

Aerobic bioprocess of coffee pulp

José Ramón Ferrer, Gisela Páez y Miguel Chirinos

*Laboratorio de Fermentaciones Industriales, Departamento de Ingeniería Bioquímica
Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Apdo. 526
Maracaibo, Venezuela*

Abstract

The biotransformation of coffee pulp in organic fertilizer was studied within the framework of technological alternatives to use coffee pulp to its full advantages.

The methodology used consist of a controlled aerobic bioprocess by natural convection (bitter) or forced convection (turned over) without mixing other materials. Ambient temperature of every step was measured daily and the bioprocess course was followed by determining pH, humidity percentage, carbon-nitrogen ratio, density and microbiological count.

Chemical and microbiological characteristics of fresh coffee pulp show that it can be used as a semisolid substrate in an aerobic bioprocess (Composting). The differences of composting temperature levels in relation to ambient temperatures were maintained over 10°C during the first eleven days of the process, a 51°C maximum temperature being reached for the turned over process. Evaluation of product qualities, namely, pH = alkaline (9.4- 9.6), C\N ratio = (8.68-9.62), physical state amorphous with damp land odour and high mineral concentration (N,P,K.) demonstrate that the described composting has the required characteristics for its effective application as soil fertilizer.

Key words: Composting, pulp, coffee, bioprocess, aerobic, fertilizer.

Bioproceso aeróbico de la pulpa de café

Resumen

Se llevó a cabo un estudio de la biotransformación de la pulpa de café en un abono orgánico, el cual se enmarca dentro del esquema de alternativas tecnológicas para el aprovechamiento integral de la pulpa de café. La metodología seguida engloba un bioproceso aeróbico mediante convección natural (Aireado) o convección forzada (Removido), sin mezcla con otros materiales, y utilizando un control. En cada caso se midió la temperatura ambiente, diariamente. Adicionalmente, se siguió el curso del bioproceso realizando determinaciones de pH, porcentaje de humedad, relación carbono - nitrógeno, densidad y conteo de bacterias y hongos.

Las características químicas y microbiológicas de la pulpa de café fresca indican que este material puede usarse como sustrato semisólido, en un bioproceso aeróbico (Compostaje).

Los niveles de diferencias de temperatura, en relación a la temperatura ambiente, se mantuvieron por encima de 10°C, durante los primeros once días de duración del proceso, alcanzándose una temperatura máxima de 51°C para el bioproceso removido. La evaluación del producto: pH = alcalino (9.4-9.6), relación C/N = (8.68-9.62), estado físico amorfo con olor a tierra húmeda, alta concentración de minerales (N, P, K), evidencian que el compostaje descrito reúne las características adecuadas para su uso eficiente como acondicionador de suelos de cultivo.

Palabras claves: Compostaje, pulpa, café, bioproceso, aeróbico, abono.

Introducción

Es bien conocido que la pulpa de café resulta ser contaminante ambiental para fundos cafetaleros y las centrales procesadoras de café. Por consiguiente, transformarla en productos útiles como abono orgánico implica una doble ventaja, ya que, por un lado eliminaría la contaminación ambiental, y por otro, disminuiría el costo de preparación del suelo para la siembra.

El caficultor en Venezuela usa la pulpa de café directamente como abono; luego de sufrir un proceso de fermentación anaeróbica, en lugares cercanos al sitio donde se realiza el despulpado, sin ningún control y contaminando el ambiente con gases tóxicos como metano y ácido sulfídrico [1].

En países de elevado desarrollo agrícola como U.S.A., Francia, Alemania e Inglaterra, se ha implementado un proceso de fermentación aeróbica con parámetros controlados de desechos agrícolas y urbanos, conocido como compostaje.

En el mundo occidental, el mayor uso del compostaje ha sido en el procesamiento de residuos urbanos; sin embargo, el proceso encuentra mayor uso en la intensa agricultura europea, donde la obtención de nutrientes y la conservación de los suelos cultivables tienden a enfatizarse más que en la extensa agricultura de América [2].

