

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LA PULPA DE CAFÉ SOLA Y CON MUCÍLAGO, EN PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE

Gladis Blandón-Castaño*; María Teresa Dávila-Arias**; Nelson Rodríguez-Valencia**

RESUMEN

BLANDÓN C., G.; DÁVILA A., M. T.; RODRÍGUEZ V., N. Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. Cenicafé 50(1):5-23. 1999.

Se realizó un estudio microbiológico y físico-químico de la pulpa de café, sola y mezclada con mucílago, en tres estados: fresca, con dos meses de almacenamiento en pilas y luego de su transformación por la lombriz *Eisenia foetida*, con el fin de conocer su valor potencial como fertilizante biológico. La pulpa y el mucílago presentan alta riqueza microbiana, principalmente en bacterias y levaduras. Los microorganismos identificados, a nivel de género, comunes en los sustratos frescos fueron: *Enterobacter*, *Staphylococo*, *Serratia*, *Candida*, *Torulopsis*, *Rhodotorula*, *Escherichia* y *Citrobacter*. Los comunes en los sustratos a los dos meses, fueron: *Aspergillus*, *Candida*, *Escherichia*, *Streptomyces*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Pseudomonas* y *Sarcina*. Los comunes en ambos lombricompostos fueron: *Aeromonas*, *Aspergillus*, bacilos gram(+), *Citrobacter*, *Cladosporium*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Streptomyces*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Klebsiella*, *Penicillium* y *Pseudomonas*. En el lombricompostado de pulpa sola se identificaron 11 géneros de bacterias, 5 géneros de hongos y 2 géneros de actinomicetos. En el lombricompostado de pulpa mezclada con mucílago se encontraron 14 géneros de bacterias, 5 de hongos, 2 de levaduras y 3 géneros de actinomicetos. *Enterobacter*, *Escherichia* y *Streptomyces*, se conservaron durante el lombricompostaje de pulpa sola; *Citrobacter*, *Serratia* y *Pseudomonas*, en el lombricompostaje de pulpa mezclada con mucílago. El lombricompostado obtenido de pulpa sola presentó mayores porcentajes de materia orgánica y minerales.

Palabras claves: Subproductos del café, pulpa de café, mucílago de café, lombricompostaje, lombricompostado, microorganismos, abono orgánico, lombriz roja, *Eisenia foetida*.

ABSTRACT

A microbiological and physico-chemical study of coffee pulp, alone and mixed with mucilage was carried out for three states: fresh, after two months of pile storage, and transformed by earthworm *Eisenia foetida*, in order to explore its potential value as an organic fertilizer. Coffee pulp and mucilage showed high microbial richness, mainly represented by bacteria and yeast. The common microorganisms identified in fresh substrates were *Enterobacter*, *Staphylococo*, *Serratia*, *Candida*, *Torulopsis*, *Rhodotorula*, *Escherichia*, and *Citrobacter*. The most commonly identified microorganisms in substrate stored for two months were *Aspergillus*, *Candida*, *Escherichia*, *Streptomyces*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Pseudomonas* and *Sarcina*. The common microorganisms identified in two vermicompost were *Aeromonas*, *Aspergillus*, gram(+) bacillus, *Citrobacter*, *Cladosporium*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Streptomyces*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Klebsiella*, *Penicillium* and *Pseudomonas*. Eleven genera of bacteria, 5 genera of fungi, and 2 genera of actinomycetes were identified in vermicompost from coffee pulp alone, whereas 14 genera of bacteria, 5 genera of fungi, 2 genera of yeasts, and 3 genera of actinomycetes were identified in vermicompost from coffee pulp mixed with mucilage. *Enterobacter*, *Escherichia*, *Streptomyces* were preserved during vermicomposting from coffee pulp alone; *Citrobacter*, *Serratia* and *Pseudomonas* during vermicomposting of coffee pulp with mucilage. Vermicompost from coffee pulp alone showed higher percentages of organic matter and minerals.

Keywords: Coffee by-products, coffee pulp, coffee mucilages, vermicomposting, vermicompost, microorganisms, organic fertilizer, red earthworm, *Eisenia foetida*.

* Licenciada en Biología y Química Universidad de Caldas y Bacterióloga Universidad Católica de Manizales.

** Asistentes de Investigación. Química Industrial. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La pulpa y el mucílago constituyen los subproductos más abundantes del proceso de beneficio húmedo del café y representan alrededor del 60% del peso del fruto fresco (5). Cuando no se utilizan adecuadamente generan la mayor fuente de contaminación ambiental en la zona cafetera. Se ha calculado que la pulpa y el mucílago generados durante el beneficio húmedo del café, para la obtención de una arroba de café pergamino seco, producen una contaminación equivalente a la generada por los excrementos y orina de 100 personas en un día (19).

En Cenicafé se han realizado estudios en los cuales se utiliza el cultivo de la lombriz roja *Eisenia foetida* para acelerar la transformación de estos subproductos en abono orgánico y, de esta forma, valorizarlos. Se ha encontrado que mediante este sistema se puede reducir el tiempo de descomposición de la pulpa al 61% del necesario utilizando el sistema de volteos cada quince días (7). En la actualidad la práctica está siendo adoptada por los caficultores para la transformación de los residuos, como componente importante de la tecnología de beneficio ecológico del café (10,11).

Mediante el uso adecuado de la lombricultura se incrementa la población de lombrices, que puede utilizarse como pie de cría para nuevos cultivos o como fuente de proteína en la alimentación animal, y lombricompost que, por sus propiedades físico-químicas y microbiológicas, constituye un auténtico fertilizante biológico (8).

La importancia de los abonos orgánicos radica en que proporcionan nutrimentos al cultivo, mejoran las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, incrementando su productividad y por tanto, disminuyendo indirectamente el uso de fertilizantes químicos y los costos de producción.

La disponibilidad para las plantas de los elementos N, P y S, y los menores Fe, Mn y Zn,

entre otros, depende del tipo, número y actividad de varios organismos capaces de utilizar eficientemente el carbono de los restos vegetales acumulados. La presencia de lombrices permite crear unas condiciones de humedad, ventilación y pH favorables a los microorganismos, principalmente hongos y bacterias, que descomponen los residuos orgánicos. Así, la densidad y el número de especies de microorganismos son más abundantes en los lombricompostos que en los suelos de los alrededores. Las lombrices actúan como descomponedores pero su efecto no se puede aislar de la acción de los microorganismos, ya que algunos de éstos viven tanto en el suelo como en el tubo digestivo de las lombrices (1).

Otro aspecto que se resalta en los lombricompostos es la presencia de fitohormonas. Se han reportado hormonas de plantas en las lombrices y se ha demostrado su bioactividad. También se ha encontrado que estas hormonas son producidas por los diferentes microorganismos presentes en los lombricompostos (2).

Se conocen varios estudios sobre la composición química de la pulpa fresca (3, 5, 14), y del lombricompost obtenido por acción de la lombriz roja (11, 15), en donde se registra la bondad de este material descompuesto en cuanto a su composición físico-química. Muchos autores han demostrado la importancia de los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal y los lombricompostos presentan la propiedad de su gran riqueza microbiana, no obstante, son muy pocos los estudios disponibles sobre la caracterización de la microflora presente en ellos.

Esta investigación tuvo como objetivo, caracterizar la flora microbiana a nivel de género presente en los lombricompostos obtenidos a partir de pulpa sola y pulpa mezclada con mucílago, componentes orgánicos ampliamente utilizados como abono y acondicionadores

físicos en la producción de café. Los resultados presentados serán de utilidad en estudios relacionados con la influencia de la cantidad y la calidad de los microorganismos sobre la producción vegetal, cuando el lombricompuesto se utiliza como abono orgánico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La fase de campo del experimento se realizó en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas, que reúne las siguientes condiciones: latitud Norte: 5°14', longitud Oeste: 75°47', altitud: 1550 msnm, temperatura media anual: 19,6°C, precipitación: 2000 mm/año¹.

