



**COLEGIO DE
POSTGRADUADOS**



CONAHCYT

CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Estrategias de manejo de la pulpa de café para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero

PROYECTO No. 319069

“Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafeticultura
mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas”

Texcoco, Estado de México, agosto de 2024

Autores:

DR. ADÁN VILLA HERRERA

DR. MARTÍN A. BOLAÑOS GONZÁLEZ

M. C. JOSÉ MANUEL SALVADOR CASTILLO

M. C. LUZ MARÍA RAMÍREZ ARMAS



PM 

Programa Mexicano del Carbono

RED TEMÁTICA DEL CONAHCYT



Estrategias de manejo de la
pulpa de café para mitigar
las emisiones de gases de
efecto invernadero



Autores:

Dr. Adán Villa Herrera
Dr. Martín A. Bolaños González
M. C. José Manuel Salvador Castillo
M. C. Luz María Ramírez Armas

ISBN: 978-607-99797-7-5



Se prohíbe la reproducción parcial o total de esta obra, por cualquier medio.

Diseño Gráfico: Oscar J. Velázquez R.

Contenido

1	Introducción	1
2	Procesos y Actividades Clave de la Huella de Carbono en la Cadena Productiva del Café	2
3	Beneficio Húmedo del Café: Procedimientos y Consideraciones	5
4.	Beneficios Potenciales del Aprovechamiento de la Pulpa	8
5	Alternativas para Aprovechar la Pulpa del Café	12
6	Beneficios del uso de Abonos Derivados de Pulpa Café	15
	Consideraciones Sobre el Uso de Abonos Orgánicos	18
	Agradecimientos	18
	Literatura Citada	19



1. Introducción

Chiapas, reconocido como el principal estado productor de café en México, cuenta con una superficie sembrada de 243,954.77 ha al inicio del ciclo 2024 (SIACON-SAGARPA, 2024). Este cultivo no solo es fundamental para la economía regional, sino que también desempeña un papel crucial en los aspectos socioculturales, ecológicos y ambientales (Aguilar, 2012).

En la región de la Frailesca, de la Sierra Madre de Chiapas, las condiciones agroclimáticas favorecen el cultivo del café, que prospera en sistemas agroforestales. Estos sistemas, además de producir café, promueven la captura de dióxido de carbono (CO₂), convirtiéndose en sumideros netos de gases de efecto invernadero (GEI) (Soto *et al.*, 2010; van Rikxoort *et al.*, 2014; Soto y Aguirre, 2015). Además, los sistemas agroforestales son hábitats importantes para una diversidad de flora y fauna silvestre (Cerdeña *et al.*, 2020; Lamichhane, 2020). La integración de cultivos de café con árboles nativos no solo conserva la biodiversidad, sino que también apoya la diversificación productiva. Esta diversificación proporciona beneficios económicos adicionales a los productores de café e impulsa la generación de empleo en las comunidades.

La producción de café implica una serie de actividades distribuidas en diferentes fases, con el objetivo de obtener el producto final para su comercialización. El proceso comienza con la fase de producción en campo, donde se establecen viveros para renovación y repoblación de cafetales. En esta etapa se lleva a cabo el manejo de los cultivos, que incluye podas, chapeos, fertilización, entre otras prácticas, culminando con la cosecha de café cereza o uva.

Posteriormente, el proceso avanza a la fase de beneficio húmedo, que comprende actividades como el despulpado, el lavado y el secado del grano. Estos procesos transforman el café cereza en café pergamino, el cual después del trillado se convierte en café verde, también conocido en algunos lugares como café oro.

La fase de comercialización del café puede realizarse de diferentes maneras. Los productores tienen la opción de vender su producto a cooperativas de la región, intermediarios, distribuidores en ciudades cercanas o incluso exportarlo al extranjero. Los productores pueden comercializar su café en diferentes presentaciones y niveles de procesamiento, adaptándose a las demandas del mercado. Estas presentaciones incluyen café cereza, café lavado (sin mucílago), café pergamino (con 12 % de humedad), café verde, y café tostado y molido.

Los productores que son socios de la Finca Triunfo Verde S.C. y Comon Yaj Noptic SPR de RL tienen el compromiso de entregar el café pergamino a sus respectivas cooperativas. En las instalaciones de dichas cooperativas se realiza la fase de trillado, durante la cual se procesa el café pergamino para convertirlo en café verde. También se encargan de almacenar el café pergamino, esperando su venta en el extranjero o continuar con el proceso de tostado, molido y envasado, para su venta principalmente en mercados nacionales.

2. Procesos y Actividades Clave de la Huella de Carbono en la Cadena Productiva del Café

La producción de café, en sus diferentes fases, está asociada con la emisión de GEI a la atmósfera (Figura 1). Estas emisiones pueden originarse tanto por acciones directas como indirectas. La magnitud de éstas

depende de varios factores, incluyendo la fuente de energía utilizada en cada actividad del proceso, los tipos de insumos empleados para la fertilización, las labores culturales y el manejo del cultivo, el uso de plásticos

y otros materiales, así como el método de procesamiento postcosecha y el destino y/o uso de los residuos, fundamentalmente de la pulpa y las aguas mieles.

Fase Parcela

CO₂



Vivero

CO₂ y N₂O



Insumos varios (PSD)

Fase Beneficio Húmedo

CH₄ y N₂O



CH₄ y N₂O



Pulpa y aguas residuales

Transporte, Acopio y Torrefacción

CO₂ (electricidad)



Centro de acopio

Transporte y Trillado de Café

CO₂ (combustible fósil)



Transporte a Puerto de Veracruz

Figura 1. Fuentes de emisiones de GEI en el sistema de producción de café (letras en color rojo indican emisiones de GEI). Fuente: elaboración propia.



CO₂ y N₂O



Cosecha



CO₂ y N₂O



Despulpado, lavado y secado de café



CO₂ (combustible fósil)



Transporte de café (comunidad - centro de acopio)



CO₂ (electricidad)



Trillado de café

CO₂ (combustible fósil)



Transporte (centro de acopio - trillado)

De acuerdo con los resultados obtenidos en el cálculo de emisiones de GEI a lo largo de las diferentes fases de la cadena productiva de café orgánico bajo sombra, realizado en las cooperativas Comon Yaj Noptic SPR de RL y Finca Triunfo Verde S.C., se determinó que las mayores emisiones de GEI provienen de la descomposición de la materia orgánica en las aguas residuales y la pulpa, ambos subproductos del beneficio húmedo de

café. Las aguas residuales, que contienen materia orgánica, liberan principalmente metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) durante la descomposición de la materia orgánica que contienen. Por otro lado, la pulpa de café, también derivada del proceso de beneficio húmedo, emite dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), a medida que se descompone (Balma, 2018). Estos resultados enfatizan la importancia de

implementar estrategias de manejo para reducir las emisiones de GEI provenientes de estos subproductos y mejorar la sostenibilidad del sistema de producción de café.