El compostaje juega un papel importante en ciertas prácticas especializadas como jardinería y el cultivo de hongos comestibles. Además, es un acondicionador importante en cosechas de alto valor como vegetales y flores que se dan fuera de estación [3].

Uno de los aspectos más importantes a controlar en un proceso de compostaje eficiente es el balance de nutrientes, y dentro de éste, la relación carbono-nitrógeno (C/N). La importancia se encuentra localizada en la necesidad que tienen los microorganismos del carbono como fuente de energía, y como base fundamental en la formación de macromoléculas. Además el nitrógeno representa un elemento básico en la formación de proteínas y otros constituyentes del protoplasma celular. Si el material no está

suficientemente acondicionado al final del proceso, esto es, con altos valores de carbono y bajos de nitrógeno, y se usa para abonar un suelo de cultivo, la actividad microbiana continuará hasta llevar la relación carbono-nitrógeno a valores cercanos a 10.

Se han reportado experiencias con una relación inicial de carbono-nitrógeno de 58 reducida a 6 [4].

Nuestra experiencia con diferentes desechos agrícolas [5,6,7] indica que una relación final en un rango de 10 a 15, garantiza un proceso de compostaje óptimo, ya que éste se relaciona directamente con la actividad bioquímica del anabolismo y catabolismo celular.

El potencial de hidrógeno (pH) es un parámetro indicador de la marcha del bioproceso, debido a su importancia como factor ambiental en el desarrollo microbiano.

Carnes y Lossin [3], investigaron lo referente a la determinación del pH del material compostado. Los resultados se vieron afectados por la proporción del material con respecto al agua y la preparación de la prueba (moler y secar).

Hubo variación considerable entre las pruebas comparadas. Los autores propusieron pruebas estandarizadas y procedimientos de dilución.

El pH de un material compostado varía de acuerdo al estrato donde se tome la muestra. Finstein y Morris [8], para un material compostado durante 31 días, reportan los siguientes valores de pH: tope 7.9; intermedio 5.9 y fondo 7.5. El pH de la mezcla fue de 6.6.

Los resultados reportados del compostaje de desperdicios municipales, indican valores inicialmente ácidos con una estabilización al final del proceso en el rango de 7.0 a 9.0 [8].

En relación con la biomasa, las colonias de bacterias, hongos y actinomicetos son las más frecuentes. Las bacterias mesófilas son una característica predominante al comienzo del proceso, siguiendo con la aparición de bacterias termófilas, las cuales habitan todas las partes de la pila donde la temperatura sea satisfactoria. Los hongos termófilos usualmente aparecen después de 5 a 10 días, y los actinomicetos se

Tabla 1
Análisis efectuado a la pulpa fresca al principio del proceso de compostaje

Densidad (g/cc)	1.11
pH	3.80
% de humedad	83.30
% de carbono	40.17
% de nitrógeno	1.60
Relación (C/N)	25.00
No. colonias-hongos/ 1 ml muestra	$57,5 \times 10^6$
No. colonias-bacterias/ 1 ml muestra	$43,7 \times 10^6$

hacen visibles en la etapa final, cuando el bioproceso es rápido y corto [9].

Los actinomicetos, organismos considerados formas de transición entre las bacterias y los hongos verdaderos, por medio de los géneros *Mycobacterium* y *Corynebacterium*, tienen tendencia a formar colonias más lentamente que las bacterias y hongos [4, 8]. El objetivo primordial de esta investigación es la producción de un abono orgánico usando como sustrato pulpa de café, como bioproceso el compostaje aeróbico y como mecanismo de transferencia de oxígeno convención natural y convención forzada.

Metodología experimental

Metodología de campo:

La pulpa de café fresca se obtuvo en el fundo cafetalero denominado "Chanda", del sector Palmarito Frío en Culcas, Estado Trujillo.

Se dispusieron tres camellones en forma de pirámide con base de 2x1 mts. y 50 cm. de altura.

El camellón llamado "Control", servirá como testigo del experimento. El Camellón "Alreado", fue diseñado utilizando tubos plásticos agujereados, de dos pulgadas de diámetro a lo largo y ancho de su base, para promover una

aireación mediante convección natural. El camellón "Removido", fue establecido mediante transferencia de cantidad de movimiento con remoción mecánica.