La fase de laboratorio se realizó en los laboratorios de la Disciplina de Química Industrial de Cenicafé en Chinchiná, Caldas, donde se presentan las siguientes condiciones: 5°00' de latitud Norte; 75°36' de longitud Oeste; 1310 de altitud, 1310msnm, 21,3°C de temperatura media anual, precipitación de 2982,3 mm/año, 239 días de lluvia, humedad relativa de 78,1% y brillo solar de 1686,1 horas (6).

Materiales. Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los siguientes materiales:

Pulpa de café. Se utilizaron 1200kg de pulpa fresca proveniente del despulpado sin agua de *C. arabica*.

Pulpa de café mezclada con mucílago. Se usaron 2400kg de este sustrato fresco proveniente del beneficio de café cereza de la especie *C. arabica*, obtenida en los módulos BECOLSUB² de la Central de Beneficio de Anserma.

Lombricultivos. Se construyeron 8 camas de 1,3m de longitud, 1m de ancho y 40cm de altura, en ladrillo y con base de cemento. En ellas se sembró la lombriz roja, *Eisenia foetida*, con una densidad aproximada de 5kg de lombriz pura por m².

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de clasificación simple para evaluar la presencia de microorganismos en los sustratos pulpa sola y pulpa mezclada con mucílago, en diferentes estados de descomposición: frescos, con dos meses de almacenados en pilas y transformados en lombricompuestos.

Tratamientos. La caracterización físico-química y microbiológica se realizó para los sustratos (tratamientos) descritos en la Tabla 1.

Metodología. Para los tratamientos 1, 2 y 3 se utilizó como sustrato la pulpa de café mezclada con mucílago. Inmediatamente se realizó el beneficio del café en cereza, se recogió una pila de 2400kg de mezcla de pulpa y mucílago, se tomaron ocho muestras compuestas al azar de 200g, cuatro para análisis físico-químico y cuatro para el análisis microbiológico. A partir de la pila inicial de pulpa mezclada con mucílago se formaron cuatro pilas de 600kg cada una, las cuales se dejaron en reposo durante dos meses. Luego se tomó una muestra compuesta de cada una de ellas, para realizar el análisis físico-químico y microbiológico. Después, estas pilas se utilizaron como alimento en cuatro camas del lombricultivo durante aproximadamente un mes, hasta obtener el lombricompuesto, momento en el cual se tomaron seis muestras compuestas de 200g cada una de cada cama, tres para análisis físico-químico y tres para análisis microbiológico.

Para los tratamientos 4, 5 y 6 se utilizó como sustrato pulpa sola, obtenida de una operación de despulpado sin agua. Se recogió una pila inicial de 1200kg, que se distribuyó en dos pilas de 600kg. Los muestreos y la utilización poste-

¹ BALDIÓN R., J. V. Agroclimatología. Cenicafé (Comunicación personal).

² Beneficio Ecológico del Café y de los Subproductos.

TABLA 1. Tratamientos evaluados en el lombricompostaje de los subproductos del beneficio del café.

Tratamiento	Descripción
1	Pulpa mezclada con mucílago, fresca
2	Pulpa mezclada con mucílago, después de estar en pilas durante dos meses
3	Lombricompuesto obtenido de pulpa mezclada con mucílago
4	Pulpa de un despulpado en seco, sola y fresca
5	Pulpa sola, después de estar en pilas durante dos meses
6	Lombricompuesto obtenido de pulpa sola

rior de la pulpa, en cuatro camas del lombricultivo, se hicieron en la forma indicada para el sustrato: pulpa mezclada con mucílago.

Evolución del proceso de lombricompostaje.

El seguimiento del proceso de lombricompostaje se realizó mediante la evaluación de los siguientes parámetros: al inicio (sustratos frescos), a los dos meses (antes de utilizarlos como alimento en lombricultivos) y al final del proceso (lombricompuestos). Los análisis realizados fueron los siguientes:

Análisis físico-químico. Se realizaron las determinaciones del pH, humedad, contenidos de materia orgánica, cenizas, nitrógeno, proteína, fibra, grasas y minerales. Se emplearon los métodos:

Para pH el método potenciométrico 1:4; para la humedad el calentamiento en estufa a 60°C hasta peso constante; para cenizas la incineración a 475°C; para N₂ la técnica semimicro Kjeldahl; para MO la fórmula 100-%cenizas; para proteína N₂x6,25; para K, Ca y Mg la espectrofotometría de absorción atómica; para P el método colorimétrico (fosfomolibdovanadato de amonio); para grasas el de Soxhlet; para fibra cruda la técnica de Weende A.O.A.C.; para carbohidratos solubles la fórmula 100-(% grasas + % proteína + % fibra + % cenizas) y para C la fórmula (100-% de cenizas)/1,8.

Análisis microbiológico. Las muestras para el análisis microbiológico se recolectaron con equipo esterilizado y se refrigeraron a 4°C hasta su análisis con el fin de evitar una variación en el número de microorganismos presentes. Para cada muestra se hicieron las siguientes determinaciones: aerobios mesófilos (UFC/g), hongos y levaduras (UFC/g), coliformes totales y fecales (NMP/g), actinomycetos (UFC/g) e identificación de microorganismos presentes. La metodología utilizada para efectuar los análisis microbiológicos, tanto en cuantificación como en identificación, aparece condensada en la Figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dada la naturaleza físico-química de la pulpa y el mucílago del café, tienen asentamiento en ellos una gran variedad de microorganismos en la fase de transformación y estabilización de la materia orgánica que los constituye.

SUSTRATOS FRESCOS. El recuento de la microflora presente en el sustrato inicial de pulpa fresca sola, mostró un valor para los aerobios mesófilos del orden de $4,5 \times 10^7$ UFC/g y para los hongos y levaduras del orden de $3,1 \times 10^8$ UFC/g (Tabla 2).

