

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL PROCESO DE LOMBRICULTURA EN PULPA DE CAFÉ PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

José Raúl Rendón Sáenz*; Juan Carlos García López*;
Hernán González Osorio***; José Javier Ramírez Patiño**

RENDÓN S., J.R.; GARCÍA L., J.C.; GONZÁLEZ O., H.; RAMÍREZ P., J.J. Análisis técnico-económico del proceso de lombricultura en pulpa de café, para la producción de abono orgánico. Revista Cenicafé 66 (2): 7-16. 2015

El lombricultivo con pulpa de café comprende etapas de biotransformación que conducen a conformar un material que puede ser usado como fuente fertilizante. Con el fin de analizar aspectos técnicos y económicos en el proceso, se evaluó la técnica de manejo del lombricultivo asociada al análisis de tiempos y movimientos en la Estación Experimental Naranjal (Cenicafé), durante dos ciclos. El proceso consistió en disponer la pulpa de café con la lombriz sobre la superficie del suelo, en una estructura techada y con movimientos periódicos del material. Para el análisis de los indicadores técnicos se evaluó la humedad, el nivel de CO₂ y el tamaño de partículas del sustrato en las diferentes etapas; los indicadores económicos se obtuvieron a partir del análisis de las labores y materiales utilizados. Al final del proceso el promedio de lombriabono obtenido fue de 128 kg.m⁻² con un 70% de humedad, la relación de biotransformación de pulpa a lombriabono fue del 41,6%, mientras que la actividad biológica, medida en unidades de CO₂ por kilogramo de sustrato, fue de 2,0 g. El 43% de la fracción fina del material presentó un diámetro de partículas inferior a 2 mm, indicador que podría constituir una herramienta de campo para definir el momento de cosecha del material. Con relación al aspecto económico, los costos por kilogramo de lombriabono fueron de \$82,7 en promedio. A través de la técnica de lombricultivo descrita se garantiza un proceso de biotransformación por ciclos de 6 meses.

Palabras clave: Pulpa de café, lombricultivo, biotransformación, *Eisenia foetida*.

TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF VERMICOMPOSTING PROCESS FROM COFFEE PULP TO PRODUCTION OF ORGANIC FERTILIZER

Vermicomposting with coffee pulp comprises biotransformation stages that lead to form material that can be used as fertilizer. In order to analyze technical and economic aspects in the process, the vermicomposting management technique associated with time and motion analysis were evaluated at the Experimental Station Naranjal (Cenicafé) during two cycles. The process consisted of placing coffee pulp with earthworms on the soil surface in a roofed structure and with periodic movements of the material. For the analysis of the technical indicators, moisture, CO₂ level and the particles size of the substrate at different stages were evaluated; the economic indicators were obtained from the analysis of the work and materials used. After the process, the average earthworm fertilizer pulp obtained was 128 kg.m⁻² with 70% humidity, the relationship of biotransformation from pulp to earthworm fertilizer was 41.6%, while the biological activity, measured in units of CO₂ per kilogram of substrate, was 2.0 g. Forty-three percent of the fine fraction of the material had particles less than 2 mm in diameter, this indicator might provide a tool to define the harvest moment of the material. Regarding the economic aspect, the costs per kilogram of were \$ 82.7 on average. The earthworm fertilizer technique guarantees a biotransformation process per cycles of 6 months.

Keywords: Coffee pulp, vermicomposting, biotransformation, *Eisenia foetida*.

*Asistente de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente, Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas Colombia.

**Auxiliar de Investigación, Disciplina de Experimentación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas Colombia.

***Investigador Científico I, Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas Colombia.

En la totalidad de procesos involucrados en la producción de café, sólo una pequeña porción de la biomasa que se genera (alrededor del 5%) se aprovecha en la elaboración de la bebida (16). Una parte, que representa entre 4 y 11 t.ha-año⁻¹ según el sistema de producción, está conformada por hojas, ramas (5) y otras estructuras de naturaleza química similar, que al ingresar al suelo pasan a constituir una fuente de energía y de nutrimentos para los organismos del suelo y para las raíces del cultivo, o después de un proceso de mineralización, a conformar un material denominado humus (12).