Cada camellón fue sometido a mediciones diarias de temperatura, en nueve puntos equidistantes en el interior del camellón, a una distancia de 15 cm de la superficie, utilizando un termómetro tipo reloj. Todas las mediciones se llevaron a cabo en horas de la mañana y tomando en cuenta la temperatura ambiente.

Metodología de laboratorio:

Para la realización de los diferentes análisis de laboratorio se tomaron muestras representativas de cada camellón.

Para la determinación del pH se tomaron muestras los días 1, 2, 3, 5, 7, 9, 15, 21, 29 y 32 de duración del proceso, de cada uno de los camellones.

Para la determinación del porcentaje de humedad se tomaron muestras los días 1, 3, 10, 19, 25 y 32 de duración del proceso, de cada uno de los camellones.

Para la determinación del número de colonias de hongos y bacterias se tomaron muestras los días 1, 13, 23 y 30 de duración del proceso, de cada uno de los camellones.

Para la determinación de la relación carbono-nitrógeno y la densidad del producto se tomaron muestras al principio y al final del proceso.

Los análisis del pH, porcentaje de humedad, densidad y relación carbono - nitrógeno se realizaron siguiendo la técnica reportada por Ferrer y colaboradores. [6]. El conteo de bacterias y hongos se llevó a cabo usando agar nutritivo al 20 por ciento y agar papa glucosa (PDA) al 3.9 por ciento, respectivamente. Las temperaturas de incubación fueron 37°C para bacterias y 30°C para hongos. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Resultados y discusión

La caracterización química y microbiológica de la pulpa fresca, en lo concerniente a los

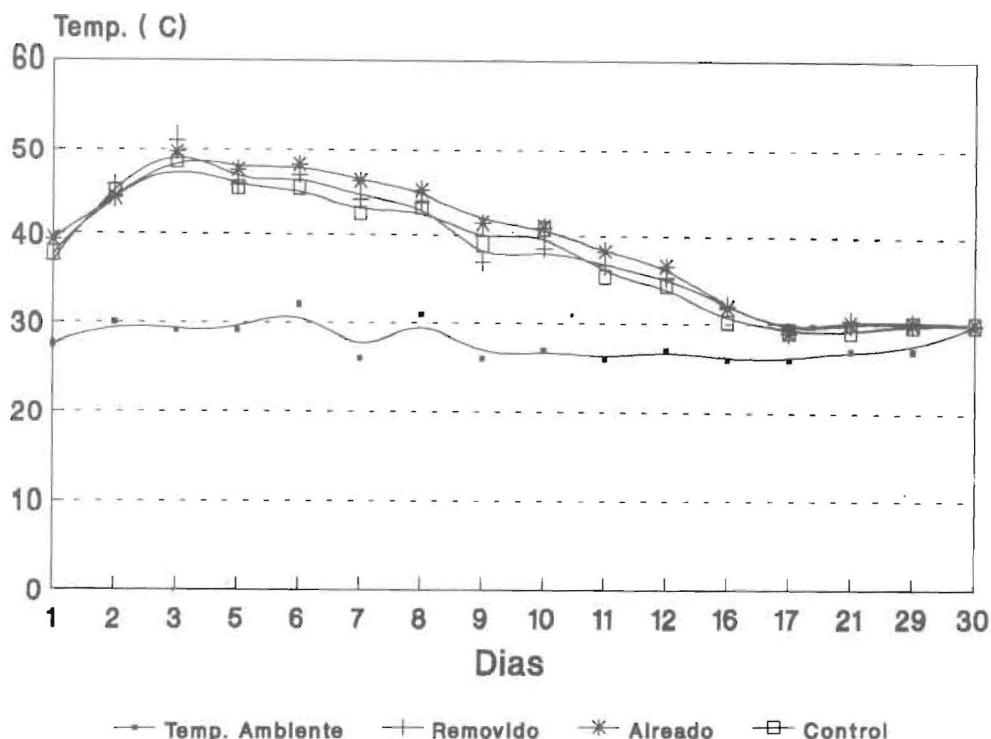


Figura 1. Variación de la temperatura con el tiempo y su relación con la temperatura ambiente para cada proceso.

parámetros más importantes para un proceso de compostaje, se presentan en la Tabla 1. El análisis de dicha tabla indica que la pulpa de café fresca presenta valores de porcentaje de humedad (83.3%), pH (3.80) y relación carbono-nitrógeno (25) adecuados para someterse a un bioproceso aeróbico.

