



DIRECCIÓN DE NUEVAS CREACIONES
PRESENTACIÓN DE OPOSICIÓN

1. Oposición a solicitud de:

- ☐ Patente de invención
☐ Registro de Diseño Industrial
☒ Patente de Modelo de Utilidad
☐ Esquema de Trazado de Circuitos Integrados

Número de expediente: 12-014.343.

Solicitante: CARLOS MARIO GALLEGO SANCHEZ

Apoderado: GERMAN ALONSO CUBILLOS MENZOZA

Título de la Nueva Creación: MÁQUINA SECADORA DE GRANO Y DE DESPULPADO DE CAFÉ DE ALTA CALIDAD

Gaceta: 662 de fecha 15 de febrero de 2013

2. Datos del Opositor

☐ Persona Natural

☒ Persona Jurídica

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

Nombre o denominación /Razón social completa

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Nombre del representante legal

Documento de identificación: C.C. ☐ C.E. ☐ NIT ☐ Otro ☐Cuál 860007538-2

Número 10.536.679 de Popayán

Dirección Ciudad Bogotá

Teléfono +57 (1) 6017700 Fax: +57 (1) 601-7799 Correo electrónico office@olartemoure.com

☐ Autorizo expresamente a la Superintendencia de Industria y Comercio para que todas las comunicaciones sean enviadas a través de la dirección de correo electrónico

3. Datos del representante o apoderado:

CARLOS R. OLARTE

79.782.747

74.295

Apellidos y Nombre

Documento de identificación

Tarjeta profesional

Dirección del representante

Carrera 5 No.34-03

Dirección electrónica

office@olartemoure.com

No. Fax

+57 (1) 6017799

Número telefónico

+57 (1) 6017700

En caso de haber presentado poder general para asuntos que se adelanten ante la Delegatura de Propiedad Industrial, sírvase indicar el número de su radicación o protocolo de poder general:

2

4. Fundamentos de la oposición

Causal:

FALTA DE NOVEDAD, E INSUFICIENCIA DEL CAPITULO DESCRIPTIVO SEGÚN EL Art. 14, 16 y 28 de la Decisión 486

Justificación VER ADJUNTO

Prórroga:

SI

☐

NO

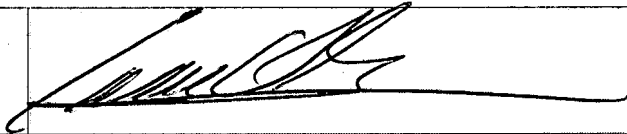
☒

5. Anexos

- ☒ Comprobante de pago de la tasa.
- ☒ Poder, si fuera el caso.
- ☒ Fundamentos de la oposición. Se anexan ____ folios (obligatorios indicar cuántos).
- ☒ Anexo de fundamentos de la oposición. Se anexan ____ folios (obligatorios indicar cuántos)
- ☒ Copias para traslado.
- ☒ Copia de la solicitud y sus anexos en formato magnético.

6. Firma

CARLOS R. OLARTE



Nombre del Firmante

Firma

79.782.747 de Bogotá

74.295

C.C

Tarjeta Profesional

Señores

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

DIVISIÓN DE NUEVAS CREACIONES

E. _____ S. _____ D. _____

Re: Expediente N° 12-014.343

Solicitud de Patente de Modelo de Utilidad Titulada: "MÁQUINA SECADORA DE GRANO Y DE DESPULPADO DE CAFÉ DE ALTA CALIDAD"

Solicitante: CARLOS MARIO GALLEGO

Publicación: Gaceta de la propiedad industrial No. 662 de fecha 15 de febrero de 2013

Opositor: FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS

Nuestra Ref.: OP2013/000001

OPOSICIÓN SEGÚN EL ARTÍCULO 42 DE LA DECISIÓN 486

CARLOS R. OLARTE, mayor de edad y vecino de Bogotá, D.C., identificado tal como aparece al pie de mi firma, en mi condición de apoderado de la Federación Nacional de Cafeteros como administradora del Fondo Nacional del Café, respetuosamente me permito presentar **OPOSICIÓN** fundamentada a la solicitud de Patente de Modelo de Utilidad de la referencia, publicada el 15 de febrero de 2013.

1. ANTECEDENTES

1.1 La solicitud de Patente de Modelo de Utilidad No. 12-014.343 fue presentada ante la Superintendencia de Industria y Comercio ("SIC") el 31 de enero de 2012, por lo que el estado de la técnica, al evaluarse los requisitos de patentabilidad, comprende cualquier divulgación hecha con anterioridad al 31 de enero de 2012.

1.2 La solicitud de Patente de Modelo de Utilidad No. 12-014.343 contiene 11 reivindicaciones, por medio de las cuales se pretende reclamar: una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad.

1.3 La solicitud de Patente de Modelo de Utilidad No. 12-014.343 fue publicada en la Gaceta No. 662 de fecha 15 de febrero de 2013, dando inicio al término legal de 30 días hábiles para presentar oposiciones fundamentadas.

2. PRETENSIÓN

Que se declare fundada esta oposición y en consecuencia se niegue el derecho solicitado en este expediente (denominada como *solicitud objetada* de aquí en adelante).

3. FUNDAMENTOS DE LA OPOSICIÓN

3.1 En primer lugar, me permito señalar que el artículo 14 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina señala lo siguiente:

“Los Países Miembros otorgarán patentes para las invenciones, sean de producto o de procedimiento, en todos los campos de la tecnología, siempre que sean nuevas, tengan nivel inventivo y sean susceptibles de aplicación industrial.”

A su vez, el artículo 16 ibídem establece:

“Una invención se considerara nueva cuando no está comprendida en el estado de la técnica.”

El estado de la técnica comprenderá todo lo que haya sido accesible al público por una descripción escrita u oral, utilización, comercialización o cualquier otro medio antes de la fecha de presentación de la solicitud de patente o, en su caso, de la prioridad reconocida. [...]” (subrayado fuera del texto).

Por su parte el artículo 28 ibídem señala

“La descripción deberá divulgar la invención de manera suficientemente clara y completa para su comprensión y para que una persona capacitada en la materia técnica correspondiente pueda ejecutarla. [...]”

El artículo 81 de la misma disposición normativa dice:

“Se considera modelo de utilidad, a toda nueva forma, configuración o disposición de elementos, de algún artefacto, herramienta, instrumento, mecanismo u otro objeto o de alguna parte del mismo, que permita un mejor o diferente funcionamiento, utilización o fabricación del objeto que le incorpore

9

o que le proporcione alguna utilidad, ventaja o efecto técnico que antes no tenía. [...]"

3.2 Como se demostrará a continuación, no resulta procedente otorgar privilegio de modelo de utilidad a la solicitud de la referencia, toda vez que la solicitud carece de los requisitos legales para ser patentable, pues no es NOVEDOSA ni revela de manera SUFICIENTEMENTE CLARA Y COMPLETA la invención.

4. En cuanto al requisito de NOVEDAD:

a- Considero pertinente a este respecto tener en cuenta las siguientes apreciaciones del Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina de la interpretación prejudicial del Proceso 229-IP-2005:

"[...] el requisito de novedad exige que la invención no esté comprendida en el estado de la técnica, que comprende el conjunto de conocimientos tecnológicos accesibles al público antes de la fecha de presentación de la solicitud de patente o, en su caso, de la prioridad reconocida.

Para la aplicación de este concepto, es importante que el estudio del estado de la técnica esté basado en las características o condiciones innovadoras del invento.

En este sentido, el "estado de la técnica está constituido por todo lo que antes de la fecha de presentación de la solicitud se ha hecho accesible al público por una descripción escrita u oral, por una utilización o por cualquier otro medio, en cualquier lugar del mundo" [...]"

"El concepto de novedad absoluta respecto de una invención implica que para que un invento sea nuevo y no se encuentre en el estado de la técnica, no puede haber sido conocido ni dentro del territorio en el que se solicita la patente, ni en ningún otro país. Es lo que se conoce como el alcance universal de la novedad, pues no basta que un invento sea nuevo y no esté en el estado de la técnica de un territorio dado, sino que tampoco lo esté en el resto del mundo, salvo el año de prioridad a que se refiere el artículo 12 de la Decisión 344."¹

b- Aplicando el anterior articulado y lo definido por el Tribunal al presente caso, la máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, reclamado en las Reivindicaciones 1 y dependientes, no cumple con el requisito de novedad porque ya se encuentra comprendido en el estado de la técnica, es decir, ya ha sido divulgado y por lo tanto no cumple con las condiciones del artículo 16.

¹ Proceso N° 1-AI-1996. Sentencia de 30 de octubre de 1996, publicada en Gaceta Oficial del Acuerdo de Cartagena N° 234 de 21 de abril de 1997.

En efecto, la publicación titulada “Beneficio Ecológico del Café”², del cual se anexa copia para la referencia del señor Examinador como **ANEXO 1**, revela todas y cada una de las características reclamadas por el Solicitante. Dicha publicación divulga máquinas de distinta índole relacionadas con el beneficio húmedo y seco de café (desde el transporte del café hacia el beneficiadero, pasando por el manejo y tratamiento del café, hasta el su obtención final y obtención de los materiales derivados del café), las cuales son fundamentales para realizar un proceso de despulpado y de secado, tal y como lo reclama el Solicitante.

c- El Solicitante reclama como novedosos los siguientes aspectos:

“1. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, cilíndrica, con capacidades de 21; 30; 45; 60; 90; 150; 240; 300; 400 o 500 arrobas de grano, que a la vez comprende un beneficio húmedo, despulpando el café; y un beneficio seco, mediante el proceso de secado de cualquier grano orgánico.”

En relación con el invento, el Solicitante está tratando de reclamar la idea de combinar el despulpado de café por beneficio húmedo y seco con secadores de grano en una sola máquina. Específicamente, el solicitante describe que “la máquina secadora de granos y de despulpado de café de alta calidad” está caracterizada porque comprende ocho procesos que son:

- 1) clasificado de cerezas;
- 2) despulpado;
- 3) fermentado;
- 4) lavado;
- 5) escurrimiento mecánico;
- 6) secado;
- 7) sistema de combustión mediante dos chimeneas y dos ventiladores; y
- 8) sistema de tablero electrónico digital.

La publicación que adjunto como **ANEXO 1**, divulga:

1) **Clasificado de cerezas:** En las páginas 54 a 60, los distintos mecanismos utilizados para la recepción del café, el cual incluye tolvas, como lo divulga el Solicitante con una variedad de dimensiones y capacidades de tolvas para el recibo del café en cereza. Adicionalmente, la clasificación del café en cereza se ha realizado desde hace mucho tiempo y es muy común ver en beneficiaderos antiguos con tanques sifón, los cuales han sido reportados en numerosas publicaciones de Cenicafé (Roa et al. 1999, entre otros) y de otros autores. Por ejemplo, la patente de invención colombiana con número 07-128.251

² Documento Publicado por Cenicafé: ROA, M. G; OLIVEROS, T. C.E.; ALVAREZ G. J.; RAMIREZ, G. C.A.; SANZ, U. J.R.; ALVAREZ, H.J.R.; DAVILA, A.M.T.; ZAMBRANO, F. D.A.; PUERTA, Q. G.I.; RODRIGUEZ, V. N. Beneficio Ecológico del Café. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ, 1.999. 300p.

8

titulada “Alimentador de frutos de manera individual con acondicionamiento de materia prima”, recientemente concedida, incluye el “separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín” que realiza la misma labor. Es conocido en el ramo del beneficio del café el uso de numerosos montajes con sistemas de clasificación con motobomba, como el montaje de la Central de Beneficio de Anserma, como lo muestra la siguiente fotografía tomada en el año 2011:

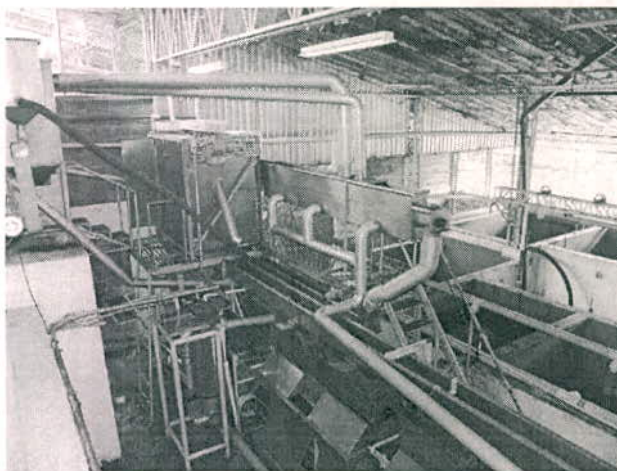


Figura 1. Sistema de clasificación hidráulico con motobomba y "pescador de piedras".

2) **Despulpado:** En las páginas 60 a 70 del **ANEXO 1**, se explica en detalle el proceso de despulpado con distintos mecanismos y específicamente con los equipos denominados DESLIM (nombrado por el Solicitante en su document) y el módulo BECOLSUB. Estos dos equipos patentados por la Federación Nacional de Cafeteros que reclaman equipos mecánicos para la transformación del café cereza a café pergamino, lavado que incluyen el despulpado sin agua, el desmucilaginado, el lavado y la limpieza del café pergamino y la mezcla del mucílago con la pulpa. Estos equipos utilizan despulpadoras convencionales, aparatos desmucilaginales que lavan, limpian, y disponen verticalmente con flujo ascendente un tornillo sinfín para transportar la pulpa y mucílago.

Adicionalmente, los últimos adelantos que se pueden contar son la despulpadora de cilindro vertical desarrollada por Penagos y la patente colombiana número 06-3875 de Federacafé titulada, “Máquina despulpadora de café, con tolerancia a objetos duros, de diseño mejorado, construida en plásticos de ingeniería”.

3) **Fermentado:** En la página 71 del **ANEXO 1** se menciona el proceso de fermentación, que corresponde a una práctica común de los caficultores que procesan su café. El 90% de estos caficultores procesan su café con fermentación natural y más del 60% de ellos lo hacen sin agua, de la manera que pretende patentar el Solicitante.

4) **Lavado:** En las páginas 71 a 76 del ANEXO 1 se divulgan distintas maneras de lavar el café, incluyendo el transporte con motobomba, como lo pretende reclamar el Solicitante. El lavado del café utilizando máquinas, con altos consumos de agua, generando contaminación ambiental, no es novedoso ya que utiliza desde hace muchos años en este sector de la tecnología agrícola. En el texto que describe la tecnología que se pretende patentar, el Solicitante incluye como lavador el sistema DESLIM que pertenece a la Federación Nacional de Cafeteros dentro de la tecnología BECOLSUB. Este sistema es explicado y sustentado en las páginas 65 a la 100 del **ANEXO 1**.

Adicionalmente, el Solicitante está cometiendo un error al pretender lavar el café con una tecnología que es para remover mecánicamente el mucílago del café despulpado (sin fermentación natural). El uso de esta máquina en estas condiciones genera un alto daño mecánico al café, y por tanto no podría reclamarse un producto de alta calidad como lo pretende el Solicitante. El Solicitante menciona un tanque con forma cónica para la fermentación del café, pero no indica la ventaja asociada a esta forma geométrica, ni tampoco si se requiere agua para retirar el café una vez finaliza el proceso de fermentación.

5) **Escurrimiento mecánico:** El fenómeno de escurrimiento de café transportado con agua hacia los secadores es abordado en el **ANEXO 1** mediante el equipo DESLIM (páginas 65 a la 100). Partiendo del hecho que se pasa de 5% de escape de agua a menos del 1%, y adicionalmente se puede enjuagar el café con agua limpia antes del secado, este sistema es usado en los diferentes montajes de centrales de secado, por lo que es un sistema comúnmente usado por los caficultores. La Figura 2 muestra un sistema de escurrido, instalado en una Central de beneficio en Antioquia y en la Central de Secado del municipio de Garzón (Huila) como parte del proceso de beneficio húmedo del café.

Q

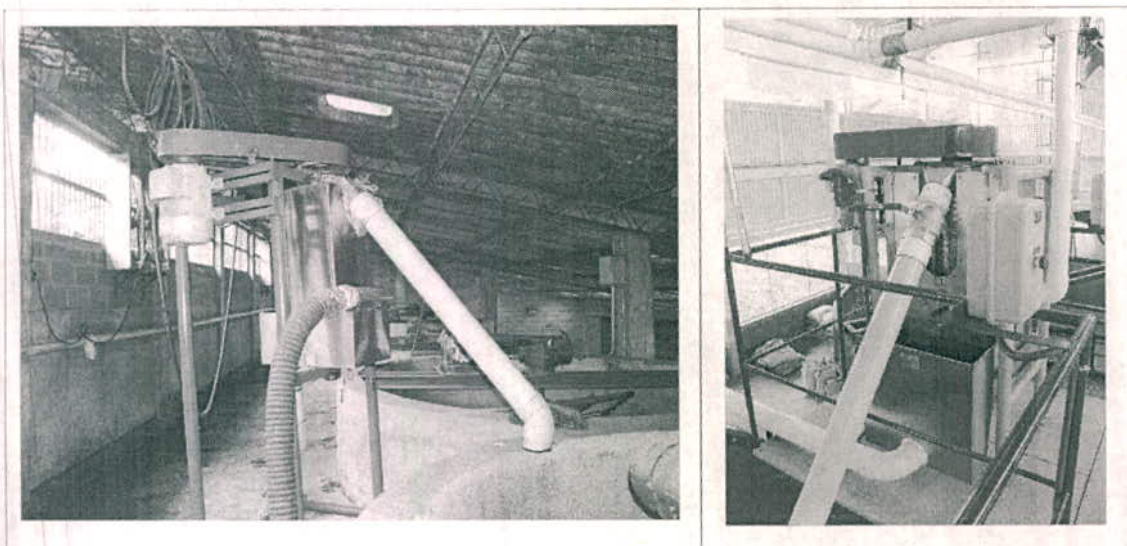


Figura 2. Sistema mecánico para escurrir café (Fuente: <http://www.jmestrada.com/images/stories/pdfs/Secadoras%20y%20Guardiolas.pdf>), en Antioquia(a) y en el Huila (b). Ambas fotografías tomadas en septiembre 15 de 2010.

6) **Secado:** El Capítulo 4 del **ANEXO 1**, páginas 147 a 200 divulga: múltiples formas de secado de café, entre ellas el proceso mecánico utilizado por el Solicitante, que se compone de ventiladores centrífugos y mallas para airear el café. El **ANEXO 1** incluso divulga la forma de calcular caudales de aire específicos para distintos flujos de cosecha de café, y así de esa manera seleccionar el tipo y número de ventiladores a usar en el proceso. Así mismo, el **ANEXO 1**, páginas 164 en adelante, divulgan intercambiadores de calor que hacen pasar aire caliente a través de múltiples capas de café a través de los ventiladores centrífugos. El **ANEXO 1** detalla

Adicionalmente, el **ANEXO 1** divulga un sistema de combustión que toma aire y lo calienta para secar el grano a través de múltiples capas estáticas de café (páginas 168 y 169, **ANEXO 1**) utilizando distintos combustibles como el ACPM, coque, carbón mineral, cisco o pergamino de café, algunos productos resultantes de la refinación de petróleo, gas, etc. (Página 164 del **ANEXO 1**).

Comercialmente se pueden encontrar secadores comerciales de varios pisos. En la Figura 3, es muestra un secador de tres piso fabricado por la empresa JM Estrada de Antioquia, e instalados en la Central de Beneficio de Anserma (Caldas) desde hace 5 años. Este tipo de secador solamente difiere del equipo que pretende proteger el Solicitante en pocos aspectos en una capa o piso adicional, que en la práctica de ingeniería, implementar un piso más a una torre de secado es una labor común de la ingeniería mecánica y química, pues únicamente implica el aumento del área de transferencia de calor para aprovechar al máximo el aire caliente obtenido en el intercambiador de calor. Este dimensionamiento

debería lograr posiblemente un uso más eficiente del combustible, aunque sin alcanzar el 100% que menciona el Solicitante en el documento, sin tener en cuenta el costo adicional en que se incurre para lograrlo.

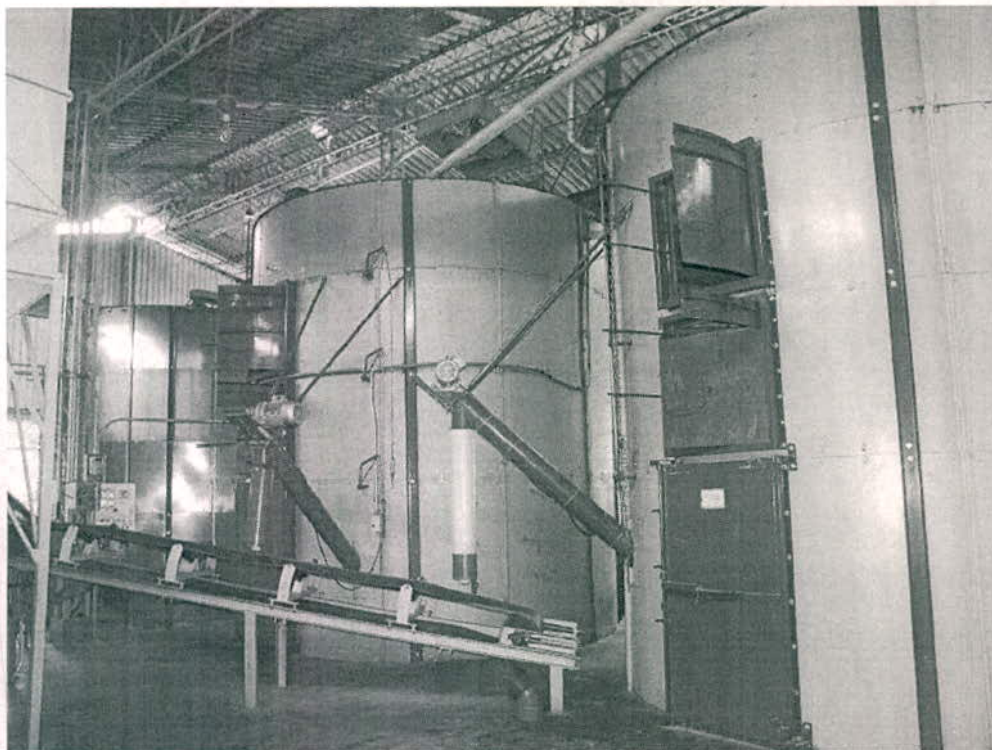


Figura 3. Batería de secadores cilíndricos verticales de tres pisos. (Fuente: <http://www.jmestrada.com/images/stories/pdfs/Secadoras%20y%20Guardiolas.pdf>)

7) **Sistema de tablero electrónico digital:** En el **ANEXO 1**, se determina específicamente que el café es extremadamente sensible a las altas temperaturas, y por tal razón debe ser un proceso que amerita un cuidado especial. Por esa misma razón, se dedica un capítulo completo (páginas 147 a 190) para establecer los límites y parámetros a los que debe estar expuesto el café al momento de ser secado. El **ANEXO 1**, establece que 50°C es la temperatura máxima a la cual el café pergamino puede estar expuesto por poco tiempo sin sufrir daños en la estructura y/o composición química que afecten su calidad física y sensorial a corto plazo, y su comportamiento en almacenamiento a mediano y largo plazo. Por tal razón, es una práctica común que todos los secadores mecánicos tengan implementado un control para que dicha especificación se cumpla. Pretender proteger un sistema electrónico común disponible en el estado del arte para controlar una temperatura, no tiene novedad y menos actividad inventiva. Por ejemplo, los sistemas más comunes usados para el control de temperatura es el pirómetro, que es un sensor de temperatura basado en la medición sin contacto (visual) de la radiación infrarroja que emiten los cuerpos, la cual es proporcional a la temperatura del objeto. También se usan sistemas de

control por tiempos (o temporizado), que es un sistema de control muy usado, el cual se conoce como control programado. El Examinador debe tener en cuenta a la hora de hacer su evaluación de novedad, que estos sistemas de control no son mecedores de protección pues son de dominio público. Además, como sustentaré en el siguiente punto, el Solicitante no da información sobre el principio utilizado para controlar la humedad del café durante el proceso de secado, por lo cual no cumple con el requisito legal de permitir a una persona versada en la materia reproducir el invento.

d- El Solicitante en la Reivindicación 2 reclama:

“2. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según la reivindicación 1, que se caracteriza porque cuenta con un beneficio húmedo que comprende un sistema de clasificado de café cereza; unos sistemas de despulpado; de fermentado; de lavado; y de escurrimiento mecánico.”

Como lo mencioné anteriormente, el sistema de clasificado, despulpado, fermentado, lavado y escurrimiento mecánico están divulgados en el **ANEXO 1**, páginas 54 a 60 (clasificación), páginas 60 a 70 (despulpado), página 71 (fermentado), páginas 71 a 76 (lavado), y páginas 65 a la 100 (escurrimiento mecánico).

e- El Solicitante en la Reivindicación 3 reclama:

3. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza por comprender un beneficio seco con un sistema de secado, un sistema de combustión y un sistema de tablero electrónico digital.

Como lo sustenté anteriormente, el beneficio seco de café que comprende un sistema de secado, un sistema de combustión y un sistema de tablero electrónico digital, ya estaba divulgado en el estado del arte y el **ANEXO 1** lo divulga en los siguientes apartes: páginas 147 a 200 (sistema de secado), página 164 (sistema de combustión) y páginas 147 a 190 (sistema de tablero electrónico digital).

f- El Solicitante en la Reivindicación 4, que erróneamente está numerada como 11, reclama:

4. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza porque en el proceso del

2

beneficio húmedo re-clasifica el café de primera calidad, resultante de una primera clasificación, obteniendo así un café de calidad superior.

Como lo mencioné en el paso de lavado, el Solicitante está cometiendo un error al pretender lavar el café con una tecnología que es para remover mecánicamente el mucílago del café despulpado (sin fermentación natural). El uso de esta máquina en estas condiciones genera un alto daño mecánico al café, y por tanto no podría reclamarse un producto de alta calidad como lo pretende el Solicitante. El simple hecho de colocar una zaranda a un fruto que ha sido despulpado, no garantiza la obtención de un producto de calidad superior, como lo quiere reclamar el Solicitante. Por el contrario, así colocara múltiples zarandas clasificadoras, al momento de lavar cualquier grano con una máquina que se utiliza comúnmente para remover el mucílago, generaría daño al café.

g- El Solicitante en la Reivindicación 5, que erróneamente está enumerada como 4, reclama:

5. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza por realizar un proceso de fermentación natural del café sin consumo de agua.

El **ANEXO 1**, en la página 71 del ANEXO 1 se menciona el proceso de fermentación, que corresponde a una práctica común de los caficultores que procesan su café. Allí se menciona que el proceso de fermentado se utiliza únicamente para facilitar el lavado del café. Como lo mencioné anteriormente, esta práctica de fermentar el café sin agua es utilizada por cerca del 60% de los caficultores.

h- El Solicitante en la Reivindicación 6, que erróneamente está enumerada como 5, reclama:

“6. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza por realizar un proceso de secado de granos mediante el máximo aprovechamiento del aire caliente, en un periodo de tiempo desecado de 16 a 20 horas.”

Como lo sustenté anteriormente, el **ANEXO 1** divulga la forma de obtener eficiencias en el secado de café utilizando ventiladores centrífugos e intercambiadores de calor para hacer pasar aire caliente a través de múltiples capas de café (Capítulo 4). Las pautas generales

13

divulgadas en **ANEXO 1**, le brindan el conocimiento a cualquier persona versada en la materia para obtener una eficiencia como la reclamada por el Solicitante.

i- El Solicitante en la Reivindicación 7, que erróneamente está enumerada como 6, reclama:

“6. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza porque cuenta con un detector de humedad que permite obtener más precisión en el secado del grano, de tal modo que cuando este ya se encuentra seco, suena una alarma de aviso.”

El Solicitante está pretendiendo reclamar una práctica común que se usa en los procesos de manejo de materia prima como el café. El Capítulo 4 del **ANEXO 1** le dedica una buena parte a señalar la importancia de este tipo de procesos mediante múltiples técnicas directas e indirectas y mediante múltiples instrumentos para evitar la subjetividad en las mediciones de la humedad. Aunque el Solicitante no establece cómo hace la medición de la humedad, el **ANEXO 1**, divulga múltiples formas de hacerlo y determina específicamente los rangos a los que los granos de café deben estar para realizar una buena cosecha.

j- El Solicitante en la Reivindicación 8, que erróneamente está enumerada como 7, reclama:

7. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza por poseer cuatro (4) mallas para cuatro (4) capas de grano, en su cuarto de secado.

Esto corresponde simplemente a una modalidad de realización de las múltiples formas conocidas en el estado del arte. El Capítulo 4 del **ANEXO 1** divulga secadores mecánicos de distintas capacidades, en las que incluyen múltiples mallas o pisos perforados para alojar las capas de granos de café a secar.

k- El Solicitante en la Reivindicación 9, que erróneamente está enumerada como 8, reclama:

“8. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza por permitir el uso de combustibles, tales como ACPM, cisco, madera, arroz, carbón mineral, carbón coké, gas propano o natural, leña, tuzas y electrolisis.”

Como lo señalé anteriormente, el **ANEXO 1** divulga un sistema de combustión que toma aire y lo calienta para secar el grano a través de múltiples capas estáticas de café (páginas 168 y 169, **ANEXO 1**) utilizando distintos combustibles como el ACPM, coque, carbón mineral, cisco o pergamino de café, algunos productos resultantes de la refinación de petróleo, gas, etc. (Página 164 del **ANEXO 1**).

l- El Solicitante en la Reivindicación 10, que erróneamente está enumerada como 9, reclama:

“9. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza por tener un sistema de combustión de dos chimeneas, dos ventiladores y una campana de choque de pos-combustión, para que el combustible que no se pudo quemar sea devuelto y se queme nuevamente.”

En el Capítulo 4 del **ANEXO 1**, se establecen los principios para dimensionar secadores de café de diversas dimensiones. En el **ANEXO 1** se divulgan sistemas secadores en capas estáticas con múltiples compartimentos de secado, presecado de tal forma que se utilice eficientemente el flujo de aire caliente a través de todas las capas de café a secar. Es tan común dimensionar este tipo de secadores como lo pretende reclamar el Solicitante, que me permito adjuntar como **ANEXO 2**, las páginas 1 a 33 de la tesis titulada “design and comparative evaluation of three layer coffee dryer machine”, que es una tesis de maestría del señor Arturo Correa Piedrahita³.

m- El Solicitante en la Reivindicación 11, que erróneamente está enumerada como 10, reclama:

10. Una máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad, según reivindicación 1, que se caracteriza por tener un tablero electrónico y digital, donde se calibra la temperatura con decimas de grado error.

Como lo señalé anteriormente, el **ANEXO 1** le dedica un capítulo completo (páginas 147 a 190) para establecer los límites y parámetros a los que debe estar expuesto el café al momento de ser secado y la razón por la que es una práctica común que todos los secadores mecánicos tengan implementado un control para que dicha especificación se

³ CORREA-Piedrahita, Arturo. (Mayo de 2003). “Design and comparative evaluation of three-layer coffee dryer machine”. Tesis de grado de maestría en biosistemas de ingeniería. Páginas 1 a 33.

15

cumpla. Como lo señalé anteriormente, pretender proteger un sistema electrónico común disponible en el estado del arte para controlar una temperatura, no tiene novedad y menos actividad inventiva.

De acuerdo a lo anterior, el Solicitante aquí está pretendiendo obtener protección para todo el proceso de beneficio húmedo y seco actual, sin aportes propios, utilizando máquinas que se utilizan en el arte, por lo anterior, la máquina secadora reclamada por el Solicitante no es novedosa.

5. En cuanto al requisito de divulgar la invención de manera SUFICIENTEMENTE CLARA Y COMPLETA:

a- En desarrollo del Artículo 28 de la Decisión 486 y el Manual Andino de Patentes sobre la claridad de la Descripción, dichas normas establecen que la Descripción debe ser clara, esto es, “debe realizarse en términos que permitan la comprensión del problema técnico y la solución aportada por la invención” y además que debe ser suficiente, esto es, que por un lado “contenga la suficiente información técnica para que una persona con conocimiento medio en el arte pueda poner en práctica la invención”, y por el otro que esta divulgación sea “suficiente para conocer el aporte que se está haciendo a la tecnología”.⁴ (subrayado fuera del texto)

b- Pues bien, tal y como podrá corroborar el Despacho de acuerdo con una revisión de la solicitud, la Descripción no cumple con los requisitos anteriormente señalados como se detalla a continuación:

i- No es posible abstraer de la información divulgada por la solicitud, la configuración y los elementos de las máquinas descritas.

ii- No es posible entender cómo se reduce el número de horas de secado, si no se está describiendo estructuralmente la máquina. El Solicitante se limita a decir que está compuesto por cuatro mallas, pero no reporta velocidades de transferencia de calor, ni velocidades de aire caliente, que permitan dimensionar las supuestas bondades del nuevo dispositivo.

⁴ Manual Andino de Patentes. Sección 3.2 Claridad y Sección 3.3 Suficiencia, páginas 32 a 33.

iii- No se entiende cómo aumenta la eficiencia del intercambiador del calor al usar la misma variedad de combustibles usados en el estado del arte.

iv- No establece estructuralmente la relación de los elementos para dimensionar o al menos entender cómo optimiza el recorrido del aire y lograr una optimización del 60% de la temperatura.

v- No establece al menos una forma de medición de la humedad. No señala cómo lo hace, o por medio de que instrumento logra evaluar dicho parámetro.

vi- No establece los parámetros mínimos del funcionamiento de la máquina de lavado. Aunque señala que lo hace mediante el equipo DESLIM, del cual la Federación Nacional de Cafeteros es propietario de su patente, no señala cómo une los distintos procesos, y por lo tanto que señala la forma en que dichos equipos interactúan entre ellos. No presenta valores que demuestren que efectivamente funciona la máquina reclamada. Si lo que pretende es reclamar una mejora a lo que ya existe en el arte, no está demostrando cómo lo está haciendo.

vii- No describe la forma de despulpado del café. Tampoco establece los resultados obtenidos de esta práctica. No es posible abstraer de la información divulgada por la solicitud de patente, qué velocidad es requerida por el despulpador para generar una succión de tal forma que permita succionar los frutos.

viii- No entra en el detalle específico del tipo de ventilador centrífugo. No menciona las posibilidades de construcción, ni la modalidad preferida.

ix- No da información acerca de la capacidad de la máquina.

x- Ya que se supone que es un modelo de utilidad y del cual pretende evidenciar una mejora, no se menciona en ningún momento en términos de eficiencia (v.gr., tiempos de recolección, porcentaje de frutos recogidos, tiempo empleado por sitio, etc.) las bondades de la supuesta nueva construcción de la máquina.

c- Finalmente pongo de presente al Despacho que la falta en la suficiencia de divulgación de la Descripción no puede ser superada mediante una modificación posterior de la solicitud. Lo anterior, por cuanto la única opción con la que contaría el solicitante para ello sería mediante la inclusión de las características técnicas de la invención principal, lo cual excede la facultad del solicitante de efectuar modificaciones a su solicitud en la medida que estaría adicionando información revelada en la presente solicitud al momento de su presentación.

6. CONCLUSIÓN:

Teniendo en consideración las aclaraciones expuestas a lo largo de este documento, es evidente que la máquina secadora de grano y de despulpado de café de alta calidad presentado en la solicitud objetada carece de novedad, claridad y suficiencia por ser un dispositivo técnica y operativamente similar a lo que comúnmente se encuentra en el estado del arte y que el documento **ANEXO 1**, describe en detalle.