Los resultados de emisiones de GEI en el proceso de producción de café orgánico bajo sombra para la cooperativa Comon Yaj Noptic SPR de RL se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Emisiones de GEI en la producción de café de la cooperativa Comon Yaj Noptic SPR de RL.

FUENTE	Kg de CO ₂ e emitidos por kg café verde
Aplicación de PSD (fertilizante orgánico)	0.027
Transporte de insumos	0.013
Gasolina y electricidad usada durante el despulpado	0.002
Aguas residuales metano (CH ₄)	0.078
Aguas residuales óxido nitroso (N ₂ O)	0.417
Descomposición de la pulpa	0.262
Retrillado	0.013
Tostado (motor + gas lp)	0.304
Molido	0.009
Empacado (bolsa + pesado + sellado)	0.089

Fuente: elaboración propia

Por su parte, los resultados de las emisiones de GEI por fases de producción

y durante el beneficio húmedo en el proceso de producción de café para la

Finca Triunfo Verde S.C. se detallan en las Figuras 2 y 3.

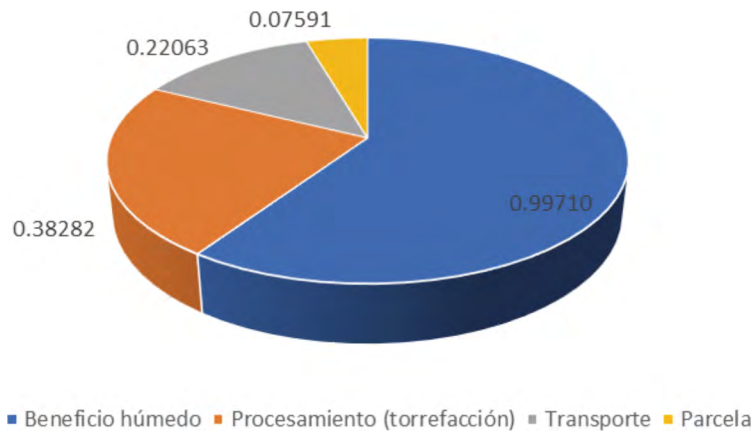


Figura 2. Huella de carbono por fases en la cadena productiva de café en la cooperativa Finca Triunfo Verde S.C. Fuente: elaboración propia.

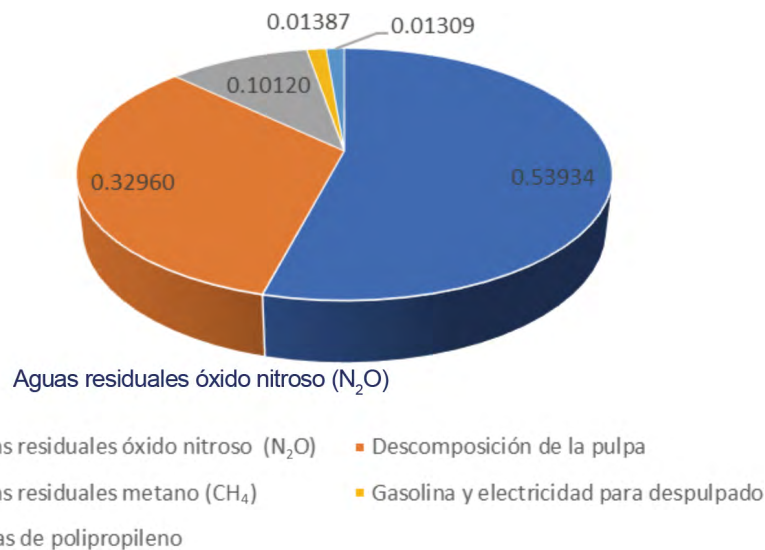


Figura 3. GEI emitidos en el beneficio húmedo de café en la cooperativa Finca Triunfo Verde S. C. Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los productores que integran las cooperativas Finca Triunfo Verde y Comon Yaj Noptic, no realizan un tratamiento adecuado de la pulpa. Por ello, en este documento se proponen

alternativas para su manejo, las cuales contribuirán a disminuir la huella de carbono en sus cadenas productivas. Estas alternativas no solo contribuirán a reducir el impacto ambiental, sino que

también permitirán un uso más eficiente de los recursos en beneficio del sistema de producción.

3. Beneficio Húmedo del Café: Procedimientos y Consideraciones

El proceso de beneficio del café es una de las actividades más contaminantes en la cadena productiva, ya que genera residuos sólidos como pulpa, mucílago, pergamino y película plateada, además de descargar grandes cantidades de aguas residuales

(Acevedo *et al.*, 2021). De estos, La pulpa es el principal residuo sólido producido durante esta etapa, con un porcentaje de humedad inicial mayor al 85% (Chacón, 2003). Según Barquero y Cortés (2011), la pulpa representa el 42 % del peso del fruto, mientras que el mucílago (pectina)

adherido al grano constituye el 16% y la cascarilla el 4.3% (Figura 4). Además, la pulpa es rica en celulosa y azúcares reductores, y contiene sustancias como pectinas, taninos, ácido clorogénico, azúcares no reductores, ácido cafeico y cafeína (Barquero y cortes, 2011).



Figura 4. Composición de un fruto de café: fruto, grano con mucílago y pulpa. Fuente: elaboración propia.

El mucílago o “baba del café”, es una sustancia gelatinosa que se adhiere al pergamino del grano, siendo difícil de separar. Para su eliminación, se pueden utilizar máquinas o mediante fermentación en tanques de agua. Durante la fermentación, se producen reacciones químicas que degradan la pectina en ácidos orgánicos, los cuales se retiran fácilmente con agua durante el proceso de lavado (Peñuela *et al.*, 2011). Este método de procesamiento

se conoce como beneficio húmedo. Durante el lavado, se origina un residuo líquido conocido como “aguamiel”, razón por la cual las aguas residuales producidas en esta etapa del beneficio húmedo son denominadas “aguas mieles” (Jaulis *et al.*, 2022). El beneficio húmedo es el método más utilizado por los productores de las cooperativas Triunfo Verde y Comon Yaj Noptic. Este proceso involucra varias etapas clave:

Despulpado: Esta etapa consiste en pasar los frutos de café, en su estado de cereza o uva, a través de una máquina especializada que ejerce presión para separar la pulpa del grano. El resultado es la separación efectiva de la pulpa y los granos, los cuales son dirigidos a diferentes vías para su posterior tratamiento (Figura 5).