Estos valores se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura como los valores óptimos: 45 a 85 por ciento para la humedad; 3.5 a 6 para el pH y 25 a 35 para la relación carbono-nitrógeno [10, 11, 12, 13].

Al mismo tiempo, el número de colonias de microorganismos presentes en este material, es inóculo suficiente para llevar a cabo el proceso de una forma natural.

La variación de la temperatura con el tiempo para cada ensayo se observa en la Figura 1.

Es de hacer notar que aunque la temperatura ambiente en los primeros 6 días del proceso se mantuvo alrededor de 30°C, la temperatura del material, en cada ensayo, se mantuvo por encima de los 40°C, obteniéndose la mayor temperatura (51°C), al tercer día, en el material

denotado como Removido. Posteriormente, la diferencia de temperatura fue disminuyendo lentamente hasta la estabilización del material, al cabo de 32 días de proceso.

El incremento de temperatura es un factor indicador del desarrollo de un bioproceso aeróbico, determinado por el calor de reacción involucrado en las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo [12, 13].

Bajo condiciones ambientales similares, Ferrer y colaboradores [6], durante el compostaje de desechos de uva, reportan incrementos de temperatura hasta 54.7°C y el mantenimiento de temperaturas por encima de 40°C, durante 25 días de procesamiento.

El estado térmico del proceso de compostaje permite distinguir 2 etapas: hasta 40°C, estado mesofílico, y de 40°C hacia arriba, un estado termofílico.

La descomposición de la materia orgánica es más rápida en el estado termofílico [9]. Sin embargo, si el proceso se realiza por medio de un microbio específico, habría que tener en cuenta la temperatura óptima de crecimiento, la cual

Tabla 2
Variación del pH a lo largo del proceso de compostaje de la pulpa

Días	Removido	Control	Alreado
1	3.8	3.8	3.8
2	4.6	4.5	4.9
3	5.6	5.1	5.2
5	7.8	8.1	7.5
7	8.4	8.2	8.3
9	9.2	9.1	9.3
15	9.4	9.2	9.4
21	9.5	9.3	9.4
29	9.6	9.4	9.5
32	9.6	9.4	9.5

Tabla 3
% de humedad del compostaje a lo largo del proceso

Tiempo (días)	Tratamiento		
	Removido	Control	Alreado
1	83.30	83.30	83.30
3	80.30	76.00	78.67
10	79.20	69.33	73.50
19	50.20	47.50	49.35
25	16.25	13.12	14.00
32	8.93	8.63	8.45

podría ser menor de 40°C, en cuyo caso el proceso habría que conducirlo mesofilicamente.

En los procesos de compostaje donde no se controla la temperatura existe una combinación de ambos, comenzando por el mesofilico, siguiendo termofilico y terminando mesofilico.

El estado termofilico tiene la ventaja de

eliminar agentes patógenos, los cuales son indeseables en el producto final.

Se han reportado temperaturas máximas de 82°C y 79°C, usando un tanque digestor abierto con aireación forzada y agitación [12], respectivamente. En estos casos se alcanzaron temperaturas entre 65°C y 71°C durante los primeros 10 días y entre 60°C y 65°C al término de los 20 días de proceso.

Otros autores establecen temperaturas entre 45°C y 50°C, durante las primeras 24 horas, y entre 60°C y 70°C luego de dos a cinco días [10, 6, 4].

La modificación del pH a lo largo del proceso, para cada ensayo, se reporta en la Tabla 2.

Se puede observar un incremento importante entre un pH de 3.8 y 9.3, en los primeros 7 días, manteniéndose en esos niveles hasta el final del proceso.

