



AVANCES TÉCNICOS

313

Cenicafé

Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Julio de 2003

ENSILAJE DE PULPA DE CAFÉ

Nelson Rodríguez-Valencia*

El ensilaje es un proceso utilizado para la conservación de materiales vegetales producidos estacionalmente. Consiste en la preservación de los mismos en estructuras de almacenamiento denominadas silos, por medio de fermentaciones parciales producidas por bacterias anaerobias que actúan principalmente sobre los carbohidratos solubles presentes en el material (2).

Durante el proceso de fermentación se producen ácidos, principalmente ácido láctico, que disminuye el pH del material ensilado a valores entre 3,5 y 4,2 e impiden el desarrollo de nuevas bacterias, previniendo, de esta forma, su descomposición adicional y asegurando su conservación durante períodos largos de tiempo. Un material así conservado mantiene una calidad muy similar a la que posee en su estado fresco. El pH de la masa tiene una alta correlación con la calidad del producto, pues a valores de 4,5 y superiores, generalmente los ácidos butírico y acético están en altas concentraciones dando lugar a olores rancios y avinagrados al ensilado (5).

* Asistente de Investigación. Química Industrial. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe. Chinchiná, Caldas, Colombia.

De acuerdo con las investigaciones desarrolladas por Cenicafé, la pulpa de café se puede utilizar como sustrato para el cultivo de la lombriz roja (3) y para la producción de hongos comestibles (4, 7), actividades que requieren la utilización de pulpa fresca.

Para el establecimiento permanente de un lombricultivo o de una explotación de hongos comestibles utilizando pulpa de café, es necesario disponer de este material en forma continua durante todo el año.

Teniendo en cuenta la gran disponibilidad de pulpa de café en los meses de la cosecha principal y de mitaca, el ensilaje se constituye en una herramienta eficaz para su almacenamiento y posterior utilización, siendo un proceso de tecnología simple que puede ser aplicado con relativa facilidad por los caficultores.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENSILAJE (5)

Un buen proceso de ensilado se caracteriza por la activa producción de ácidos carboxílicos volátiles y no volátiles por las bacterias anaeróbicas que utilizan carbohidratos solubles como principal sustrato químico.

La dinámica del proceso tiene una duración aproximada de 25 días y en ella se reconocen dos fases a saber:

La fase de respiración, que es aeróbica, tiene una duración aproximada de 12 horas y concluye al

agotarse el oxígeno atrapado en la masa del material ensilado; por eso, es muy importante la compactación del material para eliminar de esta manera la máxima cantidad de aire y así garantizar una fase de respiración corta.

La fase de fermentación, en donde inicialmente proliferan bacterias productoras de ácido acético y butírico y posteriormente se establecen bacterias productoras de ácido láctico con una duración aproximada de 3 días, dando origen a una fase de larga duración (20 días), en la que se producen grandes cantidades de ácido láctico.

Se han definido muchas variables, que en mayor o menor grado intervienen y afectan la fermentación anaeróbica, pero son 3 las de mayor importancia:

1. El contenido de carbohidratos solubles del sustrato.

Se ha encontrado que, idealmente, el nivel de carbohidratos solubles (azúcares reductores) debe ser del 13 al 16% de la materia seca del sustrato. Niveles inferiores no garantizan una producción de ácido láctico suficiente por lo cual, el valor final del pH no sería adecuado. Esto trae como consecuencia una menor inhibición de la actividad de las bacterias butirogénicas y por tanto, fermentaciones de tipo acética y butírica. Niveles mayores al 25% estimulan una fermentación de tipo alcohólico.

En la práctica deben adicionarse carbohidratos solubles a aquellos sustratos deficientes, empleando fuentes como la melaza.

2. El contenido de humedad del sustrato.

Este parámetro es importante ya que con materiales muy húmedos se presentan pérdidas de nutrientes por efecto del drenado de agua en exceso. El contenido óptimo de humedad debe estar entre el 60 y el 70%.

3. Las condiciones anaeróbicas de la masa en el silo.

En la práctica, se deben tomar precauciones con el fin de asegurar un medio libre de oxígeno que de no existir, produciría una prolongación de la fase de respiración con el consecuente deterioro del material ensilado.

Estas precauciones son: una adecuada compactación de la masa ensilada para eliminar el oxígeno presente (con lo que se acortan los procesos de respiración) y controlar el tamaño de partícula (entre 1 y 3 cm), lo que permite tener una masa más densa y fácil de compactar. También es importante garantizar una altura mínima en el silo para que por un efecto de la fuerza vertical debida al peso y a la fuerza de la gravedad, se aumente la compactación.