Los frutos removidos del lote durante la cosecha, una vez beneficiados, generan el exocarpio o pulpa, que en estado fresco representa aproximadamente el 44% del peso total de los mismos (13), la cual por su misma naturaleza física y química puede ser aprovechada para diversos propósitos industriales como la generación de etanol (17), complemento alimenticio (11) y como fuente fertilizante (18, 19). Para este propósito, es indispensable someter dicho material a una transformación denominada compostaje, la cual puede alcanzarse con diferentes tecnologías como la descomposición en fosas (21), la digestión anaeróbica (3) y la lombricultura (7). Bajo cualquiera de estas modalidades ocurre una descomposición estrictamente biológica, que en sus estados iniciales ocasiona un significativo aumento de la temperatura y una posterior disipación del calor (8), así como liberación de agua y solutos (15). Luego de este proceso, según las condiciones de manejo y ambiente específicos, en diferentes períodos de tiempo, logra consolidarse un insumo enriquecido química y biológicamente (1, 4), que carece de similitud con el material inicial, y por su apariencia terrosa se estima ha madurado (estabilizado) lo suficiente para ser considerado una opción para sustituir total o parcialmente

la fertilización química en el café (2, 22) y mejorar algunas características del suelo (20).

A pesar de lo anterior, el enfriamiento y la inspección visual suelen ser criterios de decisión insuficientes para definir una total descomposición o estabilización del material, debido a que su empleo como sustrato en las plantas de almácigos por ejemplo, conduce a la manifestación de síntomas de fitotoxicidad, representados en quemazón de los tejidos y defoliación (6), los cuales pueden asociarse con altos niveles del pH como consecuencia de la producción de amoníaco derivado de la intensa actividad microbiana, en condiciones de aireación o altas concentraciones de humedad, que conllevan a la anegación del sustrato y la subsiguiente muerte de microorganismos y raíces por falta de oxígeno (8).

Si bien, no existe un criterio universal para definir el punto a partir del cual el material resultante de este proceso puede considerarse un producto estable química, física y biológicamente como para ser utilizado en la producción de cultivos o la recuperación del suelo, sin que genere contaminación del aire o las fuentes de agua (24), las técnicas que se utilizan habitualmente para definir este momento incluyen observaciones de laboratorio, que en muchos casos por tratarse de un material complejo y heterogéneo son de alto costo y sus resultados no son contundentes (9).

Es preciso considerar que el proceso de obtención de lombricomposteo a partir de la pulpa de café no ha sido caracterizado en función de los tiempos y movimientos que se generan en cada actividad. El objetivo de esta investigación fue analizar los aspectos técnico-económicos asociados a la técnica de lombricultivo para la producción de abono orgánico con pulpa de café, suministrada sobre la superficie del suelo, bajo techo y

sin divisiones de mampostería. Los resultados que se presentan servirán como guía para identificar los principales criterios de manejo y la proyección de la capacidad de producción de lombricompuesto en las fincas cafeteras, como una alternativa para el suministro de materia orgánica al cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental Naranjal (Cenicafé), ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas, Colombia), a 04° 58' de latitud Norte, 75° 42' de longitud Oeste, altitud de 1.400 m, con un promedio de la temperatura de 21°C, precipitación de 2.656 mm y un promedio de 80% de humedad relativa, se realizó un estudio de tipo exploratorio descriptivo sobre los tiempos y movimientos generados en el proceso de producción de abono orgánico con pulpa de café, implementando la modalidad de lombricultivo sobre la superficie del suelo, en estructura techada. Para ello, se dispuso de un área efectiva de 204 m² en la cual se instalaron seis camas de lombricultivo, con una capacidad de procesamiento de 155.000 kg de pulpa al año, obtenidos como subproducto de una producción de 360.000 kg de café cereza. El análisis se realizó en dos ciclos de producción de lombricompuesto (180 días cada uno), entre mayo de 2009 y junio de 2010.

Descripción del proceso

Material de partida. La pulpa de café que se utilizó estuvo almacenada bajo techo alrededor de 3 meses antes de iniciar el proceso de lombricultivo, hasta reunir la cantidad requerida para completar la capacidad de la estructura y establecer el manejo por ciclos.

Obtención del pie de cría de la lombriz. A partir de un lombricultivo previamente

establecido en el sitio de estudio, se aprovechó la lombriz allí presente, depositando como trampa el equivalente a 30 kg de pulpa por metro cuadrado, para obtener el pie de cría de la lombriz *Eisenia foetida*.