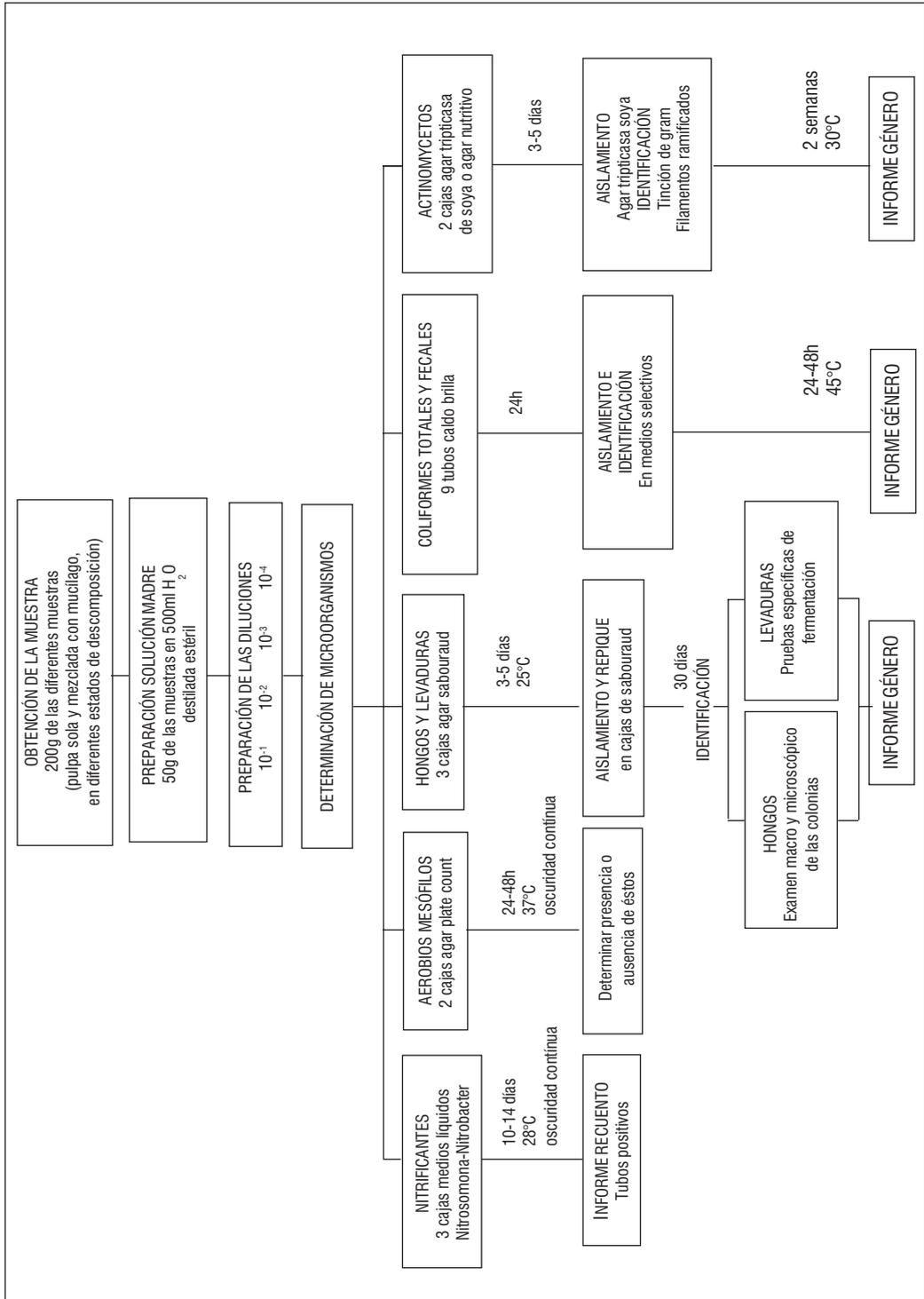


Figura 1. Metodología para el análisis microbiológico de las diferentes muestras.

TABLA 2. Cuantificación de los microorganismos en el proceso de lombricompostaje de la pulpa sola y mezclada con mucílago.

Tratamiento	Aerobios mesófilos (UFC/g x10 ⁵)	Actinomycetos (UFC/g x10 ⁵)	Hongos y Levaduras (UFC/g x10 ⁵)	Coliformes totales (NMP/g)	Coliformes fecales (NMP/g)
Pulpa mezclada con mucílago, fresca	18,48	0,00	210,40	67,25	0,00
Pulpa mezclada con mucílago, después de estar en pilas durante dos meses	6,56x10 ⁷	25,50	107,95	825,75	825,50
Lombricompuesto obtenido de pulpa mezclada con mucílago	6,99x10 ⁵	119,00	6,91	475,08	680,75
Pulpa de un despulpado en seco, sola y fresca	4,59x10 ²	105,00	3117,50	1100,00	1100,00
Pulpa sola, después de estar en pilas durante dos meses	7,43x10 ⁵	112,50	136,50	1100,00	1100,00
Lombricompuesto obtenido de pulpa sola	1,43x10 ⁶	325,08	2,70	890,00	733,67

Esta alta carga microbiana estuvo favorecida por la humedad del sustrato (74,83%) y el contenido de carbohidratos solubles (69,31%) (Tabla 3).

También el recuento microbiano en el sustrato inicial de pulpa mezclada con mucílago fue alto; para aerobios mesófilos fue del orden de $1,8 \times 10^6$ UFC/g y para hongos y levaduras de $2,1 \times 10^7$ NMP/g, con predominio absoluto de las levaduras. En este sustrato no se encontraron hongos, debido a que ellos actúan principalmente en la degradación de sustancias más complejas como celulosa, hemicelulosa y lignina.

Llama la atención el número de actinomycetos encontrado en el sustrato pulpa sola, del orden de 1×10^7 UFC/g, que no estuvieron presentes en el sustrato pulpa mezclada con mucílago ya que estos microorganismos actúan en las fases posteriores de la transformación,

cuando ya se han degradado las sustancias fácilmente fermentables y su función específica es la de degradar celulosa y lignina. Su presencia se debió, probablemente, a que en este sustrato se encontraron restos de cascarilla y de café despulpado, materiales que fácilmente pudieron pasar a la pulpa durante la etapa de despulpado, dada la heterogeneidad en el tamaño del grano del café cereza beneficiado.

El recuento de los coliformes totales fue mayor en pulpa fresca, de 1100 NMP/g, respecto al de la pulpa mezclada con mucílago en el cual el promedio fue de 67,25 NMP/g. La mayor cantidad de éstos en pulpa sola, estuvo favorecida por los mayores valores de pH y de carbohidratos solubles, lo mismo que por las condiciones de aerobiosidad.

El grupo de coliformes fecales estuvo presente en el sustrato pulpa fresca, recuento de

TABLA 3. Resultados del análisis físico-químico de los sustratos de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago en tres pasos 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	79,60	78,05	87,90	83,33	79,48
pH	4,40	8,25	8,63	4,13	7,08	9,33
Cenizas (%)	6,66	14,68	44,06	7,30	10,17	50,21
Grasas (%)	1,60	1,49	0,16	2,00	1,82	0,20
Proteína (%)	11,00	19,91	23,25	12,11	18,14	25,89
Fibra (%)	11,43	29,47	12,55	17,16	25,04	16,84
CHO solubles (%)	69,31	34,47	20,00	61,44	44,83	6,86
MO (%)	93,34	85,33	55,94	92,70	89,83	49,79
C/N	30,72	15,55	8,73	27,95	18,60	6,98
N (%)	1,76	3,19	3,72	1,94	2,90	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	5,50
Ca (%)	0,32	0,75	1,15	0,37	0,75	1,30
Mg (%)	0,08	0,18	0,21	0,11	0,18	0,25
Fe (ppm)	158,75	1575	3062,50	700,00	1170,00	2201,67
Mn (ppm)	69,00	95,50	163,33	43,00	96,50	179,83
Zn (ppm)	8,25	76,00	149,17	45,75	83,50	118,67
Cu (ppm)	9,75	15,00	6,92	17,75	17,00	7,33
B (ppm)	21,75	45,00	73,67	18,75	38,00	67,08

1100 NMP/g. Estos microorganismos son importantes porque representan un papel fundamental en los procesos de óxido-reducción. No se encontró este grupo en el sustrato pulpa mezclada con mucílago, probablemente porque no existían las condiciones adecuadas para su crecimiento.

Comparación estadística de los recuentos microbiológicos. El análisis estadístico de la información mostró diferencias entre los tratamientos pulpa fresca y pulpa mezclada con mucílago, según Tukey al 5%, en los siguientes grupos de microorganismos: hongos y levaduras, coliformes totales y coliformes fecales. El

mayor contenido de aerobios mesófilos, levaduras y actinomycetos en la pulpa sola, comparada con la pulpa mezclada con mucílago, se debe al menor contenido de humedad y a un mayor contenido de carbohidratos solubles. Lo anterior permitió que se tuviese en el sustrato pulpa sola una mayor disponibilidad de nutrientes para el establecimiento de estos microorganismos y unas condiciones físicas del medio más propicias para su crecimiento, como la aireación y el pH.

Comparación estadística de los análisis físico-químicos. Con relación a la evaluación físico-química de los tratamientos, el análisis de

varianza mostró diferencias significativas, al 5%, en las variables: humedad, grasas y fibra. El contenido de humedad fue mayor en la pulpa mezclada con mucílago debido a que durante la mezcla de estos dos subproductos se presentaron unos drenados que tuvieron un efecto lixivador sobre la pulpa, arrastrando parte de sus minerales. De esta forma, el peso de la materia orgánica fue mayor en la pulpa fresca.

Géneros de microorganismos identificados.

En la pulpa de café sola se encontraron los géneros: *Enterobacter*, *Staphylococcus*,

Serratia, *Candida*, *Torulopsis*, *Rhodotorula*, *Escherichia*, *Citrobacter*, *Hafnia* y *Streptomyces*. Todos éstos, excepto *Hafnia* y *Streptomyces*, se encontraron igualmente en la pulpa mezclada con mucílago (Tabla 4).

En el sustrato pulpa mezclada con mucílago se encontraron varios géneros de microorganismos que no estuvieron presentes en la pulpa sola, entre ellos *Saccharomyces*, que es una levadura de gran aplicación a escala industrial y con una gran potencialidad, una vez aislada, para ser utilizada en la producción de alcohol a partir del mucílago de café.

TABLA 4. Microorganismos identificados en el proceso de lombricompostaje de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago.