En los silos de trinchera, caracterizados por tener la cara de entrada y de salida en forma de paralelogramo, una altura mínima de 2,5 metros es lo recomendable y en los verticales llamados de torre, que son cilindros altos, la altura debe ser por lo menos 2,5 veces el diámetro.

Por último, debe garantizarse un sellado hermético de la masa en el silo con plástico y tierra.

PROCESO DE ENSILAJE

Para lograr una adecuada conservación de la pulpa de café por medio del ensilaje se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Características del sustrato.
2. Tipo de silo.
3. Llenado y sellado del silo.
4. Salida de lixiviados.

1 CARACTERÍSTICAS DE LA PULPA

La pulpa de café debe provenir de un despulpado sin agua (Figura 1), ya que ésta posee las condiciones adecuadas para ser ensilada sin necesidad de utilizar aditivos:

- Su contenido de azúcares reductores es del orden del 12,6%.
- Tamaño de partícula entre 1 y 2 cm.
- Contenido de humedad alrededor del 75%.

La pulpa por ensilar no debe tener más de 2 días de obtenida, debido a las pérdidas de azúcares por fermentación que ocasionarían un producto de mala calidad.



Figura 1. Pulpa de café proveniente de un despulpado sin agua con menos de 2 días de obtenida.

La pulpa se puede ensilar en silos tipo fosa (Figura 2), los que deben tener forma trapezoidal, lo cual consiste en que el área superior es más ancha que la inferior, con el fin de realizar una mejor compactación del mate-



Figura 2. Silos tipo fosa para ensilaje de pulpa.

rial. Estos silos deben tener una altura mínima de 1,5 metros.

La pendiente de todas las paredes de la fosa debe tener un ángulo de 65°. El fondo de la fosa una inclinación del 1% hacia un canal central de 10 cm de ancho y éste, a su vez, también debe tener una pendiente igual por donde se deben canalizar los lixiviados fuera de la fosa para evitar que se acumulen y dañen el material ensilado. Debe entonces colocarse en el extremo del canal central un trozo de tubo PVC de 11/2" terminando afuera del silo en un codo PVC de 11/2" de forma que quede un sello de agua y evite la entrada de aire.

El volumen de la fosa se mide aplicando la fórmula:

$$V = 1/3 \text{ Altura} \times (\text{Base mayor} + \text{Base menor} + \sqrt{\text{Base mayor} \times \text{Base menor}})$$

En la figura 3 se detallan los planos de un silo fosa con capacidad para almacenar 7 toneladas de pulpa de café, equivalentes a la producción anual media de una finca cafetera de 3,5 ha de tamaño promedio.

Si se requiere almacenar cantidades mayores de pulpa se pueden construir silos-fosa contiguos como se aprecia en la Figura 2.

Alrededor de la fosa se debe construir una zanja para permitir la canalización y drenaje de las aguas lluvias e impedir que se infiltren al interior de la fosa.

Igualmente se aconseja la construcción de un cobertizo en guadua y plástico para evitar la incidencia de la lluvia directa, tal como se muestra en la Figura 2.