Cargue del material. Por cada metro cuadrado se ubicó el equivalente a 300 kg de pulpa, dispuesta en franjas de 2 m y una altura de 70 cm (camas). El material se protegió con una polisombra del 65% de cubrimiento, como barrera física para controlar el acceso de aves y otros animales, como lagartijas y roedores.

Regulación de la humedad y la temperatura en las camas. La labor de la lombriz en la biotransformación del sustrato se complementó con movimientos del material de partida (volteos). Dicho procedimiento se realizó con una periodicidad de 30 a 45 días y consistió en colocar las capas inferiores del material sobre la superficie. Adicionalmente, para regular la temperatura en el sustrato, se aplicó la cantidad de agua necesaria para humedecer los primeros centímetros del material sin generar lixiviados, esta actividad se realizó cada 3 días, durante el primer mes, y una vez cada 15 días en el periodo restante.

Cosecha. Consistió en separar la lombriz del material procesado, depositando trampas con pulpa fresca en las orillas de cada cama. Después de 20 días, el material se recogió del piso, se empacó y se pesó.

Para la caracterización de las labores e indicadores asociados al proceso de lombricultivo, se seleccionaron variables de tipo técnico y económico.

Variables de tipo técnico

Se registró la altura (cm) del material en cada cama, midiendo al azar tres puntos

centrales de la pila al comienzo y al final del proceso; se determinó la masa de lombrices (g.m^{-2}), efectuando un muestreo mensual en un área de 25 x 25 cm, tomada en tres puntos equidistantes de cada cama. A partir de la instalación hasta después de 6 meses de iniciar el proceso, mensualmente se midió la actividad microbiológica en función de la cantidad de CO_2 emitida por kilogramo de material y el porcentaje de humedad del sustrato. La humedad se determinó por el método de estufa (65°C hasta peso constante); a partir de dicho procedimiento se tomaron 20 g en base seca, para medir el nivel de CO_2 se empleó el método de respirometría, el cual consiste en capturar el CO_2 emitido por la muestra en una solución con NaOH 1N.

Con tres muestras tomadas en intervalos de 30 días, desde los 2 hasta los 6 meses después de iniciar el proceso, se evaluó la granulometría del sustrato, expresada en porcentaje (%); ésta se determinó a partir de la agitación de 100 g del sustrato en un tamiz No. 10 (2 mm de diámetro), durante 30 segundos.

Finalmente, se registró el peso del lombricompuesto (kg), obtenido por metro cuadrado (m^2) y el porcentaje de pulpa transformada en lombricompuesto.

Variables de tipo económico

Se registró el costo de los materiales y de la mano de obra por metro cuadrado (m^2) de lombricultivo teniendo en cuenta la depreciación y la vida útil de la estructura techada. Se registró el tiempo requerido (min.) para la realización de cinco actividades básicas: cargue de pulpa, volteo del sustrato, riego, acondicionamiento de trampas y cosecha de lombriabono (empaque, pesaje y cargue). Adicionalmente, se calculó el costo de las herramientas y materiales por metro

cuadrado y el costo unitario por kilogramo de lombricompuesto en los dos ciclos.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizaron los promedios y la variación de cada una de las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicadores técnicos

La técnica de lombricultura, con el suministro de la lombriz y el proceso de cargue de pulpa en las camas una sola vez por ciclo, presentó los siguientes resultados (Tabla 1).

Con relación a la altura de la masa final, ésta se redujo entre un 75% y un 80% respecto al nivel inicial, respuesta que puede estar asociada con el proceso de descomposición del material, en el cual ocurre fragmentación de los tejidos que componen la pulpa, para conformar unidades orgánicas más pequeñas (24).

La lombriz suministrada al inicio del proceso registró un promedio de $2,16 \text{ kg.m}^{-2}$ en los dos ciclos; después de 6 meses, el lombriabono obtenido en base húmeda fluctuó entre 115 kg.m^{-2} y 142 kg.m^{-2} , con un promedio de $128,6 \text{ kg.m}^{-2}$ ($n=12$; $\text{CV}=16,3\%$). Dávila *et al.* (7), en una modalidad de lombricultivo diferente a la de este estudio, reportan una producción de $360 \text{ kg.m}^{-2}\text{-año}^{-1}$, partiendo de $5,0 \text{ kg.m}^{-2}$ de lombriz pura.