Es más, es fácil darse cuenta que los elementos que componen el equipo de la solicitud objetada no constituyen un elemento diferenciador con lo divulgado hasta el momento en el arte. Es fácil darse cuenta que lo que se intenta reclamar como novedoso está divulgado por el **ANEXO 1**, pues todos los elementos reclamados por el Solicitante se encuentran divulgados. Ni los elementos de manera individual, ni la combinación de estos elementos permite establecer un elemento diferenciador con la maquinaria ya existente.

La construcción mecánica de la máquina reclamada por la solicitud objetada no presenta resultados inesperados o presenta elementos novedosos que permitan establecer nuevas formas de llevar a cabo el secado y despulpado de café.

Así pues, la solicitud objetada no presenta un avance técnico que logre desvirtuar la conclusión que la máquina secadora y despulpadora de granos de café ya existe en el arte, tal y como lo está reclamando el Solicitante. La disposición y configuración de cada uno de los elementos reclamados por la solicitud objetada, ya se conocían en el estado de la técnica para la fecha de la presentación de la invención.

7. PRUEBA



Me permito anexar al presente documento las siguientes pruebas: Publicación titulada "Beneficio ecológico de café", publicado por Cenicafé: ROA, M. G; OLIVEROS, T. C.E.; ALVAREZ G. J.; RAMIREZ, G. C.A.; SANZ, U. J.R.; ALVAREZ, H.J.R.; DAVILA, A.M.T.; ZAMBRANO, F. D.A.; PUERTA, Q. G.I.; RODRIGUEZ, V. N. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ, 1.999. (ANEXO 1).

Y la tesis de grado titulada "Design and comparative evaluation of three-layer coffee dryer machine", de Arturo Correa Picdrahita en mayo de 2003. Páginas 1 a 33. (ANEXO 2).

8. INTERÉS PARTICULAR

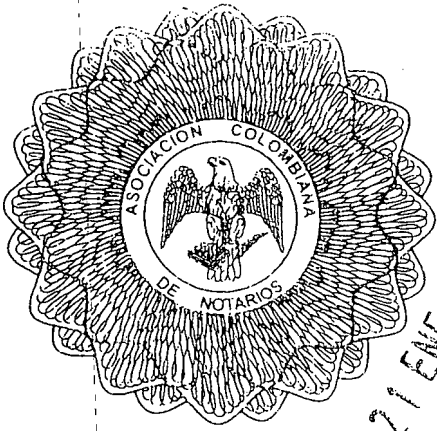
Mi representada, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, es una sociedad que se dedica a la investigación, desarrollo y producción de productos de café, y que adicionalmente es titular de varias patentes que comprenden productos de tal naturaleza. En consecuencia, es de su legítimo interés oponerse a cualquier solicitud de patente sobre tecnologías que se encuentran en el dominio público y que tienen relación directa o indirecta con la producción, beneficio y/o mejoramiento del café y la utilización de los residuos derivados del proceso de beneficio y su comercialización. Por lo tanto, con fundamento en los hechos y pruebas antes citados, comedidamente solicito al Despacho proceder a negar el privilegio de patente para todas las Reivindicaciones dentro de la solicitud reclamada en el presente invento.

Atentamente,

CARLOS R. OLARTE
C.C. No. 79.782.747 de Bogotá
T.P. 74.295
Anexos:

- **ANEXO 1** – Documento Publicado por Cenicafé: ROA, M. G; OLIVEROS, T. C.E.; ALVAREZ G. J.; RAMIREZ, G. C.A.; SANZ, U. J.R.; ALVAREZ, H.J.R.; DAVILA, A.M.T.; ZAMBRANO, F. D.A.; PUERTA, Q. G.I.; RODRIGUEZ, V. N. Beneficio Ecológico del Café. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ, 1.999. 300p.
- **ANEXO 2** – CORREA-Picdrahita, Arturo. (Mayo de 2003). "Design and comparative evaluation of three-layer coffee dryer machine". Tesis de grado de maestría en biosistemas de ingeniería. Páginas 1 a 33.

WK 6301800



21 ENE 2008

ESCRITURA PUBLICA NUMERO = = = = =
CERO CUARENTA (040) = = = = =

En la ciudad de Bogotá, Distrito
Capital, República de Colombia, a los
Veintiuno = = = = =(21) días del mes de
Enero = = = = = del año dos mil ocho
(2008), ante mi, MARIA EUGENIA ROJAS DE

URUETA = = = = = NOTARIA VEINTISIETE (27) DEL
CIRCULO DE BOGOTA, = = = se otorgó la escritura pública que
se consigna en los siguientes términos: -----

CLASE DE ACTO: PODER ESPECIAL PARA
REPRESENTACIÓN EN ASUNTOS VARIOS DE PROPIEDAD
INTELECTUAL. -----

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA
NIT: 860007538-2 -----

A: CARLOS OLARTE, J. IAN RAISBECK y/o JUAN
GUILLERMO MOURE. -----

C O M P A R E C I Ó: LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA
mayor de edad, vecino y domiciliado en Colombia,
identificado con cédula de ciudadanía N° 10.536.679, obrando
en nombre y representación de la FEDERACIÓN NACIONAL
DE CAFETEROS DE COLOMBIA, persona jurídica de derecho
privado, sin ánimo de lucro, con domicilio en la ciudad de
Bogotá D.C., con personería jurídica reconocida por el
Gobierno Nacional de la República de Colombia mediante
resolución ejecutiva número 33 del 2 de septiembre de 1927,
publicada en el Diario Oficial No. 20.894 de 1928, (en
adelante la "PODERDANTE"), debidamente facultado por mi
calidad de representante legal de la entidad (Primer Gerente
Auxiliar-Gerente Administrativo) manifiesto lo siguiente:

NOTARIA VEINTISIETE

Maria Eugenia Rojas de Urueta

PRIMERO.- Que mediante el presente instrumento público, confiere PODER ESPECIAL, pero amplio y suficiente a CARLOS OLARTE, mayor de edad, vecino y domiciliado en Bogotá D.C., identificado con la cédula de ciudadanía No. 79.782.747 de Bogotá y con Tarjeta Profesional número 74.295, J. IAN RAISBECK, mayor de edad, vecino y domiciliado en Bogotá, D.C., identificado con la cédula de ciudadanía No. 79'376.996 de Bogotá y con Tarjeta Profesional número 135.799 y/o JUAN GUILLERMO MOURE, mayor de edad, vecino y domiciliado en Bogotá, D.C., identificado con la cédula de ciudadanía No. 80'412.281 de Usaquén y con Tarjeta Profesional número 67.343, para que a nombre de la PODERDANTE, presenten, tramiten, obtengan, defiendan y hagan respetar todo derecho o título de propiedad intelectual de la PODERDANTE, tal como Patentes de Invención, Modelos de Utilidad, Esquemas de Trazados de Circuitos Integrados, Diseños Industriales, Marcas, Lemas Comerciales, Nombres Comerciales, Enseñas Comerciales, Denominaciones de Origen, Protección de Secretos Empresariales, Certificados de Oblentor, Derechos de Autor, Registro de Nombres de Dominio, Registros Sanitarios, o cualquier otro bien de propiedad intelectual de la PODERDANTE en la República de Colombia, a cuyo efecto los faculta para dar todos los pasos necesarios ante cualquier autoridad administrativa o judicial de cualquier jerarquía para cumplir con lo encomendado, elevar solicitudes, recursos, respuestas y oposiciones, pagar impuestos y anualidades, solicitar testimonios, recibir documentos y valores, desistir y percibir. Se concede poder suficiente para recibir notificaciones a nombre de la PODERDANTE, otorgar poderes a quienes vayan a representar a la PODERDANTE judicial y extrajudicialmente, responder en juicio a todas las reclamaciones o demandas que por

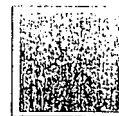
20



01



* 6 6 3 2 5 6 8 5 *



CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA

SEDE NORTE

3 DE ENERO DE 2008

HORA : 09:33:51

02C250103046

HOJA : 1 DE 6

* * * * *

CERTIFICADO DE EXISTENCIA Y REPRESENTACION LEGAL DE LA ENTIDAD SIN ANIMO DE LUCRO: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. NUMERO: S0002579

N.I.T. : 860007538-2

EL SUSCRITO SECRETARIO DE LA CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA, EN EJERCICIO DE LA FACULTAD CONFERIDA POR LOS ARTICULOS 43 Y 144 DEL DECRETO NUMERO 2150 DE 1995.

CERTIFICA :

DOMICILIO: BOGOTA D.C.

DIRECCION: CLL. 73 NO. 8-13

TELEFONO: 3456600 FAX: 2171021

CERTIFICA :

QUE POR CERTIFICACION DEL 28 DE FEBRERO DE 1997 , OTORGADO(A) EN MINISTERIO DE AGRICULTURA , INSCRITA EN ESTA CAMARA DE COMERCIO EL 5 DE MARZO DE 1997 BAJO EL NUMERO: 00002809 DEL LIBRO I DE LAS ENTIDADES SIN ANIMO DE LUCRO, FUE INSCRITA LA ENTIDAD DENOMINADA: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

CERTIFICA :

QUE DICHA ENTIDAD OBTUVO SU PERSONARIA JURIDICA NO. 0033 EL 02 DE SEPTIEMBRE DE 1927.

CERTIFICA :

ENTIDAD QUE EJERCE LA FUNCION DE INSPECCION, VIGILANCIA Y CONTROL: MINISTERIO DE AGRICULTURA

CERTIFICA :

QUE DICHA ENTIDAD HA SIDO REFORMADA POR LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS:

NUMERO	FECHA	ORIGEN	INSCRIP	FECHA
	1998/12/03	CONGRESO	00023670	1999/06/21
0000003	2000/12/13	CONGRESO	00040882	2001/06/04
0000001	2003/12/10	CONGRESO NACIONAL	00069444	2004/03/16

CERTIFICA :

VIGENCIA: QUE LA ENTIDAD NO SE HALLA DISUELTA. DURACION HASTA EL 1 DE DICIEMBRE DE 2094 .

CERTIFICA :

OBJETO: TIENE POR OBJETO ORIENTAR, ORGANIZAR, FOMENTAR Y REGULAR LA CAFICULTURA COLOMBIANA PROCURANDO EL BIENESTAR DEL CAFICULTOR A TRAVES DE MECANISMOS DE COLABORACION, PARTICIPACION Y FOMENTO DE CARACTER ECONOMICO, CIENTIFICO, TECNOLOGICO, INDUSTRIAL Y COMERCIAL, BUSCANDO MANTENER EL CARACTER DE CAPITAL SOCIAL ESTRATEGICO DE LA CAFICULTURA COLOMBIANA. LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA ES UNA ENTIDAD DEMOCRATICA, PARTICIPATIVA, PLURALISTA, FEDERADA Y DELIBERANTE, QUE TIENE COMO MISION PROMOVER PRIMERO Y PRIORITARIAMENTE LA PROSPERIDAD Y EL INTERES GENERAL DE LOS PRODUCTORES. SON FUNCIONES DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA : A) DEFENDER LOS DERECHOS DE LOS CAFICULTORES. B) PROCURAR QUE LAS POLITICAS MACROECONOMICAS Y SECTORIALES DEL ESTADO BENEFICIEN AL CAFICULTOR. C) TRABAJAR PARA QUE LOS CAFICULTORES ALCANCEN

NOTARIA VEINTISIETE

Maria Eugenia Rojas de Urueta

NIVELES DE COMPETITIVIDAD QUE LES PERMITA MANTENER UN ADECUADO NIVEL DE VIDA Y CONTINUAR SIENDO EL CAPITAL SOCIAL ESTRATEGICO DEL CAMPO COLOMBIANO. D) CELEBRAR CONVENIOS O CONTRATOS CON EL GOBIERNO NACIONAL, DEPARTAMENTAL O MUNICIPAL Y CON OTRAS ENTIDADES DE CARACTER PUBLICO Y PRIVADO, PARA LA GESTION, ADMINISTRACION Y MANEJO DE PROGRAMAS DE INVERSION E IMPUESTOS, NORMAS, CONTROLES, PRESTACION DE SERVICIOS, PROPAGANDA Y, EN GENERAL, SOBRE TODO LO QUE TIENDA A BENEFICIAR AL CAFICULTOR. E) CELEBRAR PACTOS O CONVENIOS CON ORGANIZACIONES SIMILARES DE OTROS PAISES PRODUCTORES, CON INSTITUCIONES INTERNACIONALES, CON ORGANIZACIONES NO GUBERNAMENTALES Y CON EMPRESAS PRIVADAS PARA LA DEFENSA DE LOS INGRESOS DE LOS CAFICULTORES Y EL FOMENTO DEL CONSUMO, DEL CULTIVO, PROPAGANDA, CUOTAS DE EXPORTACION, PRECIOS, TRANSPORTE, BANCA, IMPUESTOS Y COMERCIO CAFETERO. F) ENTREGAR FONDOS EN FIDEICOMISO, O BAJO CUALQUIER MODALIDAD, A ENTIDADES NACIONALES O DEL EXTERIOR, PARA FINANCIAR ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL CAFICULTOR Y LA INDUSTRIA CAFETERA EN GENERAL. G) CON ARREGLO A LOS REGLAMENTOS ESPECIFICOS ADOPTADOS POR LOS ORGANOS COMPETENTES, PRESTAR ASISTENCIA A LOS CAFICULTORES, CON EL FIN DE MEJORAR SU NIVEL DE INGRESOS. H) DIVULGAR ENTRE LOS CAFICULTORES LOS AVANCES TECNICOS Y LA INFORMACION CORRESPONDIENTE SOBRE EL CULTIVO, BENEFICIO Y COMERCIO DEL CAFE Y MANTENERLOS ACTUALIZADOS EN RELACION CON EL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ECONOMICAS, SOCIALES Y PRODUCTIVAS QUE INCIDEN SOBRE LA ACTIVIDAD. I) APOYAR AL CAFICULTOR MEDIANTE LA ADQUISICION, VENTA, PRESTAMO, ALQUILER O DISTRIBUCION DE LOS ELEMENTOS NECESARIOS O UTILES PARA LA CAFICULTURA. J) ORGANIZAR, ADMINISTRAR O PROMOVER OBRAS DE UTILIDAD COMUN, EN CUANTO FAVOREZCAN LA CAFICULTURA DEL PAIS. K) ORGANIZAR, ADMINISTRAR O PROMOVER, CON SUS RECURSOS O CON EL CONCURSO DE ORGANIZACIONES CAFETERAS O ENTIDADES OFICIALES O PARTICULARES DE COLOMBIA O DE OTROS PAISES, ESTABLECIMIENTOS DE COMERCIO DEDICADOS A LA VENTA, DISTRIBUCION Y DIVULGACION DEL CONSUMO DE CAFE, ALMACENES GENERALES DE DEPOSITO DE CAFE, BODEGAS, PLANTAS DE PROCESAMIENTO DE CAFE Y EMPRESAS DE COMERCIALIZACION, ALMACENES DE PROVISION AGRICOLA, SOCIEDADES COOPERATIVAS, ENTIDADES SOLIDARIAS O ASOCIATIVAS DE AHORRO Y CREDITO, ESQUEMAS DE COBERTURA Y CONTROL DE RIESGO, TOSTADORAS Y TRILLADORAS DE CAFE, CENTRALES DE BENEFICIO, QUE TENGAN POR OBJETO MEJORAR EL INGRESO DEL CAFICULTOR, DISMINUIR LOS COSTOS DE PRODUCCION, HACER MAS EFICIENTE SU COMERCIALIZACION Y MEJORAR LAS CALIDADES DEL CAFE; L) CREAR OFICINAS DE PROPAGANDA, VENTA, COMISION DEPOSITO DE CAFE, EN EL INTERIOR Y EN EL EXTERIOR Y ORGANIZAR, ADMINISTRAR O PARTICIPAR EN BOLSAS CAFETERAS. M) ORGANIZAR Y SOSTENER UNA ACTIVA Y ADECUADA PROPAGANDA DE CAFE COLOMBIANO EN EL INTERIOR Y EN EL EXTERIOR, BUSCANDO GENERAR MAYOR RECONOCIMIENTO Y VALOR AGREGADO AL PRODUCTOR Y PROMOVER EL AUMENTO DEL CONSUMO. N) COMPRAR CAFE, PROCESARLO Y VENDERLO EN EL MERCADO INTERIOR Y DEL EXTERIOR, O RETENERLO EN EL PAIS. O) REALIZAR UN SEGUIMIENTO DE LA INDUSTRIA CAFETERA MUNDIAL, Y SUS AGENTES, LOS PAISES PRODUCTORES, LOS PAISES CONSUMIDORES, Y, EN GENERAL, DE TODOS AQUELLOS ASPECTOS NACIONALES O INTERNACIONALES QUE SEAN RELEVANTES PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA CAFETERA COLOMBIANA. P) LLEVAR UNA COMPLETA ESTADISTICA DE LA ACTIVIDAD CAFETERA Y MANTENER PERMANENTEMENTE INFORMADO AL GREMIO, EN SUS DIVERSAS INSTANCIAS, SOBRE LO CONCERNIENTE A PRECIOS EN LOS PRINCIPALES MERCADOS, EXISTENCIAS O VENTAS EN LOS MAS IMPORTANTES



01



* 6 6 3 2 6 6 8 6 *



CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA

SEDE NORTE

3 DE ENERO DE 2008

HORA : 09:33:51

02C250103046

HOJA : 2 DE 6

* * * * *

CENTROS DE DISTRIBUCION O CONSUMO MUNDIAL Y SOBRE LOS PRONOSTICOS RELATIVOS A LA PRODUCCION DE CAFE, Y, EN GENERAL, A TODO LO QUE PUEDA CONVENIR PARA LA BUENA ORGANIZACION DE LA INDUSTRIA CAFETERA. IGUALMENTE CORRESPONDE A LA FEDERACION, EN EL PAIS, LA ESTADISTICA DE PRODUCTORES, DE PREDIOS CAFETEROS, DE PRODUCCION Y COSTOS, DE PRODUCTIVIDAD, Y, EN GENERAL, DE TODAS LAS ACTIVIDADES CAFETERAS QUE PUEDAN SERVIR PARA LA MEJOR ORIENTACION DE LA INDUSTRIA EN COLOMBIA, ASI COMO LOS INDICADORES SOCIALES DE LA ACTIVIDAD CAFETERA. Q) PROMOVER Y EJECUTAR PROGRAMAS DE DESARROLLO ECONOMICO Y DE COMPLEMENTACION DEL INGRESO DEL CAFICULTOR. R) APOYAR LA INVESTIGACION Y LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA, PARA EL CULTIVO, EL PROCESAMIENTO Y LA COMERCIALIZACION DEL CAFE PROCURANDO, EN TODO CASO, LA PRESERVACION DEL MEDIO AMBIENTE Y LA CONSERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES. S) FOMENTAR, APOYAR E INTENSIFICAR EL ESTABLECIMIENTO DE INDUSTRIAS COMPLEMENTARIAS O QUE TIENDAN A INCREMENTAR EL INGRESO DE LOS CAFICULTORES. T) CONTRATAR EMPRESTITOS O PRESTAMOS CON ENTIDADES NACIONALES O EXTRANJERAS, TENIENDO EN CUENTA LAS DISPOSICIONES DE LOS ESTATUTOS Y DE LOS CONTRATOS CELEBRADOS CON EL GOBIERNO NACIONAL, SI FUERE EL CASO, Y CONSTITUIR LAS GARANTIAS PERTINENTES. U) CON RECURSOS PROPIOS U OBTENIDOS DE ENTIDADES OFICIALES, SEMIOFICIALES O PARTICULARES, PROCURAR LA DOTACION DE LA INFRAESTRUCTURA FISICA Y SOCIAL INDISPENSABLE PARA LOGRAR EL DESARROLLO SOCIAL Y ECONOMICO DE LOS HABITANTES DE LA ZONA DE INFLUENCIA CAFETERA. V) PROCURAR POR LOS MEDIOS QUE SE CONSIDEREN MAS ADECUADOS EL ESTABLECIMIENTO DE UNA POLITICA INTEGRAL DE PROTECCION SOCIAL A LOS CAFICULTORES. W) ORGANIZAR FUNDACIONES O ASOCIACIONES SIN ANIMO DE LUCRO, PARA ATENDER LA PRESTACION DE SERVICIOS A SUS FEDERADOS, TALES COMO LA EDUCACION Y LA SALUD. X) REALIZAR INVERSIONES PERMANENTES CON SUS RECURSOS SOLO EN ACTIVOS QUE PERTENEZCAN A LA INDUSTRIA CAFETERA Y EFECTUAR INVERSIONES TEMPORALES, PARA OBTENER BENEFICIOS Y RENDIMIENTOS QUE GARANTICEN LA SOLIDEZ PATRIMONIAL DE LA FEDERACION Y LE PERMITAN ATENDER OPORTUNA Y ADECUADAMENTE SUS PROGRAMAS A FAVOR DE SUS ASOCIADOS Y DE BIENESTAR PARA SUS SERVIDORES. Y) REALIZAR TODA CLASE DE ACTOS O NEGOCIOS JURIDICOS. PODRAN EN CONSECUENCIA, ADQUIRIR Y ENAJENAR TODA CLASE DE BIENES, EN CUANTO LA ADQUISICION O ENAJENACION CORRESPONDAN AL OBJETO.

CERTIFICA :

PATRIMONIO : \$ 1,314,923.00

CERTIFICA :

** ORGANO DIRECTIVO **

NOMBRE

MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO
RESTREPO SALAZAR JUAN CAMILO
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO
GOMEZ ESTRADA MARIO

IDENTIFICACION

C.C. 00017157059

C.C. 00010211732

NOTARIA VEINTISIETE

María Eugenia Rojas de Urueta

MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO CAMPOS ARANA CESAR ELADIO	C.C. 00005881550
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO RAMIREZ MONTOYA CARLOS ROBERTO	C.C. 00092937864
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO ECHEVERRY CASTAÑO CESAR AUGUSTO	C.C. 00009956514
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO GOMEZ BUENDIA CARLOS ALBERTO	C.C. 00017057077
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO AZUERO RAMIREZ CARLOS FLORESMIRO	C.C. 00012090307
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO CASTRILLON M FERNANDO	C.C. 00010518013
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO CALA ROBAYO JORGE	C.C. 00000160838
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO CAMPO GONZALEZ RAMON ALBERTO	C.C. 00012558183
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO CAMPO SOTO RODOLFO JOSE	C.C. 00005131927
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO ROMAN CALDERON HERNAN MIGUEL	C.C. 00017197691
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO YAÑEZ CARVAJAL ALFREDO	C.C. 00013223632
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO GARCIA PARRA JAIME	C.C. 00000001394
MIEMBRO PRINCIPAL COMITE EJECUTIVO BOHORQUEZ BOHORQUEZ JAVIER	C.C. 00017066695

CERTIFICA :

REPRESENTACION LEGAL: LA REPRESENTACION LEGAL DE LA FEDERACION PARA ASUNTOS JUDICIALES, EXTRAJUDICIALES Y ADMINISTRATIVOS DE CARACTER LABORAL INDIVIDUAL O COLECTIVO, LA TENDRA EL DIRECTOR DE RELACIONES INDUSTRIALES Y EN SU DEFECTO A QUIEN PARA ESOS PROPOSITOS DESIGNE EL GERENTE GENERAL. LA DESIGNACION DE DOS REPRESENTANTES LEGALES SUPLENTE, QUIENES TENDRAN LA DISTINCION DE PRIMER GERENTE AUXILIAR Y SEGUNDO GERENTE AUXILIAR, Y DEL SECRETARIO GENERAL ESTARA A CARGO DEL GERENTE GENERAL, PREVIA CONSULTA CON EL COMITE DIRECTIVO. EN CASO DE AUSENCIAS TEMPORALES, EL GERENTE GENERAL ENCARGARA A UNO DE SUS SUPLENTE. CUANDO SE TRATE DE AUSENCIAS PERMANENTES O GENERADAS POR UN IMPEDIMENTO DEL GERENTE GENERAL, SERA EL COMITE DIRECTIVO QUIEN ENCARGUE A UNO DE LOS DOS REPRESENTANTES LEGALES SUPLENTE, MIENTRAS SE DESIGNA UN NUEVO TITULAR EN PROPIEDAD.

CERTIFICA :

REPRESENTACION LEGAL

PRINCIPAL(ES) : - GERENTE GENERAL
SILVA LUJAN GABRIEL
C.C. 00079142102

SUPLENTE(ES) : - PRIMER GERENTE AUXILIAR
MUÑOZ ORTEGA LUIS GENARO
C.C. 00010536679

- SEGUNDO GERENTE AUXILIAR
DURAN CATALINA CRANE DE
C.C. 00035460200

- DIRECTOR DE RELACIONES INDUSTRIALES
MUÑOZ ORTEGA LUIS GENARO
C.C. 00010536679

CERTIFICA :

FACULTADES DEL REPRESENTANTE LEGAL: - A) ORGANIZAR Y EJECUTAR LAS



01



* 6 6 3 2 6 6 8 7 *



CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA

SEDE NORTE

3 DE ENERO DE 2008

HORA : 09:33:51

02C250103046

HOJA : 3 DE 6

* * * * *

POLITICAS Y LOS PROGRAMAS DE LA FEDERACION, DE ACUERDO CON LOS ESTATUTOS, LOS CONTRATOS CELEBRADOS CON EL GOBIERNO NACIONAL, LOS ACUERDOS Y RESOLUCIONES DE LOS CONGRESOS NACIONALES DE CAFETEROS Y LAS ORDENES E INSTRUCCIONES DEL COMITE NACIONAL COMO ORGANISMO ADMINISTRADOR DEL FONDO NACIONAL DEL CAFE Y DEL COMITE DIRECTIVO COMO MAXIMA AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DE LA FEDERACION; - B) REPRESENTAR LEGALMENTE A LA FEDERACION Y ACTUAR COMO SU VOCERO ANTE TODAS LAS AUTORIDADES DE LA REPUBLICA O DE CUALQUIER PAIS Y ANTE TERCEROS, CON FACULTAD PARA DELEGAR EN OTROS EMPLEADOS O EN APODERADOS ESPECIALES; EL GERENTE GENERAL O SUS SUPLENTE PODRAN CONFERIR PODERES GENERALES A LOS DIRECTORES EJECUTIVOS DE LOS COMITES DEPARTAMENTALES DE CAFETEROS PARA QUE REPRESENTEN A LA FEDERACION ANTE LAS AUTORIDADES DEL RESPECTIVO DEPARTAMENTO Y ATIENDAN TODO LO RELACIONADO CON LOS EMPLEADOS DE CADA COMITE; C) DIRIGIR LAS RELACIONES DE LA FEDERACION CON LAS ENTIDADES PUBLICAS Y PRIVADAS. - D) ELABORAR DE MANERA QUINQUENAL UN PLAN ESTRATEGICO EN CONCORDANCIA CON EL OBJETO DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS, AL CUAL DEBERAN ADECUARSE LOS PLANES Y PROGRAMAS DE LOS COMITES DEPARTAMENTALES Y MUNICIPALES. DICHO PLAN ESTRATEGICO SERA LLEVADO PARA SU APROBACION AL COMITE DIRECTIVO PARA SU ADOPCION POR EL CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS. E) PROVEER LOS CARGOS EN LA OFICINA CENTRAL DE LA FEDERACION, DE ACUERDO CON EL ORGANIGRAMA, LA POLITICA SALARIAL Y LA PLANTA DE CARGOS APROBADOS POR EL COMITE DIRECTIVO. F) CELEBRAR TODA CLASE DE ACTOS, CONTRATOS O NEGOCIOS JURIDICOS, CUYA CUANTIA NO EXCEDA DE MIL QUINIENTOS CINCUENTA SALARIOS MINIMOS MENSUALES LEGALES VIGENTES (1.550 SMMLV) EN CONCORDANCIA CON EL LITERAL P) DEL ARTICULO 23. G) MANTENER INFORMADOS A LA DIRIGENCIA GREMIAL Y A LOS CAFICULTORES SOBRE LA SITUACION Y PERSPECTIVAS DEL MERCADO Y COSECHAS DE CAFE, Y ATENDER LAS CONSULTAS QUE LE SEAN FORMULADAS. H) ORDENAR LOS GASTOS DE LA FEDERACION, DENTRO DEL MARCO DEL PLAN ESTRATEGICO, LOS PRESUPUESTOS Y NORMAS RESPECTIVAS. I) ESTUDIAR LAS CIRCUNSTANCIAS QUE CONFRONTE LA CAFICULTURA, Y PRESENTAR AL CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS, AL COMITE NACIONAL Y AL COMITE DIRECTIVO, LAS INICIATIVAS QUE ESTIMARE CONVENIENTES PARA SU BUEN MANEJO. J) INFORMAR AL COMITE NACIONAL SOBRE LA SITUACION DEL FONDO NACIONAL DEL CAFE Y AL COMITE DIRECTIVO SOBRE LA PRODUCCION, COMERCIALIZACION, INVESTIGACION, EXTENSION, LA SITUACION FINANCIERA Y DEMAS TEMAS ADMINISTRATIVOS DE LA FEDERACION; K) PRESENTAR PERIODICAMENTE AL COMITE DIRECTIVO LOS ESTADOS FINANCIEROS DE LA FEDERACION; L) PRESENTAR AL CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS UN INFORME DETALLADO DE LAS LABORES REALIZADAS POR LA FEDERACION TANTO EN EL PAIS COMO EN EL EXTERIOR A PARTIR DE LA REUNION DEL ULTIMO CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS; SOBRE LA MANERA QUE SE HAYAN CUMPLIDO LAS DECISIONES DE ESTE; SOBRE LOS PROBLEMAS PRINCIPALES, LAS ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA, LAS SOLUCIONES QUE CONVENDRIA ADOPTAR; Y SOBRE LOS DEMAS TEMAS

NOTARIA VICINISSETE

María Eugenia Rojas de Uribe

PERTINENTES DE ACUERDO CON LA SITUACION Y PERSPECTIVAS DE LA FEDERACION Y DE LA ECONOMIA CAFETERA; M) ELABORAR EL PROYECTO DE PRESUPUESTO DE LA FEDERACION PARA LA VIGENCIA SIGUIENTE, SOMETERLO A CONSIDERACION DEL COMITE DIRECTIVO Y PRESENTARLO OPORTUNAMENTE AL CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS, PARA SU ESTUDIO Y APROBACION. N) MANTENER OPORTUNAMENTE INFORMADOS A LOS COMITES DEPARTAMENTALES SOBRE LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR EL COMITE NACIONAL, EL COMITE DIRECTIVO, LA GERENCIA GENERAL Y DEMAS DEPENDENCIAS; O) ORIENTAR LA POLITICA SALARIAL APLICABLE A LOS EMPLEADOS ADSCRITOS A LA GERENCIA GENERAL Y DEMAS GERENCIAS, OFICINAS DEL EXTERIOR Y DE LOS DIRECTORES EJECUTIVOS, UNA VEZ APROBADA POR EL COMITE DIRECTIVO. P) COORDINAR LA POLITICA DE INVERSIONES, GASTOS, PROGRAMAS Y ACTIVIDADES DE LOS COMITES DEPARTAMENTALES EN CONSONANCIA CON LOS LINEAMIENTOS ESTABLECIDOS POR EL CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS, EL COMITE NACIONAL Y EL COMITE DIRECTIVO. Q) COORDINAR LA ACCION GREMIAL PARA LA EFICAZ DEFENSA DE LOS PRODUCTORES Y DE LA ACTIVIDAD CAFETERA Y LAS DISTINTAS CAMPAÑAS QUE DEBAN EJECUTAR LOS COMITES DEPARTAMENTALES A TRAVES DE SUS DIRECTORES EJECUTIVOS. R) OTORGAR EL VISTO BUENO A LA DESIGNACION DE LOS DIRECTORES EJECUTIVOS QUE REALICEN LOS COMITES DEPARTAMENTALES Y SOLICITAR SU REMOCION CUANDO SE PRESENTEN LAS CIRCUNSTANCIAS PREVISTAS EN EL LITERAL D) DEL ARTICULO 30. EN CASO QUE EL COMITE DEPARTAMENTAL NO PROCEDA A LA REMOCION SOLICITADA POR EL GERENTE GENERAL, SE CONSULTARÁ AL COMITE DIRECTIVO PARA SU DECISION FINAL. EL GERENTE GENERAL PODRA APLAZAR, INFORMANDO DE MANERA OPORTUNA AL COMITE DIRECTIVO, EL ENVIO DE LOS DINEROS QUE CORRESPONDEN A LOS COMITES DEPARTAMENTALES CUANDO ESTOS NO HAYAN PRESENTADO OPORTUNAMENTE LAS CUENTAS CORRESPONDIENTES, O HABIENDOLAS PRESENTADO NO FUEREN SATISFACTORIAS O HAYAN INCURRIDO EN VIOLACION DE LAS NORMAS ESTATUTARIAS O REGLAMENTARIAS, O DE LAS POLITICAS GENERALES DE LA FEDERACION, CASO EN EL CUAL LA GERENCIA GENERAL PODRA ORDENAR LA INTERVENCION DE DICHO COMITE DEPARTAMENTAL. CORRESPONDE AL COMITE DIRECTIVO AUTORIZAR LA CELEBRACION DE CONTRATOS CON EL GOBIERNO NACIONAL, CON ENTIDADES TERRITORIALES, CON INSTITUCIONES PUBLICAS Y PRIVADAS, CON ORGANISMOS INTERNACIONALES Y CON ORGANIZACIONES NO GUBERNAMENTALES A NOMBRE DE LA FEDERACION; AUTORIZAR AL GERENTE GENERAL PARA LA CELEBRACION DE ACTOS, CONTRATOS O NEGOCIOS JURIDICOS A NOMBRE DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS, INCLUIDOS PERO NO LIMITADOS A LA ADQUISICION, ENAJENACION, GRAVAMENES O LIMITACIONES DEL DOMINIO DE INMUEBLES, A CUALQUIER TITULO, QUE SE HAGAN POR LA OFICINA CENTRAL O POR LOS COMITES DEPARTAMENTALES, LO MISMO QUE LA PARTICIPACION EN SOCIEDADES, CUYA CUANTIA EXCEDA DE MIL QUINIENTOS CINCUENTA SALARIOS MINIMOS MENSUALES LEGALES VIGENTES (1.550 SMMMLV).