Este incremento del pH evidencian la pérdida de ácidos orgánicos a través de la volatilización (altas temperaturas) y la descomposición microbiana, y la liberación de amoníaco a través de la mineralización del nitrógeno orgánico.

Este comportamiento del pH ha sido reportado por otros investigadores, usando diferentes sustratos en el proceso: desechos municipales [8], desperdicios animales [3], pulpa de uva [6], pulpa de uva y gallinaza [6], corteza de árbol [4], desechos de tomate [3], residuos de corcho [10], desperdicios de tenerías [9], y cáscara de olivo [10].

La Tabla 3 suministra los resultados obtenidos para la variación del porcentaje de humedad del material, con el transcurso del tiempo, para cada tipo de proceso.

Es de hacer notar, que se mantuvieron niveles de porcentaje de humedad por encima de 47.50%, durante los primeros 19 días.

En desechos municipales, se ha reportado como rango óptimo para el porcentaje de humedad entre 40% y 60%, para un compostaje aeróbico [2].

En el caso de residuos de granjas agrícolas, se ha reportado un rango óptimo entre 45% y 80% [10], para el porcentaje de humedad en

Tabla 4
Caracterización química y microbiológica del producto

	Tratamiento		
	Removido	Control	Aireado
Humedad(%)	28.60	43.16	37.25
Carbono (%)	26.40	28.75	31.10
Nitrógeno (%)	2.99	3.31	3.23
Relación C/N	8.82	8.68	9.62
pH	9.6	9.5	9.4
Fósforo (ppm)	3.00×10^2	3.25×10^2	3.25×10^2
Potasio (ppm)	11.70×10^3	11.97×10^3	8.97×10^3
No. colonias hongos/ml	10.87×10^4	62.10×10^4	2.00×10^4
No. colonias bacterias/ml	35.25×10^6	106.50×10^6	30.28×10^4

Tabla 5
Pérdida del peso de la pulpa fresca de café a lo largo del proceso de compostaje

Tratamiento	Peso inicial	Peso final	Diferencia de peso	% Reducción de peso
Removido	65.00	15.20	49.80	76.61
Aireado	65.00	19.10	45.90	70.61
Control	65.00	17.30	48.70	73.38

compostaje aeróbico. Ferrer y colaboradores [6], reportan un rango entre 33% y 74%, para el porcentaje de humedad, durante el compostaje aeróbico de desechos de uva.

Sin embargo, el contenido máximo de humedad, para un compostaje aeróbico satisfactorio, puede variar con los materiales usados [3].

La evaluación química y microbiológica del producto obtenido en cada ensayo, se reportan en la Tabla 4.

En lo referente al contenido de carbono, y comparando con la Tabla 1, se puede establecer que el porcentaje de carbono sufrió una disminución de un 34% para el proceso Removido; 29% para el proceso Aireado y 23% para el Control. Esta pérdida de carbono se debe al bioproceso llevado a cabo en cada caso, aeróbico

para los ensayos Removido y Aireado y anaeróbico para el Control.

La relación carbono-nitrógeno (C/N), siguió el mismo comportamiento, al reducirse desde 25 hasta 8.82; 8.68 y 9.62 para los ensayos Removido, Aireado y Control, respectivamente.

Este comportamiento está de acuerdo con lo reportado en la literatura [8, 13], donde se encuentran rangos iniciales de 39 a 40 y disminuciones hasta un rango entre 6 a 14 en la relación carbono-nitrógeno. (C/N).

El conteo microbiológico del material compostado indica que la población heterogénea de microorganismos se encuentra en su forma de resistencia a condiciones drásticas de falta de sustrato y baja humedad.

Las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio, que presenta el material compostado lo hacen ideal para usarse como acondicionador de suelos de cultivo.

La Tabla 5 incluye lo relativo al porcentaje de reducción en el peso de la pulpa de café, para cada tratamiento.

El análisis de dicha tabla indica un valor máximo en el porcentaje de reducción de peso para el proceso Removido del 76.61%, seguida del Control con 73.38% y finalmente el Aireado con 70.61%.