Pulpa de café sola			Pulpa de café mezclada con mucílago		
Fresca	Dos meses pilas	Lombricompuesto	Fresca	Dos meses pilas	Lombricompuesto
<i>Candida</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Actinomadura</i>	<i>Acinetobacter</i>	<i>Actinomadura</i>	<i>Aeromonas</i>
<i>Citrobacter</i>	<i>Candida</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Alcaligenes</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Aspergillus</i>
<i>Enterobacter</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Candida</i>	<i>Alcaligenes</i>	<i>Bacilos gram(+)</i>
<i>Escherichia</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Bacilos gram(+)</i>	<i>Citrobacter</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Citrobacter</i>
<i>Hafnia</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Citrobacter</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Candida</i>	<i>Cladosporium</i>
<i>Rhodotorula</i>	<i>Geotrichum</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Citrobacter</i>	<i>Chromobacterium</i>
<i>Serratia</i>	<i>Intraesporangium</i>	<i>Chromobacterium</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Chromobacterium</i>	<i>Enterobacter</i>
<i>Staphylococo</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Estaphylococo</i>
<i>Streptomyces</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Proteus</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Flavobacterium</i>
<i>Torulopsis</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Geotrichum</i>	<i>Fusarium</i>
	<i>Sarcina</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Rhodotorula</i>	<i>Lactobacillus</i>	<i>Geotrichum</i>
	<i>Staphylococcus</i>	<i>Geotrichum</i>	<i>Saccharomyces</i>	<i>Nocardia</i>	<i>Hafnia</i>
	<i>Streptomyces</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Serratia</i>	<i>Proteus</i>	<i>Intraesporangium</i>
		<i>Penicillium</i>	<i>Staphylococo</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Klebsiella</i>
		<i>Providencia</i>	<i>Torulopsis</i>	<i>Rhodotorula</i>	<i>Nocardia</i>
		<i>Pseudomonas</i>		<i>Sacchapolyspora</i>	<i>Penicillium</i>
		<i>Streptomyces</i>		<i>Sarcina</i>	<i>Plesiomonas</i>
		<i>Xanthomona</i>		<i>Serratia</i>	<i>Pseudomonas</i>
				<i>Shewanella</i>	<i>Saccharomyces</i>
				<i>Streptomyces</i>	<i>Sarcina</i>
				<i>Vibrio</i>	<i>Serratia</i>
					<i>Streptomyces</i>
					<i>Torula</i>
					<i>Vibrio</i>

Géneros como *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Proteus*, *Alcaligenes* y *Klebsiella*, encontrados en la pulpa mezclada con mucílago pero ausentes en la pulpa sola, son microorganismos que solubilizan el fósforo y cuya presencia en este sustrato se debió, probablemente, a una mayor disponibilidad del elemento, si se compara con su contenido en la pulpa sola.

Daivaskamani (9), encontró que la pulpa del café es un medio apto para el desarrollo de microorganismos como hongos y bacterias, debido a su alto contenido de humedad. El autor aisló, de este sustrato, *Aspergillus niger*, *Aspergillus ochraceus*, actinomycetos, *Penicillium* sp, *Cladosporium* sp y levaduras.

Tauk (16) realizó estudios microbiológicos en pulpa de café fresca y con varios días de descomposición, aislando bacterias, hongos, levaduras y actinomycetos. Los resultados demostraron que las bacterias y levaduras predominan en la pulpa fresca; los hongos y actinomycetos se desarrollaron posteriormente.

En otro trabajo realizado por el mismo autor en pulpa de café (17), se determinó la presencia de la levadura *Hansenula polymorpha*, efectiva en la descomposición de la pulpa prensada, así como de *Aspergillus niger*, *Rhizopus* sp., *Candida utilis*, *Candida tropicalis*, *Hansenula anomala*, *Hansenula polymorpha* y *Bretanomyces* sp.

Gaime *et al* (12) encontraron en pulpa de café una gran diversidad de microorganismos celulolíticos, pectinolíticos y amilolíticos. La mayor parte de la microflora bacteriana identificada correspondió a bacterias lácticas.

SUSTRATOS A LOS DOS MESES. Durante el tiempo (dos meses) que se dejaron apilados los productos iniciales antes de llevarse a los lombricultivos, se presentaron cambios físico-químicos y microbiológicos en ambos sustratos.

Evolución del sustrato pulpa sola. Al realizar un análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%, al cabo de dos meses, se encontraron diferencias significativas en la composición físico-química, al compararlo con el sustrato pulpa fresca en las variables N, P, K, Ca, B, fibra, proteína, carbohidratos solubles, pH y relación C/N. Los incrementos presentados a los dos meses en el contenido de N, P, K, Ca, B, se debieron al proceso de transformación de la materia orgánica lo cual causa disminución en la relación C/N y el contenido de carbohidratos solubles por la pérdida del carbono en forma de CO₂, es decir, que disminuye la relación materia seca y N, P, K, Ca y B.

Respecto al recuento de microorganismos se presentaron diferencias significativas, únicamente para la variable hongos y levaduras, que pasaron de 3,1x10⁸ UFC/g en el sustrato inicial a 1,4x10⁷ UFC/g en el sustrato a los dos meses. Esta disminución se debe al agotamiento de los azúcares simples que sirven como sustrato y que se ve reflejado en la disminución de carbohidratos solubles (Tabla 3).

En el sustrato a los dos meses se presentó un incremento en el recuento de aerobios mesófilos, favorecido por las condiciones físico-químicas del mismo (incremento en el pH, el nitrógeno y el fósforo).

Evolución del sustrato pulpa mezclada con mucílago. Al comparar el sustrato pulpa mezclada con mucílago a los dos meses con el sustrato inicial, se presentaron diferencias significativas en las variables N, P, Ca, Mn, B, proteína, fibra (mayores en el sustrato a los dos meses) y carbohidratos solubles y relación C/N (menores en el sustrato a los dos meses), debido al proceso de transformación de la materia orgánica.

En la parte microbiológica se encontraron diferencias significativas, únicamente en la

variable aerobios mesófilos, los cuales presentaron un incremento en el sustrato a los dos meses, que se vieron favorecidos probablemente porque los microorganismos se encontraban en su fase exponencial de crecimiento y con unas condiciones del sustrato adecuadas (mayores valores de pH, nitrógeno y fósforo).

El recuento de coliformes totales y fecales se incrementó en el sustrato a los dos meses, al igual que el recuento de actinomycetos; mientras que el recuento de hongos y levaduras disminuyó, probablemente por el agotamiento de los azúcares simples y el incremento del contenido de fibra del sustrato.

Comparación estadística entre los sustratos pulpa sola y pulpa mezclada con mucílago a los dos meses. Se presentaron diferencias significativas al 5%, entre el sustrato pulpa sola y el sustrato pulpa mezclada con mucílago, a los dos meses, en las variables: P (0,23% para el primero y 0,18% para el segundo), K (6,55% y 3,79%), pH (8,25 y 7,08), carbohidratos solubles (34,47% y 44,83%) y en el grupo de microorganismos aerobios mesófilos ($7,4 \times 10^{10}$ UFC/g y $6,6 \times 10^{12}$ UFC/g).

Géneros de microorganismos identificados. A los dos meses se aislaron los siguientes géneros de microorganismos que fueron comunes en ambos sustratos: *Aspergillus*, *Candida*, *Escherichia*, *Streptomyces*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Pseudomonas* y *Sarcina*.

Los géneros *Enterobacter*, *Intraesporangium*, *Klebsiella*, *Penicillium* y *Staphylococcus*, estuvieron presentes sólo en el sustrato pulpa, mientras que los géneros *Actinomadura*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Citrobacter*, *Chromobacterium*, *Lactobacillus*, *Nocardia*, *Proteus*, *Rhodotorula*, *Saccharopolyspora*, *Serratia*, *Shewanella* y *Vibrio*, se encontraron sólo en el sustrato pulpa mezclada con mucílago.

Los géneros *Candida*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Streptomyces* y *Staphylococcus*, se conservaron en el sustrato pulpa sola durante estetiempo, y los géneros *Alcaligenes*, *Candida*, *Citrobacter*, *Escherichia*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Rhodotorula* y *Serratia* permanecieron en el sustrato pulpa mezclada con mucílago.