La variable conversión de pulpa a lombriabono fluctuó entre 38% y 46%, con un promedio del 42,1% ($n=12$; $\text{CV}=15,1\%$). En este sentido, Rodríguez (15) reporta rendimientos del proceso de lombricultura del 42% cuando se utiliza pulpa fresca y del 45% cuando el material se somete a ensilaje.

Tabla 1. Indicadores técnicos en el proceso de obtención de lombricompuesto.

Ítem	Límite Inferior	Límite Superior
Altura final lombrriabono (cm)	20,8	23,7
Lombriz inicial (g.m ⁻²)	1.777,9	2.541,5
Lombriz final (g.m ⁻²)	1.884,2	2.408,3
Lombrriabono por ciclo (kg.m ⁻²)	115,2	141,9
Conversión pulpa:lombrriabono	38%	46%

Límite inferior y superior del intervalo, con un nivel de confianza del 95%.

Actividad microbiológica en el sustrato (producción de CO₂)

Los resultados que se presentan en la Figura 1, muestran la tendencia en la producción de CO₂ hasta los 6 meses del proceso. Durante los primeros días la actividad registró en promedio 7,0 g.kg⁻¹, después de 30 días alcanzó niveles de 11,6 g.kg⁻¹, a los 60 días el valor fue de 8,9 g.kg⁻¹, y al finalizar el ciclo de 1,16 g.kg⁻¹ de CO₂. Tal como se describe con el modelo de regresión polinomial, con un R² = 0,78, bajo las condiciones evaluadas, la dinámica de la actividad microbiológica tendió a disminuir a partir de los 30 días de haber iniciado el proceso de lombricultivo y se caracteriza una fase de mayor actividad de la fauna en el sustrato, asociada con altos niveles de CO₂ (23).

En vista de que el análisis de producción de CO₂ puede constituirse en una herramienta para definir la magnitud de la actividad microbiológica en un sustrato, una alta concentración de este gas sugiere que para un momento específico, persisten estructuras orgánicas, que la microflora utiliza como fuente de energía y de carbono, como lo explican Farías *et al.* (8) y Zapata (24). Los mismos autores sostienen que dicha condición puede asociarse al hecho de que el aprovechamiento de compuestos orgánicos genera desprendimiento de calor, de amoniaco y de otras sustancias, que en conjunto conducen a la manifestación de síntomas de intoxicación de las plantas en las que se utiliza.

Características físicas del sustrato

Humedad. Se observó una disminución del 4,9% en promedio, durante los primeros 2 meses, respecto a la humedad inicial. Luego de 6 meses, el material perdió en promedio el 11,3% (Figura 2). La humedad final alcanzó un valor promedio del 70% (n=3; CV=1,27%), con poca variación a través del tiempo, dada la aplicación de riego frecuente para favorecer el desempeño de la lombriz. Bajo la modalidad de lombricultivo en camas, Blandón *et al.* (4) obtuvieron una humedad final del sustrato de 78% utilizando como material de partida pulpa fresca.

Tamaño de partículas. En el proceso de biotransformación con la lombricultura, los microorganismos son responsables de la degradación bioquímica de la materia orgánica, mientras que las lombrices son responsables de la fragmentación del sustrato, lo que aumenta el área de superficie expuesta a los microorganismos y genera modificaciones en las propiedades físicas del material (10).

Con relación a estas propiedades se observó que el lombrriabono cumplió con características de color oscuro, apariencia al tacto suelto y sin formación de aglomerados (masas o terrones) e insolubles (que no se desintegran); al tiempo que un 43% del material pasó sin presión por el tamiz seleccionado (Figura 3). Sobre este aspecto, Orozco *et al.* (14), concluyen que la granulometría del material puede considerarse

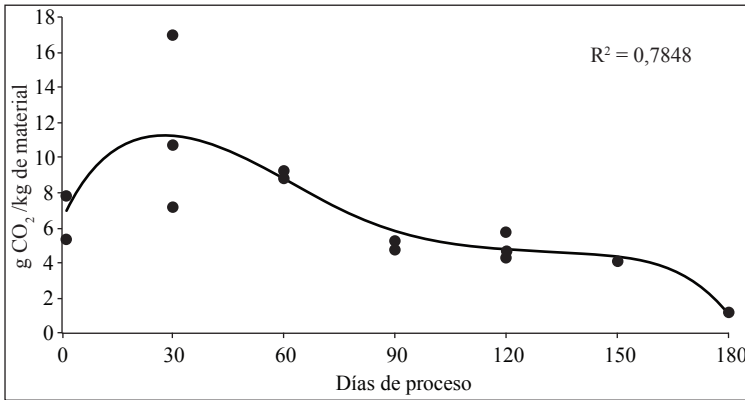


Figura 1. Producción de CO₂ durante el proceso de lombricultivo.

como un indicador de descomposición de pulpa de café, lo cual sugiere que esta propiedad puede constituirse en una herramienta de campo, para que el caficultor identifique el momento de cosecha del abono orgánico obtenido por la modalidad descrita en el estudio.