Figura 5. Proceso de despulpado del fruto de café en su estado de cereza.

Remoción del mucilago: Este proceso consiste en retirar el mucilago que cubre al grano despulpado mediante lavados con agua de fuentes de abastecimiento naturales,

como arroyos y ríos, para evitar la contaminación del grano (Figura 6). Los lavados se realizan después de 12 a 24 horas de fermentación en un tanque con agua, dependiendo

de las condiciones de temperatura del entorno. Las altas temperaturas aceleran la fermentación, reduciendo así el tiempo necesario para realizar la remoción.



Figura 6. Proceso de lavado de café fermentado para la remoción del mucilago.

Secado de café: Este proceso tiene como objetivo reducir el contenido de agua del grano lavado. El secado se puede realizar manualmente aprovechando la energía del sol o con secadoras mecánicas, hasta alcanzar

un contenido de humedad del 12%, momento en el cual el café se clasifica como café pergamino. En la mayoría de los beneficios húmedos de la región, el secado se realiza de manera manual, extendiendo el café sobre lonas en

patios al aire libre o, en algunos casos, utilizando zarandas en invernaderos para lograr un secado más eficiente (Figura 7).



Figura 7. Proceso de secado de café pergamino: en patio e invernadero.

La pulpa del café es el subproducto potencialmente más contaminante en la fase de beneficio húmedo, ya que por cada dos toneladas de café beneficiado se genera aproximadamente una tonelada de pulpa (Fierro *et al.*, 2018).

En el ciclo 2023-2024, se estimó una producción de café cereza en el estado de Chiapas de 338,768.43 toneladas (SIACON-SAGARPA, 2024). El tratamiento adecuado a la pulpa para su uso eficiente podría reducir de manera

significativa la huella de carbono de la cadena productiva, al disminuir las emisiones de GEI derivados de su descomposición, como son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) (Balma, 2018).

4. Beneficios Potenciales del Aprovechamiento de la Pulpa

La pulpa de café, como subproducto del beneficio húmedo, puede aprovecharse de diferentes maneras debido a su alto contenido de nitrógeno, azúcares y carbono, entre otros nutrientes (Fierro *et al.*, 2018). Este subproducto puede ser utilizado como alternativa para la alimentación de ganado, como combustible para el proceso de secado de café, o incluso como abono orgánico, como fuente

de potasio, fósforo y micronutrientes (Food and Agriculture, 1993). Por su parte, Rodríguez (2010) menciona que la pulpa de café puede transformarse en combustible renovable, convirtiéndola en una fuente de energía alternativa. En el Cuadro 2 se presenta el análisis químico de las muestras de pulpa de café obtenida durante el beneficio húmedo de la cosecha 2023-2024 en las cooperativas objeto de este

estudio, ubicadas en la zona sierra de la Frailesca, Chiapas.

Por otra parte, Fierro *et al.*, (2018) evaluaron las características químicas (Cuadro 3) y nutrimentales (Cuadro 4) de la pulpa de café de la variedad Costa Rica. La pulpa representó el 45% del peso del fruto maduro y contenía un 85 % de humedad.

Cuadro 2. Características químicas de la pulpa de café *C. arabica* en muestras de la cooperativa Finca Triunfo Verde.

Número de muestra/elemento	N %	P ppm	K meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	Na meq/100g	C _{total} %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
1	2.35	0.21	3.61	1.82	0.36	0.01	35.20	12,570.00	36.00	32.00	159.00
2	2.37	0.28	3.48	0.98	0.15	0.01	43.90	230.00	10.00	5.00	21.00
3	2.31	0.20	3.50	1.00	0.15	0.01	44.60	94.00	23.00	8.00	23.00
4	1.85	0.20	3.38	1.06	0.18	0.01	41.00	4,105.00	24.00	27.00	42.00
5	2.49	0.26	3.31	1.22	0.13	0.02	44.70	359.00	8.00	11.00	24.00
6	1.10	0.16	3.27	0.72	0.15	-	44.20	67.00	21.00	4.00	23.00
7	2.33	0.14	3.71	1.07	0.17	0.01	44.40	320.00	20.00	6.00	31.00
8	2.12	0.21	3.74	0.89	0.16	0.01	41.10	4,695.00	20.00	15.00	68.00
Media	2.12	0.21	3.50	1.10	0.18	0.01	42.39	2,805.00	20.25	13.50	48.88
Mediana	2.32	0.21	3.49	1.03	0.16	0.01	44.05	339.50	20.50	9.50	27.50
Desviacion estandar	0.45	0.05	0.18	0.33	0.07	0.01	3.28	4,379.37	8.66	10.57	47.20

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Composición química de la pulpa de café de la especie *C. arabica*, variedad Costa Rica.

Variable medida	Unidad	Base seca	Base húmeda
PH			4.21
Humedad	%	12.05	85.37
Sólidos solubles totales	°Brix		3
Azúcares reductores	%	45.67	
Fenoles totales	mg EAG g ⁻¹ pulpa	4.09	0.91
DPPH	umol ETrolox g ⁻¹ pulpa	132.54	28.93
Cafeína	%	2.262	
Proteína	%	10.63	9.04
Grasa	%	5.78	6.93
Fibra	%	36.07	30.63
Cenizas	%	9.58	
Conductividad eléctrica	S/dm	7.88	
Materia orgánica	%	92.11	

Fuente: Fierro *et al.*, (2018).

Cuadro 4. Contenido nutricional de la pulpa de café de la especie *Coffea arabica*, variedad Costa Rica.

Variable medida	Unidad	Base seca
Nitrógeno (N)	g kg ⁻¹	17
Fosforo (P)	g kg ⁻¹	2.48
Potasio (K)	g kg ⁻¹	25.13
Calcio (Ca)	g kg ⁻¹	4.1
Magnesio (Mg)	g kg ⁻¹	1.39
Sodio (Na)	g kg ⁻¹	2.12
Boro (B)	mg kg ⁻¹	11
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	21
Hierro (Fe)	mg kg ⁻¹	77
Manganeso (Mn)	mg kg ⁻¹	46
Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	11
Carbono total	%	53.428
Nitrógeno total	%	1.7
Relación C/N		31.43

Fuente: Fierro *et al.*, (2018).

Navarro (2023) señala que la pulpa de café es una valiosa fuente de nutrientes, que enriquece el sistema

de producción al favorecer la presencia de microorganismos benéficos. En el Cuadro 5 se detalla la diversidad de

minerales que contiene la pulpa.

Cuadro 5. Contenido de minerales en la pulpa de café.

