de pulpa en m²

0,197 = Constante en m²/@ cps

P = Producción promedio anual, en @ cps.

C_{dp} = %, en fracción, café procesado en el día pico.

%, en fracción, producción en la cosecha principal.

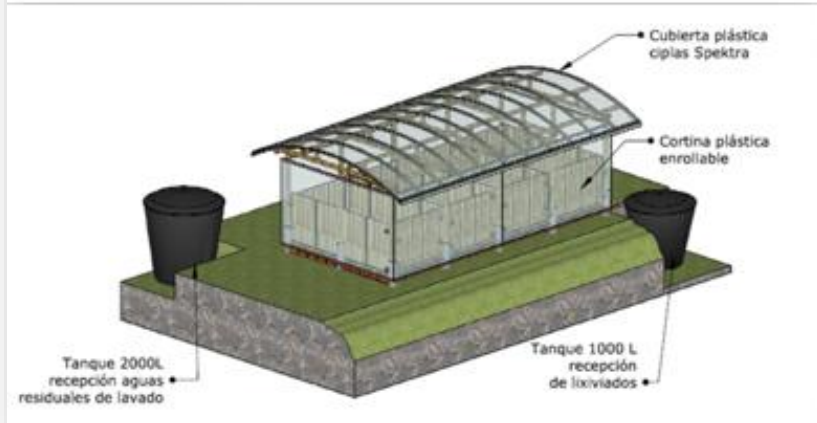
volteos (adimensional).

Se sugieren, de acuerdo con los resultados obtenidos en las investigaciones para obtener un abono orgánico estable y maduro, realizar en promedio 20 volteos con periodicidad entre semanal a quincenal.



¿Como se compara con otras soluciones?

Procesador de pulpa con cero descargas



Filtros verdes con cero descargas



Consideraciones: Dia pico 2,5%, Cosecha principal 70%, 20 volteos

Producción @/cps	Área Procesador (pulpa + mieles) m ²	Área Filtros verdes (mieles) m ²	Incremento Área Procesador respecto al FV (%)	Cosecha agua m ³ /año
150	10	10	5,91	18
162	11	11	5,91	19
250	17	16	5,91	29
450	31	29	5,91	53
500	34	33	5,91	59
750	52	49	5,91	88
1.000	69	65	5,91	117
2.000	138	130	5,91	234
3.000	207	195	5,91	352
5.000	345	326	5,91	586

El procesador de pulpa sólo requiere dos tanque (uno de aplicación y otro de drenados). El Filtro verde requiere un tanque adicional (tratamiento primario).

El procesador de pulpa no tiene limitaciones respecto a la carga orgánica aplicada (mieles Ecomill®, Becolsub, Tanque tina), el filtro verde requiere aplicaciones de carga orgánica < 1,2 kg DQO/m²-d (siendo necesario el tratamiento primario de las aguas mieles).



¿Cómo se construye la solución?