Indicadores económicos

El análisis de los indicadores económicos se fundamentó en los costos de la mano de obra y los materiales, a valores de 2014. Para la mano de obra se incluyeron las prestaciones de ley sobre el salario mensual mínimo legal vigente. La Tabla 2 lista los materiales y la mano de obra requerida en

la construcción de una caseta de 280 m²; para la estructura techada se consideró una depreciación de 4 años, de acuerdo con la vida útil de otras estructuras similares que se tuvieron en el sitio de estudio. A partir de las consideraciones anteriores se calculó un costo por metro cuadrado efectivo de lombricultivo de \$1.879 por ciclo, en promedio.

Al realizar el estudio de tiempos y movimientos en el proceso, se obtuvieron los costos de manejo por kilogramo de lombrionono (Tabla 3). La cosecha, la cual incluye pesaje, empaque y cargue, fue la más costosa, con un valor unitario de \$21,5 por kilogramo de lombrionono en promedio. El

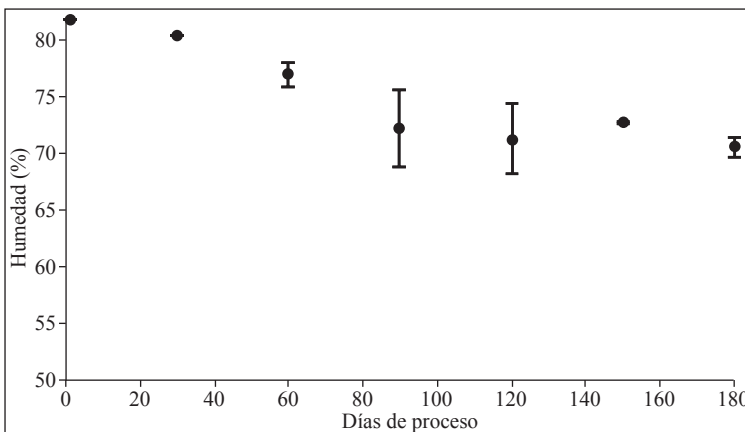


Figura 2. Contenido de humedad durante el proceso de lombricultivo (Las barras indican el intervalo de confianza $p < 0,05$).

Tabla 2. Costos asumidos en la construcción de la caseta para lombricultivo (280 m²).

Labores	Unidades	Cantidad	Valor Unitario	Subtotal	Depreciación (Cosechas de lombricultivo)	Costo por m ² de lombricultivo
Construcción de la caseta	Jornal	30,3	\$ 35.045	\$ 1.060.812	8	\$ 526
Manejo guadua, corte y cargue	Jornal	6,1	\$ 35.045	\$ 214.125	8	\$ 106
Techado	Jornal	2,0	\$ 35.045	\$ 70.090	8	\$ 35
Subtotal mano de obra		38,38	-	\$ 1.345.027	8	\$ 667
Materiales						
Esterilla (guadua) 5 m	un	36	-	-	-	-
Várrillones (guadua) 5 m	un	54	-	-	-	-
Horcones (guadua) 1,3 m	un	36	-	-	-	-
Columnas (guadua) 2,5 m	un	90	-	-	-	-
Diagonal (guadua) 3 m	un	18	-	-	-	-
Viga (guadua) 5,2 m	un	18	-	-	-	-
Viga (guadua) 6 m	un	9	-	-	-	-
Diagonal (guadua) 3,25 m	un	18	-	-	-	-
Trozos (guadua) 0,5 m	un	18	-	-	-	-
Trozos (guadua) 0,75 m	un	9	-	-	-	-
Amarras	un	930	\$ 150	\$ 139.500	8	\$ 69
Puntilla 4"	kg	5	\$ 3.650	\$ 18.250	8	\$ 9
Puntilla 1,5", 2", 2,5", 3"	lb	8	\$ 1.900	\$ 15.200	8	\$ 8
Teja de cinc 2,45 m x 0,8 m	un	155	\$ 14.650	\$ 2.270.750	8	\$ 1.126
Subtotal materiales	-	-	-	\$ 2.443.700	8	\$ 1.212
Total	-	-	-	\$ 3.788.727	8	\$ 1.879

* La guadua fue un recurso disponible en la finca (no se asumió el costo del material).