Estos valores son mayores a los reportados en la literatura, donde se reportan porcentajes de reducción en el orden del 40%, para el compostaje de desechos de uva [6]. Esto involucra una mayor actividad microbiana al llevarse a cabo un consumo mayor de sustrato.

Conclusiones

1.- La caracterización química y microbiológica del desecho de pulpa de café fresca, indica que este material presenta características adecuadas para ser usado como sustrato semisólido, en un proceso de biotransformación aeróbica.

2.- El proceso Removido involucra mayores biotransformaciones al alcanzarse la temperatura máxima de 51°C.

3.- Los niveles de diferencias de temperatura, en relación a la temperatura ambiente, se mantuvieron por encima de 10°C, durante los primeros once días de duración del proceso, para cada tipo de procesamiento.

4.- El pH del material compostado aumentó a niveles de alcalinidad (9.4-9.6), evidenciando la pérdida de ácidos orgánicos, a través de la volatilización y la descomposición microbiana.

5.- El porcentaje de humedad se mantuvo por encima de 47.50% durante los primeros 19 días del proceso, para cada tipo de procesamiento, permitiendo el desarrollo de una población heterogénea de microorganismos capaz de llevar a cabo el bioproceso aeróbico de la pulpa de café.

6.- La relación carbono-nitrógeno (C/N), siguió un patrón de reducción típico, desde 25

hasta 9.62; 8.68, según el tipo de procesamiento.

7.- La pulpa de café sufre una reducción del orden del 70 por ciento, en lo referente a su peso, al ser sometido a un proceso de compostaje aeróbico.

8.- La evaluación química, microbiológica y física del material compostado indica que es un producto apto para usarse como acondicionador de suelos de cultivo.

Reconocimiento

Este trabajo de investigación fue financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES).

Referencias Bibliográficas

1. Costa, L; Escalera, A. y Fernández, M. Compostaje de la pulpa de Café Venezolano. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería. LUZ, 1980.
2. Breidenback, A.W, et. al. Composting of municipal solid waste in the United States. U.S. Environmental Protection Agency SW-47r 1987.
3. Carnes, R.A. and Lossin, R.D. Compost. Science. Vol. 11, (1970), 5-18.
4. De Betoldi, M, et. al. Comparison of Three Windrow Compost Systems. Biocycle. Vol. 23, (1982), 45-50.
5. Ferrer, J.R. y Carrizales, V. Aprovechamiento de la Pulpa de Café Venezolano. Simposio sobre Tecnologías Apropiadas. Fundación Clepe. Venezuela. 1985.
6. Ferrer, J.R; Mujica, D. y Páez, G. Producción de un Compostaje a Partir de Desechos de Uva. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Vol. 16, No. 3, (1993), 191-198.
7. Ferrer, J.R. Alternativas Tecnológicas para el Aprovechamiento de la Pulpa de Café. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ingeniería. LUZ, 1985.
8. Finstein M.S. and Morris M.L. Microbiology

- of Municipal Solid Waste Composting", *Advan. Appl. Microbiol.* Vol. 19. (1975), 133-138.
9. Lacey, J. Actinomycetals: Characteristics and Practical Importance. (G. Sykes and F.A. Skinnp, eds.) Academy Press. New York. (1990), 231-251.
 10. Parr, J.F. and Wilson, G.B. Effect of certain chemical and physical factors on the composting process and product quality. Science and Education Administration. U.S. Department of Agriculture. Maryland. 1992.
 11. Rau, J.R.; Castro G. and Park, K. Conversion of cane bagasse to compost and Its chemical characteristics. *Biotechnol. and Bioeng. Symp.* No. 8, (1989), 24-26.
 12. Slobodanka, K; Vandeska, E. and Dimitrisvski, A. Production of mycellal protein and cellulotic enzymes from food waste. *J. Ind. Microb.* Vol. 7. (1991). 257-262.
 13. Gómez, J. *Bloquímica de las Fermentaciones. Biotecnología para el Aprovechamiento de los desperdicios orgánicos.* Monroy J.C. Ed. México. 1981.

Recibido el 25 de Enero de 1993
En forma revisada el 8 de Junio de 1994