CERTIFICA:

QUE POR RESOLUCION NO. 002 DEL 12 DE MARZO DE 1990, INSCRITA EL 3 DE JUNIO DE 1997, BAJO EL NO. 5857 DEL LIBRO 51, EL GERENTE GENERAL DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, EN USO DE SUS ATRIBUCIONES, Y CONFORME AL ARTICULO 23 DE LOS ESTATUTOS, FACULTO A CADA UNO DE LOS SEÑORES SUBGERENTE GENERAL, PRIMER GERENTE AUXILIAR Y SEGUNDO GERENTE AUXILIAR, GERENTE ADMINISTRATIVO PARA QUE, ACTUANDO SEPARADAMENTE, REPRESENTEN A LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, EJERCIENDO SU PERSONERIA, ANTE TERCEROS AUTORIDADES CIVILES, JUDICIALES Y ADMINISTRATIVAS DE LA REPUBLICA O DE CUALQUIER OTRO PAIS .-----

3



01



* 6 6 3 2 6 6 8 8 *



CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA

SEDE NORTE

3 DE ENERO DE 2008

HORA : 09:33:51

02C250103046

HOJA : 4 DE 6

* * * * *

CERTIFICA :

QUE POR ESCRITURA PUBLICA NO. 102 DE LA NOTARIA 06 DE BOGOTA D.C., DEL 16 DE ENERO DE 2002, INSCRITA EL 23 DE JULIO DE 2002 BAJO EL NO. 52475 DEL LIBRO I, DE LOS LIBROS DE LAS ENTIDADES SIN ANIMO DE LUCRO, COMPARECIO EMILIO ECHEVERRI MEJIA IDENTIFICADO CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NO. 4. 317. 954 DE MANIZALES, EN SU CALIDAD DE REPRESENTANTE LEGAL DE LA SOCIEDAD DE LA REFERENCIA, POR MEDIO DE LA PRESENTE ESCRITURA PUBLICA, OTORGA PODER GENERAL A LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA, IDENTIFICADO CON LAS CEDULA DE CIUDADANIA NO. 10.536.679 DE BOGOTA, PARA QUE EN NOMBRE DE LA ENTIDAD REALICE LOS SIGUIENTES ACTOS: 1. SUSCRIBA LA ESCRITURA PUBLICA MEDIANTE LA CUALES LA FEDERACION ACEPTE LAS HIPOTECAS QUE LOS CITADOS EMPLEADOS DE LA FEDERACION O DE LOS ALMACENES GENERALES DE DEPOSITO DE CAFE ALMACAFE, CONSTITUYAN EN FAVOR DE LA FEDERACION PARA GARANTIZAR EL PAGO DE LOS PRESTAMOS. 2. SUSCRIBA LAS ESCRITURAS PUBLICAS DE CANCELACION DE LAS HIPOTECAS, QUE COMO GARANTIA DE LOS PRESTAMOS DE VIVIENDA OTORGADOS TANTO A LOS EMPLEADOS DE LA FEDERACION COMO A LOS DE LOS ALMACENES GENERALES DE DEPOSITO DE CAFE ALMACAFE, HAYAN SIDO CONSTITUIDOS A FAVOR DE LA FEDERACION. 3. CONFIERE PODERES ESPECIALES, CON LOS MISMOS FINES A LOS SEÑORES GERENTES REGIONALES DE LOS ALMACENES GENERALES DE DEPOSITO DE CAFE ALMACAFE. 4. ASUMA EL MANEJO DE TODAS LAS GESTIONES NOTARIALES PARA EL BUEN EXITO DE LA GESTION QUE SE ENCOMIENDA. SOLICITE Y RETIRE LAS COPIAS DE LAS ESCRITURAS. 5. REPRESENTA A LA FEDERACION EN LA CELEBRACION DE CONTRATOS DE MUTUO, POR CONCEPTO DE PRESTAMOS DE DINERO OTORGADOS POR LA FEDERACION A SUS EMPLEADOS O A LOS DE ALMACAFE EN EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE BIENESTAR SOCIAL, Y ACEPTE Y EN SU MOMENTO CANCELE LOS GRAVAMENES DE PRENDA O SIN TENENCIA O LIMITACIONES DEL DOMINIO SOBRE VEHICULOS AUTOMOTORES, CONSTITUYAN LOS DEUDORES PARA GARANTIZARLE A LA FEDERACION EL PAGO DE LOS CORRESPONDIENTES PRESTAMOS.

CERTIFICA :

QUE POR ESCRITURA PUBLICA NO. 657 DE LA NOTARIA 27 DE BOGOTA D.C., DEL 01 DE JUNIO DE 2004, INSCRITA EL 27 DE OCTUBRE DE 2005 BAJO EL NO. 91131 DEL LIBRO I DE LAS ENTIDADES SIN ANIMO DE LUCRO, COMPARECIO LUIS GERARDO MUÑOZ ORTEGA, IDENTIFICADO CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NO. 10.536. 679 DE POPAYAN, OBRANDO COMO REPRESENTANTE LEGAL DE LA ENTIDAD DE LA REFERENCIA POR MEDIO DE LA PRESENTE ESCRITURA PUBLICA CONFIERE PODER GENERAL AL DOCTOR GABRIEL AUGUSTO ROJAS GIRALDO, IDENTIFICADO CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NO. 19.366. 099 DE BOGOTA, PARA QUE EN NOMBRA Y REPRESENTACION DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA Y REVESTIDO DE PLENAS FACULTADES PARA CONCILIAR, COMPAREZCA A LAS AUDIENCIAS DE CONCILIACION, SANEAMIENTO Y DECISION DE EXCEPCIONES PREVIAS Y FIJACION DEL LITIGIO, DE QUE TRATA EL ARTICULO 101 DEL CODIGO DE PROCEDIMIENTO CIVIL, QUE SE LLEVEN A CABO ANTE LAS

NOTARIA VEINTISIETE

Maria Eugenia Rojas de Urueta

AUTORIDADES JURISDICCIONALES DEL ORDEN CIVIL, EN TODO EL TERRITORIO DE LA REPUBLICA, DENTRO DE LOS PROCESOS CIVILES ORDINARIOS ABREVIADOS Y DE EJECUCION (EJECUTIVO SINGULAR, EJECUTIVO HIPOTECARIO Y EJECUTIVO CON TITULO PRENDARIO), EN LOS CUALES LA FEDERACION SEA PARTE COMO DEMANDANTE O COMO DEMANDADA, E IGUALMENTE PARA QUE COMPAREZCA EN LA MISMA CLASE DE PROCESOS, REVESTIDO DE PLENA FACULTAD PARA CONFESAR, A ABSOLVER LOS INTERROGATORIOS A INSTANCIA DE PARTE QUE DEBA ABSOLVER EL REPRESENTANTE LEGAL DE LA FEDERACION. PRESENTE EL DOCTOR GABRIEL AUGUSTO ROJAS GIRALDO, DE LAS CONDICIONES CIVILES ANTERIORMENTE ANOTADAS, MANIFIESTA QUE ACEPTA EL PODER GENERAL QUE MEDIANTE LA PRESENTE ESCRITURA SE CONFIERE.

CERTIFICA :

QUE POR ESCRITURA PUBLICA NO. 925 DE LA NOTARIA 27 DE BOGOTA D.C., DEL 08 DE AGOSTO DE 2005, INSCRITA EL 27 DE OCTUBRE DE 2005 BAJO EL NO. 91130 DEL LIBRO I DE LAS ENTIDADES SIN ANIMO DE LUCRO, COMPARECIO LUIS GERARDO MUÑOZ ORTEGA, IDENTIFICADO CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NO. 10. 536. 679 DE POPAYAN, OBRANDO COMO REPRESENTANTE LEGAL DE LA ENTIDAD DE LA REFERENCIA POR MEDIO DE LA PRESENTE ESCRITURA PUBLICA CONFIERE PODER GENERAL AL DOCTOR GABRIEL AUGUSTO ROJAS GIRALDO, MAVOR VECINO DE ESTA CIUDAD, IDENTIFICADO CON CEDULA DE CIUDADANIA NUMERO 19.366.099 DE BOGOTA Y LIBRETA MILITAR NUMERO 19.366. 099, DISTRITO MILITAR NUMERO TREINTA Y OCHO (38), JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PERSONAL DE LA ENTIDAD, PARA QUE REVESTIDO DE LA PLENITUD DE LAS FACULTADES QUE LOS ESTATUTOS CONFIEREN A QUIEN OTORGA ESTE PODER, REPRESENTA A LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, POR, UNA PARTE, EN TODA CLASE DE PROCESOS ORDINARIOS, EJECUTIVOS Y DE FUERO SINDICAL QUE SE ADELANTEN ANTE LA JUSTICIA LABORAL EN CUALQUIER PARTE DEL TERRITORIO NACIONAL Y CUALQUIERA QUE SEA LA ; JERARQUIA DEL JUZGADO O TRIBUNAL QUE CONOZCA DE ELLOS, EN LOS CUALES DEBA INTERVENIR A LA FEDERACION COMO DEMANDANTE O COMO DEMANDADA, Y, POR OTRA PARTE, EN AUDIENCIAS DE CONCILIACION PROCESAL EXTRAPROCESAL DE CARACTER LABORAL QUE LA FEDERACION QUIERA LLEVAR A CABO, CON LA INTERVENCION DE CUALQUIER JUEZ LABORAL. IGUALMENTE LE CONFIERE PODER PARA QUE, DENTRO DE LA MISMA ORBITA LABORAL REPRESENTA A LA FEDERACION ANTE EL MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL, EN TODAS LAS DILIGENCIAS DE CARACTER ADMINISTRATIVO LABORAL INDIVIDUAL Y DE FUERO SINDICAL EN AQUELLA DEBA FORMAR PARTE, EN VIRTUD DE TODO LO ANTERIOR, EL DOCTOR ROJAS GIRALDO PODRA RECIBIR TODA CLASE DE NOTIFICACIONES TANTO ADMINISTRATIVAS COMO JUDICIALES, CONCURRIR, CON PLENA FACULTAD PARA CONCILIAR, A AUDIENCIAS DE CONCILIACION TANTO PROCESALES COMO EXTRAPROCESALES, JUDICIALES O ADMINISTRATIVAS ABSOLVER, CON PLENA FACULTAD PARA CONFESAR, INTERROGATORIOS DE PARTE QUE SE LE FORMULEN AL REPRESENTANTE LEGAL DE LA FEDERACION DENTRO DE PROCESOS ORDINARIOS LABORALES PROCESOS EJECUTIVOS LABORALES Y PROCESOS DE FUERO SINDICAL. TAMBIEN SE LE CONFIERE PODER PARA INSTAURAR Y CONTESTAR LAS ACCIONES DE TUTELA ANTE TODAS LAS JURISDICCIONES EN LAS QUE SEA PARTE O INTERVENGA LA FEDERACION. IGUALMENTE SE LE CONFIERE PODER PARA ADELANSTAR TRAMITES ADMINISTRATIVOS ANTE EL INSTITUTO DE SEGURO SOCIAL ISS, Y DEMAS ENTIDADES DE SEGURIDAD SOCIAL COMO EMPRESAS DE RIESGOS PROFESIONALES, CAJAS DE COMPENSACION FAMILIAR, SENA, INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR Y SUPERINTENDENCIA DE SALUD, TALES COMO RADICAR DOCUMENTOS, RECIBIR NOTIFICACIONES Y DEMAS ACTIVIDADES; . QUE REQUIERAN ACREDITAR LA REPRESENTACION LEGAL DE

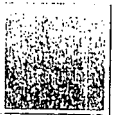
24



01



* 6 6 3 2 6 6 8 9 *



CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA

SEDE NORTE

3 DE ENERO DE 2008

HORA : 09:33:51

02C250103046

HOJA : 5 DE 6

* * * * *

LA : FEDERACION, ANTE DICHAS ENTIDADES. ASI COMO INTERPONER, RECURSOS Y NOTIFICARSE DE LAS DECISIONES QUE SE ADOPTEN ANTE LAS; JUNTAS REGIONALES DE CALIFICACION DE INVALIDEZ Y LA JUNTAY; NACIONAL DE CALIFICACION DE INVALIDEZ. EL PRESENTE PODER DEJA SIN EFECTOS EL CONFERIDO MEDIANTE ESCRITURA PUBLICA NUMERO SEISCIENTOS CUARENTA Y SIETE (647) DEL CATORCE (14) DE FEBRERO DE DOS MIL DOS (2002) Y EL CONFERIDO MEDIANTE ESCRITURA PUBLICA NUMERO TRES MIL DOSCIENTOS VEINTISIETE (3227) DEL NUEVE (9) DE JULIO DE DOS MIL TRES (2003), EXPEDIDOS LOS DOS (2) POR LA NOTARIA SEXTA (6A.) DEL CIRCULO DE BOGOTA.

CERTIFICA :

QUE MEDIANTE ESCRITURA PUBLICA NO. 3041 DE LA NOTARIA 6 DE BOGOTA D.C. DEL 10 DE JULIO DE 2001, INSCRITA EL 31 DE JULIO DE 2006, BAJO EL NO. 104760 DEL LIBRO V, COMPARECIO EMILIO ECHEVERRI MEJIA, MAYOR DE EDAD Y ESTA DOMICILIADO EN ESTA CIUDAD, QUIEN SE IDENTIFICA CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NO. 4. 317. 954 DE MANIZALES QUE ACTUANDO EN SU CONDICION DE PRESENTANTE LEGAL DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA CONFIERE PODER GENERAL AL DOCTOR CARLOS EDUARDO UMAÑA LIZARAZO, QUEN ES MAYOR DE EDAD Y DOMICILIADO ES ESTA CIUDAD Y SE IDENTIFICA CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NO. 74. 281. 101 DE GUATEQUE TARJETA PROFESIONAL DE ABOGADO NO. 86. 022 DEL CONSEJO SUPERIOR DE LA JUDICATURA, PARA QUE EN NOMBRE Y REPRESENTACION DE LA FEDERACION Y REVESTIDO DE PLENAS FACULTADES PARA CONCILIAR, COMPAREZCA A LAS AUDIENCIAS DE CONCILIACION, SANEAMIENTO, DECISION DE EXCEPCIONES PREVIAS Y FIJACION DEL LITIGIO, DE QUE TRATA EL ARTICULO 101 DEL CODIGO DE PROCEDIMIENTO CIVIL, QUE SE LLEVEN A CABO ANTE LAS AUTORIDADES JURISDICCIONALES DEL ORDEN CIVIL, EN TODO EL TERRITORIO DE LA REPUBLICA, DENTRO DE LOS PROCESOS CIVILES ORDINARIOS, ABREVIADOS DE EJECUCION (EJECUTIVO SINGULAR, EJECUTIVO CON TITULO HIPOTECARIO Y EJECUTIVO CON TITULO PRENDARIO), EN LOS CUALES LA FEDERACION SEA PARTE COMO DEMANDANTE O COMO DEMANDADA, E IGUALMENTE PARA QUE COMPAREZCA EN LA MISMA CLASE DE PROCESOS, REVESTIDO DE PLENA FACULTAD PARA CONFESAR A ABSOLVER LOS INTERROGATORIOS A INSTANCIA DE PARTE QUE DEBA ABSORVER EL REPRESENTANTE LEGAL DE LA FEDERACION. B. QUE ASE MISMO, CONFIERE PODER AL DOCTOR CARLOS EDUARDO YUMARA LIZARAZO, PARA QUE, IGUALMENTE REVESTIDO DE PLENAS FACULTADES PARA CONCILIAR, COMPAREZCA EN NOMBRE REPRESENTACION DE LA FEDERACION A LAS AUDIENCIAS DE CONCILIACION QUE SE LLEVEN A CABO DENTRO DE LOS PROCESOS CONTENCIOSO ADMINISTRATIVOS, EN LOS CUALES SEA PARTE LA ENTIDAD. QUE SE ADELANTE ANTE LA JURISDICCION DE LO CONTENCIOSO ADMINISTRATIVO, EN TODO EL PAIS. PARA TODOS LOS EFECTOS ANTERIORES EL APODERADO PODRA TAMBIEN RECIBIR LAS NOTIFICACIONES QUE SEAN DEL CASO.

CERTIFICA:

QUE MEDIANTE ESCRITURA PUBLICA NO. 4176 DE LA NOTARIA 6 DE BOGOTA

NOTARIA VEINTISIETE

Angela Eugenia Rojas de Uribe

D.C. DEL 23 DE AGOSTO DE 2000, INSCRITA EL 31 DE JULIO DE 2006 BAJO EL NO. 104761 DEL LIBRO V, COMPARECIO EMILIO ECHEVERRI MEJIA , MAYOR DE EDAD Y ESTA DOMICILIDAOD EN ESTA CIUDAD, QUIEN SE IDENTIFICA CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NO. 4.317. 954 DE MANIZALES QUE ACTUANDO EN SU CONDICION DE PRESENTANTE LEGAL DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. PRIMERO : QUE ACTUANDO EN SU CONDICION DE SEGUNDO GERENTE AUXILIAR - GERENTE ADAINISTRATIVO DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA Y COMO REPRESENTANTE LEGAL DE LA ENTIDAD, CONFIERE PODER GENERAL A CARLOS EDUARDO UMAÑA LIZARAZO MAYOR DE EDAD, DE ESTADO CIVIL SOLTERO, IDENTIFICADO CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NUMERO 74. 281 101 DE GUATEQUE TARJETA PROFESIONAL DE ABOGADO NO. 86. 022 DEL CNNSEJO SUPERIOR DE LA JUTICATURA, VECINO Y DOMICILADO EN SANTAFE DE BOGOTA, D. C, PARA QUE. EN NOMBRE Y REPRESENTACION DE LA FEDERACION DE CAFETEROS DE COLOMBIA . 1. LA REPRESENTANTE ANTE LAS DISTINTAS AUTORIDADES JUDICIALES, CON JURISDICCION EN TODO EL PAIS, EN CUALQUIER ACTUACION O DILIGENCIA QUE COMO CONSECUENCIA DE DEMANDAS DE ACCION DE TUTELA INSTAURADAS CONTRA ELLA HAYA LUGAR. 2) RECIBIR EN NOMBRE DE ELLA TODAS LAS MODIFICACIONES QUE SEAN DEL CASO DENTRO DE LAS DEMANDAS DE ACCION DE TUTELA QUE INTERPONGAN 3) CONTESTAR E N SU NOMBRE TODOS LOS REQUERIMIENTOS QUE EN DESARROLLO DE LAS ACIONES DE TUTELA QUE SE INTERPONGAN SE REALICEN POR PARTE DE LOS DESPACHOS JUDICIALES 4) INTERPONER EN CONTRA DE LAS PROVIDENCIAS O FALLOS QUE RESUELVAN LAS DEMANDAS DE ACCION DE TUTELA , LOS RECURSOS O IMPUGNACIONES A QUE HAYA LUGAR, DE CONFORMIDAD CON LAS NORMATIVIDAD VIGENTE 5) REALIZAR TODAS LAS EMAS ACTUACIONES QUE SE DERIVEN DE LAS DEMANDAS DEACCION DE TUTELA DONDE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA SEA ACCIONADA

CERTIFICA :

** ORGANO DE FISCALIZACION **

NOMBRE	IDENTIFICACION
REVISOR FISCAL - FIRMA AUDITORIA	
DELOITTE & TOUCHE LTDA	N.I.T. 08600058134
REVISOR FISCAL	
DUQUE MONTENEGRO ISMAEL	P.P 00000003270
REVISOR FISCAL SUPLENTE	
CARRILLO CAICEDO WILSON OSWALDO	C.C. 00080373219
SUBORDINADA EN SITUACION DE CONTROL	
COFFEA ARABICAS LTDA	N.I.T. 00900057955

CERTIFICA :

QUE POR DOCUMENTO PRIVADO DEL 21 DE MARZO DE 2002 Y RESOLUCION NO. 0103 DEL 22 DE FEBRERO DE 2002 DE LA SUPERINTENDENCIA DE VALORES, INSCRITAS EL 23 DE ABRIL DE 2002 BAJO EL NO. 49020 DEL LIBRO I DE LOS LIBROS DE LAS ENTIDADES SIN ANIMO DE LUCRO, SE NOMBRO A FIDUCOLOMBIA S A, COMO REPRESENTANTE LEGAL DE LOS TENEDORES DE BONOS DE LA EMISION DE 225,000,000,000.00.

CERTIFICA :

QUE POR DOCUMENTO PRIVADO DE BOGOTA D.C. DEL 07 DE SEPTIEMBRE DE 2004, INSCRITO EL 07 DE OCTUBRE DE 2004 BAJO EL NUMERO 0077945 DEL LIBRO I DE LAS ENTIDADES SIN ANIMO DE LUCRO, COMUNICO LA SOCIEDAD DE LA REFERENCIA (MATRIZ), QUE HA CONFIGURADO SITUACION DE CONTROL CON LAS SIGUIENTES SOCIEDADES SUBORDINADAS:
- PROMOTORA DE CAFE COLOMBIA S.A. LA CUAL PODRA TAMBIEN UTILIZAR LA SIGLA PROCAFECOL S.A.
DOMICILIO : BOGOTA, D.C.

CERTIFICA :

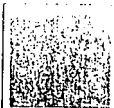
Handwritten signature or mark.



01



* 5 6 3 2 6 5 9 0 *



CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA

SEDE NORTE

3 DE ENERO DE 2008

HORA : 09:33:51

02C250103046

HOJA : 6 DE 6

* * * * *

QUE POR DOCUMENTO PRIVADO DE BOGOTA D.C. DEL 28 DE DICIEMBRE DE 2005, INSCRITO EL 05 DE ENERO DE 2006 BAJO EL NUMERO 93498 DEL LIBRO I DE LAS ENTIDADES SIN ANIMO DE LUCRO, COMUNICO LA ENTIDAD DE LA REFERENCIA (MATRIZ), QUE HA CONFIGURADO SITUACION DE CONTROL SOBRE LA SOCIEDAD:

- ALMACENES GENERALES DE DEPOSITO DE CAFE S A ALMACAFE.

DOMICILIO : BOGOTA, D.C.

CERTIFICA :

QUE POR DOCUMENTO PRIVADO DE BOGOTA D.C. DE MAYO DE 2006, INSCRITO EL 14 DE JUNIO DE 2006 BAJO EL NUMERO 102413 DEL LIBRO I DE LAS ENTIDADES SIN ANIMO DE LUCRO, COMUNICO LA ENTIDAD DE LA REFERENCIA (MATRIZ), QUE HA CONFIGURADO SITUACION DE CONTROL SOBRE LA SOCIEDAD:

- COOFFE ARABICAS LTDA

DOMICILIO : BOGOTA, D.C.

CERTIFICA :

DIRECCION DE NOTIFICACION JUDICIAL : CLL. 73 NO. 8-13

MUNICIPIO : BOGOTA D.C.

CERTIFICA :

QUE EN ESTA CAMARA DE COMERCIO NO APARECEN INSCRIPCIONES POSTERIORES DE DOCUMENTOS REFERENTES A REFORMA, DISOLUCION, LIQUIDACION O NOMBRAMIENTOS DE REPRESENTANTES LEGALES DE LA MENCIONADA ENTIDAD.

I M P O R T A N T E

EL REGISTRO ANTE LAS CAMARAS DE COMERCIO NO CONSTITUYE APROBACION DE ESTATUTOS. (DECRETO 2150 DE 1995 Y DECRETO 427 DE 1996).

LA PERSONA JURIDICA DE QUE TRATA ESTE CERTIFICADO SE ENCUENTRA SUJETA A LA INSPECCION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LAS AUTORIDADES QUE EJERCEN ESTA FUNCION, POR LO TANTO DEBERA PRESENTAR ANTE LA AUTORIDAD CORRESPONDIENTE, EL CERTIFICADO DE REGISTRO RESPECTIVO, EXPEDIDO POR LA CAMARA DE COMERCIO, DENTRO DE LOS 10 DIAS HABILES SIGUIENTES A LA FECHA DE INSCRIPCION, MAS EL TERMINO DE LA DISTANCIA CUANDO EL DOMICILIO DE LA PERSONA JURIDICA SIN ANIMO DE LUCRO QUE SE REGISTRA ES DIFERENTE AL DE LA CAMARA DE COMERCIO QUE LE CORRESPONDE. EN EL CASO DE REFORMAS ESTATUTARIAS ADEMÁS SE ALLEGARA COPIA DE LOS ESTATUTOS.

TODA AUTORIZACION, PERMISO, LICENCIA O RECONOCIMIENTO DE CARACTER OFICIAL, SE TRAMITARA CON POSTERIORIDAD A LA INSCRIPCION DE LAS PERSONAS JURIDICAS SIN ANIMO DE LUCRO EN LA RESPECTIVA CAMARA DE COMERCIO.

CERTIFICA :

NOTARIA VENTISIETE

Maria Eugenia Rojas de Uruea

DE CONFORMIDAD CON LO ESTABLECIDO POR LA LEY 962 DE 2005, LOS ACTOS DE REGISTRO AQUI CERTIFICADOS QUEDAN EN FIRME CINCO (5) DIAS HABILES DESPUES DE LA FECHA DE INSCRIPCION, SIEMPRE QUE NO SEAN OBJETO DE RECURSOS EN LA VIA GUBERNATIVA.

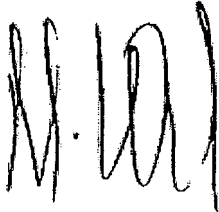
* * * EL PRESENTE CERTIFICADO NO CONSTITUYE PERMISO DE
* * * FUNCIONAMIENTO EN NINGUN CASO

* * *
* * *

EL SECRETARIO DE LA CAMARA DE COMERCIO,

VALOR : \$ 3,200.00

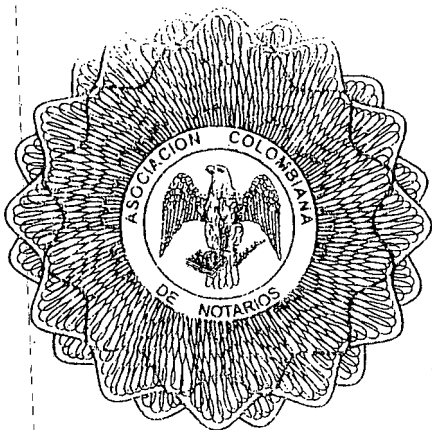
DE CONFORMIDAD CON EL DECRETO 2150 DE 1995 Y LA AUTORIZACION IMPARTIDA POR LA SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO, MEDIANTE EL OFICIO DEL 18 DE NOVIEMBRE DE 1996, LA FIRMA MECANICA QUE APARECE A CONTINUACION TIENE PLENA VALIDEZ PARA TODOS LOS EFECTOS LEGALES.



ESPACIO EN BLANCO

WK

6301790



motivo de lo encomendado se presentaren, dándoles asimismo facultad para sustituir el presente y en caso necesario revocar dichas sustituciones.-----

Presentes CARLOS OLARTE, J. IAN RAISBECK y JUAN GUILLERMO MOURE, de las condiciones civiles ya anotadas y manifestaron: que aceptan el poder que mediante esta escritura se les otorga. (HASTA AQUÍ LA MINUTA PRESENTADA EN DISCO) -----

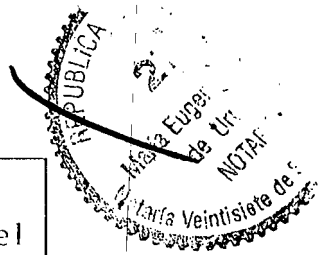
El(los) compareciente(s) hace(n) constar que han verificado cuidadosamente sus nombres completos el número(s) de su documento de identidad. Declara(n) que todas las informaciones consignadas en el presente instrumento son correctas y, en consecuencia, asume la responsabilidad que se derive de cualquier inexactitud en los mismos. Conoce la ley y sabe que el Notario responde de la regularidad formal de los instrumentos que autoriza, pero no de la veracidad de las declaraciones de los interesados.-----

ADVERTENCIA, OTORGAMIENTO Y AUTORIZACION.- Leído el presente instrumento por el (los) compareciente (s) y advertido (s) sobre la obligación de pagar el impuesto de Registro (Art.226 y s.s. ley 223 del 1995) y también sobre la formalidad del registro dentro del término perentorio de 2 meses contados a partir de la fecha de otorgamiento de este instrumento, cuyo incumplimiento causará intereses moratorios por mes o fracción de mes de retardo, lo aprueban y firman conmigo y ante mí la(el) Notaria(o) quién lo autoriza. A los

ESTE PAPEL NO TIENE COSTO PARA EL USUARIO

NOTARIA VENTISIEETE

Maria Eugenia Rojas de Sueto



otorgantes se les advirtió finalmente que una vez firmado el presente instrumento, la(el) Notaria(o) no aceptará correcciones o modificaciones sino en la forma y casos previstos por la Ley. - Se extendió el presente instrumento público en las hojas de papel Notarial Nos. WK 6301800, WK 6301760, WK 6301804 - - - - -

DERECHOS LEGALES: \$ 39.630.00

RESOLUCIÓN No. 8850 DE 2007

IVA \$ 12.557.00



LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

CC. 10.536.679 de Popayán

TELÉFONO:

CARLOS OLARTE

C.C. No. 79.782.747 de Bogotá

TP No 74.295

TELÉFONO: 6017700

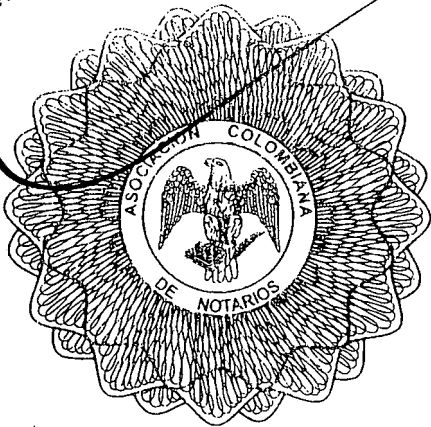
J. IAN RAISBECK

C.C. No. 79'376.996 de Bogotá

TP No. 135.799

TELÉFONO: 6017700

WK 6301804



ESTA HOJA HACE PARTE DE LA
 ESCRITURA PUBLICA NÚMERO = = = =
 DEL 21 DE ENERO DE 2008 = = = = =
 NOTARIA 27 DE BOGOTA = = = = =
 REFERENTE AL PODER DE
 FEDERACIÓN NACIONAL DE
 CAFETEROS DE COLOMBIA A:

CARLOS OLARTE, J. IAN RAISBECK y/o JUAN
 GUILLERMO MOURE

Juan Guillermo Moure
 JUAN GUILLERMO-MOURE PEREZ

C.C. No. 80.412.281 de Usaquén

TP No. 67.343

TELEFONO: 6017700



NOTARIA VEINTISIETE
 María Eugenia Rojas de Uruea

María Eugenia Rojas de Uruea

MARIA EUGENIA ROJAS DE URUEA

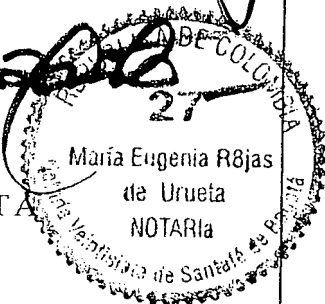
NOTARIA VEINTISIETE (27) DE BOGOTA

redb.

Es fiel y Primera (1°)
 fotocopia de la Escritura Pública No. 40
 de fecha 21 de Enero de 2.008
 tomada de su original que expido en
Nueve (9) hojas útiles de papel
 común autorizado (Decreto 1343 de 1970) con destino a

Interesado

Dado en Santafé de Bogotá D.C., a 22 ENE 2008
 El Notario Veintisiete de Santafé de Bogotá.



ESTE PAPEL NO TIENE COSTO PARA EL USUARIO

ANEXO 1

ISBN 958 - 96554-3-2

BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ



Gonzalo Robledo
Carlos S. Olvera
José Alvarado
César A. Jiménez

Juan R. Sanz U.
Jairo R. Álvarez H.
Mara T. Dávila A.
Diego A. Zambrano F.
Gloria I. Puerta Q.
Nelson Rodríguez V.

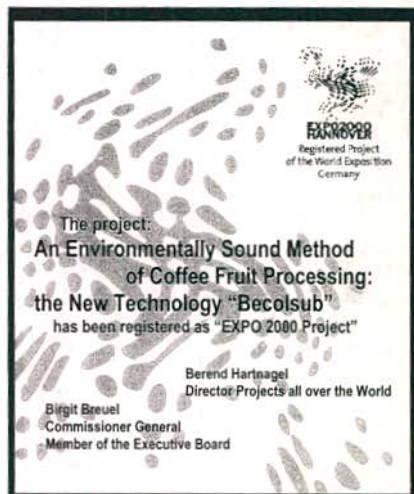


Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

Cenicafé

Centro Nacional de Investigaciones del Café
Petro Urbis Meno

BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ



Gonzalo Roa M.
Carlos E. Oliveros T.
José Álvarez G.
César A. Ramírez G.
Juan R. Sanz U.
María T. Dávila A.
Jairo R. Álvarez H.
Diego A. Zambrano F.
Gloria I. Puerta Q.
Nelson Rodríguez V.

6E6Ea4Ns

R51 Roa M., G.

BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ. Por Gonzalo Roa M.; Carlos E. Oliveros T.; José Álvarez G.; César A. Ramírez G.; Juan R. Sanz U.; María T. Dávila A.; Jairo R. Álvarez H.; Diego A. Zambrano F.; Gloria I. Puerta Q.; Nelson Rodríguez V.

Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ, 1999
300p.

ISBN: 958-96554-3-2

Roa M., G. II. Coautores. III. Título.

1. Beneficio del Café.

Copyright Cenicafe 1999.

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.