Identificación de la muestra	pH	C/N	Nitrógeno (%)	Fosforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)	Azufre (%)
Pulpa de café	7.63	19.72	1.47	0.33	0.45	1.61	0.41	0.14
	Boro (ppm)	Cobre (ppm)	Hierro (ppm)	Manganeso (ppm)	Zinc (ppm)	Carbono (%)	Ceniza (%)	Materia orgánica (%)
	69.14	26.79	10090	470.29	48.86	28.89	40	52

Fuente: Analab (2023). Análisis 0-1.

En la región, el manejo común de la pulpa de café consiste en amontonarla a un costado del área de beneficio o, de forma alternativa, en dirigirla a través de un tubo de plástico, una canaleta elaborada de algún material reutilizable o una zanja en el suelo para depositarla a unos metros de donde se realiza el despulpado. En este sitio, permanece sin acondicionamiento para su depósito

o proceso de fermentación (Figura 8). Durante este tiempo, la pulpa genera GEI, principalmente metano, debido a la falta de oxigenación que provoca que la fermentación ocurra principalmente en condiciones anaeróbicas, ya que no se realiza una ventilación adecuada, como el volteo regular de los residuos. Además, la acumulación de pulpa sin tratamiento es una fuente de malos

olores y patógenos (Balma, 2018).

En contraste, algunos productores optan por realizar un compostaje mínimo de la pulpa, que luego se utiliza como abono en las parcelas, lo que mejora la calidad de los suelos y reduce las emisiones de GEI, al evitar o disminuir el uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos.



Figura 8. Depósitos de pulpa de café derivada del beneficio húmedo.

Un manejo adecuado a la pulpa de café debe comenzar con el acondicionamiento de un lugar apropiado para

su acumulación. Esto evita que la pulpa se disperse, previene la contaminación de cuerpos de agua por lixiviados y

permite su adecuado aprovechamiento como abono orgánico para las parcelas de café (Figuras 9 y 10).



Figura 9. Sitio inadecuado para la disposición de la pulpa.



Figura 10. Sitio adecuado para la disposición de la pulpa.

Otra opción para aprovechar la pulpa de café es su uso como sustrato en la producción de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). La pulpa de café demuestra una eficiencia biológica similar a la paja de cebada, que es el sustrato más utilizado para este propósito (Romero *et al.*, 2013). En cambio, el sustrato de rastrojo de maíz y frijol han mostrado un menor rendimiento en la producción de hongos. Esta alternativa no solo podría mejorar la economía de los productores en zonas rurales cafetaleras, sino que también proporcionaría una fuente de alimento de alta calidad.

En el Cuadro 6 se muestran otros usos alternativos de la pulpa de café que le añaden un valor agregado.

Cuadro 6. Usos alternativos de la pulpa de café para obtener diferentes productos.

Uso	Producto
Producción de enzimas	Amilasa
	Pectinasa
	Tanasa
Transformación de taninos de la pulpa de café con <i>Penicillium verrucosum</i> .	Acido gálico
Alimentación humana	Saborizantes, mermeladas, jaleas y jugos procesados
Industria alimenticia	Colorantes (antocianinas)
Fermentación	Extracto de etanol
Generación de calor	Briquetas y píldoras

Fuente: Balma, (2018).

La pulpa de café, generada en grandes cantidades en cada ciclo de cosecha, tiene diversos usos potenciales. Sin embargo, para que este

subproducto adquiera un verdadero valor agregado, debe representar un ingreso económico adicional o un ahorro en insumos para el cultivo,

lo que beneficiaría al productor de manera tangible.

5. Alternativas para Aprovechar la Pulpa del Café

Algunas de las alternativas viables para el uso de la pulpa de café en la zona de La Frailesca, en la Sierra Madre de Chiapas, son:

I Compostaje

El compostaje es un proceso biológico en el que la materia orgánica se descompone gracias a la acción de microorganismos que requieren principalmente carbono y relativamente poco nitrógeno para su actividad. Estos microorganismos, que incluyen hongos, bacterias y levaduras, transforman la materia orgánica en sustancias estables similares a los ácidos húmicos (Camacho *et al.*, 2014; Navarro, 2023). La composta resultante

puede ser aprovechada como abono orgánico para enriquecer los suelos de los cafetales y reciclar nutrientes.

Existen dos procesos principales para la elaboración de composta: el proceso aeróbico, que consiste en la degradación de los residuos por microorganismos y otros organismos en presencia de oxígeno, y el proceso anaeróbico, que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno (Gómez, 2023).

El compostaje se desarrolla en varias etapas, influenciadas por factores como la temperatura, la reducción del volumen y la relación carbono/nitrógeno. Estas etapas son: mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración (Román, 2013). Navarro (2023) describe detalladamente las fases del proceso de composteo, que se ilustran en la Figura 11.

Fase mesófila: Esta etapa inicia a temperatura ambiente, alcanzando rápidamente los 45 ° C. Durante esta fase, el pH varía de 2 a 4.5, y su duración oscila entre 2 y 8 días.

Fase termófila: En esta etapa, el proceso alcanza temperaturas mayores a los 45 ° C. Los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco, lo que provoca un aumento en el pH. Este proceso puede durar desde unos días hasta varios meses, dependiendo de las prácticas de manejo.

Fase mesófila II o de enfriamiento: En esta fase, las fuentes de carbono y nitrógeno se agotan por el proceso de transformación. La temperatura desciende por debajo de los 45 ° C, mientras que el pH se mantiene ligeramente alcalino.

Etapas de maduración: Corresponde a la etapa final, que ocurre a temperatura ambiente. Durante esta fase se forman ácidos húmicos y fúlvicos, completando el proceso de descomposición.