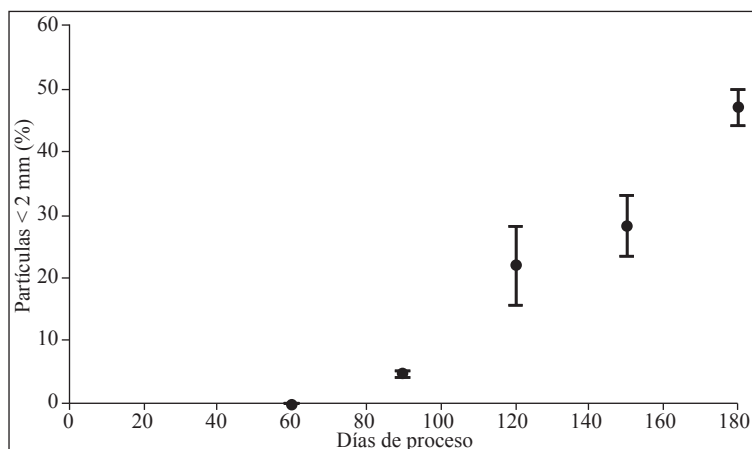


Figura 3. Cambios en el tamaño de las partículas durante el proceso de lombricultivo (Las barras indican el intervalo de confianza $p < 0,05$).

valor total por kilogramo obtenido de este insumo, incluyendo materiales, herramientas y mano de obra, fue de \$82,7 en promedio.

Con los resultados del presente estudio se ofrece al caficultor una alternativa de manejo del lombricultivo sobre la superficie del suelo, en estructura techada y con volteos periódicos. A diferencia de los lombricultivos establecidos por capas ascendentes y con

varios momentos de cargue de la pulpa; el proceso descrito permitió implementar un sólo momento de cargue y la labor de volteo del material para complementar la función de las lombrices.

Por su parte, los costos que representan el manejo de la pulpa con la lombricultura significan un ahorro en la medida que se aprovecha un subproducto del cultivo como

Tabla 3. Indicadores económicos del lombricultivo.

Actividad	Unidad	Unidades por metro cuadrado de lombricultivo				Valor del lombriabono Promedio por kg
		Ciclo 1		Ciclo 2		
		Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	
Cargue pulpa	min.	30,5	14,1	31,5	6,25	\$ 15,0
Volteo pulpa	min.	23,7	32,6	43,7	22,2	\$ 16,5
Riego	min.	19,6	-	26,6	-	\$ 11,2
Trampeo para cosecha	min.	6,9	28,6	2,0	13,2	\$ 2,1
Empaque, pesaje y cargue lombriabono	min.	33,4	27,1	54,6	36,8	\$ 21,5
Materiales construcción caseta	\$	1.212,0	-	1.212,0	-	\$ 5,5
Mano de obra construcción caseta	\$	667,2	-	667,2	-	\$ 5,3
Herramientas y materiales	\$	707,2	-	707,2	-	\$ 5,6
Lombriabono	kg	137,2		120,0		\$ 82,7

fuelle de materia orgánica, para la elaboración de almácigos de café, la cual aporta una cuarta parte del sustrato necesario, además que se evita la contaminación de fuentes de agua, suelo y atmósfera.

En general, se concluye que el material procesado a través de la técnica de lombricultivo, garantiza un proceso de biotransformación por ciclos y permite estandarizar los criterios de manejo para obtener un abono orgánico de alta calidad. En la medida en que pueda proporcionarse la cantidad de lombriz recomendada por metro cuadrado el proceso será más eficiente en la obtención del lombriabono.