1

Gonzalo Roa M.; Carlos
z G.; Juan R. Sanz U.;
Zambrano F.; Gloria I.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

COMITÉ NACIONAL DE CAFETEROS

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Ministro de Comercio Exterior
Director del Departamento de Planeación Nacional

Miembros elegidos para el período 1999-2001

PRINCIPALES

Luis Ignacio Múnera Cambas
Mario Gómez Estrada
Alfonso Jaramillo Salazar
Rodrigo Múnera Zuloaga
Julio Ernesto Marulanda Buitrago
Diego Arango Mora
Floresmiro Azuero Ramírez
Carlos Alberto Martínez Martínez

SUPLENTE

Jorge Alberto Uribe Echavarría
Jorge Cala Robayo
Ramón Campo González
Rodolfo Campo Soto
Édgar Dávila Muñoz +
Alfredo Yañez Carvajal
Luis Ardila Casamitjana
Ernesto Sayer Martínez

Gerente General
JORGE CÁRDENAS GUTIÉRREZ

Subgerente General
HERNÁN URIBE ARANGO

Gerente Técnico
ANTONIO HERRÓN ORTIZ

Director Programa de Investigación Científica
Director Centro Nacional de Investigaciones de Café
GABRIEL CADENA GÓMEZ

l de Investigaciones de
acional de Cafeteros de
no pertenecientes a este
sabilidad y no expresan

2

UNA PUBLICACIÓN DE
Cenicafé

Coordinación editorial
y corrección de textos:
Diseño y Diagramación:
Fotografías:

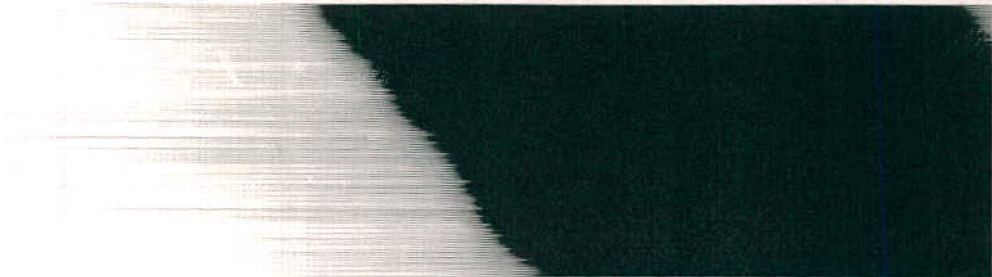
Héctor Fabio Ospina Ospina - Ing. Agr. M.Sc.
Gonzalo Gallego González.
Gonzalo Hoyos Salazar.
Disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafe

1a. Edición, Noviembre de 1999
3.000 ejemplares



TABLA DE CONTENIDO

	Página
Presentación	1
Prólogo	5
1. GENERALIDADES	7
1.1. DEFINICIÓN	11
1.2. PROCEDIMIENTOS COMPLEMENTARIOS PARA REALIZAR EL BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ	12
1.3. CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR EL BENEFICIO DEL CAFÉ	13
1.4. CONSUMO DE AGUA Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO	13
1.5. EVALUACIÓN PARCIAL DEL BENEFICIO ECOLÓGICO DESARROLLADO POR CENICAFÉ	14
2. LA CALIDAD DEL CAFÉ	15
2.1. ASPECTOS GENERALES	17
2.1.1. La calidad de las variedades de café cultivadas en Colombia	18
2.1.2. El beneficio húmedo de café y su influencia en la calidad	21
2.1.2.1. La cosecha	23
2.1.2.2. El despulpado	23
2.1.2.3. La remoción del mucílago	24
2.1.2.4. El lavado	25
2.1.2.5. El secado	26
2.1.2.6. El almacenamiento del café pergamino	26
2.1.3. El beneficio por vía seca y su influencia en la calidad del café colombiano	27
2.1.4. Principales defectos en la calidad del café	28
2.1.4.1. La broca del café	28
2.1.4.2. El sabor fenólico	28
2.1.4.3. El defecto “stinker”	28
2.2. EFECTO DEL DESMUCILAGINADO MECÁNICO EN LA CALIDAD FÍSICA Y ORGANOLÉPTICA DEL CAFÉ	29
2.2.1. Eliminación del mucílago	29
2.2.2. Calidad física del café desmucilaginado	29
2.2.3. Calidad organoléptica del café desmucilaginado	31



2.3.	EFFECTO DEL ENFRIAMIENTO MECÁNICO EN LA CALIDAD DEL CAFÉ ALMACENADO A GRANEL	35
2.3.1.	Contenido de humedad de los granos	37
2.3.2.	Decoloración de los granos	38
2.3.3.	Presencia de microorganismos	40
2.3.4.	Calidad de la bebida	40
2.3.5.	Conclusiones	41
2.4.	EFFECTO DEL SECADO Y DEL ALMACENAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA SEMILLA DE CAFÉ (Var. COLOMBIA).	42
2.4.1.	Efecto del secado en la viabilidad de la semilla de café	43
2.4.2.	Efecto del almacenamiento en la viabilidad de la semilla de café. ...	44
2.5.	EFFECTO DEL DESMUCILAGINADO MECÁNICO EN LA CALIDAD DE LA SEMILLA DE CAFÉ	45
2.6.	RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAFÉ Y DEL MEDIO AMBIENTE	49
3.	BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ	51
3.1.	MANEJO DEL CAFÉ EN CEREZA	53
3.1.1.	Transporte del café cereza del campo al beneficiadero	54
3.1.1.1.	Transporte del café cereza por cafeductos	54
3.1.1.2.	Transporte del café cereza por cable aéreo de gravedad.	55
3.1.1.3.	Transporte del café cereza por cable aéreo motorizado	56
3.1.2.	Transporte de café cereza por gravedad, dentro del beneficiadero	56
3.1.3.	Tolva seca para la recepción del café cereza	57
3.2.	DESPULPADO DEL CAFÉ	60
3.3.	DESPULPadora DE CAFÉ ACCIONADA A PEDAL	63
3.4.	DISMINUCIÓN EN LAS PÉRDIDAS POR DESPULPADO	64
3.5.	CALIBRACIÓN DE LAS DESPULPADORAS DE LOS MÓDULOS BECOLSUB	65
3.6.	CLASIFICACIÓN DEL CAFÉ CON ZARANDAS	66
3.7.	FERMENTACIÓN DEL MUCÍLAGO	71
3.8.	LAVADO DEL CAFÉ CON MUCÍLAGO FERMENTADO	71
3.9.	LAVADO Y TRANSPORTE DE CAFÉ CON BOMBA SUMERGIBLE	73
3.10.	DESMUCILAGINADO MECÁNICO, LAVADO Y LIMPIADO DEL CAFÉ. EQUIPO DESLIM	77
3.10.1.	Eliminación del mucílago	78
3.10.2.	Principios del desmucilaginado mecánico del café	79
3.10.3.	Desarrollo de equipos para el desmucilaginado mecánico del café en Cenicafe	81
3.10.4.	La tecnología DESLIM	87
3.10.5.	Componentes de los equipos DESLIM	91
3.10.5.1.	Carcaza	91
3.10.5.2.	Rotor	92
3.10.6.	Características de los desmucilaginadores de flujo ascendente DESLIM	93

N	
RANEL	35
.....	37
.....	38
.....	40
.....	40
.....	41
ENTO EN LA	
LOMBIA)	42
milla de café	43
id de la semilla de café. ..	44
CO	45
IÓN	49
MBIENTE	51
.....	53
eneficiadero	54
cafeductos	54
cable aéreo de gravedad. ..	55
cable aéreo motorizado ..	56
.....	56
za	57
.....	60
DAL	63
ULPADO	64
.....	65
.....	66
.....	71
NTADO	71
.....	73
.....	77
.....	78
del café	79
nado	81
.....	87
.....	91
.....	91
.....	92
.....	93

CONTENIDO

3.10.6.1. Modelo DESLIM 100	94
3.10.6.2. Modelo DESLIM 300	94
3.10.6.3. Modelo DESLIM 600	95
3.10.6.4. Modelo DESLIM 1000	97
3.10.6.5. Modelo DESLIM 3000	97
3.10.7. Desempeño de la tecnología DESLIM	98
3.11. LAVADO Y CLASIFICADO DEL CAFÉ	
EN EL HIDROCICLÓN	101
3.11.1. Diseño de un hidrociclón	102
3.11.2. Construcción	103
3.11.3. Instalación y funcionamiento	104
3.11.4. Evaluación del hidrociclón	104
3.11.5. Ventajas de la utilización del hidrociclón	105
3.11.6. Desventajas de la utilización del hidrociclón	106
3.12. TRANSPORTE NEUMÁTICO DE CAFÉ PERGAMINO	
Y PULPA FRESCA DE CAFÉ	106
3.13. TRANSPORTE Y MEZCLA DE LA PULPA	
CON TORNILLO SINFIN	108
3.13.1. Dimensiones principales	109
3.13.2. Selección del diámetro exterior	109
3.13.3. Cálculo del diámetro del eje y potencia del tornillo sinfin	111
3.13.4. Construcción del tornillo sinfin	111
3.14. BENEFICIADERO ECOLÓGICO CON MANEJO	
DE SUBPRODUCTOS - MÓDULO "BECOLSUB"	113
3.15. MÓDULO BECOLSUB MÓVIL	115
3.16. SELECCIÓN DE UN MÓDULO BECOLSUB	118
3.17. RETENCIÓN EN LA PULPA DE CAFÉ, DE LEFLUENTE	
LÍQUIDO SÓLIDO RESULTANTE DE LOS MÓDULOS BECOLSUB	120
3.18. EVALUACIONES DE CAMPO DEL MÓDULO	
BECOLSUB 600 MÓVIL	122
3.18.1. Caracterización de los diferentes tipos de café obtenidos	122
3.18.2. Rendimientos y desempeños	125
3.18.3. Control de la contaminación con el módulo	
BECOLSUB 600 MÓVIL	125
3.18.4. Control de la contaminación con el módulo	
BECOLSUB 1000 MÓVIL	127
3.19. CENTRAL DE BENEFICIO ECOLÓGICO	
DE ANSERMA, CALDAS (CBEA)	129
3.19.1. Componentes de la Central de Beneficio de Anserma, Caldas	131
3.19.2. Manejo de la pulpa, del mucílago y de la lombriz	133
3.19.3. Evaluación de la Central	133
3.19.3.1. Uso del método CERPER en la CBEA	133
3.19.3.2. Calidad del café cereza y del café pergamino	134
3.19.3.3. Calidad del café pergamino obtenido	
por desmucilaginado mecánico	135
3.19.3.4. Secado de café en los secadores CENICAFÉ-IFC,	
Intermitentes de Flujos Concurrentes	136
3.19.3.5. Lombricompuesto	136

3.19.3.6.	Consumo de agua	139
3.19.3.7.	Retención de la contaminación	139
3.19.3.8.	Consumo de energía eléctrica	139
3.19.3.9.	Mano de obra	139
3.19.3.10.	Objetivos planteados en la propuesta del proyecto de la CBEA (1992-1993)	140
3.19.3.11.	Central de Anserma como generadora de tecnología de beneficio	141
3.20.	CURSO INTERNACIONAL SOBRE EL BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ	143
3.21.	COMERCIALIZACIÓN DEL MÓDULO BECOLSUB	143
4.	SECADO DEL CAFÉ	145
4.1.	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAFÉ	147
4.2.	DETERMINADOR DE HUMEDAD CENICAFÉ MH-2	148
4.3.	EVALUACIÓN DE LOS MEDIDORES COMERCIALES DE HUMEDAD	151
4.4.	DETERMINADORES Y MEDIDORES INDIRECTOS DE HUMEDAD	152
4.5.	DIFUSIÓN DE HUMEDAD DENTRO DEL GRANO DE CAFÉ	154
4.6.	SECADOR SOLAR	155
4.6.1.	El Secador Solar Rotatorio	155
4.6.2.	El Secador Solar Parabólico	156
4.7.	RASTRILLOS REVOLVEDORES DE CAFÉ	158
4.8.	SECADO MECÁNICO DEL CAFÉ	160
4.8.1.	Caudal de aire	160
4.8.2.	Paso del aire a través del café	162
4.8.3.	Ventiladores	163
4.8.4.	Generadores de aire caliente. Intercambiadores de calor	164
4.8.5.	Secado mecánico de capas estáticas del café	166
4.8.5.1.	Secado en una sola dirección del aire	166
4.8.5.2.	Secado con inversión de la dirección del flujo de aire..	167
4.8.5.3.	Presecado del café en capas estáticas	168
4.8.5.4.	Secado mecánico del café en carros convencionales para secado al sol	169
4.8.5.5.	Dimensionamiento de los secadores de capa fija	170
4.8.5.6.	Selección del ventilador	171
4.8.6.	Secador mecánico de café, para el aprovechamiento de la energía calorífica no utilizada en las estufas campesinas	171
4.8.7.	Secador Intermitente de Flujos Concurrentes, (IFC)	172
4.9.	SIMULACIÓN MATEMÁTICA DEL SECADO	179
4.9.1.	Propiedades físicas	180
4.9.1.1.	Contenido de humedad de equilibrio	180
4.9.1.2.	Calor latente de vaporización	181
4.9.1.3.	Secado de capa delgada. Difusión de humedad	182
4.9.1.4.	Área superficial	184
4.9.1.5.	Calor específico	184

.....	139
n	139
.....	139
.....	139
puesta del proyecto	140
eradora	141
.....	143
.SUB	143
.....	145
.....	147
MH-2	148
.....	151
TOS DE HUMEDAD	152
NO DE CAFÉ	154
.....	155
.....	155
.....	156
.....	158
.....	160
.....	160
.....	162
.....	163
dores de calor	164
ifé	166
el aire	166
cción del flujo de aire..	167
áticas	168
arros convencionales	169
.....	170
lores de capa fija	171
.....	171
hamiento de	171
ifas campesinas	172
es, (IFC)	172
.....	179
.....	180
ib	180
.....	181
n de humedad	182
.....	184
.....	184

CONTENIDO

4.9.1.6. Densidad aparente	185
4.9.2. Simulación de procesos comerciales	185
4.9.2.1. Enfriamiento en silos	185
4.9.2.2. Secado en capas estáticas	186
4.9.2.3. Secado en Secador Intermitente	187
de Flujos Concurrentes	187
5. RENDIMIENTO DEL CAFÉ CEREZA A CAFÉ PERGAMINO SECO	189
5.1. INTRODUCCIÓN	191
5.2. COMERCIALIZACIÓN DE CAFÉ EN CEREZA	192
5.3. COMERCIALIZACIÓN DE CAFÉ PERGAMINO LAVADO	192
5.4. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PESO	194
POR LA PERMANENCIA DEL CAFÉ HÚMEDO	194
5.4.1. Revisión de literatura	194
5.4.2. Ensayos experimentales sobre pérdida de peso	195
5.5. MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO CEREZA/PERGAMINO	196
5.5.1. Método CERPER	196
5.5.1.1. El método CERPER original	196
5.5.1.2. Método CERPER modificado	198
5.5.1.3. Método CERPER comercial en la Central	199
de Beneficio Ecológico de Anserma	199
6. LOMBRICULTURA CON SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ	201
6.1. INFRAESTRUCTURA	203
6.1.1. Área necesaria	203
6.1.2. Camas o lechos	203
6.1.3. Pisos	204
6.1.4. Techos	204
6.1.5. Cerramiento	204
6.1.6. Siembra de la lombriz	204
6.2. SISTEMA DE SIEMBRA	205
6.3. MANEJO DEL LOMBRICULTIVO	205
6.3.1. Sustrato alimenticio	205
6.3.2. Almacenamiento temporal del sustrato	206
6.3.3. Sistema de alimentación	206
6.3.4. Frecuencia y cantidad de alimento	206
6.4. RECOLECCIÓN DE LOS PRODUCTOS	207
6.4.1. Incremento de lombrices. Secado solar	208
6.4.2. Rendimiento en la producción de lombricompuesto	209
7. RENTABILIDAD DEL BENEFICIO ECOLÓGICO	211
7.1. BENEFICIOS ECONÓMICOS	213
DE LA TECNOLOGÍA NO CONTAMINANTE	213
7.2. GENERALIDADES SOBRE LAS EVALUACIONES	214
ECONÓMICAS DE INVERSIONES	214

7.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR DEL PROGRAMA DE BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ	217
7.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA MEDIANTE SOFTWARE DESARROLLADO EN CENICAFÉ. Programa "ANEFSUB"	218
7.4.1. Supuestos en el análisis económico de la inversión	220
7.4.2. Criterio decisorio	221
7.4.3. Valor del dinero en el tiempo	223
7.4.4. Valor presente neto. Relación beneficio/costo	223
7.4.5. Utilización del programa ANEFSUB	224
8. TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE AGUAS RESIDUALES	235
8.1. SISTEMA MODULAR DE TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE AGUAS RESIDUALES DE BENEFICIO DEL CAFÉ - SMTA	237
8.2. PRODUCCIÓN DE LODO METANOGÉNICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ POR BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA	242
8.2.1. Maduración del lodo	242
8.2.2. Arranque	242
8.2.3. Operación	243
9. BIBLIOGRAFÍA	247
APÉNDICE - A	265
APÉNDICE - B	266
APÉNDICE - C	272

Handwritten mark

O DEL CAFÉ 217

WARE

NEFSUB” 218

inversión 220

..... 221

..... 223

osto 223

..... 224

IALES 235

ERÓBICO DE

FÉ - SMTA 237

RA EL TRATAMIENTO

ENEFICIO

ERÓBICA 242

..... 242

..... 242

..... 243

..... 247

..... 265

..... 266

..... 272

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Efecto del desmucilaginado mecánico en la calidad física de café: Daño Mecánico (DM), Guayaba y Media Cara (GMC) e Impurezas (IMP), después del despulpado (d) y del desmucilaginado (D)	29
Figura 2. Calidad física del café obtenido con desmucilaginado mecánico sin previa eliminación de flotes y sin zarandear el café despulpado.	30
Figura 3. Esquema de silos metálicos utilizados para estudios de almacenamiento de café en laboratorio, con aire enfriado y forzado mecánicamente.	34
Figura 4. Batería de 60 silos de 30m de altura y 6m de diámetro, de ALMACAFÉ, Bello, Antioquia, para el almacenamiento de café pergamino con aireación forzada nocturna.	35
Figura 5. Contenido de humedad del café como función de las condiciones del aire tratado y del tiempo de almacenamiento.	37
Figura 6. Contenido de humedad del café enfriado en condiciones ambientales, como función del tiempo de almacenamiento.	37
Figura 7. Granos decolorados como función de las condiciones controladas del aire de enfriamiento mecánico, falta de enfriamiento y el almacenamiento tradicional en sacos.	38
Figura 8. Calidad de la bebida de café según las condiciones del aire enfriado mecánicamente, aire sin enfriar y café almacenado en sacos en forma convencional, según el tiempo de almacenamiento.	39
Figura 9. Influencia de la temperatura del aire de secado en la viabilidad de la semilla de café secada en capas delgadas.	43
Figura 10. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento del café, durante su almacenamiento prolongado.	44
Figura 11. Germinación normal de las semillas de café obtenidas por desmucilaginado mecánico	46
Figura 12. Esquema del sistema de transporte por gravedad, de café cereza por cable.	55
Figura 13. Tolva seca para la recepción del café cereza.	58
Figura 14. Utilización de transportador de paletas para alimentación de despulpadoras (incluyendo las que conforman los módulos BECOLSUB) y posible separación de objetos duros, mediante captación de señales electrónicas.	61
Figura 15. Despulpadoras de eje horizontal, operadas sin agua.	61

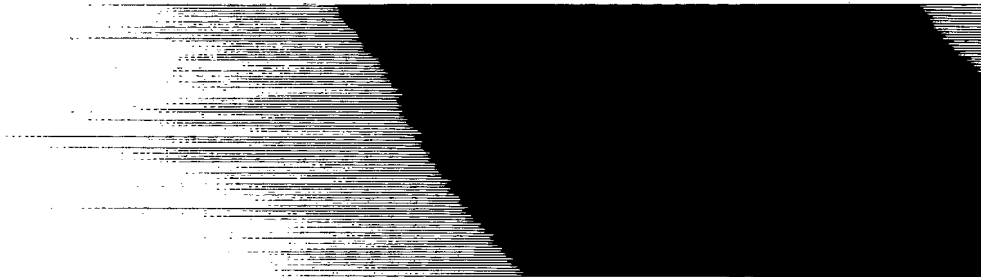


Figura 16. Comportamiento de una cereza madura de café sometida a compresión entre placas paralelas.	62
Figura 17. Comportamiento de una cereza verde de café sometida a compresión entre placas paralelas.	63
Figura 18. Despulpadora No. 3 (tradicionalmente accionada por un motor de 1hp) movida a pedal.	63
Figura 19. Sistema mecánico que permite la calibración de la despulpadora, en operación.	66
Figura 20. Esquema general del beneficio ecológico en el cual se utilizan zarandas y tanques tradicionales de fermentación del mucílago.	67
Figura 21. Porcentaje de pasillas del café despulpado retiradas en la zaranda plana.	68
Figura 22. Esquema general del sistema de beneficio utilizando la tecnología BECOLSUB.	70
Figura 23. Zaranda para separar granos almendras, impurezas y subproductos, después de secado.	70
Figura 24. Lavado del café por agitación manual en el tanque tina. La zaranda plana clasifica el café despulpado.	72
Figura 25. Lavado del café con mucílago fermentado en canales de correteo, mediante agitación manual.	72
Figura 26. Motobomba sumergible utilizada para el lavado y transporte del café.	73
Figura 27. Lavado del café, mediante su transporte por motobomba, utilizando cuatro enjuagues.	74
Figura 28. Canal semisumergido para el lavado y clasificación tradicional del café pergamino.	74
Figura 29. Esquema de un sistema de lavado y transporte de café lavado con bomba sumergible, con recirculación de agua.	75
Figura 30. Curvas características de la bomba sumergible marca IHM modelo HWH 10-21-3 de 1 HP, al transportar café lavado.	77
Figura 31. Corte transversal de una semilla de café despulpado ilustrando la distribución y el tamaño relativo del mucílago.	77
Figura 32. Volumen alto de mucílago desprendido en los primeros instantes del proceso de desmucilaginado mecánico.	79
Figura 33. Efecto de la velocidad de rotación de un agitador CENICAFÉ III (a) en el desprendimiento del mucílago (b) y en la tasa de remoción de mucílago (c).....	80
Figura 34. Comportamiento reológico del mucílago del café y de suspensiones mucílago-café en baba.	81
Figura 35. Diagrama del primer prototipo, DESMULACLA, diseñado y construido en Cenicafé, en 1984, para estudiar el desmucilaginado, lavado y clasificado simultáneos del café.	81
Figura 36. Desmucilaginator por fricción entre capas delgadas, CENICAFÉ- B-I.	83
Figura 37. Esquema del desmucilaginator de barras, CENICAFÉ-B-II.	84

41

sometida a compresión 62

sometida a compresión 63

la por un motor de 1hp) 63

de la despulpadora, en 66

cual se utilizan zaran- 67

adas en la zaranda pla- 68

tilizando la tecnología 70

as y subproductos, des- 70

e tina. La zaranda plana 72

anales de correteo, me- 72

y transporte del café. 73

la bomba, utilizando 74

ión tradicional del café 74

café lavado con bom- 75

ca IHM modelo HWH 77

pado ilustrando la dis- 77

primeros instantes del 79

CENICAFE III (a) en 80

n de mucílago (c)..... 80

afé y de suspensiones 81

diseñado y construi- 81

ado y clasificado 81

las, CENICAFÉ- B-I. 83

CAFÉ-B-II 84

Figura 38. Desmucilaginador CENICAFÉ-C-I provisto de tornillo sinfín lavador ascendente 85

Figura 39. Desmucilaginador CENICAFÉ-C-II 87

Figura 40. Rotor robusto tipo COLMECANO, compuestos por piñones agitadores, fundidos en aluminio, utilizado tradicionalmente en las máquinas repasadoras tipo COLMECANO. 87

Figura 41. Aspecto general del módulo DESMULAC desarrollado en Cenicafé 88

Figura 42. Desmucilaginador de café en baba, vertical, de flujo ascendente desarrollado por Fukunaga, 1957. 89

Figura 43. Tasa Cortante Promedio Aplicada (TCPA), por una rotor COLMECANO, con agitadores de 13,5cm de diámetro externo y 9,0cm de diámetro interno. 90

Figura 44. Efecto de la velocidad de rotación en el consumo de potencia para un equipo DESLIM 3000, operado con alimentación de 1.500kg de café despulpado/h. 91

Figura 45. Esquema general, principales componentes y elementos del desmucilaginador, lavador, limpiador DESLIM, para café. 93

Figura 46. Imagen virtual del modelo BECOLSUB 100 lograda por computador 95

Figura 47. Imagen virtual interior del equipo DESLIM 300. 95

Figura 48. Desmucilaginador modelo DESLIM 1000, constituyente de un equipo BECOLSUB construido por la industria nacional. 97

Figura 49. Modelo DESLIM 3000 con despulpadora de doble disco y capacidad de 2.500kg café cereza/hora 98

Figura 50. Calidad física del café obtenido con el equipo DESLIM 600. 98

Figura 51. Contaminación generada por la utilización del agua posterior al proceso desmucilaginado en equipos DESLIM, para la eliminación de los flotes e impurezas. 99

Figura 52. Sistema de zaranda clasificadora, transportador por el sistema cable-disco, 7 tanques de fermentación, y lavado mediante motobomba utilizada para el transporte del café. Cenicafé, Paraguaicito, Quindío. 100

Figura 53. Simplificación del sistema de lavado, limpiando y clasificando el café mediante el módulo BECOLSUB, en una cuarta parte del espacio anterior. Cenicafé, Paraguaicito, Quindío, 1996 100

Figura 54. Variables de diseño de un hidrociclón. 102

Figura 55. Hidrociclón en operación, clasificando café pergamino 102

Figura 56. Diagrama que representa la descarga superior del hidrociclón para café. 103

Figura 57. Operación del hidrociclón acoplado a un módulo BECOLSUB, en Cenicafé. 105

Figura 58. Esquema de un transportador neumático de presión positiva. 107

Figura 59. Tornillo sinfín para mezcla y transporte de la pulpa de café con mucílago. 108

Figura 60. Dimensiones principales del rotor del transportador de un tornillo sinfín 109

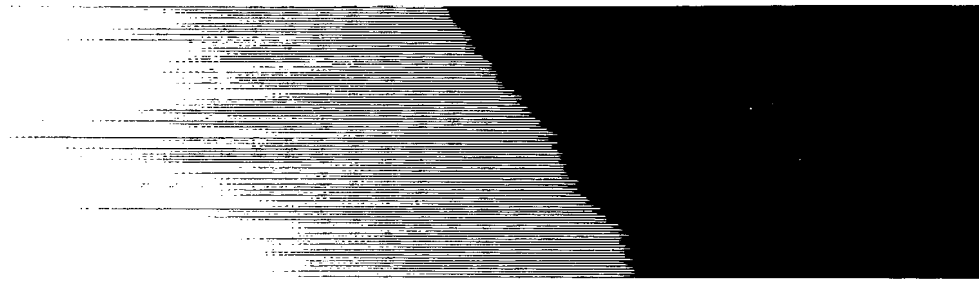


Figura 61. Gráfico utilizado para la selección del diámetro exterior en transportadores de tornillo sinfín para pulpa de café sola o mezclada con mucílago concentrado. .	110
Figura 62. Dimensiones para la construcción de los discos del tornillo sinfín...	112
Figura 63. Módulo demostrativo BECOLSUB, dentro de un beneficiadero construido en guadua. Cenicafé, Chinchiná.	113
Figura 64. Esquema tridimensional del módulo BECOLSUB (Beneficiadero Ecológico, con Manejo de Subproductos)	114
Figura 65. Módulo BECOLSUB, con zaranda cilíndrica para clasificación del café despulpado.	115
Figura 66. Vista lateral del módulo BECOLSUB provisto de zaranda cilíndrica. .	115
Figura 67. Esquema del Módulo BECOLSUB 600 móvil.	116
Figura 68. Módulo BECOLSUB 600 móvil, remolcado por un vehículo campero..	117
Figura 69. Café de muy alta calidad obtenido con el BECOLSUB móvil.	117
Figura 70. Pulpa mezclada con mucílago, que debe utilizarse preferencialmente como sustrato en un lombricultivo cubierto.	117
Figura 71. Selección del equipo DESLIM y módulo BECOLSUB en función de la producción de la finca y del número de horas de funcionamiento del módulo	118
Figura 72. Comparación de porcentajes de control total de contaminación, con adición de cisco de café al mucílago.	121
Figura 73. Pruebas de campo con el Módulo BECOLSUB 1000 móvil, realizadas en la finca "La Palma", Cundinamarca	128
Figura 74. Esquema de la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas ..	130
Figura 75. Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.	130
Figura 76. Esquema del manejo de los subproductos pulpa y mucílago en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, CBEA.	132
Figura 77. Comparación entre los valores estimados de la relación de café cereza al café pergamino seco.	134
Figura 78. Histograma de la calidad del café cereza recibido en la cosecha principal de 1995 en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.	135
Figura 79. Influencia del desmucilaginado mecánico en la calidad física del pergamino (Promedio de 29 evaluaciones)	135
Figura 80. Influencia del desmucilaginado mecánico en la calidad física del pergamino (Promedio de 16 evaluaciones)	136
Figura 81. Influencia del desmucilaginado mecánico en la disminución de los granos guayaba (G) y media cara (MC).	136
Figura 82. Influencia del desmucilaginado mecánico en aumento del daño mecánico del café pergamino.	137
Figura 83. Análisis físico de los granos obtenidos del desmucilaginador de pasillas en la Central de Beneficio de Anserma.	137
Figura 84. Recuperación de granos buenos en los flotes del café procesado en la Central de Beneficio de Anserma.	138

exterior en transportado-
nucílagos concentrado. . 110

os del tornillo sinfín... 112

un beneficiadero cons-
..... 113

JB (Beneficiadero Eco-
..... 114

ra clasificación del café
..... 115

de zaranda cilíndrica. . 115

..... 116

un vehículo campero.. 117

LSUB móvil. 117

arse preferencialmente
..... 117

LSUB en función de la
amiento del módulo 118

ontaminación, con adi-
..... 121

1000 móvil, realizadas
..... 128

de Anserma, Caldas .. 130

aldas. 130

y mucílagos en la Cen-
..... 132

elación de café ceréza
..... 134

o en la cosecha princi-
na, Caldas. 135

calidad física del per-
..... 135

calidad física del per-
..... 136

minución de los gra-
..... 136

nento del daño mecá-
..... 137

ilaginador de pasillas
..... 137

café procesado en la
..... 138

Figura 85. Seminario internacional sobre Caficultura Sostenible - Beneficio Eco-
lógico del Café, una Opción Ecológica y Rentable. Octubre, 1996. Fotografía del
grupo de participantes y del plegable promocional del evento. 143

Figura 86. Esquema del determinador de Humedad CENICAFÉ MH-2 149

Figura 87. Banco de ocho determinadores de humedad CENICAFÉ MH-2 para
control del café recibido y secado en la CBEA. 151

Figura 88. Comparación de dos medidores indirectos de humedad con relación al
método estándar de estufa. 154

Figura 89. Secador solar rotatorio para café 156

Figura 90. Comparación del secado solar con capas de café colocadas 1) en el
secador de bandejas rotatorias, 2) sobre una superficie horizontal perforada y 3)
sobre un piso de madera, utilizado en los carros secadores tradicionales (77).... 157

Figura 91. Secador Solar con estructura de marquesina de plástico en forma
parabólica 157

Figura 92. Comparación del secador de capas de café dispuestas en los carros
tradicionales y en el secador solar parabólico 158

Figura 93. Comparación de los efectos de remoción del rastrillo tradicional y el
rastrillo revolvente CENICAFÉ. 159

Figura 94. Rastrillo provisto de un muelle o resorte para prolongar su vida útil.. 159

Figura 95. Ventilador centrífugo forzando aire a un silo-secador CENICAFÉ.. ... 161

Figura 96. Relaciones de caudales y presiones por el paso del aire a través de
capas de granos de café pergamino. 163

Figura 97. Curvas de secado de capa fija sin inversión del flujo del aire..... 167

Figura 98. Curvas de secado de capa fija con inversión de la dirección del flujo del
aire 167

Figura 99. Silo secador tipo CENICAFÉ para café pergamino, en capas estáticas
de secado y presecado, con inversión de la dirección del flujo del aire. Descarga
neumática 168

Figura 100. Esquema de un silo-secador vertical de dos capas estáticas, provisto
de inversión de la dirección del flujo del aire, solamente en la cámara de secado.. 169

Figura 101. Equipo de secado “EScafé” para el aprovechamiento de energía
calorífica en los hogares campesinos 172

Figura 102. Secadores intermitentes de flujos concurrentes, CENICAFÉ-IFC. 173

Figura 103. Esquema de un secador intermitente de flujos concurrentes, CENICA-
FÉ-IFC. 174

Figura 104. Diagrama tridimensional de un Secador Intermitente, de Flujos Con-
currentes, CENICAFÉ-IFC. 175

Figura 105. Uniformidad en las diferencias entre las humedades absolutas de en-
trada y de salida al secador 176

Figura 106. Curva de secado obtenida en los secadores CENICAFÉ-IFC. Se
caracteriza por la reducción lineal, y humedad uniforme durante el tiempo de
secado. 176

Figura 107. Comparación entre las temperaturas del aire de secado y de las temperaturas de los granos en una operación típica de los secadores CENICAFÉ-IFC..	177
Figura 108. Calidad del café pergamino seco en el secador IFC de torre	178
Figura 109. Uniformidad del café pergamino seco en el secador IFC de torre, Anserma, Caldas	179
Figura 110. Calidad de la almendra del café secado en el secador IFC de torre, Anserma, Caldas	179
Figura 111. Curva de contenido de humedad de equilibrio del café pergamino, calculada con la Ecuación 11.	181
Figura 112. Curvas de capa delgada para secado y almacenamiento de café pergamino, calculadas con la Ecuación 14	183
Figura 113. Comparación de datos experimentales y curvas simuladas de enfriamiento (modelo de Thompson) de café pergamino, colocados a granel, en silos. .	186
Figura 114. Comparación de datos experimentales y curvas simuladas de secado de café, colocados en capas estáticos a dos alturas diferentes	187
Figura 115. Comparación de datos experimentales con curvas de simulación de secado de café pergamino, en secador intermitente de flujos concurrentes, IFC, mediante dos modelos matemáticos (M.S.U. y de Thompson)	187
Figura 116. Pérdida o ganancia en la venta del café lavado al recibir la mitad del peso como equivalente a café pergamino seco	194
Figura 117. Diagrama de flujo del método CERPER original para el recibo de café cereza..	197
Figura 118. Valores de rendimientos determinados por los métodos de vía húmeda, vía seca y el método CERPER original, comparados con el rendimiento real..	198
Figura 119. Desmucilagador, Determinador de Humedad MH-2, Despulpadora. (Elementos del método CERPER modificado, Anserma, Caldas.)	199
Figura 120. Diagrama de flujo del método CERPER modificado.	200
Figura 121. Comparación de rendimientos reales y estimados por dos métodos de cálculo evaluados en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma..	200
Figura 122. Lechos del lombricultivo irrigados con aguas residuales no controladas en el beneficio de café.	204
Figura 123. Almacenamiento de pulpa mezclada con mucílago de café en la fosa cubierta, materia prima para el lombricultivo en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.	206
Figura 124. Lombrices en preparación para la recolección en el lombricultivo. .	207
Figura 125. Recolección del abono orgánico, resultado del lombricultivo con pulpa de café.	208
Figura 126. Secado del abono orgánico en un Secador Solar Parabólico.	209
Figura 127. Características básicas aplicables a los beneficiaderos tradicional y BECOLSUB.	225
Figura 128. Características de los módulos BECOLSUB	226
Figura 129. Características económico-financieras relacionadas con los módulos BECOLSUB.	227

28

le secado y de las tem- ores CENICAFÉ-IFC..	177
r IFC de torre	178
secador IFC de torre,	179
secador IFC de torre,	179
o del café pergamino,	181
amiento de café perga-	183
s simuladas de enfria- os a granel, en silos. .	186
s simuladas de secado es	187
rvas de simulación de os concurrentes, IFC, n)	187
al recibir la mitad del	194
inal para el recibo de	197
métodos de vía húme- el rendimiento real..	198
MH-2, Despulpadora. ldas.)	199
icado.	200
os por dos métodos de Anserma.	200
esiduales no controla-	204
ago de café en la fosa e Beneficio Ecológico	206
en el lombricultivo. .	207
mbricultivo con pulpa	208
r Parabólico.	209
ñaderos tradicional	225
.....	226
radas con los módu-	227

Figura 130. Variables de respuesta correspondientes a cálculos físicos y econó- micos.	228
Figura 131. Resumen de los datos de entrada y de respuesta del programa ANEFSUB.	229
Figura 132. Resultados de la relación beneficio/costo vs. pérdidas física y pago por contaminación	230
Figura 133. Gráfico de la relación beneficio/costo ajustada teniendo en cuenta la eliminación de las pérdidas físicas y los pagos por contaminación	231
Figura 134. Selección de la variable de estudio y de la relación beneficio/costo deseado.	231
Figura 135. Selección de la variable de estudio	232
Figura 136. Resultado del valor de la variable de estudio.	232
Figura 137. Reactores hidrolítico y metanogénico del sistemas de descontamina- ción de aguas residuales del lavado del café.	238
Figura 138. Esquema del sistema de tratamiento de aguas de lavado del café, por medio de reactores metanogénicos.	238

JL

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Calificación de las características sensoriales de las variedades de café <i>Coffea arabica</i> L. cultivadas en Colombia*.....	20
Tabla 2. Defectos del grano y de la bebida de café de acuerdo con la etapa del proceso de cultivo, beneficio y trilla.	22
Tabla 3. Calidad de la bebida del café obtenido con remoción mecánica del mucílago.	31
Tabla 4. Evaluación comparativa de la calidad en taza del café obtenido con fermentación natural y desmucilaginado mecánico.	31
Tabla 5. Condiciones controladas del aire y su influencia en el contenido final de humedad de los granos.	38
Tabla 6. Comparación de los granos decolorados según el sistema de almacenamiento empleado luego de 1 año de almacenamiento.	39
Tabla 7. Condiciones de almacenamiento de la semilla de café, en tres pisos térmicos en la zona cafetera colombiana.	43
Tabla 8. Promedios de los valores de germinación de la semilla obtenida en diferentes modelos BECOLSUB.	47
Tabla 9. Porcentaje de daño de doble raíz causado por diferentes modelos BECOLSUB utilizado para despulpar y desmucilaginar mecánicamente la semilla de café.	47
Tabla 10. Porcentaje de raíz bifurcada causado por diferentes modelos BECOLSUB utilizados para el despulpado y el desmucilaginado mecánico de la semilla de café.	47
Tabla 11. Ángulos de deslizamiento en grados, para el café en diferentes estados y sobre distintas superficies*.....	57
Tabla 12. Dimensiones y capacidad de tolvas de 1,2m de altura, para el recibo de café en cereza.	59
Tabla 13. Dimensiones y capacidad de tolvas de 1,4m de altura para café cereza... ..	59
Tabla 14. Porcentaje de pasillas de café retiradas en la zaranda plana ubicada después de la despulpadora.	68
Tabla 15. Calidad física del café procesado en el beneficiadero para el pequeño caficultor de Cenicafé (13).	69
Tabla 16. Composición química del mucílago del café. Tomado de Ríos (149)	78
Tabla 17. Parámetros obtenidos en la evaluación del desempeño del desmucilaginador prototipo DESMULACLA.	82