Manejo de la pulpa en compartimentos



Manejo de la pulpa en pila

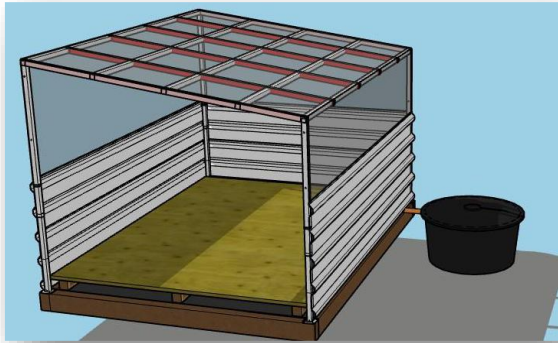




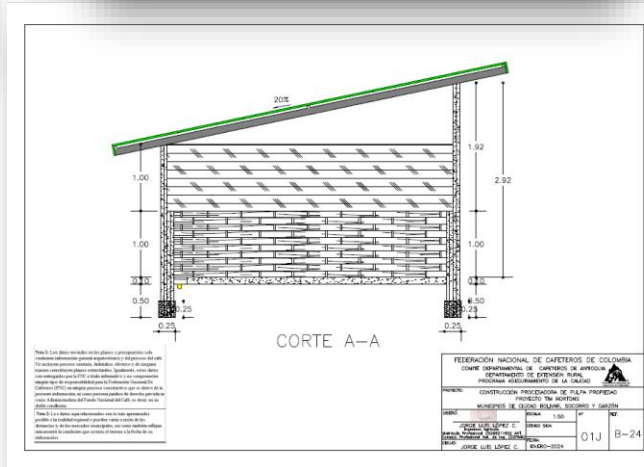
¿Cuál es el costo estimado de la solución?



Dependiendo del diseño y materiales oscila entre \$ 250,000 y \$ 370,000/m²
(similar a los costos de los filtros verdes)



Procesador 36 m² (Servicios Polca SAS). \$ 250.000/m²



Procesador 33 m² (450@ cps/año)(Comité Antioquia)
\$370.000/m²



Procesador 123 m² (2.000@ cps/año)(Cenicafé)
\$330.000/m²

Costo de producir 1 kg de abono = \$ 500 COP



¿Cuál será el impacto en la caficultura al solucionar el problema?



- Eliminación de costos legales ambientales asociados al permiso de vertimientos, eliminación de plantas de tratamiento, lo que representa un ahorro anual mayor a \$ 3 millones COP para los productores. **Impacto económico.**
- La disponibilidad de un material orgánico estable y maduro para el aprovechamiento en la finca como abono orgánico sin que genere problemas de fitotoxicidad y en el cual se incorpora tanto los nutrientes de la pulpa como el de las aguas residuales . **Impacto económico.**
- Se evita la contaminación ambiental en el ecosistema cafetero por el buen manejo de la pulpa y de las aguas residuales del café. **Impacto ambiental.**
- Se contribuye a la disponibilidad de agua en la finca para diferentes usos. **Impacto social.**



¿Qué pasos adicionales se requieren para entregar una solución al caficultor?

FEDERACIÓN NACIONAL
DE
CAFETEROS DE COLOMBIA
GERENCIA TÉCNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN
CHINCHINÁ - CALDAS

AVANCES TÉCNICOS
Cenicafé
ISSN 0180-0278

Procesadores de pulpa con cero descargas

LA PULPA DEL CAFÉ

La pulpa del café está constituida por el epicarpio y mesocarpio del fruto del café y representa el 40% de su peso total (figura 1). La pulpa fresca contiene 84% de agua, 0.31% de nitrógeno total, 0.002% de fósforo total, y 0.62% de potasio. Además de estos elementos la pulpa contiene algo de calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso y zinc. En Colombia se producen anualmente de 1'080.000 toneladas de pulpa fresca. Este material cuando se considera como un desperdicio o desecho, es sumamente valioso como abono, especialmente para almácigos y plantaciones de café. Muchas experiencias se tienen en Colombia y en otros países cafeteros sobre el valor de la pulpa como abono. En CENICAFÉ, últimamente se han adelantado investigaciones de campo que indican que las aplicaciones de pulpa a los árboles de café en producción, reemplazan ampliamente la fertilización química. Según estos datos con aplicaciones de 600 gramos de fertilizante por año y por planta se produce un promedio anual de 599 árboles de café pergamino seco por hectárea, y con 8 kilos de pulpa seca por planta anualmente, se obtiene un promedio de 662 árboles en suelos de la unidad Chinchiná. A nivel de almácigo también se consiguieron en Cenicafé resultados ampliamente favorables a los abonamientos con pulpa, evaluados por un mayor y vigoroso desarrollo de las plántulas de café (figura 2).