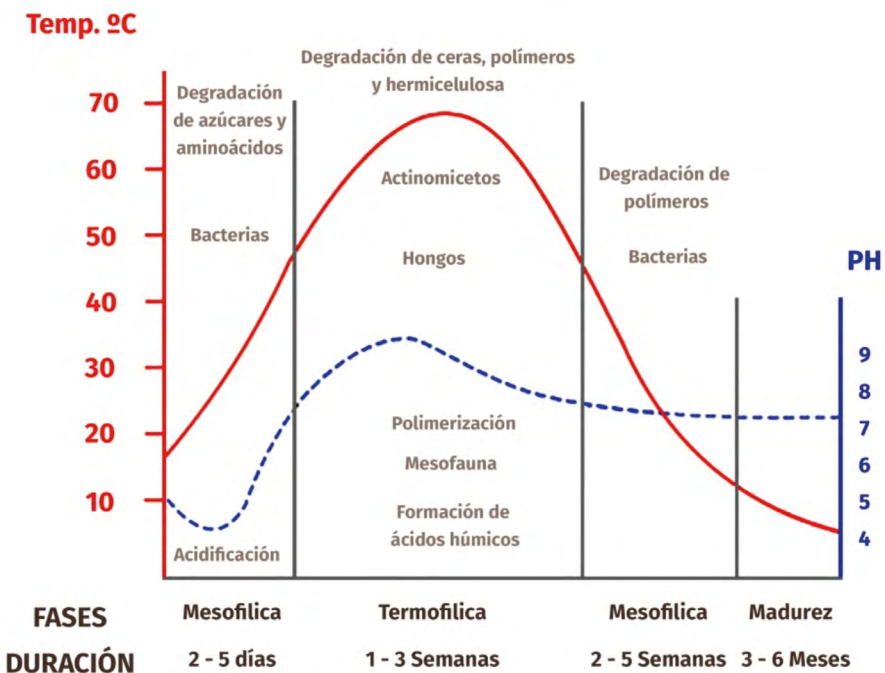


Figura 11. Fases del compostaje de residuos orgánicos.

Fuente: <https://soloesciencia.com/2021/03/22/compostaje-y-vermicompostaje/>

De acuerdo con Navarro (2023), para obtener una composta de buena calidad, se deben considerar varios aspectos adicionales a la aireación. Estos incluyen el tipo de mezcla, la ubicación y tamaño de la cama del compostaje, así como el control del contenido de humedad y del pH.

Mezcla

El tipo de mezcla debe considerar la relación carbono/nitrógeno, que idealmente debería ser de 25 a 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno. En esta zona cafetalera existen importantes fuentes de carbono que pueden utilizarse en el compostaje:

- **Mucílago:** Representa entre el 18 y 20 % del peso fruto maduro. Contiene altos niveles de azúcares, pectinas, ácidos orgánicos y una rica carga microbiana que beneficia el proceso de compostaje.
- **Cascabillo o cascarilla:** Posee un alto contenido de carbono y representa entre el 4.5 y el 5 % del peso total del fruto.
- **Residuos de podas de arbustos de café y de árboles y hojas secas:** Estos residuos son una fuente importante de carbono que se puede utilizar en el compostaje.
- **Fuentes de nitrógeno:** Entre las principales fuentes de nitrógeno se encuentran las hojas de plátano o banano, pastos verdes, restos de frutas y vegetales. Otras fuentes ricas en nitrógeno son el estiércol de ganado bovino y la gallinaza.

Ubicación y tamaño del montículo o cama de compostaje

La ubicación del área de compostaje debe facilitar el acceso a las materias primas y permitir el manejo adecuado de todas las actividades relacionadas. El tamaño de la cama de compostaje debe ser suficiente para permitir maniobras de volteo y oxigenación, ya sea de forma manual o mecánica. Un tamaño recomendado es de 1.5 m de ancho y 1.20 m de altura. El largo puede ajustarse según el terreno disponible, asegurando así un acceso adecuado de oxígeno y facilitando los volteos de la composta.

Manejo de pH y Humedad

La humedad óptima para el compostaje debe estar entre el 50 y el 60%. Una prueba fácil y rápida para verificar la humedad es tomar un puñado del sustrato: al apretarlo, debe soltar de 5 a 6 gotas.

El pH al momento de iniciar la composta es ácido, con valores de alrededor de 2. Con el tiempo, el pH aumentará hasta alcanzar valores de 8.5, estabilizándose finalmente entre 6.5 y 7.5.

II Lombricomposta de pulpa de café

A continuación, se presentan definiciones básicas para comprender el tema (Prado, 2013).

- **La lombricultura:** Es la técnica que utiliza lombrices para transformar residuos orgánicos en composta. Este proceso convierte los residuos en un abono nutritivo a través de la digestión realizada por las lombrices.
- **Lombricomposta (*humus de lombriz*):** Es un material rico en nutrientes que resulta de la transformación de residuos orgánicos por parte de las lombrices. Este humus se utiliza como mejorador de suelos y como abono orgánico debido a su alta calidad y capacidad para enriquecer la tierra.
- **Sustrato:** Es el material inerte en el que habitan las lombrices y que también sirve como su alimento. El sustrato proporciona un entorno adecuado para el proceso de lombricultura y asegura la nutrición necesaria para las lombrices.
- **Lixiviados:** Son líquidos producidos durante el proceso de descomposición de los residuos orgánicos o escurrimientos generados durante la lombricomposta. Estos lixiviados se utilizan como fertilizantes foliares, aportando nutrientes adicionales a las plantas.

Gómez, (2023) menciona que la lombriz californiana es la más eficiente en la producción de humus debido a sus características específicas:

- **Desarrollo Rápido:** Alcanza su estado adulto en aproximadamente 90 días.
- **Reproducción:** Produce entre 1 y 5 huevecillos por ciclo de reproducción, los cuales se incuban durante 17 días. El período de copulación dura de 7 a 10 días.
- **Hermafroditismo:** Estos organismos son hermafroditas, lo que significa que poseen órganos reproductores masculinos y femeninos, facilitando la reproducción.
- **Prolificidad:** Una lombriz puede producir hasta 1000 descendientes al año.
- **Fotofobia:** Son sensibles a la luz y prefieren ambientes oscuros.
- **Eficiencia Alimentaria:** De todo el alimento que consumen, solo excretan entre el 50% y el 60%, lo que indica una alta eficiencia en la conversión de alimentos en humus.
- **Contenido Nutricional:** El 70% de su peso seco está compuesto por proteínas, incluidos aminoácidos esenciales, lo que las convierte en una fuente nutritiva significativa.
- **Respiración:** Su respiración se realiza de manera cutánea, a través de la piel.

El composteo adecuado de la pulpa de café para producción de abono orgánico mediante lombricomposta es una alternativa viable en la zona cafetera de la Sierra Madre de Chiapas. Un ejemplo de esta práctica es el módulo de lombricomposta en las instalaciones de la Finca Triunfo Verde

(Figura 12), el cual, aunque presenta algunas limitaciones, ya dispone de lombrices californianas y materia prima adecuada. La pulpa de café sirve como fuente de alimento para las lombrices, permitiendo así no solo la producción de abono orgánico de buena calidad, sino también la reproducción de lombrices,

generando excedente potencial para la venta. Esta práctica no solo optimiza el manejo de residuos, sino que también ofrece una oportunidad para transferir tecnología a las comunidades locales, promoviendo prácticas sostenibles y eficientes en la producción cafetalera.



Figura 12. Módulo de lombricomposta en las instalaciones de La Finca Triunfo Verde.