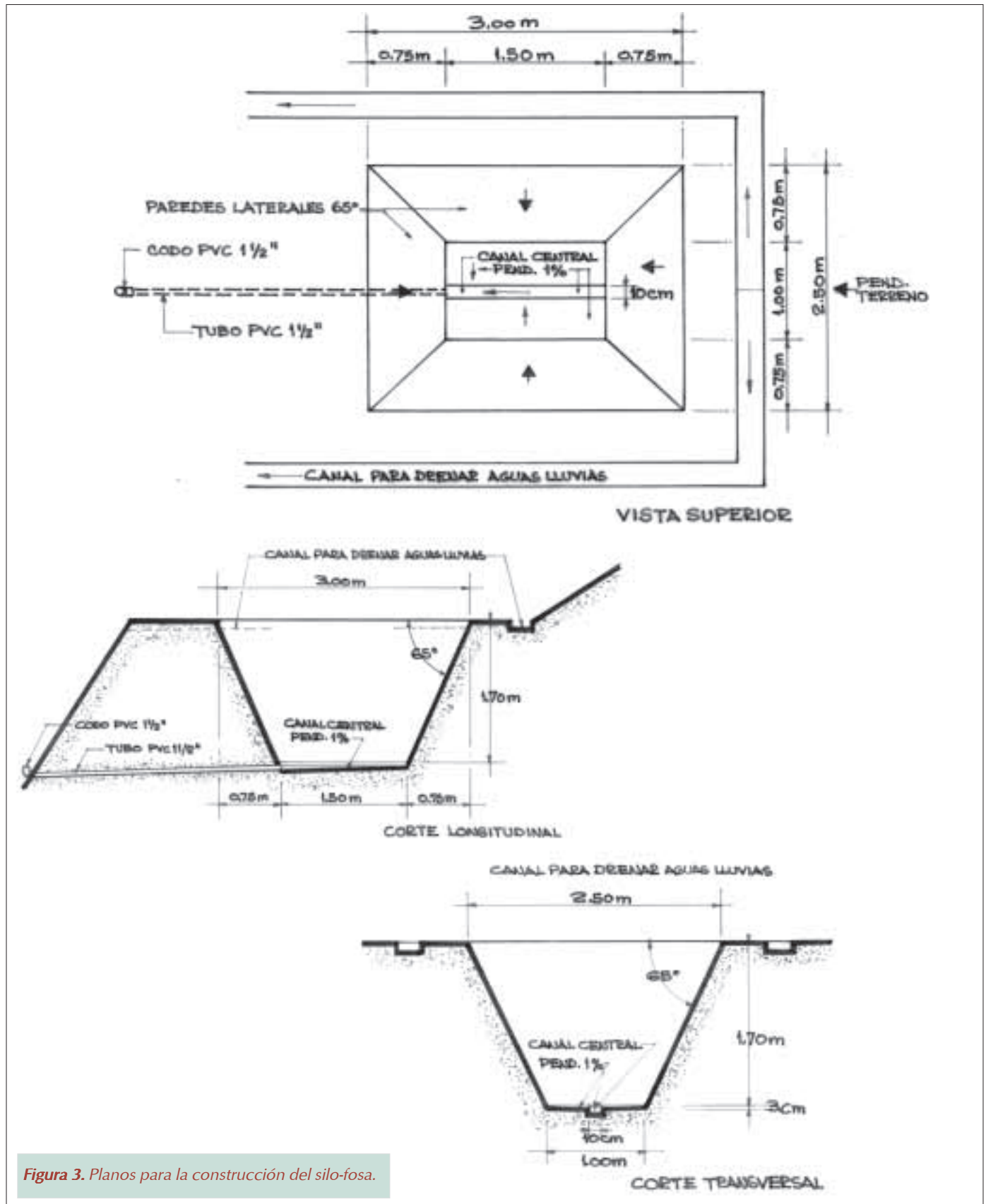


Figura 3. Planos para la construcción del silo-fosa.

2

LLENADO Y SELLADO DEL SILO

El primer paso para llenar el silo consiste en cubrir las paredes de la fosa con plástico tipo invernadero, para evitar que los microorganismos del suelo interfieran con el proceso de ensilado. Hay que tener en cuenta que el extremo interno del tubo de PVC por donde se eliminan los drenados generados durante el proceso, quede libre. Luego se empieza a adicionar la pulpa a granel, en capas de aproximadamente 20 cm y se compacta con la ayuda de un pisón o directamente con los pies (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Apisonamiento de la pulpa en la fosa.



Figura 5. Detalle de la compactación de la pulpa.

La compactación permite almacenar 1 tonelada de pulpa por cada metro cúbico de fosa. Si no se dispone de la pulpa necesaria para llenar el silo se puede ir ensilando la pulpa que se obtenga diariamente hasta por un período de 2 semanas. En este caso una vez adicionada y compactada la pulpa del día, se tapa el silo con el plástico y sobre éste se colocan sobrepesos para limitar la entrada de aire, y al día siguiente se levanta el plástico y se continúa con el proceso.

La pulpa también se puede ensilar almacenada en costales de fibra o fique. Para ello se empaqueta compactada a razón de 50 kg por costal y luego estos se estiban organizados de forma tal que se minimicen los espacios de aire dentro del silo (Figura 6.).

Posteriormente se tapa el material ensilado con plástico de invernadero y se adiciona una capa de tierra de aproximadamente 20 cm de altura, para evitar la entrada de aire y mantener constante la temperatura (Figura 7). Finalmente, se corta pasto y se coloca sobre la fosa (Figura 8.).



Figura 6. Ensilaje de pulpa de café en costales.



Figura 7. Cubrimiento del silo-fosa con tierra.



Figura 8. Aspecto final del silo-fosa lleno.