La forma como varía la composición físico-química de los sustratos, por acción de su microflora natural, hace que se presente una selectividad en los géneros de microorganismos que en ellos permanecen, la cual se hace cada vez mayor a medida que el proceso de estabilización de la materia orgánica avanza. De esta forma los cambios en la composición química de los sustratos son responsables de la aparición y desaparición de diferentes géneros de microorganismos que se establecen durante la dinámica de fermentación de los sustratos.

LOMBRICOMPUESTOS. Lombricompuerto obtenido de pulpa sola. Al analizar la composición química del lombricompuerto obtenido a partir de pulpa sola se observaron diferencias significativas al 5%, en las variables N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Zn, cenizas, proteína y pH (en las cuales se presentó un incremento); materia orgánica, relación C/N, grasas y carbohidratos solubles (en las cuales se presentó un decremento), con respecto al sustrato fresco.

De igual manera, en cuanto a los grupos de microorganismos, se presentaron diferencias significativas únicamente para hongos y levaduras, que pasaron de $3,1 \times 10^8$ UFC/g en el sustrato fresco a $2,7 \times 10^5$ UFC/g en el lombricompuerto. Este decremento es claro, debido a la escasez de los nutrimentos para las levaduras y para los hongos.

En lo que respecta a los aerobios mesófilos se presentó un incremento pasando de $4,6 \times 10^7$ UFC/g en la pulpa fresca sola a $1,4 \times 10^{11}$ UFC/g en el lombricompuerto obtenido a partir de este

sustrato. Los coliformes totales y fecales pasaron de $1,1 \times 10^3$ NMP/g en el sustrato fresco, a $8,9 \times 10^2$ NMP/g y $7,3 \times 10^2$ NMP/g, respectivamente, en el lombricompuesto. Los actinomicetos pasaron de 1×10^7 UFC/g en el sustrato fresco a $3,3 \times 10^7$ UFC/g en el lombricompuesto.

Las lombrices tienen papeles positivos y múltiples dentro de los ecosistemas; su impacto real es difícilmente calculable. Indirectamente se conoce que las lombrices tienen una acción estimulante neta sobre la microflora presente en su hábitat, registrándose efectos multiplicadores que varían entre 2 y 5 (2).

Lombricompuesto obtenido de pulpa mezclada con mucílago. Al analizar la composición química de este sustrato se puede observar que se presentaron diferencias significativas, según el análisis de varianza en las variables N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B, cenizas, proteína y pH (en las cuales se presentó un incremento); humedad, materia orgánica, relación C/N, grasas y carbohidratos solubles (en las cuales se presentó un decremento), con respecto al sustrato fresco.

Se observó un incremento en el recuento de aerobios mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales y actinomicetos, y un decremento en el recuento de hongos y levaduras en el lombricompuesto obtenido de la pulpa mezclada con mucílago, al compararlo con el sustrato fresco. La disminución en el recuento de hongos y levaduras se debe a la escasez de los nutrientes para tales microorganismos.

Cambios en los sustratos por acción de la lombriz. Al realizar una comparación entre lo que consumió la lombriz (sustratos a los dos meses de estar en pilas, que le sirvieron de alimento) y lo que expulsó (excremento de la lombriz o lombricompuesto), para el caso del sustrato pulpa sola se presentaron diferencias

significativas, en las variables N (3,19% y 3,72%), P (0,23% y 0,44%), K (6,55% y 9,64%), Ca (0,75% y 1,15%), Fe (1575 ppm y 3063 ppm), Mn (95,5 ppm y 163,3 ppm), B (45 ppm y 73,7 ppm), cenizas (14,68% y 44,06%), materia orgánica (85,33% y 55,94%), relación C/N (15,55 y 8,73), grasas (1,49% y 0,16%), fibra (29,47% y 12,55%) y carbohidratos solubles (34,47% y 20,00%).

No se presentaron diferencias significativas en este sustrato en los diferentes grupos de microorganismos; sin embargo, los resultados mostraron el efecto multiplicador de la lombriz roja de 2 para los aerobios mesófilos y 3 para los actinomicetos.

Para el caso del sustrato pulpa mezclada con mucílago hubo diferencias significativas en las variables: N (2,90% y 4,14%), P (0,18% y 0,31%), K (3,79% y 5,50%), Ca (0,75% y 1,30%), Mg (0,18% y 0,25%), Fe (1170 ppm y 2202 ppm), Mn (96,50 ppm y 179,83 ppm), B (38 ppm y 67,08 ppm), cenizas (10,17% y 50,21%), materia orgánica (89,83% y 49,79%), relación C/N (18,60 y 6,98), pH (7,08 y 9,33), grasas (1,82% y 0,20%), proteína (18,14% y 25,89%), fibra (25,04% y 16,84%) y carbohidratos solubles (44,83% y 6,86%).

Sólo se presentaron diferencias significativas en el grupo de aerobios mesófilos, presentando valores de $6,56 \times 10^{12}$ UFC/g en el sustrato a los dos meses y $6,99 \times 10^{10}$ UFC/g en el lombricompuesto, y sólo se observó el efecto multiplicador de la lombriz en el grupo de los actinomicetos, del orden de 4,5.

No se presentaron diferencias significativas para ninguno de los sustratos en las variables Zn y Cu; pero en el caso del Cu se observó la capacidad que tiene la lombriz roja de acumular en su cuerpo este metal pesado el cual, para la pulpa sola pasó de 15ppm en el sustrato que le sirvió de alimentación a la lombriz a 6,92ppm

en el lombricompuesto. Para la pulpa mezclada con mucílago el Cu pasó de 17ppm en el sustrato alimenticio a 7,33ppm en el lombricompuesto.

Hartenstein *et al*, 1980, citado por Mustin (13), mostraron que los metales pesados se acumulan en los tejidos de las lombrices, en particular para *Eisenia foetida*, según estudios con metales como el Cd, Pb, Ni, Zn y Cu.

Comparación entre los lombricompuestos obtenidos. Al comparar los análisis físico-químicos y microbiológicos de los lombricompuestos obtenidos a partir de pulpa sola y mezclada con mucílago, se observaron diferencias significativas en las variables N, P, K, Fe, B, materia orgánica, relación C/N, grasas, fibra y carbohidratos solubles.

Para el nitrógeno se determinó un valor de 3,72% en el lombricompuesto obtenido a partir de pulpa sola contra 4,14% en el obtenido de pulpa mezclada con mucílago; para P de 0,44% y 0,31%, para K de 9,64% y 5,50%, para Fe de 3062,5ppm y 2201,7ppm, para B de 73,67ppm y 67,08ppm, para materia orgánica de 55,94% y 49,79%, para la relación C/N 8,73 y 6,98, para las grasas 0,16% y 0,20%, para la fibra 12,55% y 16,84%, para los carbohidratos solubles 20% y 6,86%, respectivamente. No se presentaron diferencias significativas en ninguno de los grupos de microorganismos.

Géneros de microorganismos identificados. Los géneros de microorganismos aislados e identificados en los lombricompuestos, obtenidos a partir de pulpa sola y pulpa mezclada con mucílago, comunes en ambos materiales, fueron los siguientes: *Aeromonas*, *Aspergillus*, bacilo gram(+), *Citrobacter*, *Cladosporium*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Streptomyces*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Klebsiella*, *Penicillium* y *Pseudomonas*.

Géneros como *Staphylococcus*, *Hafnia*, *Intraesporangium*, *Nocardia*, *Plesiomonas*, *Sarcina*, *Serratia*, *Torula* y *Vibrio*, estuvieron presentes sólo en el lombricompuesto obtenido a partir de pulpa mezclada con mucílago. *Actinomadura*, *Xanthomona*, *Escherichia* y *Providencia* fueron géneros que estuvieron presentes sólo en el lombricompuesto obtenido a partir de pulpa sola.

El mayor número de géneros de microorganismos en el lombricompuesto obtenido a partir de pulpa mezclada con mucílago comparado con el número encontrado en el lombricompuesto a partir de pulpa, se debió a que a los dos meses el sustrato pulpa mezclada con mucílago, que sirvió de alimento a las lombrices, presentó un menor grado de descomposición con respecto al sustrato de pulpa, como se analizó anteriormente, permitiendo que se presentara una mayor disponibilidad de nutrimentos para los microorganismos en ese sustrato.