	Página
las variedades de café	20
uerdo con la etapa del	22
ión mecánica del mucí-	31
l café obtenido con fer-	31
en el contenido final de	38
l sistema de almacena-	39
afé, en tres pisos térmi-	43
semilla obtenida en dife-	47
or diferentes modelos	47
ecánicamente la semilla	47
s modelos BECOLSUB	47
co de la semilla de café	57
en diferentes estados y	59
altura, para el recibo de	59
ltura para café cereza...	68
nda plana ubicada des-	69
ia para el pequeño	78
mado de Ríos (149) ...	82
npeño del desmucilagi-	

Tabla 18. Desempeño comparativo de diferentes desmucilaginosos evaluados en Cenicafe.	84
Tabla 19. Desempeño comparativo de diferentes desmucilaginosos mecánicos desarrollados en Cenicafe.	86
Tabla 20. Desempeño comparativo de desmucilaginosos mecánicos.	87
Tabla 21. Características principales de los tres modelos DESLIM para desmucilagar mecánicamente el café.	92
Tabla 22. Niveles de producción anual de café (ton y @ cps/año) y módulos BECOLSUB apropiados.	93
Tabla 23. Características técnicas de los equipos DESLIM y los módulos BECOLSUB 100, 300, 600, 1000 y 3000 (kg de café cereza/hora).	96
Tabla 24. Dimensiones del hidrociclón experimental de Cenicafe para la clasificación del café.	103
Tabla 25. Dimensiones del hidrociclón para diferentes condiciones de bombeo... ..	103
Tabla 26. Desempeño del prototipo de un hidrociclón, diseñado para lavado y clasificación de café pergamino. (19*, 182**, 95***)	104
Tabla 27. Velocidades mínimas del aire para el transporte neumático, vertical y horizontal de café pergamino y de la pulpa de café.	107
Tabla 28. Potencias y diámetros de ejes en tubería galvanizada, recomendados para transportadores de tornillo sinfín con pulpa sola o mezclada con mucílago concentrado.	111
Tabla 29. Dimensiones de los discos para la construcción del rotor del transportador de tornillo sinfín.	112
Tabla 30. Variables y unidades utilizadas en los círculos para seleccionar el módulo BECOLSUB.	119
Tabla 31. Actividad de la lombriz roja californiana <i>Eisenia foetida</i> Savigny en dos sustratos.	121
Tabla 32. Caracterización del café cereza recibido. (Muestras de 500g).	122
Tabla 33. Caracterización del café despulpado (Muestra de 100g).	123
Tabla 34. Caracterización del café desmucilaginado (Muestra de 100 g).	124
Tabla 35. Caracterización del café pergamino seco proveniente del beneficio en un BECOLSUB móvil (Muestra de 100g).	124
Tabla 36. Velocidades de giro de los diferentes ejes del BECOLSUB móvil (rpm)..	125
Tabla 37. Capacidad de proceso del módulo BECOLSUB 600 móvil.	125
Tabla 38. Consumo de agua del módulo BECOLSUB 600 móvil.	126
Tabla 39. Flujos de agua+mucílago generados por en el BECOLSUB 600 móvil...	126
Tabla 40. Flujos de agua + mucílago, drenados y análisis de DQO.	126
Tabla 41. Control de la contaminación generada, por el módulo BECOLSUB 600 móvil.	127
Tabla 42. Desempeño general de la tecnología BECOLSUB móvil, en el beneficio de café.	127
Tabla 43. Desempeño general de la tecnología BECOLSUB 1000 móvil.	129

W9

Tabla 44. Tasas de producción de lombricompuesto obtenidas en la CBEA, 1996.. 138

Tabla 45. Contenidos de humedad de muestras de café pergamino húmedo obtenidos en la estufa y en cinco determinadores de humedad MH-2. Se incluyen los límites de confianza para el promedio al 5%. 152

Tabla 46. Comparación del daño mecánico producido por la utilización del rastrillo tradicional y el rastrillo revolver, de dientes, CENICAFÉ. 160

Tabla 47. Selección del sistema y especificaciones de secado según la producción de la finca 161

Tabla 48. Caudales recomendados para el secado del café pergamino en capas estáticas. 162

Tabla 49. Poder calorífico de algunos combustibles utilizados en Colombia. 166

Tabla 50. Tiempo total de secado para cada plataforma y para cada prueba, en un secador solar de carros. Humedad final = 11%. 170

Tabla 51. Valores obtenidos de la energía disponible, la energía utilizada en el secado, el tiempo de secado y el contenido de humedad final. 173

Tabla 52. Pérdidas o ganancias por comercialización del café lavado*. 193

Tabla 53. Pérdidas de peso del café durante el proceso de fermentación según Carbonel y Vilanova (32). 195

Tabla 54. Pérdidas de peso del café durante el proceso de fermentación según Boyce (27). 195

Tabla 55. Caracterización de la borra del café procedente de la Fábrica de Café Liofilizado, Chinchiná, utilizada para preparar el manto de lodos anaeróbicos. 239

Tabla 56. SMTA prototipos instalados en finca y promedios de remoción de DQO estimadas. 1994. 240

Tabla 57. Características de las corrientes líquidas del SMTA Cenicafe durante pruebas de esfuerzo 241

Tabla 58. Densidades y equivalencias aproximadas de peso entre los diferentes estados del café, de la pulpa y del cisco. 265

42

idas en la CBEA, 1996.. 138

rgamino húmedo obteni-
l MH-2. Se incluyen los 152

r la utilización del rasti-
CAFÉ. 160

ado según la producción 161

é pergamino en capas es-
..... 162

ados en Colombia. 166

para cada prueba, en un
..... 170

nergía utilizada en el se-
il. 173

café lavado*. 193

de fermentación según
..... 195

de fermentación según
..... 195

te de la Fábrica de Café
e Anaeróbicos. 239

ios de remoción de DQO
..... 240

SMTA Cenicafe durante
..... 241

eso entre los diferentes
..... 265

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Página
Ecuación < 1 > Pérdidas de presión en una tubería vertical de agua con café, en función de la velocidad y de la concentración	76
Ecuación < 2 > Pérdidas de presión en una tubería horizontal de agua con café, en función de la velocidad y de la concentración	76
Ecuación < 3 > Producción de la finca en kilogramos de cps por día $PfKPPD = Pf@PpA \times REL@aK \times PDP / 100$	119
Ecuación < 4 > Producción de la finca en kilogramos de cc por día $PfKCCpD = PfKPPD \times RelCCaP$	119
Ecuación < 5 > Capacidad horaria de la unidad BECOLSUB $CapB = PfKCCpD / HorOp$	119
Ecuación < 6 > Caudal específico como función de la pérdida de presión específica para café pergamino.	162
Ecuación < 7 > Pérdida de presión específica como función de la pérdida del caudal específico para café pergamino	162
Ecuación < 8 > Potencia necesaria para que el ventilador suministre el caudal y la presión requeridos para el correcto secado del café pergamino	163
Ecuación < 9 > Balance general de energía.	165
Ecuación < 10 > Cantidad de energía calorífica necesaria para aumentar la temperatura del aire que fluye con un caudal Q.	166

50

Ecuación < 11 >
Contenido de humedad (% base seca) de equilibrio del café pergamino,
como función de la humedad relativa (dec) y la temperatura (°C)..... 181

Ecuación < 12 >
Calor latente de vaporización del café pergamino. 181

Ecuación < 13 >
Ecuación de secado de capa delgada de café pergamino, en forma diferencial. 182

Ecuación < 14 >
Ecuación de secado de capa delgada de café pergamino,
integrada para condiciones controladas del aire. 182

Ecuación < 15 >
Ecuación de Fick, que describe la distribución
de la humedad dentro del café pergamino 183

Ecuación < 16 >
Difusión de humedad dentro de un grano
de café en función de su humedad y temperatura. 184

Ecuación < 17 >
Calor específico del café pergamino 185

Ecuación < 18 >
Densidad aparente del café pergamino, en función del contenido de humedad 185

Ecuación < 19 >
Principio básico de rentabilidad 221

Ecuación < 20 >
Comparación de ingresos de las dos tecnologías
de beneficio en un período dado de análisis. 222

91

café pergamino,
temperatura (°C) 181

..... 181

en forma diferencial. 182

..... 182

..... 183

..... 184

..... 185

contenido de humedad 185

..... 221

..... 222

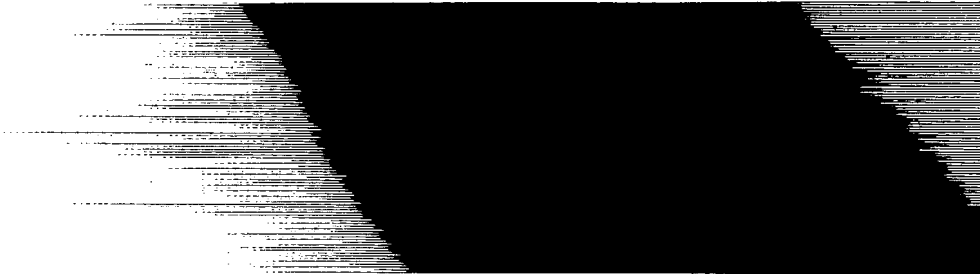
PRESENTACIÓN

Nos complace presentar este libro que expresa el resumen de las investigaciones de más de una década realizadas por científicos de Cenicafe, en torno al tema del Beneficio Ecológico del café colombiano, con el soporte científico de universidades del país y validadas en su oportunidad y en sus distintas etapas en experiencias con los caficultores del país.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, ha puesto su mayor empeño en desarrollar tecnologías efectivas que propendan por el bienestar de quienes se dedican a la producción de café, para aportarles a su tarea cotidiana elementos técnicos y científicos aplicables, generados en la investigación profunda y concienzuda, y perfectamente adaptados a sus necesidades.

El libro, además, espera ofrecer nuevos aportes a los técnicos del Servicio de Extensión de nuestra Institución y a los caficultores en general, elementos necesarios para la caficultura del futuro en la que el equilibrio ecológico y la sostenibilidad serán elementos fundamentales.

Antonio Herrón Ortiz
Gerente Técnico
Federación Nacional de Cafeteros de Colombia



PRÓLOGO

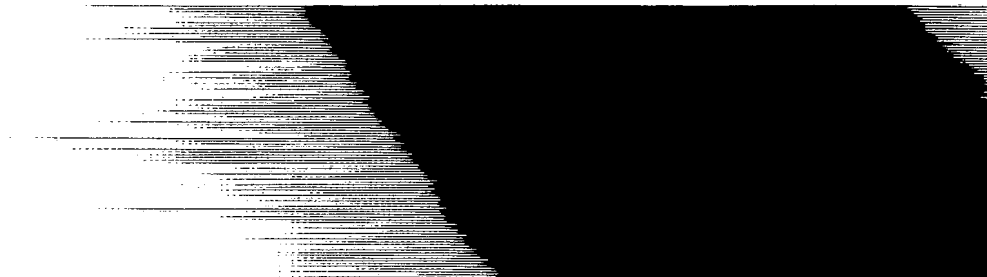
Esta publicación presenta ante la comunidad cafetera colombiana los avances de la investigación aplicada en el beneficio del café y se espera que se constituya en la guía conceptual y práctica, básica, para apoyar el actual programa de la FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA que busca la transformación de los beneficiaderos existentes y la construcción de nuevos beneficiaderos que reúnan las especificaciones que los caracterice como beneficiaderos ecológicos.

Se pretende con las tecnologías consignadas en esta obra que el café conserve, durante los procesos de transformación de cereza a pergamino seco, su calidad intrínseca, cumpliendo con las normas de comercialización. Con ello, se logra la mayor rentabilidad para el caficultor, se altera en mínimo grado la calidad del agua utilizada que además, es la estrictamente necesaria para efectuar el beneficio por vía húmeda, y se logra un manejo apropiado de los subproductos.

Esta obra se basa esencialmente en las investigaciones realizadas en los últimos quince años en Cenicafé, período en el que se creó el PROGRAMA DE POST-COSECHA, conformado por las disciplinas de Ingeniería Agrícola y Química Industrial.

Gracias al apoyo de la FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS y al aporte científico de las universidades colombianas, principalmente de los programas de Ingeniería Agrícola, a través de las actividades de año sabático de ocho profesores y de tesis de cincuenta estudiantes, el PROGRAMA DE POST-COSECHA en un período relativamente corto, ha logrado proponer modificaciones sustanciales en todas las etapas del beneficio tradicional del café que se practica en nuestro país y en los países que utilizan comercialmente el sistema de beneficio por vía húmeda, desde los propios inicios de la producción comercial del grano. Estos nuevos procedimientos no alteran la calidad del café, favorecen la conservación del medio ambiente y hacen más rentable el negocio.

La fundamentación teórica integral de los trabajos y la continuidad de las ejecuciones resultantes de la programación científica a largo plazo, permiten presentar las técnicas de carácter ecológico y rentable del beneficio húmedo y las recomendaciones válidas para obtener la reconocida calidad del café colombiano, la eliminación de etapas innecesarias, la simplificación de la mayoría de los procedimientos y la disminución significativa de las pérdidas cualitativas y cuantitativas que ocurren en el beneficio tradicional del café. Además, coincide su aplicación con menores necesidades de mano de obra y menor requerimiento de espacio.



3

En especial, se recomienda la transformación en forma simple y eficiente de los subproductos pulpa y mucílago, causantes de contaminación, en productos de valor comercial como el abono orgánico y la proteína animal.

Muchas fueron las etapas constructivas de la nueva tecnología, desde los estudios preliminares tendientes a utilizar la fuerza de la gravedad o minimizar los consumos de agua en el transporte del café en los diferentes estados y de la pulpa, hasta conseguir la amplia aceptación nacional e internacional de la tecnología. Hace unos cinco años estábamos relativamente lejos de esta realidad. De no haberse contado con el continuado apoyo de la FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, todo el esfuerzo pudiera haber quedado en una ilusión, como ocurre con la gran mayoría de las investigaciones de largo plazo en los países en desarrollo.

Otros temas de gran importancia técnica y económica relacionados con la industria productora del café son: 1) el secado del café pergamino, 2) el almacenamiento del grano del café y de la semilla, 3) las alternativas de la comercialización del café, incluyendo la determinación exacta y rápida de la conversión café cereza a café pergamino seco, 4) la descontaminación, por medios biológicos, de las aguas residuales que no fue posible eliminar físicamente. Estos también fueron temas de investigación y de novedosos resultados que, de aplicarse masivamente, permitirán obtener más café y de mayor uniformidad de humedad final en el secado, mantener la excelente calidad del café pergamino y de la semilla, durante un tiempo mayor que el doble del empleado en el almacenamiento convencional, permitir una comercialización justa, por el pago adecuado al productor y por último controlar en forma complementaria el 97% de la contaminación potencial.

En forma general, consideramos que este aporte de la ingeniería aplicada a la producción agrícola, tema específico de la nueva carrera de Ingeniería Agrícola en Colombia, puede ser repetida y superada para otros productos agrícolas y pecuarios. No es extraño que los aportes técnicos a la producción de los productos agrícolas primarios de los países en desarrollo sólo tengan lugar al final del presente siglo. Así ocurre en todos los países en desarrollo y para todas las materias primas. Simplemente muy pocos ingenieros han tenido la oportunidad de investigar, a largo plazo, alternativas a los problemas propios de éstos países que han conservado por más de un siglo las tecnologías que los colonizadores improvisaron. La FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, con la visión que siempre la ha caracterizado, le ha dado, en el caso del café en Colombia, la oportunidad, el ambiente, y los recursos necesarios a un pequeño grupo de ingenieros investigadores para producir el cambio.

En un período de más de una década de desarrollo tecnológico, en un Centro de importancia nacional e internacional como Cenicafé, son muchas y valiosas las ayudas recibidas. Queremos expresar nuestros agradecimientos a las directivas de la Federación Nacional de Cafeteros y a Cenicafé por el soporte brindado siempre en forma oportuna y continua.

na simple y eficiente de los
ación, en productos de valor

nología, desde los estudios
do minimizar los consumos
stados y de la pulpa, hasta
de la tecnología. Hace unos
lad. De no haberse contado
NAL DE CAFETEROS DE
en una ilusión, como ocurre
en los países en desarrollo.

elacionados con la industria
o, 2) el almacenamiento del
comercialización del café
versión café cereza a café
ológicos, de las aguas resi-
también fueron temas de
se masivamente, permitirán
inal en el secado, mantener
, durante un tiempo mayor
ción, permitir una comer-
r último controlar en forma

ingeniería aplicada a la pro-
de Ingeniería Agrícola en
ductos agrícolas y pecua-
ción de los productos agrí-
lugar al final del presente
todas las materias primas.
nidad de investigar, a largo
es que han conservado por
provisaron. La FEDERA-
a, con la visión que siempre
lombia, la oportunidad, el
de ingenieros investigado-

no lógico, en un Centro de
son muchas y valiosas las
cimientos a las directivas
el soporte brindado siem-

Nuestro reconocimiento a quienes crearon y consolidaron el PROGRAMA DE POST-COSECHA en Cenicafé, en particular a los doctores Germán Valenzuela Samper, ex-Subgerente General Técnico de FEDERACAFÉ; Silvio Echeverri Echeverri, ex-Director de Cenicafé; Óscar Cardona Álvarez, ex-Jefe del Departamento Administrativo de Cenicafé; Antonio Herrón Ortíz, Gerente Técnico de FEDERACAFÉ, y Gabriel Cadena Gómez, Director de Cenicafé.

A los departamentos de Ingeniería Agrícola de las universidades colombianas, a los Comités Departamentales de Cafeteros y a los mecánicos y los auxiliares del Programa de POST-COSECHA que construyeron, con gran profesionalismo, dedicación y esmero, la infraestructura en la que hemos trabajado, incluyendo plantas industriales de gran capacidad, como la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.

Agradecemos a las industrias colombianas que entendieron y compartieron el esfuerzo naturalista de la Federación de Cafeteros y trabajaron armónicamente con Cenicafé, para ofrecer a los agricultores la tecnología BECOLSUB. A los doctores Hernando Duque Orrego, de Cenicafé y al doctor Alfonso Parra Coronado, de la Universidad Nacional - Bogotá, por las correcciones y sugerencias al manuscrito. Al doctor Fernando Álvarez Mejía, de la Universidad Nacional de Medellín, por las múltiples y muy valiosas colaboraciones.

Gonzalo Roa Mejía.

Editor

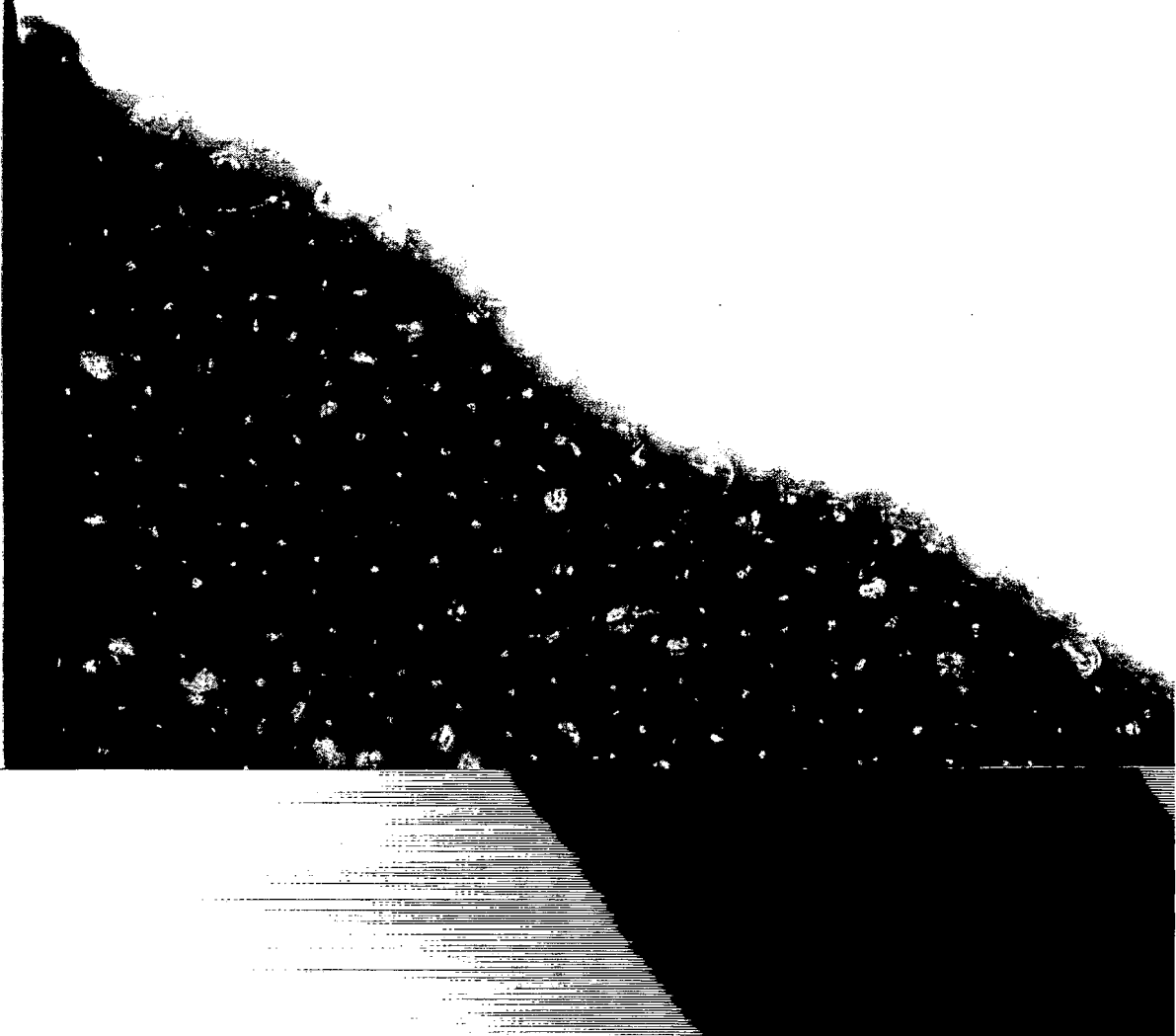
Chinchiná, Caldas, Colombia.

67

CAPÍTULO

Generalidades

1



GP

1

GENERALIDADES ¹

El fruto de café maduro, denominado **café cereza** (cc) está compuesto por la **pulpa**, formada por el exocarpio (epidermis) y parte del mesocarpio; el color de la epidermis varía de verde (clorofila) a amarillo y rojo (antocianinas) y depende de la variedad de café y del grado de maduración del fruto. Envuelto por la epidermis se encuentra el **mucílago** o mesocarpio, constituido por una capa gruesa de tejido esponjoso de aproximadamente 0,5mm de espesor, rico en azúcares y pectinas y que rodea los dos granos enfrentados por su cara plana. Los granos o **almendras** se encuentran revestidos por una doble membrana: la primera llamada comúnmente **pergamino** (endocarpio), de color amarillo pálido y de consistencia dura y frágil; la segunda, llamada **película plateada** (tegumento seminal) más fina que la anterior y adherida al grano (albumen). En la base del grano y sobre su cara interna se encuentra el **embrión** o germen.

Según la Norma de Calidades de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (68), café es todo aquel grano de café almendra, verde o **crudo** cubierto por el endocarpio (pergamino), el cual se encuentra **seco de trilla**. El **pergamino tipo Federación** debe estar fresco y presentar las características correspondientes, esto es, contenido de humedad entre el 10% y el 12% (base húmeda, b.h.); grano pelado hasta un 2% en peso con base en pergamino; guayaba y media cara hasta un 3% en peso, con base en pergamino; pasilla hasta un 5,5% en peso, con base en almendra; libre de olores extraños o de cualquier tipo de contaminación; libre de todo insecto vivo o muerto; color del pergamino uniforme; admite materia extraña y/o impurezas hasta un 0,5% en peso y la prueba de taza debe tener sabor y aroma característicos, libre de sabores defectuosos como fermento, producto químico, moho, reposo, etc. **Pasilla** es todo grano de café defectuoso, como: grano negro, cardenillo, vinagre, cristalizado, decolorado, mordido o cortado, picado por insectos, deformado, inmaduro, aplastado, flotador o balsudo y flojo. **Rendimiento en el beneficio del café** es la relación entre la masa del café cereza recibido de los lotes de producción y el café pergamino seco, tipo Federación obtenido en el beneficio. **Rendimiento en la trilla** es la relación entre la masa del café pergamino y el café excelso de exportación.

¹ En el Apéndice A se presentan las densidades y relaciones aproximadas entre cada uno de los estados del café y de sus subproductos.

Grano trillado o pelado es aquel que por acción de distintas fuerzas presenta pérdida de más de la mitad de su pergamino. Grano **almendra o verde** es el grano de café seco, sin el pergamino. Grano **mordido** es el que, por diferentes causas, presenta ruptura de la almendra. Grano **guayaba**, aquel que después del proceso de beneficio permanece recubierto por la totalidad de la pulpa seca. Grano **mediacara** es aquel que después del beneficio permanece recubierto por más de la mitad de la pulpa. **Impurezas** son los residuos de pulpa, pergamino y materiales extraños al café pergamino seco.

Se denomina comúnmente como **café corriente** al grano de café que no cumple con las exigencias del café tipo Federación, pero que dadas sus aceptables características, se comercializa.

La unidad de medida de peso del café comúnmente utilizada en Colombia es la **arroba (@)** que equivale a 12,5kg. La **carga** equivale a 10 arrobas.

La pulpa y el mucílago del café no son elementos tóxicos o venenosos; por el contrario, son productos orgánicos que debidamente manejados pueden representar un alto valor agregado para el caficultor. En particular, como se demostrará en este trabajo, en su forma simple o mezclados tienen uso inmediato para producir abono orgánico y proteína animal de buena calidad.

La **contaminación** que la pulpa y el mucílago producen se debe a que parte de su materia orgánica se disuelve o queda en suspensión en las aguas, en las diferentes etapas del transporte y del beneficio. El material orgánico disuelto puede retirar o consumir muy rápidamente el oxígeno del agua que lo contiene, en un proceso natural de oxidación. La pulpa y el mucílago contenidos en un kilogramo de café cereza (cc) pueden retirarle todo el oxígeno a 7,4 metros cúbicos de agua pura, propiciando su rápida putrefacción en 24 horas.

La pulpa separada del grano en ausencia de agua representa el 72% de la contaminación potencial en un proceso de beneficio tradicional. El mucílago que queda sobre el grano representa el 28% restante. Si el café se deja en tanques con agua corriente se genera contaminación adicional a medida que el grano pierde materia seca por difusión. La contaminación potencial que puede causar la pulpa mal manejada es muy alta, debido a su alto contenido orgánico y debido a que, si se transporta hidráulicamente, puede perder hasta la mitad de su contenido de materia seca. La producción de pulpa anual fresca en Colombia es del orden de 2,5 millones de toneladas y la del mucílago de 1,3 millones.

Es práctica muy común en el beneficio de café por vía húmeda en Colombia y en otros países productores de café, utilizar agua en prácticamente todas las etapas del proceso del café: en el transporte del campo a los beneficiaderos, por medio de cañeductos; en las tolvas húmedas de recepción del café cereza; en el transporte del café cereza a los tanques sifones (clasificadores hidráulicos de café cereza por

50

distintas fuerzas presenta **mendra o verde** es el grano que, por diferentes causas, que después del proceso de alpa seca. Grano **mediacara** to por más de la mitad de la no y materiales extraños al

ano de café que no cumple adas sus aceptables caracte-

utilizada en Colombia es la a 10 arrobas.

ixicos o venenosos; por el manejaos pueden represen- lar, como se demostrará en so inmediato para producir

on se debe a que parte de su la guas, en las diferentes ico disuelto puede retirar o lo contiene, en un proceso os en un kilogramo de café tros cúbicos de agua pura,

enta el 72% de la contami- al. El mucílago que queda : deja en tanques con agua ue el grano pierde materia : causar la pulpa mal mane- leido a que, si se transpor- tenido de materia seca. La orden de 2,5 millones de

húmeda en Colombia y en tic mente todas las etapas neficiaderos, por medio de fé cereza; en el transporte áulicos de café cereza por

diferencia de densidad); en el transporte del café cereza a las despulpadoras; en el transporte de la pulpa al lugar de su depósito, o a las quebradas y ríos; en el transporte del café en baba a los tanques de fermentación; en el lavado del mucílago fermentado; en las diferentes etapas de clasificación del café cereza o del café pergamino húmedo y en el transporte del café lavado a los secadores.

1.1. DEFINICIÓN

No obstante es posible elaborar una definición muy completa sobre beneficio ecológico del café, en la cual se consideren las diferentes posibilidades de alterar el ambiente en las diferentes prácticas, incluyendo la contaminación del aire en el secado del café y la del ruido producido por los equipos, entre otras, este trabajo se limita a la alteración que se hace del agua utilizada, la más importante, y que se constituye en problema grave en prácticamente todos los beneficiaderos que funcionan en Colombia y en los países en los que se procesa el café por vía húmeda.

Una definición satisfactoria es la siguiente : **“Beneficio ecológico del café por vía húmeda es un conjunto de operaciones realizadas para transformar el café cereza en café pergamino seco, conservando la calidad exigida por las normas de comercialización, evitando pérdidas del producto y eliminando procesos innecesarios, lográndose además, el aprovechamiento de los subproductos lo cual representa el mayor ingreso económico para el caficultor y la mínima alteración del agua estrictamente necesaria para el beneficio”**.

El **lavado** del café, es el único proceso en el que se requiere indispensablemente el agua. En los trabajos de investigación de Cenicafe (192) se demostró que es posible efectuar un lavado completo del mucílago fermentado con menos de 5 litros (L) de agua por kilogramo de café pergamino seco (cps) y que con solo 2L/kg cps, es posible retirar cerca del 90% del mucílago que queda en contacto con el café pergamino, después de la fermentación (Sección 3.8.). También se encontró (112) que es posible desmucilaginar el café mecánicamente, lavarlo y limpiarlo, con consumos de agua de 0,6L/kg cps (Sección 3.10.). Los valores de consumo de agua mencionados están muy distantes de los valores reales de consumo de agua en muchos de los beneficiaderos existentes, donde se utiliza alrededor de 40L/kg cps. Por tanto, el potencial de reducción de agua y la disminución de la contaminación causada en el beneficio húmedo del café es muy grande.

Finalmente se ha demostrado que los productos tradicionalmente contaminantes, la pulpa y el mucílago, pueden ser manejados adecuadamente en el mismo momento en que se efectúa el beneficio, para controlar más del 90% de la contaminación potencial. A esta tecnología se le ha denominado **BECOLSUB (BENeficio ECOLógico y Manejo de SUBproductos)**. Al elemento principal del módulo, el desmucilaginador mecánico, se le denominó **DESLIM (DESmu-cilaginador Lavador - LIMpiador)** y se describe ampliamente en la Sección 3.10.4.

59

1.2. PROCEDIMIENTOS COMPLEMENTARIOS PARA REALIZAR EL BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ

Existen en principio dos prácticas, mutuamente complementarias, para realizar el beneficio ecológico. La primera consiste en racionalizar el proceso de beneficio convencional eliminando las etapas no necesarias como el transporte hidráulico, la fermentación del mucílago, la excesiva clasificación o separación del café, disminuyendo el consumo de agua. El segundo consiste en eliminar la materia orgánica contenida en las aguas residuales del beneficio.

La racionalización del beneficio tradicional permite además, utilizar casi la totalidad de los materiales contaminantes (pulpa y mucílago) para transformarlos en productos de mayor valor, como son el lombricompost y la proteína animal (Capítulo 6).

Si se utiliza el desmucilagador mecánico y en particular la última versión del equipo DESLIM desarrollado en Cenicafé (112), es posible disponer simultáneamente y en flujo continuo de: **mucílago** altamente concentrado mezclado con **residuos** provenientes de los granos guayabas y mediacaras, de granos y pasillas trituradas que no resistieron los esfuerzos mecánicos, y de **pulpa**. Estos elementos se mezclan uniformemente en un tornillo sinfín (Sección 3.13.), que es además un mecanismo de transporte que genera un nuevo tipo de sustrato fácilmente consumido por la lombriz roja (*Eisenia foetida*). De esta forma es posible controlar aproximadamente el 92% de la contaminación potencial utilizando métodos físicos. El café lavado y limpio que proviene del desmucilagador, puede ir directamente al secador. Si la materia prima no es de muy buena calidad, se aconseja utilizar un método de clasificación complementario como el hidrociclón (Sección 3.11.).

La inclusión o utilización de un desmucilagador mecánico, que no reúna las características descritas, no garantiza que la contaminación disminuya. Por el contrario, si se utiliza un desmucilagador no optimizado en su construcción y operación y volúmenes de agua superiores a 1,0 litro por kilogramo de café pergamino seco, o no se mezclan la pulpa y los residuos liberados, la contaminación causada es muchas veces mayor que la que se obtendría sin la introducción del desmucilagador mecánico. En efecto, el uso de desmucilagadores que no tengan en cuenta las características indispensables anotadas, origina mayor contaminación por la introducción de nuevos elementos originados en el funcionamiento del desmucilagador, en comparación con la técnica del despulpado sin agua, fermentación convencional, el lavado racional y el manejo apropiado de la pulpa.

El segundo procedimiento de beneficio ecológico, como lo conceptúa Cenicafé, consiste en eliminar la materia orgánica de las aguas contaminadas por diferentes medios, incluyendo los **biorreactores** (191,194). El método puede ser utilizado para tratar las aguas de lavado, (192) después de efectuar la fermentación convencional del mucílago del grano. Este procedimiento permite reducir el 90% de la

RIOS OLÓGICO DEL CAFÉ

ementarias, para realizar el
zar el proceso de beneficio
o el transporte hidráulico, la
eparación del café, disminu-
eliminar la materia orgánica

más, utilizar casi la totalidad
a transformarlos en produc-
la proteína animal (Capí-

icular la última versión del
osible disponer simultánea-
centrado mezclado con resi-
is, de granos y pasillas tritu-
pulpa. Estos elementos se
n 3.13.), que es además un
ustrato fácilmente consumi-
es posible controlar aproxi-
lizando métodos físicos. El
or, puede ir directamente al
dad, se aconseja utilizar un
ciclón (Sección 3.11.).

nico, que no reúna las carac-
disminuya. Por el contrario,
construcción y operación y
o de café pergamino seco, o
taminación causada es mu-
cción del desmucilaginator
que no tengan en cuenta las
contaminación por la intro-
niento del desmucilaginator,
fermentación convencional,

mo conceptúa Cenicafé,
ontaminadas por diferentes
método puede ser utilizado
ar la fermentación conven-
ermite reducir el 90% de la

contaminación de las aguas de lavado, lo que equivale a evitar el 25% de la conta-
minación total, que sumada a la reducción del 72% por el manejo adecuado de la
pulpa, permite un control global del 97% de la contaminación potencial. Los ade-
lantos de Cenicafé en el desarrollo de biodigestores se presentan en el Capítulo 8 y
en la reciente publicación de Zambrano *et al* (194).