3 Salida de lixiviados

Por cada tonelada de pulpa de café ensilada se producen aproximadamente 150 litros de lixiviados con una carga contaminante en términos de DQO del orden de 96.000 ppm y un pH de 4 (Figura 9), los cuales deben tratarse en los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico (SMTA) recomendados por Cenicafé para el tratamiento de las aguas residuales de lavado (9).

Cambios en la composición de la pulpa de café por el proceso de ensilaje. En el seguimiento realizado a muestras de pulpa de café ensilada hasta un período de 4 años en silos fosa, se encontraron incrementos en los contenidos de cenizas, grasas, nitrógeno, fibra, Ca, Mg, Fe, Mn, B y Cu y un decremento en los contenidos de extracto libre de nitrógeno y potasio (Tabla 1).

El material ensilado presentó unas características físicas (olor, color, forma) similares al material fresco cuando se ensiló a granel (Figura 10), y cuando se ensiló en costales (Figura 11).

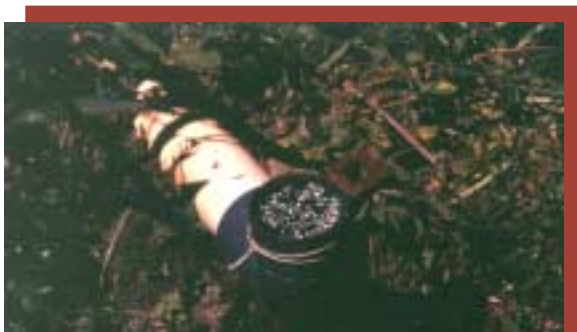


Figura 9. Salida de lixiviados y sello de agua del silo fosa.



Figura 10. Aspecto de la pulpa ensilada a granel.

Tabla 1. Caracterización físico-química de la pulpa de café antes y después del proceso de ensilaje.

Determinación	Pulpa fresca	Pulpa ensilada
Humedad (%)	80,16	70,65
Cenizas (% bs)	6,23	6,75
Grasas (% bs)	2,50	2,75
Nitrógeno (% bs)	1,89	2,30
Proteína (% bs)	11,81	14,38
Fibra (% bs)	13,28	23,55
E.L.N (% bs)	66,18	52,57
P (% bs)	0,11	0,08
K (% bs)	2,44	1,90
Ca (% bs)	0,40	0,70
Mg (% bs)	0,10	0,14
Fe (ppm)	210	770
Mn (ppm)	68	101
Zn (ppm)	18	12
B (ppm)	22	39
Cu (ppm)	19	27
pH	3,76	4,24

Las pérdidas encontradas durante el proceso de ensilaje fueron del orden del 23,5% en base húmeda y del 22,5% en base seca.

Utilización del material ensilado. La pulpa ensilada se puede utilizar después de 1 mes de realizado el proceso, tiempo en el cual ya han ocurrido las fermentaciones de tipo aerobio y anaerobio y el material se encuentra estable.

En las investigaciones realizadas en Cenicafé, se evaluó material ensilado hasta por un período de 4 años en silos-fosa tanto a granel (Figura 12), como empacado en costales (Figura 13), con excelentes resultados en el cultivo de hongos comestibles del género



Figura 11. Aspecto de la pulpa ensilada en costales.



Figura 12. Pulpa ensilada a granel utilizada como sustrato para el cultivo de hongos comestibles.



Figura 13. Pulpa ensilada empacada en costales utilizada en lombricultivos.

Pleurotus y como sustrato para alimentación de la lombriz roja en los programas de lombricultura.

Para el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* la pulpa ensilada se empacó en costales de fibra, a razón de 25 kg/costal y se puso a fermentar durante 10 días bajo agua que contenía benlate a una concentración de 160 miligramos/litro.

El procedimiento de cultivo realizado fue similar al descrito en el Avance Técnico N° 285 «Cultive hongos comestibles en pulpa de café» (7).

En las Figuras 14 y 15 se muestran, respectivamente, carpóforos de las cepas de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus sajor caju*, cultivadas sobre pulpa de café ensilada.

Los rendimientos medios obtenidos en el cultivo de los hongos fueron del 82,2% para la cepa de *Pleurotus sajor caju* (n =50, CV = 23%) y del 72,5% para la cepa de *Pleurotus ostreatus* (n = 50, CV = 24%).

En la Figura 16 se comparan los rendimientos obtenidos con ambas cepas utilizando pulpa de café ensilada y pulpa de café fresca.



Figura 14. Carpóforos de *Pleurotus ostreatus* sobre pulpa de café ensilada.