Los residuos sólidos de pulpa de café resultan difíciles de manejar debido a los grandes volúmenes generados en cada ciclo de cosecha y al alto contenido de agua, que dificulta su transporte, manejo y distribución en los cafetales. Por tal motivo, se recomienda un tratamiento previo para facilitar su manejo. No se recomienda usar la pulpa fresca para composta de forma directa debido a su alto contenido de carbono y humedad, lo que provoca un aumento en las temperaturas al liberar nitrógeno en forma de gas. Se

recomienda realizar una fermentación previa, formando montones de pulpa y agregar cal; después de 5 a 6 días, la pulpa estará lista para elaborar la composta (Prado, 2013).

Es importante cubrir los montones de residuos con plástico negro para evitar que la lluvia arrastre los nutrientes. De esta manera, la materia orgánica se procesa en una precomposta durante un tiempo determinado, lo que permite que la temperatura elevada destruya los patógenos (Gómez, 2023).

Una vez que la precomposta se ha enfriado, se siembran las lombrices para producir la lombricomposta. Este proceso transforma la materia orgánica en un abono fértil que supera a los fertilizantes químicos en calidad. La lombricomposta contiene siete veces más fósforo, cinco veces más potasio y dos veces más calcio que el material original ingerido por las lombrices (Gómez, 2023).

6. Beneficios del uso de Abonos Derivados de Pulpa Café

El uso de la pulpa de café como abono ofrece varios beneficios importantes, entre los cuales destacan:

- **Reducción de Emisiones de GEI:** El tratamiento adecuado de la pulpa mediante compostaje y lombricomposta contribuye a disminuir las emisiones de GEI.
- **Prevención de Contaminación:** La utilización de la pulpa de café contribuye a evitar la contaminación de fuentes de agua al controlar los lixiviados generados durante el proceso.
- **Valor Agregado:** La transformación de la pulpa de café en abono orgánico añade un valor adicional a la cadena productiva, mejorando la sostenibilidad de la producción de café.
- **Ahorro Económico:** La aplicación de abonos derivados de la pulpa de café reduce los gastos al disminuir o eliminar la necesidad de otros tipos de fertilizantes.
- **Mejora del Suelo:** Este abono contribuye a la recuperación y mejora de la fertilidad y las propiedades físicas de los suelos en las plantaciones de café.

El uso de abonos orgánicos no solo proporciona nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, sino que también ha demostrado tener efectos positivos en el aumento de la altura y el diámetro del tallo de las plantas. Esta mejora en el vigor vegetal, puede traducirse en una mayor resistencia a enfermedades, una mejor capacidad de recuperación frente a situaciones de estrés y, en última instancia, un incremento en la productividad y calidad de los cultivos.

Por lo tanto, la fertilización en la agricultura orgánica no solo busca satisfacer las necesidades nutricionales de las

plantas, sino también promover la salud del suelo y el equilibrio ecológico del agroecosistema en su conjunto. En este sentido, el uso combinado de análisis de suelos, abonos orgánicos y biofertilizantes representa una estrategia integral para optimizar la producción de café de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

En algunas parcelas, es común aplicar pulpa de café fresca como parte de las prácticas agrícolas. No obstante, según Suárez (2001), se recomienda utilizar la pulpa de café bien descompuesta, distribuyéndola sobre la superficie del suelo y alrededor de la zona de goteo

de las plantas, preferiblemente durante épocas de menor precipitación. Este método busca reemplazar la fertilización convencional y prevenir problemas asociados con la acumulación de humedad y el dióxido de carbono (CO₂) generado por la descomposición de la pulpa. Suárez (2001) también advierte que la aplicación de pulpa fresca puede representar un riesgo para las plantas de café, ya que consume grandes cantidades de oxígeno, lo que puede llevar a que las raíces busquen emerger hacia la superficie en busca de aire. Además, señala que agregar pulpa fresca directamente en el hoyo de plantación puede resultar contraproducente, ya que su

descomposición libera CO₂ y agua, lo que podría ser problemático en suelos con alta retención de humedad.

En cuanto al uso de la pulpa de café como fertilizante, Sadeghian *et al.* (2006) indican que 1000 kg de pulpa fresca pueden aportar las siguientes cantidades de nutrientes: 3.76 kg de N; 0.52 kg de P₂O₅; 8.75 kg de K₂O; 0.80 kg de CaO; 0.31 kg de MgO y 0.13 kg de SO₄. No obstante, es importante tener en cuenta que puede haber pérdidas de elementos después del despulpado, ya que la rápida descomposición de la pulpa libera una solución acuosa rica en nutrientes, especialmente potasio. En ese sentido, Sadeghian (2010) menciona que, debido a la limitada disponibilidad de pulpa, es preferible utilizarla

en condiciones estratégicas, como en la producción de almácigos y la recuperación de áreas degradadas, donde la erosión es más pronunciada.

La importancia de los abonos orgánicos radica en su capacidad para proporcionar nutrientes esenciales al cultivo, al mismo tiempo que mejoran las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, lo que se traduce en un aumento de la productividad agrícola. Según Blandón *et al.* (1999), este enfoque orgánico también conlleva beneficios adicionales, como la reducción indirecta de la dependencia de los fertilizantes químicos y los costos de producción. Estos mismos investigadores resaltan que los componentes clave de la lombricomposta, fundamentales para su

acción fertilizante, son tres: la microflora presente, los ácidos húmicos y las fitoestimulinas. Estos elementos no solo proporcionan nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, sino que también mejoran la estructura y la salud del suelo, facilitando así la absorción de nutrientes por parte de las plantas y promoviendo un entorno favorable para la actividad microbiana beneficiosa.

En el Cuadro 7, tomado de Blandón *et al.* (1999), se detallan las diferentes determinaciones de nutrientes presentes en la pulpa de café, tanto fresca como descompuesta. Esta información es crucial para comprender el potencial fertilizante de la pulpa de café y cómo puede contribuir al enriquecimiento del suelo y al desarrollo saludable de los cultivos.

Cuadro 7. Resultados del análisis físico-químico de los sustratos de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago en tres etapas del proceso de lombricompostaje.