Es posible utilizar el sistema de descontaminación de las aguas por medio de
biorreactores, como complemento de la tecnología BECOLSUB, en grandes fincas
y en Centrales de beneficio, para descontaminar el 8% de contaminación existente
en los líquidos que no es posible controlar, hasta el momento, por los métodos
físicos.

1.3. CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR EL BENEFICIO DEL CAFÉ

La utilización del oxígeno del agua por los residuos orgánicos del beneficio del café,
pueden ocasionar los siguientes problemas:

- Muerte de los animales acuáticos y de las plantas por falta de oxígeno y por la
alta acidez del agua.
- Proliferación de microorganismos indeseables.
- Impotabilidad e inutilización de las aguas para el uso doméstico.
- Inutilización de las aguas para el uso industrial, incluyendo el beneficio del café
en otros beneficiaderos.
- Proliferación de malos olores, atracción de moscas y otros insectos y deterioro
del paisaje.

1.4. CONSUMO DE AGUA Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Teniendo en cuenta que tradicionalmente el beneficio del café utiliza aproximada-
mente 40L de agua por kilogramo de café pergamino seco, (12,5 % en el despulpa-
do; 37,5% en el lavado y transporte del grano y 50% en el transporte de la pulpa) se
necesitarían 46 millones de metros cúbicos de agua al año para realizar el beneficio
de 16,7 millones de sacos de café verde (60kg) en Colombia. Este volumen es
equivalente al consumo humano de una ciudad de 840.000 habitantes en un año,
asumiendo que cada persona consume 150L de agua por día.

Además, es indispensable disponer de suficiente cantidad de agua almacenada para
evitar pérdidas completas durante el beneficio, en caso de que no se disponga de
cantidades suficientes en las fuentes de suministro directo.

CJ

El volumen de los tanques de almacenamiento se calcula dependiendo de la disponibilidad de agua en la región. El valor mínimo recomendado es el equivalente por lo menos, al consumo en 2 días pico². El volumen de los tanques de almacenamiento de agua necesario para el beneficio nacional sería, por tanto, de 1,84 millones de metros cúbicos, lo que representa un costo de aproximadamente 140 mil millones de pesos (US \$70,5 millones).

1.5. EVALUACIÓN PARCIAL DEL BENEFICIO ECOLÓGICO DESARROLLADO POR CENICAFÉ

Cuando se adoptó el programa de estímulos para la conversión de beneficiaderos convencionales en beneficiaderos ecológicos en 1994 (69) la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros contrató los servicios de investigación de la Universidad de los Andes, para que se evaluara económicamente el programa.

Después de la primera fase de adopción del programa en más de 3.000 fincas y entrevistados 370 caficultores en todos los Comités del país, considerada la opinión de los Directores Técnicos de los Comités Departamentales de Cafeteros, los ingenieros de beneficio y los Extensionistas, el equipo de evaluación de UNIANDES concluyó que la inversión podría ser **rentable** para la mayoría de los caficultores. La inversión se podría pagar generalmente entre uno y tres años. Además, se recomendó que el modelo BECOLSUB (Sección 3.14.), que contiene la tecnología optimizada, debería adoptarse como la opción básica. (23).

² Día pico es aquel en el que se procesa la mayor cantidad de café en la finca. La capacidad global del beneficiadero se diseña con base en este valor.

la dependiendo de la disponibilidad es el equivalente por los tanques de almacenamiento, por tanto, de 1,84 millones aproximadamente 140 mil

ICIO ECOLÓGICO

inversión de beneficiarios (69) la Gerencia Técnica de estudios de investigación de la implementación del programa.

a en más de 3.000 fincas y país, considerada la opinión de Cafeteros, los ingenieros de UNIANDES mayoría de los caficultores. tres años. Además, se reconoce la tecnología

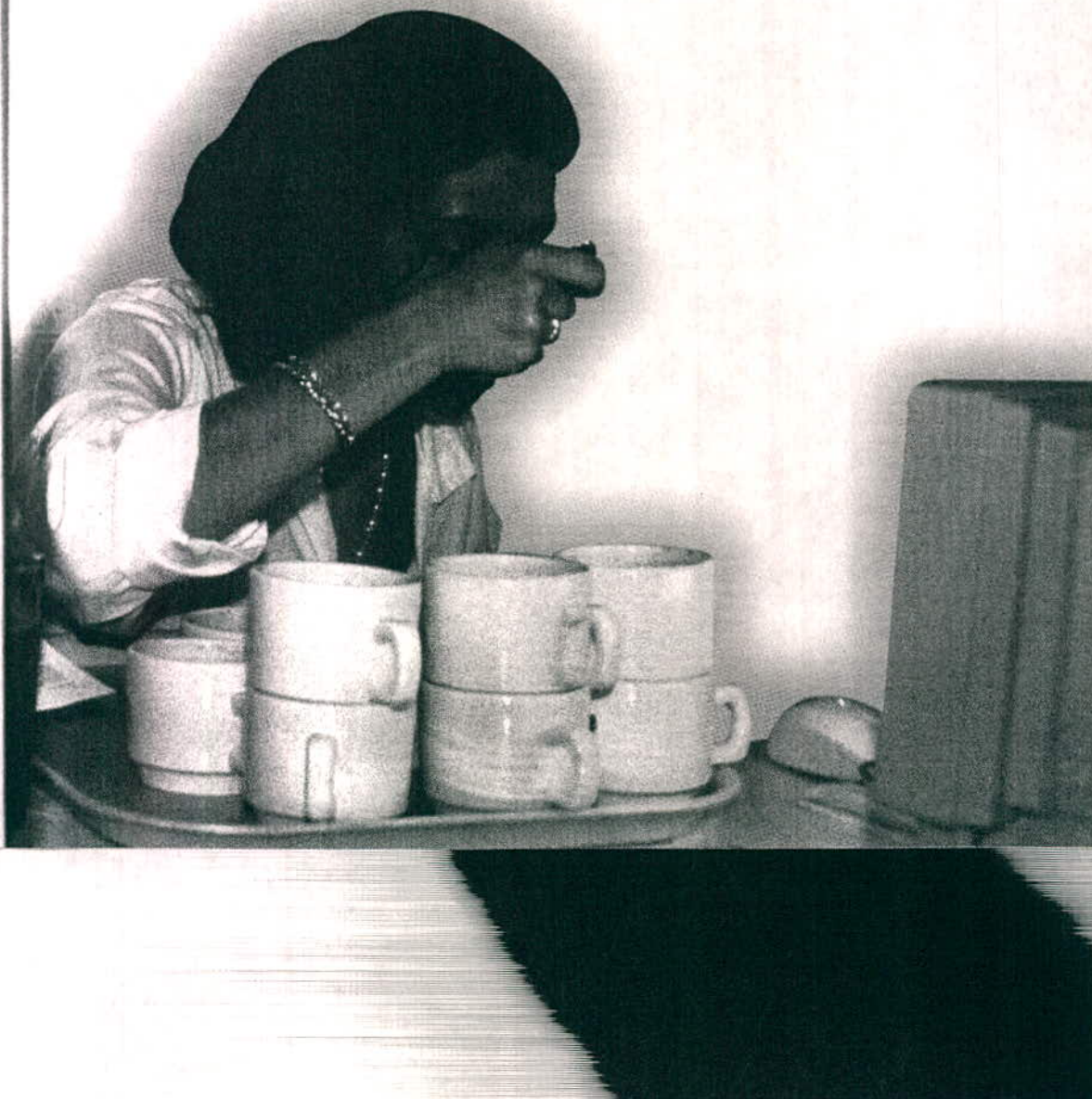
idad de café en la finca. La calidad en este valor.

CAPÍTULO

La Calidad del Café

62

2





LA CALIDAD DEL CAFÉ

2.1. ASPECTOS GENERALES ^{3, 4}

La calidad de los alimentos se define según su valor nutritivo, estado sanitario, características organolépticas y aceptación del consumidor. El valor nutritivo indica cómo contribuye un alimento a una dieta balanceada, por su composición en proteínas, carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas esenciales para la salud. Sanitariamente implica la ausencia de agentes contaminantes químicos y microbianos en el alimento. El sabor, el aroma, el color, la textura son propiedades sensoriales de los alimentos.

Desde el punto de vista del consumidor se pueden distinguir varios niveles de calidad: calidad esperada de un producto, calidad inducida por una marca, clase o procedencia y calidad efectiva, la cual mide las características del producto y permite aceptarlo o rechazarlo (15, 84).

Para algunos productos como el café, las **características sensoriales** son más importantes que su valor nutritivo.

La apariencia, el color y el olor del grano de café pergamino, almendra y tostado, así como las cualidades organolépticas de la bebida que comprenden el aroma, la acidez, el amargor, el cuerpo y el sabor, constituyen la calidad física y organoléptica del café (133, 143, 147).

Más de cuatrocientos compuestos orgánicos e inorgánicos contribuyen al **sabor** distintivo del café, en tanto que el aroma está constituido por más de setecientas sustancias, principalmente aldehídos, cetonas, ésteres e hidrocarburos de bajo peso molecular (90). Muchos de estos compuestos se encuentran en trazas y no puede considerarse uno solo, como el componente primario del café. De hecho, muchos de sus componentes naturales, cuando se separan de éste y se concentran, tienen

³ Preparado por Puerta Q., G. I. Química Industrial, Cenicafé.

⁴ Para el más adecuado entendimiento de esta sección, con relación a términos descriptivos de la calidad del café, de uso internacional, se incluye en el capítulo 9, Apéndice B, la descripción y origen de los principales sabores y términos organolépticos del café (15, 57, 143).

6A

sabores y olores muy diferentes al café. Otros componentes son inestables y se evaporan o combinan con otros formando compuestos con otros sabores y olores (44, 47, 49, 90).

El **análisis organoléptico o sensorial**, es decir, el estudio de aquellas propiedades de los alimentos que afectan los órganos de los sentidos del consumidor, es hasta ahora el método más eficiente para evaluar la calidad del café. Las características de color, apariencia, olor y sabor de los alimentos, estimulan la visión, el olfato, el tacto y el gusto produciendo sensaciones que van al cerebro, donde ocurre la percepción o correlación de impresiones sensoriales, lo cual se traduce en un juicio por medio del cual se determina si un producto es aceptado o rechazado (15, 84, 89, 90, 97, 139, 140, 143, 147).

A diferencia del consumidor común, quien expresa su aceptación del producto con un simple "me gusta" o "no me gusta", un panel de catación entrenado para un producto clasifica, describe y califica las características utilizando términos y escalas propias para cada alimento (15, 90, 139, 143).

Las características sensoriales indican no sólo la calidad comercial final del grano, sino que también permiten establecer las características deseables del proceso de beneficio y los cuidados con el café, desde su cultivo hasta la obtención de la bebida.

La **calidad del café colombiano** ha sido apreciada y mundialmente reconocida por los países consumidores, como una de las mejores dentro de los cafés arábigos. Esta calidad está determinada genéticamente e influenciada por muchos factores, como las condiciones de cultivo, el clima, el suelo, los cuidados fitosanitarios y las prácticas agronómicas en general, así como por la calidad de la cosecha, el tipo y control durante el proceso de beneficio, la trilla, la torrefacción y la preparación de la bebida (16, 17, 27, 53, 66, 67, 93, 97, 100, 131, 133, 136, 138, 141, 142, 143, 147, 167, 183, 184, 185, 198).

Existen también marcadas diferencias en las calidades y preferencias entre los países consumidores de café. Por ejemplo, los franceses e italianos prefieren una bebida con amargor y cuerpo altos, mientras que a los alemanes les gusta una taza con altas calificaciones de acidez y aroma, y moderado cuerpo.

A continuación se presentan algunos resultados de investigaciones sobre calidad del café colombiano en relación con las variedades, el tipo de beneficio y las condiciones de beneficio y almacenamiento del café.

2.1.1. La calidad de las variedades de café cultivadas en Colombia

El café pertenece a la familia Rubiaceae y al género *Coffea*. Dos especies tienen importancia económica en el mundo: *Coffea arabica* Linneo y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, las cuales se conocen comercialmente como cafés arábigos y

mentes son inestables y se con otros sabores y olores

lio de aquellas propiedades s del consumidor, es hasta el café. Las características nulan la visión, el olfato, el rebro, donde ocurre la per- l se traduce en un juicio por o o rechazado (15, 84, 89,

ceptación del producto con atación entrenado para un utilizando términos y esca-

l comercial final del grano, s deseables del proceso de o hasta la obtención de la

m mundialmente reconocida entro de los cafés arábigos. iada por muchos factores, uidados fitosanitarios y las lad de la cosecha, el tipo y facción y la preparación de , 136, 138, 141, 142, 143,

preferencias entre los paí- e italianos prefieren una lemanes les gusta una taza cuerpo.

igaciones sobre calidad del le beneficio y las condicio-

s en Colombia

offea. Dos especies tienen inneo y *Coffea canephora* nte como cafés arábigos y

enlés robustas, respectivamente (44, 47, 49, 167, 183, 185). Los cafés arábigos presentan aroma y acidez pronunciados mientras que los robustas se caracterizan por su mayor cuerpo (84, 167). Ambas especies se distinguen por sus características botánicas, genéticas, agronómicas, químicas y morfológicas (47, 84). El 80 % de la producción mundial corresponde a la especie *C. arabica* que se cultiva principalmente en los países centroamericanos, Colombia, Brasil, en algunos países asiáticos como la India y africanos como en Kenya y Etiopía. La mayoría de los cafés robustas se cultiva en el Africa, Indonesia y Brasil (47).

La especie *C. arabica* tiene su origen en las montañas de Etiopía y es el resultado de un cruzamiento entre dos especies silvestres de café, seguido por una autoduplicación espontánea de sus cromosomas (47, 53, 84, 108, 167, 185). Históricamente se han distinguido dos variedades de *C. arabica*: *C. arabica* var. *arabica* (sinónimo var. Típica), la cual se cultivó en los jardines botánicos holandeses y fue introducida por los franceses al Caribe, de allí se difundió a los países de Centro y Sudamérica y *C. arabica* var. Bourbón cultivada por los franceses en la isla Bourbón o Réunion (47, 122). Todas las variedades de *C. arabica* cultivadas en el mundo se derivan de estas dos variedades.

El café llegó a Colombia a finales del siglo XVIII al departamento de Santander (67); desde allí se difundió hacia los departamentos, hoy mayores cultivadores del grano: Antioquia, Tolima, Caldas, Valle del Cauca, Risaralda, Quindío, Cundinamarca y Nariño, entre otros. Al principio en Colombia se cultivó la variedad Típica; a finales de la década de los 20 se introdujo a Colombia la variedad Bourbón por su alto rendimiento en producción. Después de 1952 se introdujo en Colombia la variedad Caturra desde el Brasil.

Desde la década de los 80 se cultiva la variedad Colombia desarrollada en Cenicafé, proveniente de la variedad Caturra y el Híbrido de Timor. Este material presenta resistencia a la roya del cafeto (34, 108).

En la actualidad hay en Colombia cerca de 900.000 hectáreas sembradas con cafetales (41, 67), de las cuales el 70 % están tecnificadas y están sembradas con variedad Colombia unas 300.000; el resto corresponde prácticamente a cultivos tradicionales de variedades Típica, Caturra y Borbón, principalmente (34).

La **calidad de la bebida** de la variedad Colombia fue uno de los aspectos más tenidos en cuenta en su desarrollo y mejoramiento y se evaluó a través de la investigación por paneles de catación nacionales e internacionales (34, 108, 109, 122), antes de su liberación como variedad comercial.

En Cenicafé y con la cosecha de 1995, de lotes experimentales de variedades de café se evaluó la calidad de la bebida preparada con las principales variedades de *C. arabica* L. cultivadas en Colombia: Típica, Caturra, Borbón y Colombia de fruto rojo y amarillo. Se analizaron las cualidades sensoriales: intensidad del aroma del café molido, aroma, acidez, amargor, cuerpo e impresión global, de muestras de

cb

café procesadas mediante beneficio húmedo controlado y preparadas bajo condiciones normalizadas de tostación y molienda (139). Se realizaron **1.100 pruebas sensoriales** descriptivas, cuantitativas y comparativas. Para la calificación de la bebida se utilizó una escala de 9 puntos, donde 9 califica las mejores tazas y 1 a las peores (35, 56, 57, 135, 140). Se demostró que la calidad de las variedades de café de *C. arabica* cultivadas en Colombia es muy homogénea y presenta características generales de suavidad en cuerpo y amargor, y pronunciados aroma y acidez (Tabla 1).

También se comprobó que la variedad Colombia se destaca por su alta acidez y amargor pronunciado, en tanto que la variedad Borbón presenta características equilibradas y suaves. La variedad Típica produce tazas muy suaves y limpias y en la variedad Caturra se destacó su acidez y aroma. Es de anotar que en pruebas realizadas con comparaciones múltiples, para identificar cinco variedades, solo en el 28% de los casos se seleccionó correctamente la variedad correspondiente y todas las variedades fueron confundidas con las otras por los siete integrantes de los paneles de catación, al menos una vez, y no resultó de ningún modo fácil seleccionar la variedad correcta por ninguno de ellos cuando se hizo tostación uniforme de la muestra (139).

2.1.2. El beneficio húmedo de café y su influencia en la calidad

De todos los factores que afectan la calidad de una taza de café, el beneficio o proceso de transformación del grano de café cereza en pergamino seco es el que más se ha investigado, describiéndose el efecto que cada una de las etapas de este proceso tiene en la calidad física y organoléptica del café (47, 67, 97, 100, 133, 136, 137, 143, 167, 183, 185). Es así como se hace la distinción entre cafés arábigos procesados por vía húmeda y por vía seca. Mientras que los primeros, como los colombianos, se catalogan como **suaves lavados** por sus características moderadas de amargor y cuerpo, y por su acidez y aroma pronunciados, los arábigos procesa-

Tabla 1. Calificación de las características sensoriales de las variedades de café *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia*.

Característica sensorial	Variedad				
	Borbón	Caturra	Colombia amarillo	Colombia rojo	Típica
Aroma del café tostado y molido	7,06	7,24	7,00	7,14	6,84
Aroma de la bebida	7,09	7,28	7,08	7,17	7,06
Acidez	7,11	7,33	7,11	7,40	6,63
Amargor	7,17	6,52	7,34	6,97	6,26
Cuerpo	7,09	7,06	6,94	7,21	6,69
Impresión global	7,07	7,04	7,07	7,26	6,67

* Resultados de 1.100 análisis para cada característica sensorial.

lo y preparadas bajo condiciones se realizaron **1.100 pruebas**. Para la calificación de la a las mejores tazas y 1 a las id de las variedades de café nea y presenta característi-nunciados aroma y acidez

estaca por su alta acidez y ón presenta características muy suaves y limpias y en de anotar que en pruebas r cinco variedades, solo en ariedad correspondiente y r los siete integrantes de los ingún modo fácil seleccio-hizo tostación uniforme de

la calidad

za de café, el beneficio o pergamino seco es el que la una de las etapas de este café (47, 67, 97, 100, 133, inción entre cafés arábigos de los primeros, como los características moderadas dos, los arábigos procesa-

de las variedades de café

Colombia rojo	Típica
7,14	6,84
7,17	7,06
7,40	6,63
6,97	6,26
7,21	6,69
7,26	6,67

ial.

dos por vía seca, como en el Brasil, se estiman por su mayor cuerpo y amargor y moderada acidez (17, 47). Del mismo modo, la falta de control durante los procesos de fermentación y secado ocasionan defectos en el café como el fermento, **stinker**, tierra, fenólico, mohoso, decolorado y cristalizado, que ocasionan su rechazo (16, 97, 100, 133, 136, 138, 142, 143, 167, 185, 198). La mayoría de los otros aspectos, en particular los agronómicos y de condiciones de cultivo, han sido apenas estudiados en relación con la calidad del café.

En Colombia y varios países centroamericanos como Costa Rica, Guatemala, México, El Salvador y algunos del centro del Africa como Kenya, se beneficia el café tradicionalmente por vía húmeda. Este proceso comprende las siguientes etapas: recolección, despulpado, remoción del mucílago, lavado y secado. La mayoría del café robusta en el Africa se procesa por vía seca, aunque la mitad del robusta del Zaire se beneficia por vía húmeda.

En el Brasil se procesa café *C. arabica* por vía seca (183). El proceso de beneficio en seco consta de menos etapas que el proceso por vía húmeda, pero se requiere de más tiempo hasta obtener la almendra de café para la exportación, ya que el café cereza se seca directamente y luego se retira la cáscara seca que comprende la pulpa, el mucílago y el pergamino, por medio de una máquina peladora (53). El color de la almendra del café beneficiado por vía seca es amarillo o café, mientras que la almendra procedente del beneficio húmedo presenta una coloración verde, cuando se controlan las condiciones del proceso de beneficio del café (183).

Durante cada una de las etapas del proceso de beneficio húmedo se puede afectar la calidad del café. Los defectos más graves tales como el grano fermento en cualquiera de sus grados: agrio, fruta, cebolla, rancio, **stinker**, se originan por malas prácticas durante las etapas del beneficio, como recolección de altos porcentajes de grano sobremaduro, retraso entre en proceso de despulpado y separación del mucílago de café, sobrefermentación, el proceso de mezclas de café cosechado y despulpado en diferentes días y el uso de aguas sucias para el lavado. Por falta de control del proceso de secado del café se originan la mayoría de los defectos: fermento, vinagre, cristalizado, decolorado, manchado, aplastado, flojo y sucio. Una inadecuada recolección genera también una gran cantidad de defectos (16, 27, 44, 46, 49, 53, 66, 67, 84, 97, 100, 131, 133, 135, 136, 138, 142, 143, 147, 167, 183, 185, 198).

En la Tabla 2 se presentan los defectos más comunes del café almendra y de la bebida.

Para obtener una **taza** de café de buena calidad y equilibrada en todos sus cualidades sensoriales, cuando se procesa el café por la vía húmeda tradicional, se requiere de control en cada una de las etapas de beneficio, así: recolección de cereza madura, despulpado 6 a 8 h después de la recolección, fermentación natural llevada a cabo en un tanque limpio hasta que se haya desprendido totalmente el mucílago,

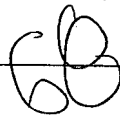


Tabla 2. Defectos del grano y de la bebida de café de acuerdo con la etapa del proceso de cultivo, beneficio y trilla.

Etapa de proceso		Número de defecto*
Cultivo:	Contaminación química o microbiana	20
	Enfermedades o plagas	1, 3, 8
	Deficiencias nutricionales de la planta	1, 5, 10, 16
Recolección		1, 3, 6, 7, 11, 12, 15, 21
Despulpado		3, 7
Fermentación		1, 2, 3, 6, 19
Lavado		3, 6, 19
Secado		2, 3, 4, 5, 12, 13, 14, 19, 20
Almacenamiento		2, 13, 18, 19, 20, 22
Trilla		9, 12, 17

*1 Negro o parcialmente negro, 2 Cardenillo, 3 Vinagre (fermento, **stinker**), 4 Cristalizado, 5 Decolorado (blanqueado), 6 Manchado, 7 Mordido y cortado, 8 Picado por insectos (atacado por broca), 9 Partido, 10 Malformado o deformado, 11 Inmaduro, 12 Aplastado, 13 Flotador o balsudo, 14 Flojo, 15 Negro balsudo, 16 Vano, 17 Astillado y partido, 18 Reposo, 19 Sucio, 20 Sabor fenólico, 21 Materias extrañas, 22 decolorado (ámbar o mantequilla).

proceso que puede durar de 12 a 18 h, dependiendo principalmente de las condiciones de temperatura del lugar de proceso; lavado con agua limpia para retirar los ácidos y alcoholes formados durante la fermentación. Inmediatamente después se debe realizar el secado uniforme y cuidadoso del café pergamino, para disminuir el contenido de humedad hasta el 10 ó 12% y finalmente, empacarlo y almacenarlo en condiciones controladas de temperatura, humedad relativa y en ausencia de materiales y elementos olorosos como combustibles, abonos y pinturas, entre otros (53, 67, 97, 100, 133, 138).

En un beneficiadero ecológico, en el cual se propone reducir los consumos de agua para el procesamiento o lavado de café y eliminar la pulpa y el mucílago sin contaminar el agua, se debe considerar como condición esencial la conservación de la calidad física y de la bebida del café (133).

El efecto de cada una de las etapas de beneficio húmedo en la bebida de café se describe a continuación:

2.1.2.1. La cosecha

Los mayores defectos ocasionados por una inadecuada recolección son los aromas y sabores acres por la presencia de granos negros, los fermentos por la recolección de granos sobremaduros e inmaduros y también los sabores y aromas extraños y contaminados por la recolección de frutos perforados por insectos y contaminados.

2.1.2.2. El despulpado

En lo relacionado con el despulpado se presentan defectos por el retraso en la

e acuerdo con la etapa del

Defecto	
0	16
7	11, 12, 15, 21
6	19
9	
5	12, 13, 14, 19, 20
18	19, 20, 22
17	

nto, **stinker**), 4 Cristalizado, 5 Picado por insectos (atacado), 12 Aplastado, 13 Flotador o rido, 18 Reposo, 19 Sucio, 20 mantequilla).

ncipalmente de las condi- gua limpia para retirar los inmediatamente después se gno, para disminuir el npacarlo y almacenarlo en va y en ausencia de mate- y pinturas, entre otros (53,

icir los consumos de agua a y el mucílago sin conta- cial la conservación de la

o en la bebida de café se

colección son los aromas nentos por la recolección res y aromas extraños y intos y contaminados.

tos por el retraso en la

separación del epicarpio del fruto o por la separación incompleta de la pulpa de los granos, ocasionándose en ambos casos café con aroma a fermento que se aprecia en el pergamino, defecto que se acentúa a medida que aumentan los porcentajes de grano sobremaduro en el café cosechado, el número de granos semidespulpados o se retrasan las operaciones de separación de pulpa y mucílago en el proceso de beneficio. Los granos mordidos y cortados se originan principalmente por mal ajuste de la máquina despulpadora, lo cual ocasiona alteraciones en la apariencia, el color y el tamaño, sin afectar generalmente la bebida.

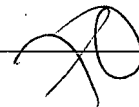
En ensayos de almacenamiento a 4°C de café cereza maduro y pintón seleccionado se encontró que es posible conservar el café físicamente cuando se guarda la cereza hasta por 40h, pero la calidad de la bebida presenta el **defecto fermento**, el cual se acentúa mientras más se demore la realización de los procesos de fermentación, lavado y secado del café. En otras investigaciones, por medio de 480 análisis sensoriales, se determinó que cuando el proceso de remoción de mucílago se realiza rápidamente utilizando enzimas pectolíticas, el deterioro del café cereza almacenado es más lento. Después del almacenamiento del café cereza por 24h antes de su procesamiento, se afectó más el café de fermentación natural que aquel al cual se le removió más rápidamente el mucílago por medios enzimáticos. En el primero de los casos se detectó el defecto fermento hasta en el 50% de las tazas evaluadas, en tanto que para las muestras tratadas con las enzimas se afectaron del 10 al 27% de las tazas (134).

Cuando se realizó el despulpado inmediato del café, luego de la cosecha, no se presentaron diferencias entre la fermentación natural y la fermentación con adición de enzimas en cuanto a la calidad de la bebida, en ninguna característica sensorial. Por el contrario, a medida que se aumentó el tiempo de almacenamiento de la cereza de café se incrementó el porcentaje de tazas defectuosas por muestra, detectándose defectos como fermento, fenol y tierra.

El café pintón y maduro despulpado inmediatamente después del recibo, procesado por fermentación natural o enzimática, lavado con agua limpia y secado hasta humedad del 10 al 12% fue calificado de calidad aceptable (134).

2.1.2.3. La remoción del mucílago

Durante la fermentación natural actúan bacterias, levaduras y enzimas que transforman los compuestos pécticos y azúcares constituyentes del mucílago, en alcoholes y ácidos carboxílico, acético, láctico, propiónico y butírico, que luego se retiran con el lavado. En la fermentación, es crítico el tiempo de proceso, ya que por sobrefermentación se origina café con aroma y sabor a vinagre, piña madura, cebolla, rancio y nauseabundo. Del mismo modo, antes del lavado, es necesario que el café esté libre de mucílago, ya que si se lava antes de que esto ocurra se mancharía el pergamino, se dificultaría el secado y la bebida de café podría adquirir sabores a sucio o agrio. El proceso de mezclas de café cosechado y despulpado en diferentes



días, depositado en tanques para la fermentación y lavado posterior, causa también defecto fermento.

En ensayos acerca de la sobrefermentación y mezclas de café cereza se encontró que después de 20h se perciben en la bebida sabores a vinagre y piña, a las 40h el 37,5% de las muestras presentan el defecto fermento y *stinker*, a las 64h más del 75% de las tazas dan sabor nauseabundo (133).

Se determinó que para cosechas con 24% de granos sobremaduros y 23% de granos recogidos del suelo, la temperatura de la masa de café en fermentación asciende hasta 30 °C y se observa descenso del pH hasta 2,5, obteniéndose tazas con el defecto fermento. Muestras de café con contenidos superiores al 65%, entre granos pintones y maduros, dan buenas tazas (133).

Por medio de preparaciones enzimáticas se logra acelerar la remoción del mucílago de café y disminuir el tiempo en el proceso de beneficio. El manchado del pergamino por la coloración de la solución enzimática o por el lavado prematuro del café es un daño que puede originarse en el café por el uso de productos enzimáticos y puede afectarse la calidad de la bebida, como en el caso de la fermentación natural. Durante la cosecha de 1993 se evaluaron en Cenicafe tres productos enzimáticos (Novoferm 11, Novoferm 25, y SP 249) de la empresa danesa Novonordisk en el proceso de remoción del mucílago de café cereza verde, pintón, maduro y de recolección normal (137) Se midieron las condiciones de proceso para cada caso: temperatura, pH y tiempo, determinándose la calidad física de la almendra, la remoción de la cutícula plateada y la calidad de la bebida. Los resultados se compararon con los de café sometido a fermentación natural sin agua y bajo agua, y provenientes de **desmucilaginado mecánico**. Cada producto enzimático se evaluó en 3 dosis (0,025; 0,075 y 0,3g de enzima por kg de café baba). Se encontró que la remoción del mucílago era más rápida a medida que se aumentaba la dosis de enzima. La preparación Novoferm 11, redujo el tiempo de remoción hasta a 3,4h para café de recolección normal, conservándose la calidad física del pergamino, la almendra y la bebida en todas las características. Del mismo modo se determinó que el tiempo de remoción del mucílago cuando se adicionan enzimas depende del estado de madurez de la cereza; el café inmaduro se rechazó por su sabor acre y fermento, en tanto que los pintones obtuvieron calificaciones medias. El café maduro de fermentación natural presentó las mejores características sensoriales, destacándose su aroma y acidez. Le siguió el café de recolección normal.

Para evitar el deterioro de la calidad del café con el desmucilaginado mecánico se deben seguir básicamente las mismas recomendaciones que para un beneficio tradicional, así: no procesar granos verdes, ya que dan acidez astringente indeseable y defecto fermento; evitar el procesamiento de cafés con alto porcentaje de granos sobremaduros que pueden ocasionar sabores agrios y defecto fermento; no repasar café guayaba cosechado anteriormente debido a que la larga permanencia del grano con la pulpa, ocasiona pergamino manchado y sabores y aromas a fermento; verifi-

car que se haya retirado totalmente el mucílago del café para evitar pergamino manchado y bebida agria; lavar el café con agua limpia y secar de inmediato y cuidadosamente el café.

2.1.2.4. El lavado

Los mayores defectos que se ocasionan en la etapa de lavado se califican como pergamino manchado y sabores sucio, o fermento y contaminado, por el uso de aguas sucias. El lavado parcial del grano, dejando parte de mucílago o de los ácidos formados durante la fermentación, causa también el defecto fermento.

2.1.2.5. El secado

Las normas vigentes para la comercialización del café pergamino seco establecen un contenido de humedad entre 10 y el 12%. Humedades superiores al 13%, es decir, actividad del agua en el café mayor a 0,67, causan deterioro considerable presentándose ataque de hongos, el aspecto mohoso y el pergamino y la hendidura se manchan (133, 141). Durante el proceso de secado se rebaja **la actividad del agua del café**, por tanto, se inhibe el crecimiento de microorganismos y se disminuye la actividad enzimática; lo anterior favorece la calidad y estabilidad del producto. Los defectos más graves ocasionados durante el proceso de secado se originan por no iniciarlo inmediatamente después de lavado el café y por el amontonamiento de café pergamino húmedo. Además, se agrava la situación si el pergamino se empaca antes de estar completamente seco.

Con el objetivo de evaluar el deterioro en la calidad física y de la bebida de café por el mercadeo del café pergamino húmedo (sección 5.3.), se procesó café de recolección normal por sobrefermentación, pero lavado cuidadoso; posteriormente el café pergamino húmedo se almacenó hasta por tres días y luego se secó cuidadosamente. La bebida presentó defectos: sucio terroso, fenol y fermento (133).

También, se realizaron ensayos de almacenamiento de café pergamino con proceso controlado de beneficio hasta el lavado, almacenando posteriormente el café pergamino en agua hasta por tres días. Se detectó el defecto fermento, aún cuando el agua se cambió diariamente; no obstante, la apariencia del pergamino fue aceptable (133).

En otras investigaciones desarrolladas en Cenicafe durante el año de 1996 se realizó el proceso semihúmedo con café seleccionado maduro, que se despulpó y se secó con su mucílago, obteniéndose tazas con defecto fermento, más acentuado a medida que se tostaba el grano, con pérdidas superiores al 13%. El sabor resultante fue el de cereal dulzón para tostaciones bajas. Para café cereza maduro o verde procesado por vía seca se obtuvieron tazas con defecto **stinker**.

En el marco de las investigaciones desarrolladas en Cenicafe sobre las causas del **defecto fenólico** se encontraron hongos del género *Penicillium* en muestras de

café pergamino procesado y almacenado en fincas que habían presentado defecto fenol en los análisis sensoriales. El café pergamino analizado presentó apariencia sucia, color grisáceo y olor del compuesto característico a fenol, detectándose en todas las fincas evaluadas deficiencia en el proceso de secado por carencia de espacio y equipos, amontonamiento y mezclas de café pergamino húmedo y pasillas de diferentes humedades (136, 142).

2.1.2.6. El almacenamiento del café pergamino

Si se almacena café con humedad superior al 12% bajo condiciones de humedad relativa superiores al 70% y temperaturas por encima de 20°C, se favorece el deterioro rápido del producto, dando como resultado sabores a reposo, viejo y fenol. La apariencia del pergamino puede ser normal o sucia, pero el color de la almendra se deteriora apareciendo el grano decolorado y blanqueado. Para granos de café con humedad del 11% almacenado a 30°C se mantiene un equilibrio entre el agua del grano y la humedad del medio, siempre y cuando esta última sea inferior al 65%. (Sección 4.9.1.1) Para humedades relativas en el sitio de almacenamiento por encima de 74% se han encontrado hongos de los géneros *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. y *Rhizopus* sp. (142). Algunas especies de hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* han sido reconocidas en la industria de alimentos como productores de micotoxinas, que afectan la salud del consumidor.