LITERATURA CITADA

1. ARANGOB., L.G.; DÁVILAA., M.T. Descomposición de la pulpa de café por medio de la lombriz roja californiana. Manizales : Cenicafé, 1991. 4 p. (Avances Técnicos No. 161).
2. ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.F. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en la producción de la finca. p. 201-232. En: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.F.; MORENO B., A.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Manizales : Cenicafé, 2007. 309 p.
3. BEDOYA M., H.J.; SALAZAR A., J.N. Los lodos de la digestión anaeróbica de la pulpa del fruto del café como abono para almácigos. Cenicafé 36(4):112-124. 1985.
4. BLANDÓN C., G.; DÁVILAA., M.T.; RODRÍGUEZ V., N. Caracterización microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de café sola y con mucilago, en proceso de lombricompostaje. Cenicafé 50(1):5-23. 1999.
5. CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío de guamo. Manizales : Cenicafé, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 334).
6. CASTRO T., A.M.; RIVILLASO., C.A. Controladores biológicos, control biológico de *Meloidogyne* spp. disciplina fitopatología: Informe anual de actividades. Manizales : Cenicafé, 2010. 56 p.
7. DÁVILAA., M.T.; RAMÍREZ G., C.A. Lombricultura en pulpa de café. Manizales : Cenicafé, 1996. 11 p. (Avances Técnicos No. 225).
8. FARÍAS C., D.M.; BALLESTEROS G., M.I.; BENDECK, M. Variación de parámetros fisicoquímicos durante el proceso de compostaje. Revista colombiana de química 28:75-86. 1999.
9. FARÍAS C., D.M.; BALLESTEROS G., M.I.; BENDECK, M. Variación de diferentes parámetros de humificación durante dos tipos de compostaje con residuos lignocelulósicos de rosas. Revista colombiana de química 29:39-52. 2000.
10. FORNES, F.; HERNÁNDEZ D., D.; GARCÍA DE LA F., R.; ABAD, M.; BELDA R., M. Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. Bioresource technology 118:296-305. 2012.
11. FRANCO A., C.; GALLO C., A.; LÓPEZA., R. Efecto de la pulpa de café en el aumento de peso de los cerdos. Cenicafé 24(2):33-46. 1973.
12. GONZÁLEZ O., H. El humus en la zona cafetera colombiana: Contenido calidad y su relación con algunas propiedades físicas y químicas del suelo. p. 11-32. En: SCCS. Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola. Armenia : SCCS : Cenicafé, 2009. 136 p.
13. MONTILLA P., J.; ARCILA P., J.; ARISTIZÁBAL L., M.; MONTOYA R., E.C.; PUERTA Q., G.I.; OLIVEROS T., C.E.; CADENAG., G. Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. Manizales : Cenicafé, 2008. 8 p. (Avances Técnicos No. 370).
14. OROZCO F., H.; CEGARRA, F.; TRUJILLO L., M.; ROIG, A. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*: Effects on C and N contents and availability of nutrients. *Biology and fertility of soils* 22:162-166. 1996.
15. RODRÍGUEZ V., N. Ensilaje de pulpa de café. Manizales : Cenicafé, 2003. 8 p. (Avances Técnicos No. 313).
16. RODRÍGUEZ V., N. Producción de biocombustibles a partir de los subproductos del Café: IV simposio de química aplicada los biocombustibles. Armenia : SIQUIA, 2009.
17. RODRÍGUEZ V., N.; ZAMBRANO F., D.A. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable.

- Manizales : Cenicafé, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 393).
18. SADEGHIAN K., S. La materia orgánica: Componente esencial en agroecosistemas cafeteros de Colombia. En: SCCS. Materia orgánica, biología del suelo y productividad agrícola. Armenia : SCCS : Cenicafé, 2009. 136 p.
 19. SALAZAR A., J.N. La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almácigos de café. Manizales : Cenicafé, 1992. 2 p. (Avances Técnicos No. 178).
 20. SUÁREZ V., S. La materia orgánica en la nutrición del café y el mejoramiento de los suelos de la zona cafetera. Manizales : Cenicafé, 2001. 8 p. (Avances Técnicos No. 283).
 21. URIBE H., A. Fosas para pulpa de café. Manizales : Cenicafé, 1977. 4 p. (Avances Técnicos No. 68).
 22. URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Influencia de la pulpa del café en la producción del café. Cenicafé 34(2):44-58. 1983.
 23. WILLIAM P., C.; MICHAEL, T.; ROWAN, C. Evaluation by respirometry of the loading capacity of a high rate vermicompost bed for treating sewage sludge. Bioresource technology 98(13):2611-2618. 2007
 24. ZAPATA H., R.D. El compostaje y los índices para evaluar su estabilidad. p. 33-42. En: SCCS. Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola. Armenia : SCCS : Cenicafé, 2009. 136 p.