La pulpa del café es una gran fuente de materia orgánica, que por fermentación en condiciones apropiadas de humedad, temperatura y aire, se convierte en humus, convirtiéndose así todas las condiciones físicas, químicas y

bioquímicas que este elemento proporciona al suelo. Sin duda alguna en esto estriba fundamentalmente su valor como fertilizante.

Desde hace más de 46 años la Federación de Cafeteros viene recomendando el uso de la pulpa del café como abono y la manera de almacenarla en construcciones especiales para su correcta descomposición y posterior utilización. Sobre este particular se encuentra un corto artículo en la Revista Cafetera de Colombia de 1931 en donde aparece un interesante dibujo sobre un "chiquero" de gradua para recibir la pulpa del café según recomendaciones del Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros de Caldas. A pesar de esto, solamente un mínimo de cafeteros tienen estos dispositivos para almacenar y descomponer la pulpa y unos pocos la utilizan como abono para sus cafetales.

* Secc. del Departamento de Agronomía y Tecnología del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

BIOECONOMIA CIRCULAR

Producción de abono orgánico con cero descargas a partir de los subproductos del beneficio ecológico del café

Imagen creada por inteligencia artificial con fines de ambientación. Cambiará durante el proceso editorial

Rodríguez-Valencia, N. & Arboleda-Ospina C. C. (Eds.). (2026).



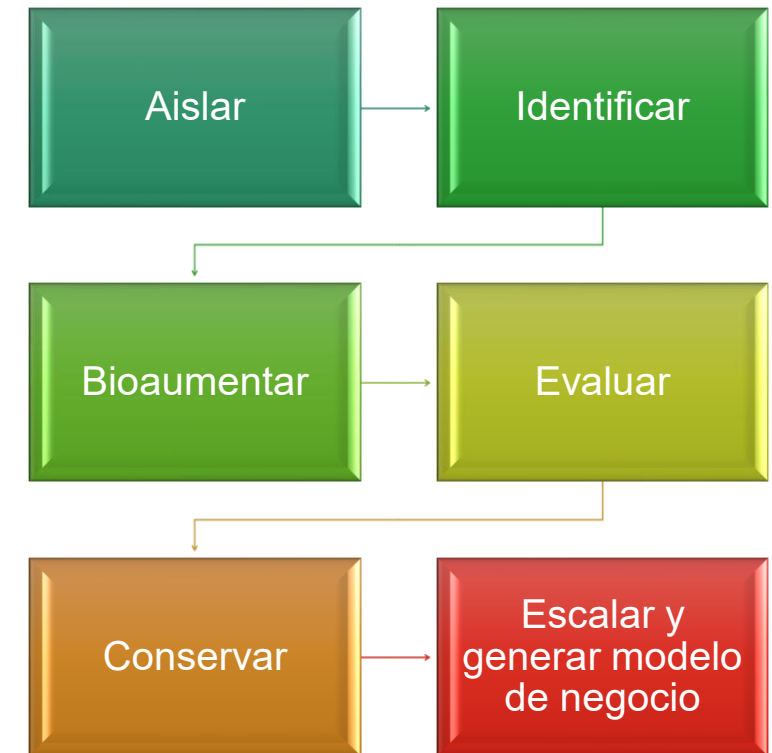
¿Podemos obtener acelerantes propios?

La pulpa de café, las aguas mieles y el compost tienen microorganismos nativos que participan en la biotransformación de la materia orgánica.

- Bacterias, mohos y levaduras termorresistentes.
- Especies de *Trichoderma*
- Especies de levaduras como *Torulopsis*
- Especies de bacterias de géneros *Bacillus*, *Actinomyces*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Citrobacter*, o *Azotobacter*.

Potenciales
microorganismos
acelerantes de
descomposición

Especies usadas
en acelerantes de
descomposición
comerciales



Arboleda, 2026



Cenicafé®
Centro Nacional de Investigaciones de Café



cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC



@cenicafefnc