2.1.3. El beneficio por vía seca y su influencia en la calidad del café colombiano

En el caso del beneficio seco hay mayores riesgos de obtener café con el defecto fermento, debido a que el grano está mucho tiempo en contacto con la pulpa y el mucílago, subproductos que a su vez representan una barrera para la rápida disminución de la humedad en la cereza, la cual varía al inicio del proceso del 60 al 75% (53, 167). La calidad del café puede afectarse aún más si la cereza se rehumedece por el efecto de las lluvias, lo que ocasiona granos manchados y de coloración negra (53, 167). El secado de la cereza hasta un contenido de humedad del 12 al 20% puede durar varias semanas, lo cual favorece el crecimiento de hongos de los géneros *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. Esto ocurre especialmente en la región central del Brasil, donde la cosecha tiene lugar en la época húmeda; bajo estas condiciones los hongos pueden atacar la cereza desde el árbol y así los granos adquieren el **sabor a "río"** antes de ser cosechados, resultando el sabor aún más fuerte si la cereza no se revuelve frecuentemente durante el secado (53, 138, 167).

Con el fin de determinar la calidad del café colombiano procesado por **vía seca**, se realizaron 280 evaluaciones sensoriales a muestras de *C. arabica* L. var. Colombia de recolección normal, con contenidos en promedio del 42,4% de grano maduro, 18,8% de grano sobremaduro, 13,3% de grano pintón, 7,5% de grano verde y 18% de negros recogidos del suelo, que se secaron en cereza al sol hasta una humedad

habían presentado defecto alizado presentó apariencia co a fenol, detectándose en de secado por carencia de argamino húmedo y pasillas

o condiciones de humedad a de 20°C, se favorece el sabores a reposo, viejo y o sucia, pero el color de la y blanqueado. Para granos tiene un equilibrio entre el o esta última sea inferior al tio de almacenamiento por *Aspergillus* sp., *Penicillium* e los géneros *Aspergillus* y entos como productores de

btener café con el defecto contacto con la pulpa y el rrera para la rápida dismi- del proceso del 60 al 75% i la cereza se rehumedece ados y de coloración negra e humedad del 12 al 20% ato de hongos de los géne- mente en la región central da; bajo estas condiciones í los granos adquieren el abor aún más fuerte si la (53, 138, 167).

o sado por vía seca, se *arabica* L. var. Colombia 42,4% de grano maduro, 5% de grano verde y 18% al sol hasta una humedad

final del 10 al 12%, medida por el método de estufa a 105°C. La cereza se trilló en una máquina peladora para café cereza seco. El secado requirió de 20 a 25 días y se obtuvo un café almendra de color amarillo a café, de aspecto muy cuticulado, olor a vinagre y la bebida fue rechazada por su muy baja calidad. Se presentaron defectos tales como fermento, **stinker** y fenol, percibidos en el aroma de la bebida, la acidez, el amargor, el cuerpo y la impresión global del café, en todas las muestras. Se demostró cómo los componentes químicos de la pulpa y del mucílago en contacto con la almendra de café durante el proceso de secado afectan la calidad de la bebida. Se concluyó que esta forma de beneficio no es recomendable para el café colombiano, si se quiere conservar su calidad y su suavidad tradicional, apreciadas por los países consumidores (138).

2.1.4. Principales defectos en la calidad del café

2.1.4.1. La broca del café

Este insecto no solo origina pérdidas económicas en la caficultura y en la calidad física del grano al afectar su apariencia, color y tamaño, sino que también altera la calidad de la bebida, afectando todas sus características organolépticas según el grado de daño y del porcentaje de granos perforados presentes en la muestra. Para contenidos del 50% de granos perforados por la broca en la muestra de café y grados de daño superiores al 30% se obtienen bebidas de café con olor nauseabundo, acidez acre o nula, amargor muy fuerte, cuerpo pesado y sabores nauseabundo, contaminado, carbonoso que hacen la taza imbebible. Se debe por tanto, adoptar la estrategia de manejo integrado de la plaga recomendada por la Federación de Cafeteros de Colombia.

2.1.4.2. El sabor fenólico

El defecto fenólico de la bebida de café se describe principalmente como riado, yodado, a farmacia, a medicina, a químico, a moho, a húmedo, a tierra húmeda, a caucho quemado, a madera, contaminado ó metálico. La cualidad sensorial de amargor varía desde muy amargo, pronunciado y quemado hasta el carbonoso e indefinible. La acidez se califica como muy baja, nula, picante o acre. El cuerpo puede ser sucio, muy áspero, espeso o pesado; el sabor es desagradable y la impresión global se califica de total rechazo (133, 136, 142).

Entre los factores que contribuyen a la aparición del defecto se tienen: la contaminación química y microbiana del café cereza o durante el proceso de beneficio por el uso de agentes químicos o materiales que contaminen el café; las deficiencias en el proceso de secado y el almacenamiento del café y la broca de café como causa indirecta, ya que sobre el grano con broca proliferan hongos como *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp., los cuales han sido aislados de muestras con el defecto (142). El compuesto 2, 4, 6 tricloroanisol ha reproducido sensorialmente las características

del defecto para concentraciones desde 0,01ppt del compuesto en café tostado y molido (136). Se ha demostrado que este compuesto puede ser el producto de la descomposición por hongos, de sustancias organocloradas (136, 142).

2.1.4.3. El defecto "stinker"

Como ya se mencionó las causas principales de este defecto se originan en la carencia de condiciones adecuadas en la recolección y en el inadecuado beneficio del café.

2.2. EFECTO DEL DESMUCILAGINADO MECÁNICO EN LA CALIDAD FÍSICA Y ORGANOLÉPTICA DEL CAFÉ (117)⁵

2.2.1. Eliminación del mucílago

En el beneficio del café por vía húmeda utilizado en Colombia y otros países Centroamericanos y Africanos para obtener los cafés denominados "suaves", el mucílago se elimina por medio de la fermentación natural. Cuando este proceso se controla se obtienen cafés con alta calidad en taza; sin embargo, en muchos casos se ejerce poco ó ningún control, especialmente cuando la producción es baja y el café despulpado de 2 ó 3 días se reúne en un mismo tanque dando origen a cafés con sabor a fermento y en casos más críticos, a cafés con defecto "stinker". En ambos casos se ocasionan importantes pérdidas económicas, ya que los compradores rechazan estos materiales en el exterior.

El mucílago fermentado se retira del café lavándolo en el tanque (Figura 24) (en el caso de pequeños productores) o utilizando dispositivos como el canal de correteo (Figura 25) o el canal semisumergido (Figura 28) (36). Cuando el café se lava en el tanque de fermentación el consumo específico de agua se puede disminuir hasta 4,2L/kg de café pergamino seco (192). Cuando el café se lava y se clasifica en el canal de correteo el consumo de agua, sin recirculación, es de 39,0L/kg de cps. (36, 182). En el caso del canal semisumergido el consumo específico es del orden de 6,1L/kg de cps (95).

El **desmucilaginado mecánico** realizado con equipos apropiados permite remover rápidamente el mucílago (Secciones 3.10.7. y 3.14.) con ventajas sobre la fermentación natural, tales como: reducción significativa en el consumo de agua, reducción de la contaminación (las mieles altamente viscosas se pueden mezclar con la pulpa y retener más del 60% de estos efluentes líquidos) lográndose manejar más del 90% de la contaminación (144), obtener mayor cantidad de café seco gracias a la eliminación de las pérdidas de materia seca por respiración del grano (179, 180),

⁵ Preparado por Oliveros T., C. E. y Roa M., G.

compuesto en café tostado y puede ser el producto de la lavadura (136, 142).

Este defecto se origina en la etapa de beneficio cuando se realiza el lavado inadecuado.

MECÁNICO EN LA LAVADURA DEL CAFÉ (117)⁵

En Colombia y otros países Centroamericanos, los cafés denominados “suaves”, el mucílago y el defecto “stinker”. Cuando este proceso se realiza de manera adecuada, en muchos casos la producción es baja y el mucílago dando origen a cafés con defecto “stinker”. En algunas zonas, ya que los compradores

el tanque (Figura 24) (en el caso de los canales de correteo). Cuando el café se lava en el tanque se puede disminuir hasta un 50% la contaminación. Se lava y se clasifica en el tanque. Los resultados son de 39,0L/kg de cps. (36, 37). El específico es del orden de 39,0L/kg de cps.

Los procedimientos apropiados permite remover las ventajas sobre la fermentación, consumo de agua, reducción de la contaminación y pueden mezclarse con la pulpa. Se maneja más del 50% de café seco gracias a la clasificación del grano (179, 180),

recuperar aproximadamente el 50% de los granos guayabas y medias caras (164), aumentar la utilización de los secadores (se puede iniciar el secado el mismo día) y reducir significativamente las estructuras civiles requeridas para el beneficio.

La contaminación generada por el lavado del café, en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) expresada en gramos de DQO/kg de café cereza, en el caso de la fermentación natural es de 30,0. Esta representa el 26,3% de la contaminación potencial generada por el beneficio húmedo del café (190). Mediante la adecuada utilización del desmucilaginado mecánico este valor se reduce a menos del 10% (144).

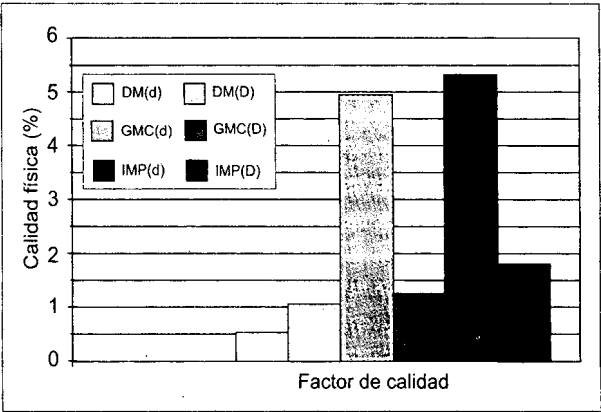
2.2.2. Calidad física del café desmucilaginado

La calidad física del café desmucilaginado depende del equipo utilizado y forma de operarlo, pero principalmente de la calidad del café cereza (contenido de frutos verdes, secos, impurezas) y del tratamiento previo y posterior al proceso: eliminación de flotes e impurezas en el café cereza, separación de guayabas y medias caras en el café en baba y separación de flotes, guayabas e impurezas en el café desmucilaginado.

Cuando el café proviene de la cosecha principal el porcentaje de granos verdes generalmente es inferior al 3% (186). En el caso de granos provenientes de cafetales sanos o con pocos problemas fitosanitarios, bajo contenido de guayabas, los cafés desmucilaginosos son de alta calidad física y pueden estar dentro de las normas de compra establecidas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia: menos de 0,5% de impurezas, menos de 3,0% de guayabas y media cara y menos de 2,0% de granos mordidos y trillados (68).

En la Figura 1 se presentan los resultados de la **calidad física** de café obtenido de 29 evaluaciones a café de recolección normal, pergamino húmedo (53% de humedad) procesado en un desmucilaginado (lavador y limpiador) de flujo ascendente desarrollado en Cenicafe (117). Al café cereza utilizado en las evaluaciones se le

Figura 1. Efecto del desmucilaginado mecánico en la calidad física de café: daño mecánico (DM), guayaba y media cara (GMC) e Impurezas (IMP), después del despulpado (d) y del desmucilaginado (D).



retiraron los flotes en un canal semisumergido (con recirculación de agua). El análisis de calidad del café pergamino húmedo obtenido después del despulpado (d) y del desmucilaginado (D) muestra que solamente el contenido de impurezas (IMP), 1,8%, es superior al límite establecido por la norma de calidad de la Federación (0,5%).

En la Figura 2 se presentan los valores promedio de calidad física de café, en pergamino húmedo (20 ensayos), obtenido sin eliminar flotes antes del despulpado y sin utilizar la zaranda en el café despulpado. Al café desmucilaginado y lavado se le retiró parte de las impurezas y guayabas utilizando un clasificador-limpiador hidráulico (hidrociclón, Sección 3.11.). Los valores de daño mecánico (0,49%), guayabas y media cara (1,09%) e impurezas (0,45%) indican que la calidad del café obtenido con este proceso de beneficio satisface los requisitos establecidos por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia para la compra del café pergamino.

2.2.3. Calidad organoléptica del café desmucilaginado

Existen medios mecánicos, químicos, bioquímicos, para retirar eficientemente el mucílago en tiempos mucho más cortos que los utilizados por el método convencional, o sea, el de someter el café despulpado a la fermentación del mucílago en tanques de fermentación, por tiempos que oscilan entre 12 y 18 horas, para después lavarlos utilizando agua limpia (143).

En ALMACAFÉ, en Chinchiná y en Letras se almacenaron muestras de café procesado por remoción mecánica y por fermentación del mucílago obtenidas de los laboratorios de Cenicafé (112). La calidad de la bebida se evaluó en el panel de catación de la Unidad de Control de Calidad (U.C.C.) de FEDERACAFÉ, en Bogotá, y por la firma John D'Elena, de Nueva York (109). Los resultados presentados en la Tabla 3 permiten concluir que la calidad en taza del café desmucilaginado mecánicamente es igual ó superior a la obtenida por fermentación natural.

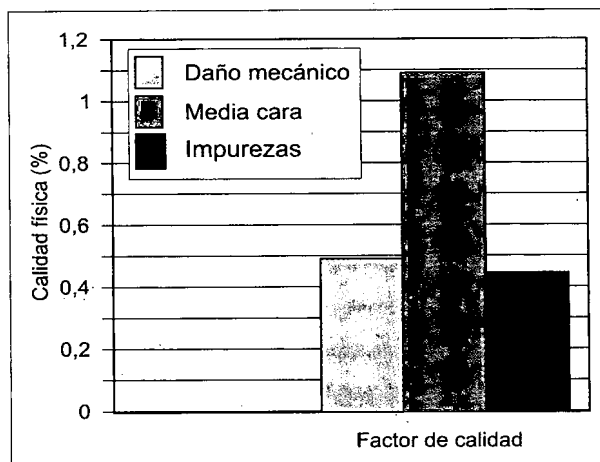


Figura 2. Calidad física del café obtenido con desmucilaginado mecánico sin previa eliminación de flotes y sin zarandear el café despulpado. Solamente se retiró, mediante un hidrociclón, parte de las guayabas e impurezas después del desmucilaginado.

reculación de agua). El análisis después del despulpado (d) y tenido de impurezas (IMP), la calidad de la Federación

calidad física de café, en flotes antes del despulpado desmucilaginado y lavado se un clasificador-limpiador e daño mecánico (0,49%), indican que la calidad del café quisitos establecidos por la compra del café pergamino.

do
ra retirar eficientemente el s por el método convencio-entación del mucílago en e 12 y 18 horas, para des-

aron muestras de café pro-mucílago obtenidas de los a se evaluó en el panel de e FEDERACAFÉ, en Bo-. Los resultados presenta-del café desmucilaginado entación natural.

Figura 2. Calidad física del café brenido con desmucilaginado reo sin previa eliminación e flotes y sin zarandear el café espulpado. Solamente se retiró, mediante un hidrociclón, parte de is guayabas e impurezas des-ués del desmucilaginado.

Tabla 3. Calidad de la bebida del café obtenido con remoción mecánica del mucílago.

Tratamiento	Evaluador	Acidez	Aroma	Cuerpo	Impresión global
DESMULAC -0 meses	U.C.C.	A-M			
	J.D. ELENA	M-B	M-B	M-B	Excelente
TESTIGO	U.C.C.	M-B			
	J.D. ELENA	M-B	M-B	M-B	Excelente
DESMULAC -L3 meses	U.C.C.	M-B			
	J.D. ELENA	A	A	A	Buena
TESTIGO -L3 meses	U.C.C.	B			
	J.D. ELENA	A	A	M	Buena
DESMULAC -C3 meses	U.C.C.	B			
	J.D. ELENA	B	A	A	Buena
TESTIGO -C3 meses	U.C.C.	B			
	J.D. ELENA	A-M	M	M	Buena
DESMULAC -L6 meses	U.C.C.	B			
	J.D. ELENA		A	A	Buena
TESTIGO -L6 meses	U.C.C.	B			
	J.D. ELENA		A	A	Buena

A = Alta; M = Media; B = Baja; L = Letras; C= Chinchiná; U.C.C.= Unidad de Control de Calidad. Desmulac: Desmucilaginado mecánico. Testigo: Fermentación natural.

Sanz (164) comparó la calidad de la bebida de muestras de café fresco obtenidas con fermentación natural y desmucilaginado mecánico; los resultados incluidos en la Tabla 4 indican que con la técnica de desmucilaginado mecánico se obtiene mejor calidad de la bebida.

Durante 1995 y 1996 se realizaron 77 evaluaciones para comparar la calidad de la bebida del café obtenido por el proceso de remoción mecánica del mucílago con café procesado por fermentación natural. Se contó con la colaboración de los paneles de catación de Cenicafé, la Fábrica de Café Liofilizado en Chinchiná, Caldas y ALMACAFÉ en Bogotá. De los resultados obtenidos en los diferentes paneles se pudo concluir lo siguiente:

Tabla 4. Evaluación comparativa de la calidad en taza del café obtenido con fermentación natural y desmucilaginado mecánico*.

ATRIBUTO	Fermentación natural	Desmucilaginado mecánico
Intensidad del aroma	7,1	7,0
Aroma de bebida	6,7	6,8
Acidez	6,1	5,2
Amargor	5,0	5,2
Cuerpo	6,4	6,8
Impresión global	6,4	6,9

* Escala de 9 puntos; 9 la mejor; 1 la peor calificación.

De acuerdo a lo registrado por el panel de Cenicafé, en el período de cosecha principal (agosto 1995 - diciembre 1995), la calidad del café obtenido con tecnología DESLIM (Sección 3.10.4.) es superior a la obtenida con el método tradicional de beneficio que incluye la fermentación. A partir de enero/96, hasta junio de 1996, época de cosecha muy escasa, la calidad de la bebida no fue buena en ambos métodos y en general, con pocas excepciones, se obtuvieron bebidas con calificación de 6. El panel de la Fábrica de Café Liofilizado registró bebidas normales y niveles de acidez similares. ALMACAFÉ encontró similares niveles de aroma, acidez, cuerpo y una notoria tendencia a sabores astringentes y herbales en las muestras evaluadas. De acuerdo con Puerta (133), la calidad de la bebida depende en gran parte de la calidad del café cereza cosechado; granos sobremaduros y verdes producen bebidas con sabor a vinagre, granos pintones dan sabor astringente, y granos perforados por la broca del café generan sabores extraños que demeritan la calidad de la bebida. Las evaluaciones de la calidad de la bebida se han seguido efectuando hasta la presente fecha, con resultados consistentes.

A continuación se presentan los conceptos y resultados de ensayos reportados en la literatura científica nacional e internacional sobre la remoción y el beneficio del café:

Calle (30) obtuvo la mejor calidad del café después de almacenado durante 5 años cuando lo desmucilaginó mecánicamente. Argumentó que la película plateada que queda más adherida a los granos durante este proceso, con relación al grano fermentado tradicionalmente, disminuye la oxidación de la almendra, conservándola mejor.

Coste (54) afirma que "la fermentación bien realizada, de duración limitada al tiempo necesario para la fluidificación del mucílago, no tiene influencia alguna sobre la bebida. La comparación con los mismos cafés tratados con métodos rápidos que excluyen la fermentación no permite apreciar diferencias".

El mismo autor agrega: "debe sin embargo, hacerse notar que el sabor ligeramente ácido de la bebida obtenida de ciertos cafés arábigos (Kenya, Kivu, etc.) muy apreciado por los consumidores, se obtiene mediante una fermentación de cierta duración".

Fourney *et al.* (73) en evaluaciones de desmucilaginado rápido de café arábica utilizando tratamientos con sustancias enzimáticas, no encontraron diferencias en la calidad de la bebida al compararlos con el procedimiento tradicional de fermentación.

Wilbaux (183) menciona como principal argumento contra la eliminación mecánica del mesocarpio el hecho de que pequeñas porciones del mucílago quedan adheridas a la semilla y agrega que de no eliminarse esos residuos se desarrolla una post-fermentación nociva durante el escurrimiento y el presecado que además, facilita que las semillas se adhieran durante el secado.

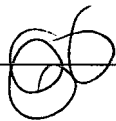
Vasquez e Hidalgo (179), al comparar la calidad del café proveniente del desmucilaginado mecánico con la del café procesado por fermentación natural y con diferentes tiempos de espera para el secado, concluyeron que el **desmucilaginado mecánico del café y el secado inmediato** del mismo mejoran la acidez y el cuerpo del café sin afectar el aroma, y se incrementa el rendimiento hasta un 1,9% en peso, cuando se compara con la fermentación natural.

Vasquez y Montero (180) indican que la adopción de métodos mecánicos para desmucilaginar café en Costa Rica es cada día mayor. Se encontraron las siguientes pérdidas de materia seca expresadas en porcentaje, durante la fermentación; para 12 horas = 2%; para 48 horas = 3,14%; para 60 horas = 3,44%; para desmucilaginado mecánico y 12 horas de espera antes de iniciar el secado = 0,56%. Los mismos autores citan que Cleves (48) obtuvo rendimientos en peso superiores en 3,4% y 5,1%, al utilizar el desmucilaginado mecánico (mediante la máquina Acuapulpa), con relación a la fermentación natural.

Carbonel y Vilanova (31) encontraron pérdidas de materia seca de hasta el 9% de los sólidos en 48 horas de fermentación, tanto en seco como bajo agua. En las pruebas de calidad de taza se compararon favorablemente las muestras procesadas químicamente con muestras similares procesadas por fermentación y enzimáticamente. Al referirse a la utilización del desmucilaginado mecánico indican que su principal defecto es su alto costo y elevada potencia eléctrica del motor. Los autores citan un trabajo realizado en Kenya sobre la fermentación del café en 1935. Sus conclusiones fueron: “la remoción de la materia azucarada mucilaginosa, para asegurar un desecamiento parejo y rápido del café, es la única razón de la fermentación”.

Menchu (98) indica que los desmucilaginadores tipo ELMU (eliminación del mucílago), son los sistemas más utilizados por los beneficiaderos de mediana y gran capacidad de Centroamérica y que el café desmucilaginado mecánicamente resulta afectado por la presencia de la película adherida, pero el sabor permanece igual que el de los testigos obtenidos por fermentación natural. Por otra parte, indica que si se deja el café desmucilaginado bajo agua limpia se consigue mejorar en parte el aspecto del café, particularmente en cafés que no se pueden cosechar totalmente maduros y que poseen polifenoles que causan mal sabor a “grama”, a “áspero”, etc.

Case (33) en su trabajo de recopilación bibliográfica sobre comparaciones del desmucilaginado natural (fermentación y lavado) y el desmucilaginado rápido, incluyendo el mecánico concluye, luego de revisar los trabajos realizados en todas las regiones productoras de café desde inicios del presente siglo, que **el único propósito de la fermentación del mucílago es hacer esa sustancia fácilmente diluible en agua para facilitar su lavado**; que no es el grano el que se fermenta, sino apenas el mucílago que lo rodea.



En conclusión, todos los autores revisados que sustentan sus apreciaciones en resultados experimentales coinciden con los resultados obtenidos en Cenicafé. Se puede afirmar que no hay diferencias en la calidad del café obtenido por fermentación natural o por desmucilaginado mecánico. En ambos procesos se requiere la completa remoción del mucílago para garantizar la calidad del café, aunque por la mayor duración del proceso de fermentación natural se requiere mayor control para evitar defecto fermento o vinagre. De otro lado, hay unanimidad en atribuir una pérdida de peso siempre mayor que 1,5 % de la materia seca del grano durante el proceso de la fermentación.

2.3. EFECTO DEL ENFRIAMIENTO MECÁNICO
EN LA CALIDAD DEL CAFÉ
ALMACENADO A GRANEL (155, 174)⁶

Pocos esfuerzos se han realizado para encontrar opciones al almacenamiento a mediano plazo (seis meses) y largo plazo (más de un año) del café almendra, aunque se conoce que el café almacenado en los sacos convencionales y principalmente en lugares cálidos, pierde su calidad y su precio rápidamente. Después de un año de almacenado prácticamente en cualquier lugar, el café ya se considera café reposado y su valor puede ser solo una fracción del valor del café fresco, de menos de tres meses de cosechado.

El enfriamiento mecánico de granos a granel ha sido utilizado exitosamente, para conservar la calidad de las semillas y de granos que presentan resistencia física y uniformidad intersticial, que les permite ser almacenados en silos de varias decenas de metros de altura.

Para encontrar las mejores condiciones del aire enfriado mecánicamente para conservar la calidad del café almacenado a granel a largo plazo, teniendo en cuenta los criterios de coloración de la almendra, prueba de taza, contenido de humedad, población de microorganismos y porcentaje de pasilla, se utilizaron 10 silos metálicos (Figura 3) de sección cuadrada de 0,5 x 0,5 m con una altura de 2,8 m (altura efectiva de 2,35 m), para una capacidad entre 220 y 250kg de café pergamino seco.

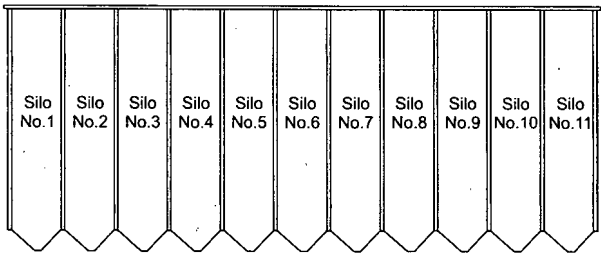


Figura 3. Esquema de silos metálicos utilizados para estudios de almacenamiento de café en laboratorio, con aire enfriado y forzado mecánicamente.

⁶ Preparado por Roa M., G.; Trejos R., y Cruz, M.

tan sus apreciaciones en re-
obtenidos en Cenicafé. Se
café obtenido por fermenta-
bos procesos se requiere la
idad del café, aunque por la
requiere mayor control para
manimidad en atribuir una
a seca del grano durante el

VICO

4)⁶

ones al almacenamiento a
n año) del café almendra,
onvencionales y principal-
ípidamente. Después de un
el café ya se considera café
r del café fresco, de menos

ilizado exitosamente, para
sentan resistencia física y
s en silos de varias decenas

iado mecánicamente para
o plazo, teniendo en cuenta
a, contenido de humedad,
utilizaron 10 silos metáli-
na altura de 2,8 m (altura
g de café pergamino seco.

Figura 3. Esquema de silos me-
áliens utilizados para estudios de
almacenamiento de café en labo-
ratorio, con aire enfriado y forza-
lo mecánicamente.

La sección y altura de éstos silos piloto se escogió para que los resultados fueran geométricamente similares a los 30 silos de 6m de diámetro y 30m de altura, del complejo de almacenamiento de ALMACAFÉ, de Bello, Antioquia (Figura 4). De esta forma los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio podrían ser más confiablemente aplicados a los silos industriales.

Se aislaron 9 silos exteriormente con una capa de 5cm de fibra de vidrio, buscando minimizar los efectos de la variación de las condiciones ambientales sobre el café almacenado. Se controlaron las condiciones del aire de enfriamiento (temperatura, humedad y caudal) con un equipo diseñado en Cenicafé. Se utilizó café var. Caturra de la Subestación de Naranjal de Cenicafé, beneficiado por vía húmeda y secado mediante los silos-secadores tradicionales utilizados en Colombia. La densidad aparente del café dispuesto a granel, medida en cada silo, varió entre 388 y 435kg/m³.

Las temperaturas del aire de enfriamiento se hicieron variar entre 11 y 20°C; las humedades relativas entre 68 y 80% y los caudales utilizados estuvieron entre 20 y 30m³/h, lo que da un caudal específico de aire de almacenamiento promedio de



Figura 4. Batería de 60 silos de 30m de altura y 6m de diámetro, para el almacenamiento de café pergamino con aireación forzada nocturna. Foto: Cortesía Almacafé, Bello, Antioquia.

$1\text{ m}^3 / (\text{min} \times \text{ton})$. El tiempo de enfriamiento varió entre 10 y 17 horas. Se escogieron las siguientes parejas de temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) y humedades relativas (%) del aire: 15°C y 70% (con una repetición), 18°C y 68% (con una repetición), 20°C y 70% (con una repetición), 15°C y 80%, 11°C y 80%, 12°C y 80%. Se escogieron estos valores por el conocimiento previo de las posibles mejores condiciones de almacenamiento del café, y por su relacionamiento con los valores de humedad de equilibrio (Sección 4.9.1.1).

Se almacenó adicionalmente la misma cantidad de café en un silo idéntico, sin airear. También se almacenó una muestra de café representativa de cada silo en sacos de fique de 3kg de capacidad, en las condiciones ambientales del mismo lugar de las experiencias (laboratorios de Cenicafé, Chinchiná.)

Se encontró experimentalmente que para enfriar completamente las masas de café se necesitaron entre 220 y 590 m^3 de aire por cada m^3 ocupado por el café. Se consideraba enfriado el silo cuando la diferencia de temperaturas entre la salida y entrada del aire era de 2°C o menor. Se midieron las temperaturas de las masas a diferentes alturas de cada silo (Ver las curvas de enfriamiento experimentales y simuladas matemáticamente en la sección 4.9.2.1). El contenido de humedad se determinaba en 8 puntos localizados a diferentes alturas del silo separados 30cm, cada uno. La coloración de la almendra y el porcentaje de granos decolorados se determinó mensualmente en las capas inferiores, medias y superiores, utilizando patrones de color de aceptación general de la Federación Nacional de Cafeteros. La prueba de taza se determinó en las capas inferiores, medias y superiores, cada mes hasta el tercer mes, y posteriormente hasta un año, cada dos meses. Se utilizaron los paneles de catación de la Unidad de Control de Calidades en Bogotá, Cenicafé en Chinchiná, y la Fábrica de café liofilizado en Chinchiná.

2.3.1. Contenido de humedad de los granos

Después de un año de almacenamiento el café aireado mecánicamente mantuvo un contenido de humedad promedio entre el 10 y el 12 % (Figura 5); los valores más bajos de humedad correspondieron a las temperaturas del aire más bajas, porque inducen la transferencia de humedad desde la superficie del grano hacia el aire, por diferencia de presiones de vapor de agua. En el silo sin airear, las humedades superan el valor del 12%.

Las muestras que se utilizaron como testigos en sacos de fique (Figura 6), se humectaron por encima de los valores recomendados (10 a 12%), obteniéndose valores promedio de 12,9%, que corresponden muy aproximadamente a los valores del contenido de humedad de equilibrio de la región, 13,2%, (Sección 4.9.1.1) correspondiente a las condiciones ambientales en que se realizó el experimento ($20,6^{\circ}\text{C}$ de temperatura y 76% de humedad relativa).

En la Tabla 5 se presenta un resumen de las condiciones del aire con las cuales se

10 y 17 horas. Se escogieron las condiciones relativas (%) del aire: a repetición), 20°C y 70% 80%. Se escogieron estas condiciones de almacenamiento de humedad de equili-

fé en un silo idéntico, sin representativa de cada silo en ambientales del mismo lugar .)

amente las masas de café ³ ocupado por el café. Se temperaturas entre la salida y temperaturas de las masas a amiento experimentales y contenido de humedad se s del silo separados 30cm, de granos decolorados se as y superiores, utilizando Nacional de Cafeteros. La lias y superiores, cada mes a dos meses. Se utilizaron lades en Bogotá, Cenicafé ná.

ecánicamente mantuvo un Figura 5); los valores más del aire más bajas, porque del grano hacia el aire, por sin airear, las humedades

os de fique (Figura 6), se (10 a 12%), obteniéndose ximadamente a los valores %, (Sección 4.9.1.1) se realizó el experimento

s del aire con las cuales se

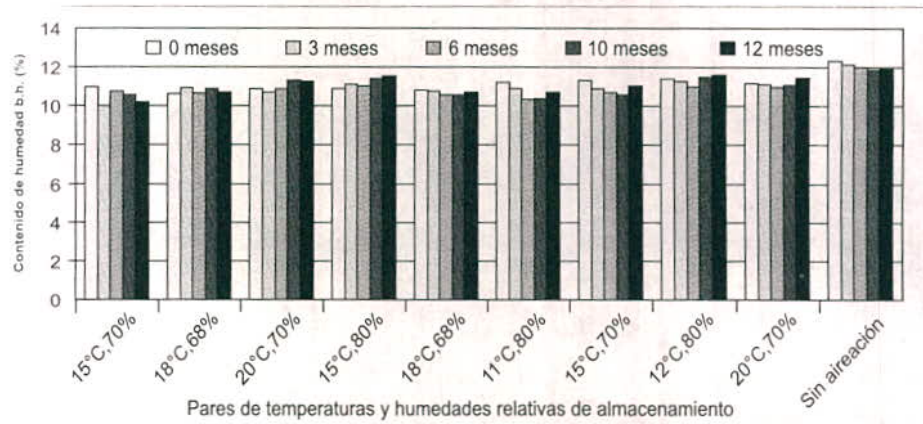


Figura 5. Contenido de humedad del café en silos como función de las condiciones del aire tratado, sin aireación, y del tiempo de almacenamiento.

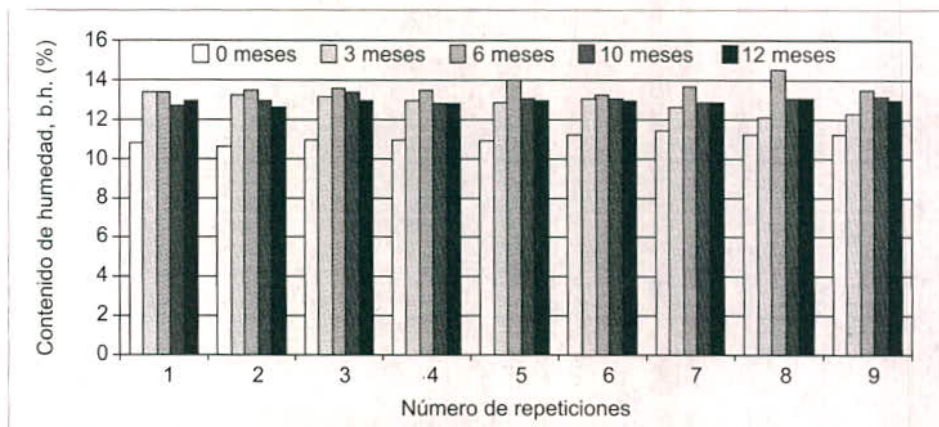


Figura 6. Contenido de humedad del café enfriado en condiciones ambientales, como función del tiempo de almacenamiento.

trabajó durante la experimentación y el efecto de absorción o de secado que se obtuvo, de acuerdo a los conceptos de humedad de equilibrio del café.

2.3.2. Decoloración de los granos

Para la evaluación de la decoloración de los granos se siguió la norma de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, que indica de la presencia de los granos decolorados por sobresecado⁷, granos decolorados veteados por absorción de humedad durante el almacenamiento, granos decolorados por reposo y por el efecto de tiempos prolongados de almacenamiento, granos decolorados ámbar o mantequilla, causados por deficiencias de nutrientes en el suelo.

⁷ El proceso puede ser reversible, como ocurrió después de dos años en el silo número 17 de la planta de silos de Bello, Antioquia.

OH

Tabla 5. Condiciones controladas del aire y su influencia en el contenido final de humedad de los granos.