Determinación	Pulpa de café sola			Pulpa de café mezclada con mucílago		
	Fresca	Dos meses	Lombricompuesto	Fresca	Dos meses	Lombricompuesto
Humedad (%)	74.83	79.6	78.05	87.9	83.33	79.48
pH	4.4	8.25	8.63	4.13	7.08	9.33
Cenizas (%)	6.66	14.68	44.06	7.3	10.17	50.21
Grasas (%)	1.6	1.49	0.16	2	1.82	0.2
Proteína (%)	11	19.91	23.25	12.11	18.14	25.89
Fibra (%)	11.43	29.47	12.55	17.16	25.04	16.84
CHO soluble (%)	69.31	34.47	20	61.44	44.83	6.86
MO (%)	93.34	85.33	55.94	92.7	89.83	49.79
C/N	30.72	15.55	8.73	27.95	18.6	6.98
N (%)	1.76	3.19	3.72	1.94	2.9	4.14
P (%)	0.13	0.23	0.44	0.13	0.18	0.31
K (%)	2.82	6.55	9.64	2.75	3.79	5.5
Ca (%)	0.32	0.75	1.15	0.37	0.75	1.3
Mg (%)	0.08	0.18	0.21	0.11	0.18	0.25
Fe (ppm)	158.75	1575	3062.5	700	1170	2201.67
Mn (ppm)	69	95.5	163.33	43	96.5	179.83
Zn (ppm)	8.25	76	149.17	45.75	83.5	118.67
Cu (ppm)	9.75	15	6.92	17.75	17	7.33
B (ppm)	21.75	45	73.67	18.75	38	67.08

Fuente: Blandón *et al.*, (1999).

Uso en almácigos

Valencia (1972) destaca que es una práctica común entre los caficultores añadir pulpa en la preparación del suelo para la siembra de almácigos de café. Esta práctica, según observaciones de campo, ha demostrado ser altamente beneficiosa, ya que propicia un crecimiento vigoroso de las plántulas de almácigo. En su investigación, Valencia (1972) realizó la siembra de

plántulas de café en una mezcla de tres partes de tierra por una parte de pulpa, y seis meses después se tomaron mediciones del peso fresco y la longitud del tallo de las plántulas. Los resultados mostrados en el Cuadro 8 revelan que, tanto en el campo como en el invernadero, la adición de pulpa al suelo generó un aumento significativo en el peso fresco y la longitud del tallo

de las plántulas. Este hallazgo resalta el potencial de la pulpa como un recurso valioso para mejorar el crecimiento y el desarrollo inicial de las plántulas de café. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los efectos pueden variar según las condiciones específicas del suelo y el entorno de cultivo.

Cuadro 8. Peso fresco y longitud del tallo de plántulas de café variedad Típica a los seis meses de edad, sembradas en la tierra con pulpa y sin pulpa.

	Invernadero		Campo	
	Con pulpa	Sin pulpa	Con pulpa	Sin pulpa
Peso fresco gramos	207.9**	87.9	214.2**	130.3
Largo del tallo centímetros	36.7**	23.6	34.9*	27.9

** Diferencia significativa al 1%

* Diferencia significativa al 5%

Fuente: Valencia, (1972).

Según los hallazgos de Valencia (1972), se observó que las plántulas que no recibieron adición de pulpa al suelo presentaron síntomas de amarillamiento y un crecimiento más lento. Estos resultados sugieren que la incorporación de pulpa de café descompuesta en la preparación del suelo para almácigos ejerce un impacto notable en el desarrollo de los cafetos, resultando en plantas vigorosas y saludables. Así mismo, los investigadores señalan que la pulpa de café, además de ser una fuente rica en nutrientes, posee las características típicas de la materia orgánica, como mejorar la capacidad del suelo para retener la humedad, aumentar la población bacteriana beneficiosa, prevenir la compactación del suelo y promover una mejor aireación del mismo. Estos efectos combinados contribuyen a crear un entorno propicio para el crecimiento óptimo de las plantas de café desde las etapas iniciales de desarrollo.

Pese a los resultados positivos reportados por Valencia (1972), es necesario analizar investigaciones adicionales que respalden los beneficios de la adición de pulpa en la preparación del suelo para almácigos de café. También sería útil investigar cómo esta práctica puede contribuir a la sostenibilidad, al aprovechar un subproducto y promover prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente, reduciendo la huella de carbono asociada a los subproductos del beneficio del café. Además, se debería discutir la importancia de la gestión adecuada de la pulpa como recurso para garantizar su disponibilidad y eficacia a largo plazo.

Otro aspecto crucial a considerar es el tamaño de las bolsas utilizadas en los almácigos. Según Salazar (1991), las bolsas empleadas comercialmente tienen una capacidad aproximada de 750 gramos de suelo y unas dimensiones de 13 cm de ancho

por 17 cm de altura. Sin embargo, las bolsas recomendadas para un óptimo desarrollo de las plántulas en el almácigo deberían tener una capacidad aproximada de 2,000 g de suelo, con dimensiones de 17 cm de ancho por 23 cm de altura, ya que se observó que las plántulas provenientes de bolsas más pequeñas presentaron una serie de problemas agronómicos después del trasplante, como mal anclaje, raquitismo, desarrollo deficiente y volcamiento. En general, se observó una menor calidad en las plantas provenientes de bolsas de menor volumen en comparación con las de mayor tamaño.

Al utilizar bolsas de mayor capacidad, se incorpora al suelo aproximadamente un 80% más de abono orgánico en el momento de la siembra. Además, las plántulas cultivadas en bolsas más grandes suelen tener una mayor edad al ser trasplantadas al campo, al haber permanecido en el almácigo durante un período de seis meses (Salazar, 1991).

Consideraciones Sobre el Uso de Abonos Orgánicos

Según Sadeghian (2010), varios aspectos relacionados con la materia orgánica en los suelos cafetaleros deben ser considerados:

- Es factible aumentar el contenido de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo mediante prácticas de conservación del suelo y el constante aporte de materiales orgánicos provenientes de árboles del género *Inga* y ciertos abonos ricos en lignina.
- Es esencial realizar análisis de laboratorio para determinar el contenido de materia orgánica y otras propiedades del suelo. Estos datos son cruciales para tomar decisiones sobre la nutrición de los cafetales y la conservación del suelo.
- La introducción de árboles como sombra permanente, como los del género *Inga*, contribuye a incrementar los niveles de materia orgánica a lo largo del tiempo, gracias al aporte constante de materiales orgánicos, principalmente hojarasca y raíces. Esta práctica también mejora otras propiedades del suelo.
- La materia orgánica está estrechamente relacionada con el contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre, por lo tanto, proteger el suelo de la erosión y adoptar prácticas para aumentar su contenido son fundamentales.
- La pulpa de café es la principal fuente de materia orgánica en las fincas cafetaleras, pudiendo ser aplicada fresca en los cafetales en producción o descompuesta para su uso en almácigos. Otras fuentes de materia orgánica disponibles incluyen gallinaza, pollinaza, estiércol vacuno, equinaza y cenichaza, además de productos elaborados a partir de estas y enmiendas, principalmente cales.
- En la etapa de almácigo, una mezcla de suelo y pulpa de café bien descompuesta, en una relación de 1:1 (v/v), es adecuada para satisfacer las necesidades nutricionales de la planta. Si se disponen de otras fuentes, como lombricomposta de pulpa de café, gallinaza, estiércol vacuno, pollinaza o cenichaza, se puede utilizar una relación de 3:1 (v/v), independientemente del contenido de materia orgánica del suelo. Estas proporciones permiten prescindir de fertilizantes químicos o cales.
- La aplicación de materia orgánica en la siembra puede ser beneficiosa si se aplican cantidades suficientes, según el tamaño del agujero. Esto es especialmente importante en suelos con problemas físicos o bajo contenido de materia orgánica.
- Se recomienda dividir la aplicación de abonos orgánicos en dos o tres aplicaciones anuales, considerando las épocas de lluvia.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la sociedad cooperativa de café orgánico, **Finca Triunfo Verde, S.C.** por su invaluable colaboración y apoyo en la creación del folleto informativo titulado "Estrategias de manejo de la pulpa de café para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero". Su compromiso, experiencia y conocimiento en la producción de café orgánico bajo sombra han sido fundamentales para enriquecer este proyecto. Agradecemos profundamente su contribución, que brinda información valiosa a los productores y fomenta prácticas amigables con el ambiente en la industria cafetalera para beneficio de la sociedad.