Son pocos los estudios disponibles acerca de la caracterización microbiológica de los lombricompuestos. Velazco y Fernández (18) afirman que el lombricompuesto posee una microflora total muy elevada del orden de 1×10^8 células/g y registran una población total de actinomycetos de 1×10^{10} células/g identificando entre éstos *Nocardia* y *Streptomyces*. También identificaron bacterias, amonio y nitrito oxidantes, bacterias celulolíticas, bacterias que degradan el almidón y una población pequeña de bacterias que solubilizan el fósforo y fijadoras de nitrógeno de vida libre. Registran valores de 3×10^9 células/g de hongos y levaduras, 45 células/g de bacterias fijadoras de nitrógeno libres y $1,35 \times 10^3$ células/g de bacterias que solubilizan el fósforo.

Géneros que se conservaron durante el lombricompostaje. Los géneros que se conservaron durante todo el proceso de

lombricompostaje de la pulpa sola, fueron: *Enterobacter*, *Escherichia* y *Streptomyces*. El género *Citrobacter* se presentó en la pulpa fresca y en el lombricompostaje; los géneros *Candida* y *Staphylococcus* se encontraron en el sustrato inicial y se conservaron en el sustrato a los dos meses, antes de utilizarlo como alimento en los lombricultivos; géneros como *Aspergillus*, *Fusarium*, *Klebsiella*, *Penicillium*, *Pseudomonas* y *Geotrichum* aparecieron en la pulpa a los dos meses y se conservaron en el lombricompostaje.

En lo que se refiere al lombricompostaje de la pulpa mezclada con mucílago, los géneros que se conservaron durante todo el proceso fueron *Citrobacter*, *Serratia* y *Pseudomonas*. Géneros como *Enterobacter* y *Flavobacterium* se presentaron en el sustrato inicial y en el lombricompostaje; los géneros *Alcaligenes*, *Candida*, *Escherichia*, *Proteus* y *Rhodotorula* estuvieron presentes en el sustrato inicial y se conservaron en el sustrato a los dos meses, antes de alimentar los lombricultivos; los géneros *Aspergillus*, *Chromobacterium*, *Fusarium*, *Streptomyces*, *Nocardia*, *Sarcina*, *Vibrio* y *Geotrichum* aparecieron en la pulpa a los dos meses y se conservaron en el lombricompostaje.

En la Tabla 4 se condensan los resultados de los recuentos para los diferentes grupos de microorganismos encontrados en el proceso de lombricompostaje de pulpa sola y pulpa mezclada con mucílago: aerobios mesófilos, actinomycetos, hongos y levaduras, coliformes totales y coliformes fecales.

Balance de materia del proceso de lombricompostaje. Se partió de pilas de 600 kg de pulpa sola y a los dos meses, antes de alimentar los lombricultivos, se obtuvo un peso promedio de 182kg/pila, lo cual representa una pérdida, en base húmeda, del 69,67%. Para el caso de la pulpa mezclada con mucílago se partió, igualmente, de pilas de 600kg y a los dos meses,

antes de alimentar los lombricultivos se obtuvo un peso promedio de 185kg/pila, presentándose una pérdida del 69,17% en base húmeda. Como se puede deducir al analizar estas pérdidas porcentuales, el comportamiento de ambos sustratos fue muy similar.

Los rendimientos para todo el proceso de lombricompostaje de la pulpa sola y la pulpa mezclada con mucílago fueron de 9,58% y 11,25% en base húmeda, 8,36% y 16,9% en base seca, y 5,01% y 9,08% en términos de Materia Orgánica, respectivamente.

Teniendo en cuenta únicamente la acción de la lombriz roja sobre los sustratos pulpa sola y pulpa mezclada con mucílago, llevados al lombricultivo a los dos meses de obtenidos, se registraron rendimientos de 31,59% y 36,48% en base húmeda y 33,99% y 39,78% en base seca, respectivamente.

Comparación físico-química de los lombricompostajes. Al comparar la composición química de los lombricompostajes obtenidos a partir de pulpa sola y pulpa mezclada con mucílago, se puede deducir, en términos porcentuales, que el primero presentó un mayor contenido de materia orgánica y de minerales, que lo hacen atractivo para ser utilizado como fertilizante orgánico con funciones también como enmienda.

La materia orgánica es importante porque puede actuar directamente sobre los cultivos incrementando la permeabilidad celular, por acción de carácter hormonal o por combinaciones de esta clase de procesos. Además, aporta a las plantas elementos como N, S y P en formas aprovechables, a través del suministro de nutrientes inorgánicos y la conformación de sustrato para los microorganismos. También es fuente para el intercambio iónico y factor para la agregación del suelo, lo cual tiene influencia sobre el desarrollo de las raíces de la planta (8).

Los principales componentes de producto obtenido de estos procesos, que desempeñan un papel determinante en la acción fertilizante, son tres: la microflora, los ácidos húmicos y las fitoestimulinas. La microflora constituye el paso obligado en la transformación de todos los nutrimentos minerales que utiliza el vegetal para su nutrición; todos los macro y micro elementos nutritivos son elaborados por las células microbianas, por tanto, si el suelo no está suficientemente poblado de flora bacteriana el sistema radical de los vegetales no podrá extraer todos los nutrimentos que necesita. Los ácidos húmicos y las fitoestimulinas presentan un efecto oligodinámico en concentraciones bajísimas; el humus de lombriz (lombricompost) es particularmente rico en estas fitoestimulinas las cuales actúan sobre el desarrollo de todo el sistema vascular y foliar de las plantas (8).

COMPARACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DEL COMPOSTE Y EL LOMBRICOMPUESTO OBTENIDOS DE LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ.

Se realizó una comparación desde el punto de vista microbiológico y físico-químico, de los productos finales obtenidos mediante los procesos de compostaje (4) y lombricompostaje.

A partir de pulpa de café sola. Se observaron diferencias significativas al 5% para el N, cuyos valores fueron del orden de 4,24% para el composte y 3,72% para el lombricompost; para el P de 0,27% y 0,44%, para el K de 5,27% y 9,64%, para el Ca 0,91% y 1,15%, para el B de 65,33 ppm y 73,67 ppm, para la humedad de 52,83% y 78,05%, para la proteína de 17,22% y 23,25%, para la fibra de 26,48% y 12,55% y para los carbohidratos solubles 10,47% y 20,00%. En el caso de los actinomycetos los recuentos fueron de $2,4 \times 10^8$ UFC/g y $3,3 \times 10^7$ UFC/g.

Los contenidos de materia orgánica, en términos porcentuales, fueron muy similares en

ambos productos (54,44% para el producto final del compostaje y 55,94% para el lombricompost). Al analizar su composición química se apreció un mayor contenido, en términos porcentuales, de minerales en el lombricompost y un contenido ligeramente superior de materia orgánica, lo que lo haría un material más atractivo para su disposición en el suelo, tanto como enmienda como fertilizante orgánico.

Los rendimientos medios para los procesos de compostaje y lombricompostaje de la pulpa de café fueron del 8,87% y 9,58% en base húmeda, del 16,58% y 8,36% en base seca y del 9,65% y 5,01% en términos de materia orgánica, respectivamente.

En el proceso de compostaje y lombricompostaje de la pulpa sola se observó que por cada 600kg de material fresco se obtuvieron 53,22kg y 57,5kg de material húmedo, 25,03kg y 12,62kg de materia seca y 13,59kg y 7,06kg de materia orgánica, respectivamente.

Los microorganismos identificados en los productos finales del compostaje y el lombricompostaje de pulpa sola fueron comunes en ambos productos, fueron: *Actinomadura*, *Aspergillus*, bacilos gram(+), *Cladosporium*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Streptomyces*, *Flavobacterium*, *Xanthomona*, *Geotrichum* y *Penicillium*. Microorganismos como *Aeromonas*, *Citrobacter*, *Chromobacterium*, *Fusarium*, *Klebsiella*, *Providencia* y *Pseudomonas* sólo estuvieron presentes en el lombricompost. Microorganismos como *Achromobacter*, *Staphylococcus*, *Proteus*, *Rhodotorula*, *Serratia*, *Vibrio* y *Yersinia* estuvieron presentes sólo en el composte.