Figura 15. Carpóforos de *Pleurotus sajor caju* sobre pulpa de café ensilada.

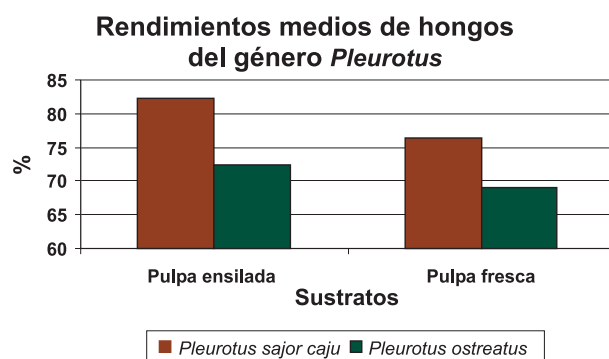


Figura 16. Rendimientos de cepas de hongos comestibles del género *Pleurotus* cultivadas en pulpa de café fresca y ensilada.

Los mayores rendimientos encontrados en el cultivo de hongos del género *Pleurotus* sobre pulpa de café ensilada, al compararlos con la pulpa fresca, estuvieron favorecidos por el incremento en el contenido de fibra y la disminución en el contenido de potasio que se presentó en la pulpa ensilada debido a los procesos de fermentación.

Para los lombricultivos, la pulpa ensilada se adicionó en capas de 4 cm y la alimentación se realizó una vez por semana. El manejo del lombricultivo se realizó siguiendo las recomendaciones dadas en el Avance Técnico N° 225 «Lombricultura en pulpa de café» (3).

Durante la experimentación se encontró una capacidad de proceso por parte de la lombriz de 0,85 kg de pulpa ensilada/m²-día y una producción de lombricompostado húmedo de 0,38 kg de lombricompostado/m²-día.

En este caso el rendimiento del proceso de lombricultura fue del 45%, ligeramente superior al encontrado con la pulpa fresca que fue del 42%.

En la Figura 17 se muestra la lombriz roja descomponiendo la pulpa



Figura 17. Lombrices descomponiendo la pulpa de café ensilada.

de café ensilada y en la Figura 18, el aspecto del lombricompostado obtenido.



Figura 18. Lombricompostado obtenido de pulpa de café ensilada.

LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ G., J. Despulpado de café sin agua. Chinchiná, Cenicafé. Avances Técnicos Cenicafé No 164:1-8. 1991
2. BARNETT, A.J.G. Silage Fermentation. New York, Academic Press Inc. 1954. 208p.
3. DÁVILA A., M.T.; RAMÍREZ G., C.A. Lombricultura en pulpa de café. Chinchiná, Cenicafé. Avances Técnicos. Cenicafé N° 225: 1-11. 1996.
4. GÓMEZ C., F. A. Estudio del cultivo de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus sajor caju* en pulpa de café. Universidad Católica de Manizales. Facultad de ciencias de la salud. Carrera de Bacteriología. Manizales 1997. 150 p. (Tesis: Bacteriólogo y Laboratorista Clínico).
5. JIMÉNEZ C., C.; BOSCHINI F., C. fermentación anaeróbica de sustratos sólidos fibrosos para la alimentación animal (ENSILAJE). In: Fermentaciones en sustratos sólidos. ICAITI. Tegucigalpa, Honduras, 2-4 de Agosto. 1982.
6. ROA M., G.; OLIVERO S., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; ÁLVAREZ H., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio Ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé. 1999. 300 p.
7. RODRÍGUEZ V., N.; GÓMEZ C., F.A. Cultive hongos comestibles en pulpa de café. Chinchiná, Cenicafé. Avances Técnicos. Cenicafé N° 285: 1-8. 2001.
8. RODRÍGUEZ V., N. Ensilaje de pulpa de café para su posterior utilización como sustrato en el cultivo de hongos comestibles. Chinchiná, Cenicafé. Disciplina de Química Industrial, 1992.63 p. (Experimento QIN-09-08)
9. ZAMBRANO F., D.; ISAZA H., J.D.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Chinchiná, Cenicafé. 1999. 26 p. (Boletín Técnico N° 20).

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café
"Pedro Uribe Mejía"

Chinchiná, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
cenicafe@cafedecolombia.com

Edición: Héctor Fabio Ospina Ospina
Fotografía: Nelson Rodríguez Valencia
Dibujo: Gonzalo Hoyos Salazar
Diagramación: Carmenza Bacca Ramírez