Literatura Citada

- Acevedo, M. A., Peñaloza, Q. I. y Morales, F. D. (2021). Aprovechamiento de los polisacáridos de la pulpa de café residual para la obtención de bioetanol como estrategia hacia la bioeconomía. *Gestión y Ambiente*, 24(Supl3), 100-113. DOI <https://doi.org/10.15446/ga.v24nSupl3.99983>
- Aguilar, R. (2012). Impacto socioeconómico y ambiental de la certificación orgánica-comercio justo de café (*Coffea arabica*) en la región Frailesca, Chiapas, México. Tesis Magister Scientiae en Socioeconomía Ambiental. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Balma, M. C. (2018). Comparación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para dos tecnologías de tratamiento de residuos de pulpa de café en Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Sanitaria. Universidad Nacional Facultad de las Ciencias de la Tierra y el Mar Escuela de Ciencias Ambientales.
- Barquero, D. y Cortés, M. J. (2011). Análisis del rendimiento energético obtenido aplicando la técnica de gasificación con residuos de astillas de madera y broza de café. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional (Costa Rica). Escuela de Ciencias ambientales.
- Blandón, C. G., Dávila, A. y Rodríguez, V. (1999). Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé* 50(1):5-23.
- Camacho, A., Martínez, L., Ramírez, H., Valenzuela, R. y Valdés, M. (2014). Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 291-300. Recuperado en 29 de mayo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400291&lng=es&tng=es
- Cerda, R., Avelino, J., Harvey, C. A., Gary, C., Tixier, P. & Allin, C. (2020). Coffee agroforestry systems capable of reducing disease-induced yield and economic losses while providing multiple ecosystem services. *Crop Protection*, 134:105149. DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105149
- Chacón, R. (2003). Aplicación de la tecnología de gasificación utilizando pulpa de café. Proyecto de graduación MSc. Instituto tecnológico de Costa Rica.
- Fierro, C. N., Contreras, O. A., González, R. O., Rosas, M. E. S. y Morales, R. V. (2018). Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.). Colegio de Postgraduados. *Agroproductividad*: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018:9-13. <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/261>
- Food & Agriculture. (1993). Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. (p. 118).
- Gómez, C. P. C. y Aguirre, G. J. A. (2023). Huertos sostenibles para la seguridad alimentaria en la agricultura rural familiar. INIFAP. Centro de Investigación Regional Centro Experimental Bajío. Celaya Guanajuato, México. Folleto para productores Núm. 1.
- Jaulis, C. J. C., Juscamaíta, M. J. G., Villanueva, S. E., Gutiérrez, C. J. E. y Dilas, J. J. O. (2022). Limpieza del agua miel proveniente del beneficiado húmedo del café mediante polímeros naturales orgánicos. *Alpha Centauri*, 3(3), 02-10. DOI <https://doi.org/10.47422/ac.v3i3.84>
- Lamichhane, J. R. (2020). Crop health in agroforestry systems: an introduction to the special issue. *Crop Protection*, 134: 105187.
- Navarro, Y. (2023). Compostaje de la pulpa de café. Anacafe. Boletín técnico. <https://www.anacafe.org/uploads/file/7b99975ee9d0478db47df904a1282888/Boletín-Compostaje-Marzo-2023.pdf>
- Peñuela, M. A., Pabón, U. J. y Oliveros, T. C. (2011). ENZIMAS: una alternativa para remover rápida y eficazmente el mucílago del café. *Avances Técnicos*, CENICAFE 406. ISSN - 0120 - 0178.
- Prado, G. J. (2013). Manual de lombricomposta de pulpa de café para los cafeticultores de la región Otomí-Tepehual de Hidalgo. Indesol. Innova y Renueva, Asociación para el Desarrollo. Primera edición 2013.
- Rodríguez, V. N. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Avances técnicos*, CENICAFE 393. ISSN - 0120 - 0178.
- Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Manual de compostaje del agricultor: experiencias en América Latina. Recuperado el 4 de junio del 2024. <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>
- Romero-Arenas, O., Hernández T., I., Conrado P. L., J. F., Marquez S., M. N. y Amaro L., J. L. (2013). Evaluación de bagazo de café (*Coffea arabica*) como sustrato en la producción de *Pleurotostreatus*. *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. 33, julio-diciembre, 2013. 472-481.
- Sadeghian, S., Mejía, M. B. y Arcila, J. (2006). Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé* 57(4):251-261.
- Sadeghian, S. (2010). La materia orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. Chinchiná: Cenicafé.
- Salazar, N. (1991). Efecto del tamaño de la bolsa del almácigo sobre la producción de café. *Cenicafé*, 47(3):115-120.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. SIACON-SAGARPA. (2024). Recuperado el 4 de junio de 2024. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Soto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Jiménez, G. & de Jong, B. (2010). Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78: 39-51. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9247-5>.
- Soto, L. & Aguirre, C. (2015). Carbon Stocks in Organic Coffee Systems in Chiapas, Mexico. *Journal of Agricultural Science*, 7: 117-128. DOI: 10.5539/jas.v7n1p117
- Suárez, S. (2001). La atmósfera del suelo y la productividad del café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 293: 1-4.
- Van Rikxoort, H., Schroth, G., Läderach, P. & Rodríguez-Sánchez, B. (2014). Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. *Agronomy for Sustainable Development*. 34(4): 887-897. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0223-8>.
- Valencia, A. G. (1972). Utilización de la pulpa de café en los almácigos. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 17:1-2.