Se encontraron 11 géneros comunes, 7 que estuvieron presentes sólo en el lombricompost y 7 que estuvieron presentes en el producto final del compostaje.

A partir de pulpa mezclada con mucílago.

Para el caso de la pulpa mezclada con mucílago se presentaron diferencias significativas al 5% para el P, cuyos valores fueron del orden de 0,25% para el composte y de 0,31% para el lombricomposte; para el K de 4,1% y 5,5%, para el Fe 3425 ppm y 2202 ppm, para el Cu 40,42 ppm y 7,33 ppm, para las cenizas de 20,65% y 50,21%, para la humedad de 55,5% y 79,48%, para la materia orgánica de 79,36% y 49,79%, para la relación C/N 11,62 y 6,98, para fibra de 24,85% y 16,84%, para los carbohidratos solubles de 28,99% y 6,86% y, en el grupo de microorganismos, para coliformes totales de $1,1 \times 10^3$ NMP/g y $4,8 \times 10^2$ NMP/g, para coliformes fecales de 0 y $6,81 \times 10^2$ NMP/g, respectivamente.

Al analizar la composición química de ambos productos se apreció, en general, un mejor contenido de minerales en términos porcentuales, en el lombricomposte y un mayor contenido de materia orgánica en el composte, lo cual haría a éste más atractivo como material de enmienda y aquél como fertilizante orgánico. Los rendimientos medios para los procesos de compostaje y lombricompostaje de la pulpa de café mezclada con mucílago fueron del 8,68% y 11,25%, en base húmeda, 31,99% y 16,90%, en base seca y 27,18 y 9,08% en términos de materia orgánica, respectivamente.

En el proceso de compostaje y lombricompostaje de la pulpa mezclada con mucílago se observó que por cada 600kg de material fresco se obtuvieron 52,08kg y 67,49kg de material húmedo, 23,11kg y 12,27kg de materia seca y 18,34kg y 6,11kg de materia orgánica, respectivamente.

Teniendo en cuenta la cantidad de materia seca obtenida por ambos procesos, la disponibilidad de materia orgánica y de minerales en términos de peso, fue mayor en el composte, característica que lo haría superior al lombricomposte. El tiempo de descomposi-

ción para el sustrato pulpa mezclada con mucílago fue de 115 días por la técnica de compostaje y 119 días para todo el proceso de lombricompostaje.

Los microorganismos identificados en los productos finales del compostaje y el lombricompostaje de pulpa mezclada con mucílago, comunes en ambos productos, fueron: *Aspergillus*, bacilos gram(+), *Chromobacterium*, *Flavobacterium*, *Fusarium*, *Streptomyces*, *Geotrichum*, *Intraesporangium*, *Nocardia*, *Penicillium*, *Pseudomonas* y *Serratia*. Otros como *Aeromonas*, *Citrobacter*, *Cladosporium*, *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Plesimonas*, *Sarcina*, *Saccharomyces*, *Torula* y *Vibrio* sólo estuvieron presentes en el lombricomposte. *Actinomadura*, *Candida*, *Flavimonas*, *Mucor*, *Rhodotorula*, *Sacchapolyspora*, *Shewanella*, *Torulopsis* y *Xanthomonas* estuvieron presentes sólo en el composte.

Se encontraron 12 géneros comunes, 12 que estuvieron presentes sólo en el lombricomposte y 9 que estuvieron presentes sólo en el producto final del compostaje. En este caso se identificaron 3 géneros más en el lombricomposte de pulpa mezclada con mucílago.

La aplicación de los productos finales del compostaje y lombricompostaje al suelo produce múltiples beneficios, aumenta la permeabilidad, la agregación de partículas, de macro y microelementos, la corrección de la acidez, la población de microorganismos y mejora la eficiencia y el uso de nutrimentos por parte de las plantas (9,10).

En la Figura 2 se muestran los subproductos del beneficio del café sometidos a los procesos de compostaje y lombricompostaje. En las Figuras 3 a 7, se muestra una comparación de la evolución de los diferentes grupos de microorganismos: aerobios mesófilos, actinomycetos, hongos y levaduras, coliformes totales y coliformes fecales, en los procesos de



Figura 2. Aspecto de los subproductos del beneficio del café sometidos a dos procesos de transformación. **a.** Lombricompostaje **b.** Compostaje.

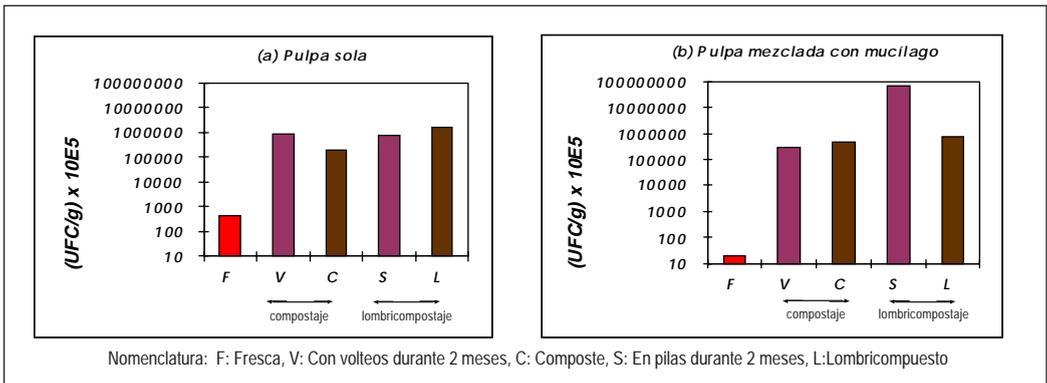


Figura 3. Evolución de aerobios mesófilos durante el compostaje y lombricompostaje de pulpa sola (a) y pulpa mezclada con mucilago (b).

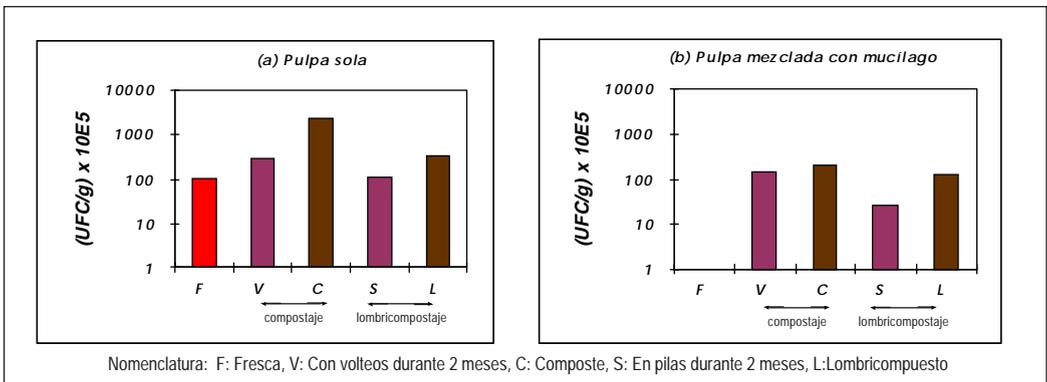


Figura 4. Evolución de actinomicetos durante el compostaje y lombricompostaje de pulpa sola (a) y pulpa mezclada con mucilago (b).

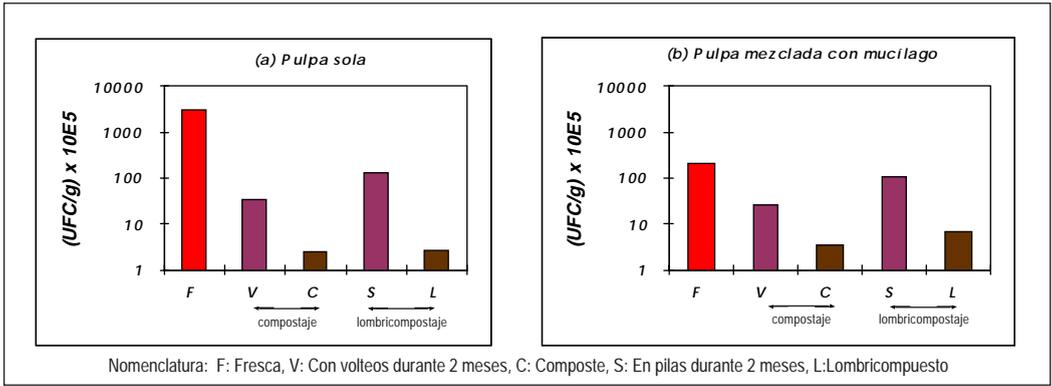


Figura 5. Evolución de hongos y levaduras durante el compostaje y lombricompostaje de pulpa sola (a) y pulpa mezclada con mucílago (b).

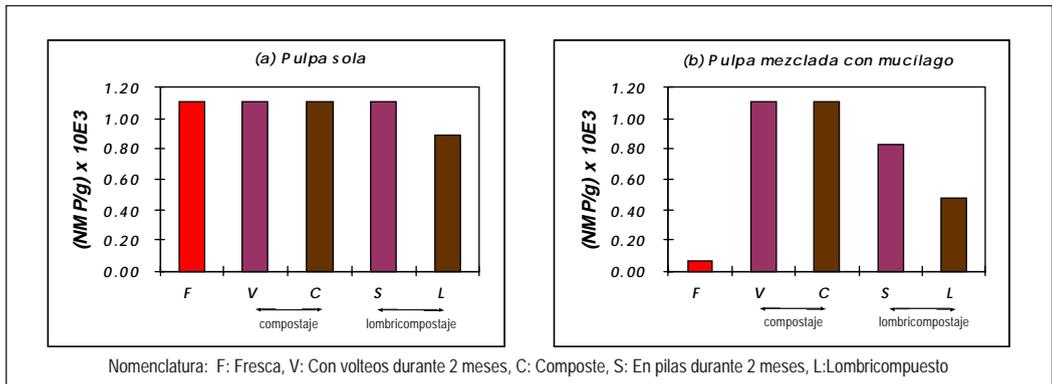


Figura 6. Evolución de coliformes totales durante el compostaje y lombricompostaje de pulpa sola (a) y pulpa mezclada con mucílago (b).

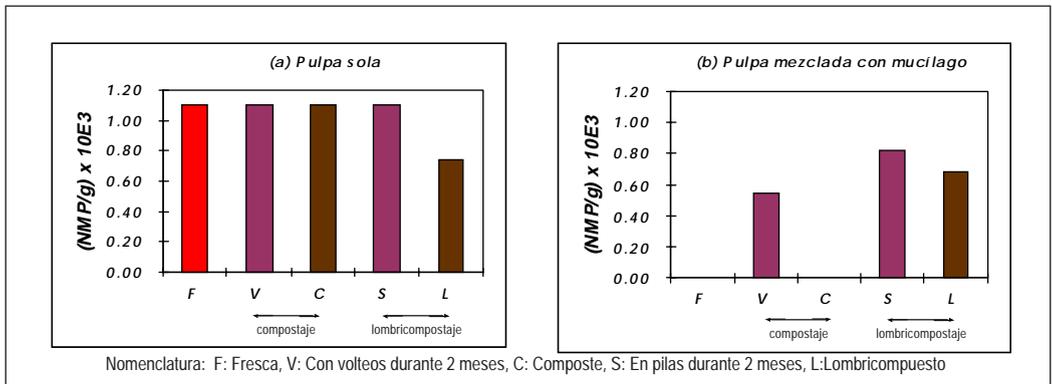


Figura 7. Evolución de coliformes fecales durante el compostaje y lombricompostaje de pulpa sola (a) y pulpa mezclada con mucílago (b)

compostaje y lombricompostaje de pulpa sola y pulpa mezclada con mucílago.

En general, se concluye que la pulpa y el mucílago de café son dos subproductos con una alta riqueza microbiana en los que inicialmente se identificaron bacterias y levaduras, principalmente. A medida que el proceso de lombricultura se desarrolló se empezaron a establecer los hongos y finalmente los actinomicetos. La clase y abundancia de los microorganismos en los sustratos dependió de los nutrimentos disponibles, el contenido de humedad, la aireación de la masa, su temperatura y pH.

En los lombricompuestos obtenidos se aisló un mayor número de géneros de microorganismos que en los sustratos frescos y este número fue mayor para el lombricompuesto obtenido de pulpa mezclada con mucílago.

Con este estudio se determinó la riqueza microbiana de los productos finales de los procesos de compostaje y lombricompostaje, obtenidos de los subproductos del beneficio húmedo del café, tanto en cantidad como en variedad, así como su composición físico-química, lo que los hace adecuados para ser utilizados como fertilizantes biológicos en programas de agricultura orgánica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al personal de la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, a las Disciplinas de Química Industrial, Ingeniería Agrícola y Química Agrícola y al Dr. Bernardo Cháves C., Líder de la Disciplina de Biometría de Cenicafé.

LITERATURA CITADA

1. ABDUL M. M.; ABDUL, R. Los gusanos de tierra y el medio ambiente. Mundo Científico 146: 408-415. 1994.

2. ARANDA D., E. El manejo de lombrices para la producción de abono orgánico en pulpa de café. *In: Simposio sobre Caficultura Latinoamericana*, 15. Xalapa. 21-24 julio, 1992. Ponencias. Tegucigalpa, IICA, 1995. p.v.
3. ARIAS H., J. J. Caracterización de la pulpa de café en diferentes tiempos de descomposición y su efecto en almácigos de café. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1995. 98 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
4. BLANDÓN C., G.; RODRÍGUEZ V., N.; DÁVILA A., M. T. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Cenicafé* 49(3): 169-185. 1998.
5. CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná, Cenicafé, 1977. 84 p. (Boletín Técnico N° 6).
6. CENTRONACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. Anuario meteorológico cafetero 1995. Chinchiná, Cenicafé, 1995. p.107.
7. CENTRONACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. Disciplina Química Industrial. Estrategias para el manejo y valorización de los subproductos del proceso de beneficio húmedo del café. Chinchiná, Cenicafé, 1993. p.68.
8. COMPAGNONI, L.; PUTZOLU, G. Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus. Barcelona, Editorial De Vecchi, 1988. 127 p.
9. DAIVASIKAMANI, S. P.; KANNAN, N. Estudios on post-harvest mycoflora of coffee cherry Robusta. *Journal of Coffee Research* 16 (3-4):102-106. 1986.
10. DÁVILA A., M. T. Lombricultura en pulpa café. *Avances Técnicos Cenicafé* No 225: 1-12. 1996).
11. DÁVILA A., M. T. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1994-1995. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 77p. (Mecanografiado).
12. GAIME, I.; ZULUAGA, J.; SAUCEDO, G. Microflore naturelle de la pulpe de café. *In: Seminario Internacional Sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera*, 2. Manizales, 4-7 de Noviembre de 1991. 13 p. (Mecanografiado).

13. MUSTIN, M. Le composte. Gestion de la matière organique. París, Editions, Francois Dubusc, 1987. 954 p.
14. RODRÍGUEZ V., N.; ZULUAGA V., J. Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* en pulpa de café. Cenicafé 45 (3): 81-92. 1994.
15. RODRÍGUEZ V., N. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1992-1993. Chinchiná, Cenicafé, 1993. 91p. (Mecanografiado).
16. TAUk, S. M. Identification of fungi isolated from coffe-pulp. Naturalia 9:57-60. 1984.
17. TAUk, S. M. Estudo da decomposição da polpa de café a 45°C a través do uso de microrganismos isolados da polpa. Turrialba 36(3):271-280. 1986.
18. VELAZCO, A.; FERNÁNDEZ, F. Caracterización microbiológica del desecho de la lombriz de tierra. Cultivos Tropicales 11(1): 95-97. 1989.
19. ZULUAGA, J.; ZAMBRANO, D. Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. Chinchiná, Avances Técnicos Cenicafé No 187: 1-4.1993.