Temperatura del aire	Humedad relativa del aire (°C)	Contenido de humedad de equilibrio, b.h. (%)	Efecto de acondicionamiento de los granos (%)
15	70	11,0	Deshidratación
20	70	11,0	Absorción
18	68	10,7	Equilibrio
11	80	11,0	Deshidratación

En la Figura 7 se muestra la **decoloración** expresada en porcentaje de granos decolorados sobre el total de la muestra, para cada uno de los sistemas de almacenamiento utilizados durante el transcurso del proceso de almacenamiento.

Después de un año de almacenamiento el valor promedio de decoloración del café almacenado en los silos con enfriamiento mecánico fue de 2,1%; el valor promedio de decoloración del café almacenado en el silo sin aireación fue de 4,1% y el valor promedio de decoloración del café almacenado en sacos, en forma convencional, fue de 22,0%. Estos resultados categóricos a favor del almacenamiento con enfriamiento mecánico se presentan en la Tabla 6.

2.3.3. Presencia de microorganismos

Se determinó la población de microorganismos indeseables presentes en el café almacenado en 4 silos previamente seleccionados y representativos de la experi-

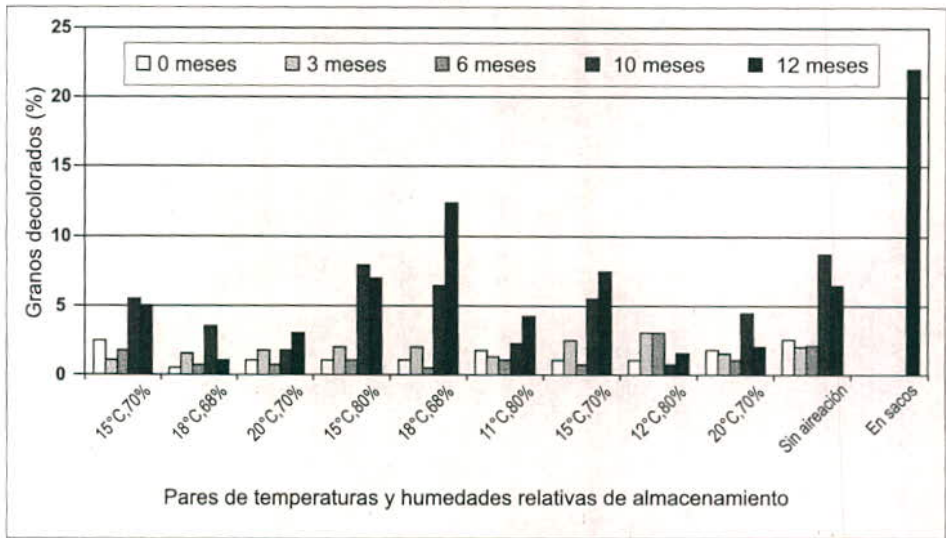


Figura 7. Granos decolorados como función de las condiciones controladas del aire de enfriamiento mecánico, falta de enfriamiento y el almacenamiento tradicional en sacos.

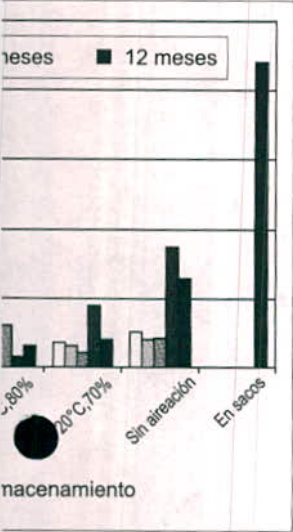
a en el contenido final de

Efecto de acondicionamiento de los granos (%)
Deshidratación
Absorción
Equilibrio
Deshidratación

en porcentaje de granos e los sistemas de almace-
almacenamiento.

o de decoloración del café
e 2,1%; el valor promedio
ión fue de 4,1% y el valor
, en forma convencional,
nacenamiento con enfria-

bles presentes en el café
representativos de la experi-



oladas del aire de enfriamiento
cos.

Tabla 6. Comparación de los granos decolorados según el sistema de almacenamiento empleado luego de 1 año de almacenamiento.

Granos decolorados en silos provistos con enfriamiento mecánico (%)	Granos decolorados en el silo sin aireación mecánica (%)	Granos decolorados en los sacos, sometidos a las variaciones ambientales (%)
2,1	4,1	22

mentación, mediante la escala de 0 a 18, en la cual 0 indica una población nula y 18 la máxima tolerable. Se obtuvo un valor promedio (durante los 12 meses de almacenamiento) para todos los silos que utilizaron el enfriamiento mecánico de 9,1 lo que indica buenas características de almacenamiento. El valor medio correspondiente al silo sin aireación mecánica fue de 11,2 valor próximo al límite permisible de 14, y las muestras de los sacos almacenados convencionalmente un valor de 17,4 que lo descalifica como café de buena calidad.

2.3.4. Calidad de la bebida

El café almacenado bajo condiciones controladas conservó una calidad aceptable (Figura 8), según la calificación global de la bebida hasta después de 10 meses de almacenamiento, que clasifica el café en tres categorías: taza deficiente (2-3), taza regular (4-6) y taza aceptable (7-9). Para algunas combinaciones de temperatura y humedad relativa, la buena calificación de la bebida se mantuvo hasta después de un (1) año. La combinación de la humedad del grano entre el 10 y el 12% y temperaturas en el rango de 10 a 15°C, permitieron el mejor almacenamiento y la mejor conservación de la calidad.

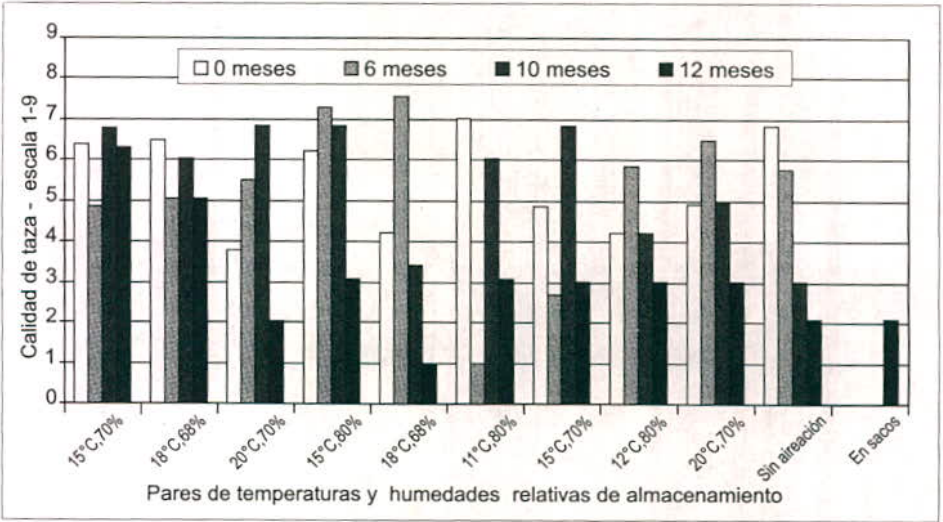


Figura 8. Calidad de la bebida de café, según las condiciones del aire enfriado mecánicamente, aire sin enfriar y café almacenado en sacos en forma convencional, según el tiempo de almacenamiento.

2.3.5. Conclusiones

Según las anteriores consideraciones se concluye que:

- El almacenamiento a granel en condiciones de aireación controlada mostró ventajas relacionadas con el porcentaje de grano decolorado, prueba de taza, contenido de humedad y población de microorganismos sobre el café almacenado en sacos, y sobre el silo sin aireación, en las condiciones ambientales que se desarrolló el experimento en Chinchiná (20,6°C de temperatura y 76% de humedad relativa).
- Para un **almacenamiento de hasta 1 año**, para garantizar la mínima pérdida de calidad, **se recomiendan dos combinaciones de temperatura y de humedad relativa, 15°C - 70% y 18°C - 80%.** El caudal específico de almacenamiento debe ser igual o superior a 1m³ /min.Ton.^{8,9}
- Para almacenar café pergamino seco a granel por un período máximo de 10 meses con una mínima pérdida de calidad, utilizando aire enfriado mecánicamente, se recomiendan las siguientes combinaciones de temperatura y de humedad relativa: 15°C - 70%, 18°C - 68%, 20°C - 70%, 15°C - 80% y 11°C - 80%.
- El café almacenado en sacos de fique en las condiciones normales de almacenamiento en sacos, se humedeció por encima del valor máximo recomendado para el almacenamiento (12%) y se decoloró por encima de los valores aceptados comercialmente. Las poblaciones de los microorganismos sobrepasaron los valores admisibles y como consecuencia, la calidad de la taza fue deficiente a partir de los 3 meses, en algunos casos.
- El criterio principal de manejo de las condiciones adecuadas de temperatura y humedad del aire, en el enfriamiento mecánico, lo constituyen las relaciones dinámicas de **presiones de vapor** en la superficie de los granos (que dependen de la temperatura del grano y de su humedad) y la presión de vapor del aire. Si los granos presentan temperaturas de 5°C o más, por encima de la temperatura ambiente, es posible practicar la aireación, aún con aire con humedades relativas de saturación (100%), sin que el café adsorba humedad. Este fenómeno se debe a que la presión de vapor en la superficie del grano es mayor que la presión de vapor del aire saturado.

⁸ Para calcular la presión y potencia necesarias se debe consultar la sección que presenta las relaciones de caudal y pérdida de presión estática por el paso del aire a través del café depositado a granel (Ver Sección 4.8.2)

⁹ En silos de gran diámetro el tiempo de permanencia de los granos fríos puede ser de más de un año, como se ha verificado en la planta de Silos de Bello, Antioquia. La explicación se da en términos térmicos, puesto que el pergamino seco es un elemento aislante térmico excelente, (conductividad térmica $k = 0,08$ w/m-°C y difusividad térmica $\alpha = 1,4$ E-7), (71).

37

ón controlada mostró ven-
do, prueba de taza, conte-
bre el café almacenado en
ambientales que se desa-
ratura y 76% de humedad

izar la mínima pérdida de
temperatura y de humedad
eficiente de almacenamiento

n período máximo de 10
o aire enfriado mecánica-
le temperatura y de hume-
-80°C - 80% y 11°C - 80%.

es normales de almacena-
 máximo recomendado para
los valores aceptados
los sobrepasaron los valo-
aza fue deficiente a partir

ecuadas de temperatura y
ituyen las relaciones diná-
anos (que dependen de la
de vapor del aire. Si los
ncima de la temperatura
con humedades relativas
d. Este fenómeno se debe
mayor que la presión de

consultar la sección que
stática por el paso del aire

los granos fríos puede ser
Silos de Bello, Antioquia.
el pergamino seco es un
rmica $k = 0,08 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ y

- Existe una tendencia a que el café se sobreseque ligeramente durante el período de enfriamiento, proceso que toma lugar en solo unas horas. Este inconveniente tiene solución mediante aireaciones posteriores utilizando aire con humedades altas, como las que ocurren en las horas nocturnas y en las primera horas de la mañana. Así se ha efectuado esta práctica por los técnicos de la planta de silos de ALMACAFÉ de Bello, Antioquia, en una batería de 60 silos de 30m de alto, 6m de diámetro con una capacidad de almacenamiento de 340ton de café pergamino seco por silo (Figura 4). En efecto, siguiendo las recomendaciones de aireación mecánica nocturna de Cenicafé, ha sido posible poner en practica comercialmente los sistemas de aireación, disminuyendo en promedio 4°C en las masas de café a granel almacenado en toda la batería de silos, con inmensas ventajas, en comparación con el sistema convencional de almacenamiento en sacos (76).
- Los resultados obtenidos en estas investigaciones son altamente satisfactorios y coinciden con logros similares obtenidos para todos los granos y leguminosas y para semillas, aptos para ser almacenados a granel con aireación mecánica. En particular, para café, así lo habían reportado o previsto varios investigadores, incluyendo los técnicos de Federacafé, antes de la construcción de los silos de Bello y otros investigadores como Stirling (168) y Teixeira *et al.* (170).

2.4. EFECTO DEL SECADO Y DEL ALMACENAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA SEMILLA DE CAFÉ (Var. COLOMBIA) ¹⁰

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia produce la totalidad de la semilla de la variedad Colombia, resistente a roya del cafeto, la almacena adecuadamente y la entrega a los comités departamentales de cafeteros, con el vigor necesario para que los agricultores puedan obtener nuevas plantas robustas y sanas.

Hasta el año de 1983, cuando hizo presencia la roya del café en Colombia, todas las semillas de café eran producidas directamente por los propios caficultores. En ese mismo momento, en el cual se comenzó la explotación comercial de la variedad Colombia, para obtener las semillas de las distintas variedades de café se efectuaban las operaciones de cosecha y de beneficio con el mayor cuidado, cosechando manualmente solo los mejores granos con énfasis en el uso manual en todas las operaciones de beneficio, se operaban las despulpadoras a menores revoluciones y se secaban los granos a la sombra.

A partir de 1983 la sección de Ingeniería Agrícola de Cenicafé, desarrolló la tecnología necesaria **para procesar masivamente la semilla de café**, que se comenzaba a producir en los campos especiales de propagación.

¹⁰ Preparado por Álvarez, G. J. y Roa G. Ingeniería Agrícola. Cenicafé.

Se modificaron los conceptos de beneficio convencional y se desarrollaron procesos modificados para despulpar, clasificar, lavar, transportar, secar y almacenar la semilla. En las secciones 2.5. y 3.9. se presenta la tecnología apropiada para lavar, transportar y desmucilaginar la semilla del café, utilizando ya sea motobombas semisumergidas con un sistema hidráulico de transporte y de recirculación de agua, y los desmucilaginales mecánicos.

En la presente sección se presentan los resultados más relevantes de la investigación realizada para mantener la calidad de la semilla durante el proceso del secado y de almacenamiento (70). Es de anotar que los resultados de esta investigación tuvieron una aplicación inmediata. En efecto, tan pronto se presentó el informe final con conclusiones contundentes sobre los mejores métodos para el sistema de secado y de almacenamiento, se decidió inmediatamente la adopción de las recomendaciones correspondientes, y así se ha logrado conservar la semilla en las condiciones ambientales del páramo de Letras en Caldas, con el vigor necesario para producir plantas normales, durante más de un año de almacenadas.

2.4.1. Efecto del secado en la viabilidad de la semilla de café

El daño por calentamiento de las semillas durante el secado origina pérdida de su viabilidad por destrucción de bandas celulares en regiones vitales del embrión; el daño térmico depende de la interacción de temperatura con el tiempo de exposición y el contenido de humedad de la semilla, es decir, altas humedades del grano con altas temperaturas durante tiempos prolongados, son condiciones desfavorables que originan pérdida de viabilidad de la semilla.

No obstante, al inicio de los procesos normales de secado y a pesar de la alta temperatura del aire, el grano está lejos de verse expuesto a esas condiciones debido a que el proceso de evaporación es refrigerante (Figura 107). De otro lado, el endospermo del café es semiceluloso y debido a las pérdidas de humedad a tasas de deshidratación elevadas, se puede contraer y estrangular el embrión. Se estima que los dos fenómenos, el de daño térmico y el daño físico al embrión puedan explicar, simultáneamente, el daño en la viabilidad de la semilla del café durante el proceso de secado con aire de temperaturas excesivas.

En la Figura 9 se observa el efecto del **daño térmico** por la temperatura del aire de secado en una población de semillas dispuestas en forma estática. Entre la primera y tercera hora de secado, a 50°C de temperatura del aire, el 43% de las semillas habían perdido su viabilidad. A la temperatura de secado de 45°C la semilla mantuvo su viabilidad por encima de 90% hasta las 10 horas de secado, detectándose a partir de ese instante reducción de la germinación, de tal manera que a las 20 horas el 76% de las semillas permanecían viables. Ninguna de estas temperaturas se podría utilizar para secar semillas en capas estáticas.

Ensayos posteriores del mismo tipo demostraron que la viabilidad de la semilla de café se mantenía por encima del 95%, cuando se utilizaron temperaturas del aire de

l y se desarrollaron proce-
ortar, secar y almacenar la
ogía apropiada para lavar,
ando ya sea motobombas
y de recirculación de agua,

relevantes de la investiga-
nte el proceso del secado y
dos de esta investigación
to se presentó el informe
nétodos para el sistema de
te la adopción de las reco-
ervar la semilla en las con-
on el vigor necesario para
nacenadas.

i de café

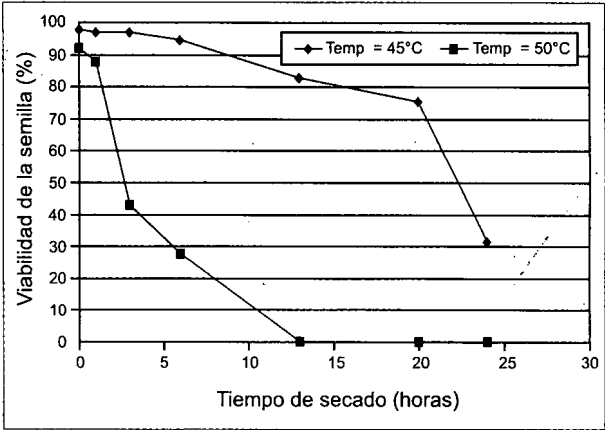
ado origina pérdida de su
es vitales del embrión; el
on el tiempo de exposición
hmedades del grano con
diciones desfavorables que

cado y a pesar de la alta
o a esas condiciones debi-
ura 107). De otro lado, el
idas de humedad a tasas de
el embrión. Se estima que
embrión puedan explicar,
el café durante el proceso

la temperatura del aire de
estática. Entre la primera
re, el 43% de las semillas
de 45°C la semilla mantu-
de secado, detectándose a
nera que a las 20 horas
de éstas temperaturas se

viabilidad de la semilla de
n temperaturas del aire de

Figura 9. Influencia de la tem-
peratura del aire de secado en la
viabilidad de la semilla de café
secada en capas delgadas.



secado de 38°C, o menores. No solamente se logró mantener la viabilidad de éstas semillas inmediatamente después del secado, sino durante su almacenamiento pro-
longado, como se verá en la siguiente sección.

2.4.2. Efecto del almacenamiento en la viabilidad de la semilla de café

Se realizaron 70 pruebas de almacenamiento comercial de semilla de café empacada en bolsas se polietileno herméticas, de 2kg de capacidad, en tres bodegas de almace-
namiento de ALMACAFÉ, en diferentes pisos térmicos, para conocer la viabilidad
según las condiciones de humedad del grano, de temperatura del aire de secado y con-
diciones ambientales de almacenamiento. Las condiciones de temperatura ambiente
promedio de las bodegas de almacenamiento se consignan en la Tabla 7.

En la Figura 10 se muestra la disminución típica de viabilidad de la semilla durante
el almacenamiento durante la serie de experimentos ejecutados; bajo las condicio-
nes del proceso anotadas se observa que la semilla almacenada durante 270 días (9
meses), mantuvieron en las bodegas del páramo de Letras (Caldas), una **viabilidad**
mayor al 95% y para Manizales una viabilidad mayor del 90%. La semilla almace-
nada en Chinchiná mantuvo su germinación alrededor del 85% hasta los 240 días,
momento en que bajó abruptamente hasta el 68% en solo un mes.

Tabla 7. Condiciones de almacenamiento de la semilla de café, en tres pisos térmi-
cos en la zona cafetera colombiana.

Piso Térmico	Promedio de temperatura °C
Alto de Letras	10,8
Manizales	19,7
Chinchiná	23,5

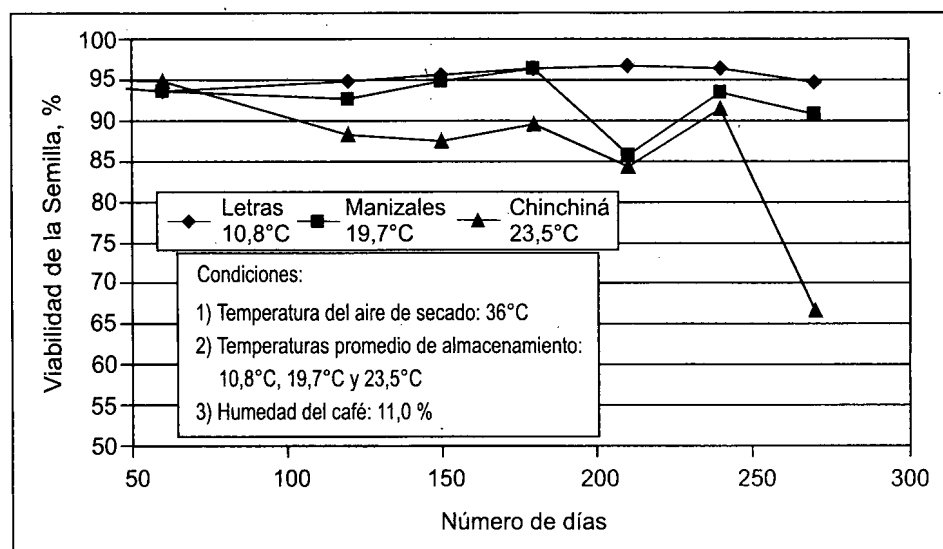


Figura 10. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento del café, durante su almacenamiento prolongado.

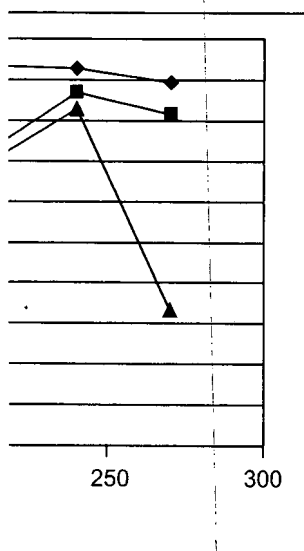
Se observaron comportamientos similares para otras condiciones de almacenamiento, variando las temperaturas del aire de secado. Las mejores condiciones para el secado y almacenamiento de la semilla para mantener su viabilidad comercial durante aproximadamente un 1 año, fueron: temperatura del aire de secado máxima de 38°C, contenido de humedad del café de 11 % y temperatura de almacenamiento de 11°C.

2.5. EFECTO DEL DESMUCILAGINADO MECÁNICO EN LA CALIDAD DE LA SEMILLA DE CAFÉ ¹¹

El daño de la semilla de café consiste en la pérdida de su función germinativa y ocurre frecuentemente en el proceso tradicional de beneficio por deficiencias en alguna de las etapas como el despulpado, el desmucilaginado o el lavado con bomba sumergible. Sierra (165, 166) estudió las operaciones de despulpado y lavado del café. El diseño mecánico apropiado de los sistemas mecánicos para evitar la influencia nociva de la percusión originada por las motobombas y las colisiones de los granos dentro de los ductos hidráulicos, se presentan en la sección 3.9.

Los equipos pueden originar granos de café trillados, mordidos y rayados, que afectan la viabilidad de la semilla y en algunos casos, se induce en el café una doble raíz o doble germinación del embrión. Para Mackay, citado por Sierra (165), algunos daños mecánicos causados al embrión tales como fractura y colapso, solo se notan después de haber germinado el grano y se manifiestan en anomalías

¹¹ Preparado por Álvarez G., J. Ingeniería Agrícola, Cenicafe .



afé, durante su almacenamiento

liciones de almacenamien-
res condiciones para el se-
bilidad comercial durante
e secado máxima de 38°C,
almacenamiento de 11°C.

ECÁNICO CAFÉ ¹¹

su función germinativa y
eficio por deficiencias en
ado o el lavado con bomba
e despulpado y lavado del
cánicos para evitar la in-
nbas y las colisiones de los
la sección 3.9.

mordidos y rayados, que
nduce en el café una doble
d por Sierra (165), algu-
ratura y colapso, solo se
fiestan en anomalías

afé .

como semillas separadas, tejidos cicatrizados, restricción de crecimiento de la planta, posición desigual de los cotiledones, raíces primarias e hipocotilos divididos o atrofiados y raíces atrofiadas, torcidas, con puntas en forma de rombo y de aspecto blando.

Es bien conocida la susceptibilidad de la semilla de café a la pérdida de la capacidad y vigor de germinar por el efecto de los daños mecánicos. Se ha demostrado que el exceso del manejo mecánico durante el transporte hidráulico con motobombas, puede provocar lesiones que disminuyen la viabilidad de la semilla por estar el embrión muy expuesto a la superficie del grano (166).

La bifurcación de la semilla consiste en la división de la raíz en dos ramales o en dos brazos que tienen forma de horquilla, situación que es corrientemente observada en el momento de conseguir “chapolas y fósforos”. Este fenómeno puede ser ocasionado por daños mecánicos y por sobredosis de productos químicos. Sierra (165) en su trabajo de evaluación de pérdida de calidad de la semilla de café durante el beneficio, encontró que las semillas que sufrieron daño mecánico en su almendra redujeron significativamente su capacidad germinativa. Las semillas rayadas por acción de la camisa en la despulpadora redujeron su capacidad germinativa desde 89,6% hasta un 50,5% y las semillas mordidas disminuyeron su capacidad germinativa de 89,6% hasta 40,4%.

Dadas las grandes ventajas del desmucilaginado mecánico y la gran conveniencia de procesar industrialmente las semillas de café producidas en los centros de producción de semillas de Federacafé, se efectuaron varios ensayos para investigar el posible daño a la semilla durante su procesamiento.

Se utilizaron en Cenicafe, Módulos BECOLSUB 600, 1000 y 3000 (Sección 3.10.6 y 3.14), siguiendo las recomendaciones de operación así: velocidad de la despulpadora de 160 rpm, velocidad del desmucilaginador de 860 rpm; relación agua - café pergamino seco de 0,8L/kg. Se realizaron pruebas en distintos días; en cada prueba se tomaba una muestra de 1kg al momento de ser despulpada y de la misma prueba se tomaba una muestra de 1kg ya desmucilaginada. Se seleccionaban granos de café con pergamino sano.

La viabilidad se midió a partir de la prueba de germinación que consistió en trillar manualmente los granos de café pergamino, desinfestarlos en una solución de 2,5g de Difolatán y 0,6g de Benlate por litro de agua donde se sumergieron por media hora. Se pusieron a germinar sobre papel húmedo colocado en una bandeja plástica puesta en la oscuridad, a temperatura ambiente por 35 días, al cabo de los cuales se realizó el conteo de las semillas que germinaron normalmente, (Figura 11). Las determinaciones de viabilidad se efectuaron a partir de dos repeticiones de la siembra de 50 semillas por bandeja y se expresaron como porcentaje de germinación.

Para determinar el daño por doble raíz y por raíz bifurcada, se contaron las semillas que presentaban uno u otro defecto en el mismo momento de realizar la lecturas

para germinación. En la Tabla 8 se muestran los promedios generales obtenidos de las distintas pruebas en cuanto a la viabilidad de la semilla de café, cuando es sometida a los tres tipos de BECOLSUB existentes. Para el modelo BECOLSUB 600 se realizaron 19 pruebas, para el BECOLSUB 1000 se hicieron 7 pruebas y para BECOLSUB 3000, 5 pruebas; en total se efectuaron 2.100 lecturas.

A partir de estos datos se observa que la **viabilidad de la semilla** expresada en porcentaje de germinación, fue muy alta en los tratamientos seleccionados: por despulpado (98,3%) y por desmucilaginado (98,9%), procedente del proceso BECOLSUB, lo que indica que la semilla puede ser procesada por este equipo en sus tres diferentes tamaños, con un resultado promedio de pérdidas de viabilidad de solo el 1,7 y 1,1%, respectivamente.

Respecto a la evaluación del daño por doble raíz por efecto del despulpado y del desmucilaginado en los tres modelos BECOLSUB existentes, utilizando las mismas muestras anteriores (Tabla 9) se observó como el tratamiento de despulpado para el BECOLSUB 600 registra daño hasta de 1,0% de las semillas, mientras que para los BECOLSUB 1000 y 3000 los daños son solo de 0,57 y 0,6 %, respectivamente, considerados como muy bajos.

Es común encontrar raíz bifurcada cuando la semilla se somete a excesos mecánicos, pero también por el mal uso de químicos en la preparación de la cama del germinador se puede inducir este desorden. Se evaluó el daño mecánico (raíz bifurcada) causado a la semilla al ser sometida al proceso BECOLSUB en sus tres diferentes modalidades. En la Tabla 10 se consignan los datos obtenidos.

En los tres tipos de módulos BECOLSUB el daño es del 0,25%, en promedio; el daño se aumenta por la acción del desmucilaginado para cada uno de los modelos de BECOLSUB, obteniéndose un promedio general de daño de 1,08%, lo que indica el poco efecto que esta tecnología causa en las semillas. Se concluye, por

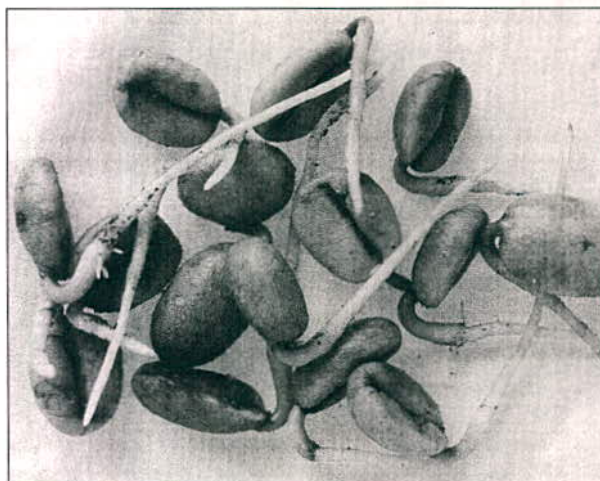


Figura 11. Germinación normal de las semillas de café obtenidas por desmucilaginado mecánico.

ios generales obtenidos de emilla de café, cuando es ra el modelo BECOLSUB 00 se hicieron 7 pruebas y on 2.100 lecturas.

e la semilla expresada en ientos seleccionados: por ocedente del proceso BE- ada por este equipo en sus pérddas de viabilidad de

ecto del despulpado y del ntes, utilizando las mismas ento de despulpado para el illas, mientras que para los / 0,6 %, respectivamente,

somete a excesos mecáni- eparación de la cama del 5. Daño mecánico (raíz o BECOLSUB en sus tres datos obtenidos.

el 0,25%, en promedio; el a cada uno de los modelos e daño de 1,08%, lo que emillas. Se concluye, por

Figura 11. Germinación normal e las semillas de café obtenidas or desmucilaginado mecánico.

Tabla 8. Promedios de los valores de germinación de la semilla obtenida en dife- rentes modelos BECOLSUB.

Tratamientos	BECOLSUB 600 % germinación	BECOLSUB 1000 % germinación	BECOLSUB 3000 % germinación	Promedios % germinación
Despulpado	96,7	99,4	98,8	98,3
Desmucilaginado	99,1	98,9	98,8	98,9

Tabla 9. Porcentaje de daño de doble raíz causado por diferentes modelos BECOLSUB utilizado para despulpar y desmucilaginar mecánicamente la semilla de café.

Tratamientos	BECOLSUB 600 %	BECOLSUB 1000 %	BECOLSUB 3000 %	Media %
Despulpado	1,0	0,57	0,6	0,72
Desmucilaginado	0,8	0,85	0,2	0,62

tanto, que la semilla de café puede ser procesada utilizando los módulos BECOL- SUB sin que ocurran disminuciones de viabilidad, ni pérdidas por doble raíz y raíz bifurcada mayores de un 2%.

Estos resultados indican claramente que el desmucilaginador efectúa un **delicado proceso mecánico al retirar el mucílago** del café, en especial, porque es bien sabido que el embrión del grano es externo y fácilmente susceptible de daño mecá- nico.

Generalmente se acepta que en el deterioro de la calidad del café lo primero que se pierde es su viabilidad y el vigor, aún se mantengan las excelentes calidades de su bebida.

Se entiende que el mismo daño observado depende del efecto mecánico del desmucilaginado el cual se debe principalmente a fuerzas cortantes producidas entre los fluidos y los granos, y no por fricción y colisiones entre ellos (Sección 3.10.2.).

Tabla 10. Porcentaje de raíz bifurcada causado por diferentes modelos BECOL- SUB utilizados para el despulpado y el desmucilaginado mecánico de la semilla de café.

Tratamientos	BECOLSUB 600 %	BECOLSUB 1000 %	BECOLSUB 3000 %	Media %
Despulpado	0,21	0,14	0,4	0,25
Desmucilaginado	0,63	1,43	1,2	1,08

Los resultados positivos de esta investigación han sido comprobados en la producción comercial de semillas con desmucilaginado mecánico de café durante seis años, en la Subestación de Cenicafé, el Rosario, Antioquia.

2.6. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAFÉ Y DEL MEDIO AMBIENTE ¹²

Para evitar el deterioro de la calidad del café en el beneficio convencional y al utilizar el desmucilaginado mecánico se deben seguir las siguientes recomendaciones generales:

- Mantener limpios los elementos, equipos y tanques del beneficiadero.
- Evitar retrasos en el despulpado.
- Iniciar el secado del café en el menor tiempo posible; lo ideal es comenzar inmediatamente se cosecha. El café es un producto perecible y su deterioro se inicia a las pocas horas de cosechado.
- No mezclar cafés de diferentes días durante la fermentación y evitar sobrefermentaciones.
- Hay que tener en cuenta que la fermentación mencionada en el proceso del beneficio del café, se refiere solamente a su efecto en el mucílago y se realiza en el sistema de beneficio tradicional sólo para facilitar su lavado. El grano no debe fermentarse. La fermentación de los granos ocurre si se dejan durante más de un día sin someterlos al secado. El grano fermentado es un defecto que puede anular su valor comercial.
- Se deben beneficiar sólo granos maduros; los granos verdes dan acidez astringente indeseable; los granos sobremaduros ocasionan sabores agrios y los granos negros sabor acre y carbonoso.
- Si se utiliza el desmucilaginado mecánico no deben procesarse granos verdes, ni recuperarse granos guayabas viejos. El desmucilaginado mecánico permite, en forma general, eliminar parte de los granos negros y deteriorados triturándolos y evacuándolos por la malla troquelada. De otra parte, la mayor parte de los granos verdes resultan trillados debido a la falta de mucílago y pueden retirarse fácilmente mediante zarandas planas, después de secos.
- No deben repasarse cafés guayabas de otros días de cosecha, debido a que la larga permanencia del grano con la pulpa origina pergamino manchado y propicia sabores indeseables en la bebida.

¹² Preparado por Puerta, G. I. y Oliveros, T., C. E. Química Industrial e Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

comprobados en la producción mecánica de café durante seis años.

SERVACIÓN MEDIO AMBIENTE ¹²

beneficio convencional y al siguientes recomendacio-

el beneficiadero.

lo ideal es comenzar inmediatamente y su deterioro se inicia a

a fermentación y evitar

ionada en el proceso del mucílago y se realiza en un lavado. El grano no debe se dejan durante más de un es un defecto que puede

verdes dan acidez astringentes y sabores agrios y los granos

procesarse granos verdes, ni lavado mecánico permite, en deteriorados triturándolos y la mayor parte de los granos o y pueden retirarse fácilmente.

cosecha, debido a que la mucílago manchado y propicia

nica Industrial e Ingeniería

- Es necesario verificar que haya sido retirado totalmente el mucílago para evitar la presencia de pergamino manchado y la bebida producida tenga sabor agrio.
- Al lavar el café se debe utilizar agua limpia en la mínima cantidad posible, para conservar el medio ambiente y la calidad del café.
- El secado debe comenzarse inmediatamente después del lavado. No se recomienda amontonar cafés con diferentes humedades. Es importante controlar la humedad final del café pergamino para que no supere el 12% ni se sobreseque por debajo del 10%, en todas las secciones del secador.
- Debe almacenarse el café en lugares secos y a temperaturas moderadas (65% a 70% de humedad relativa, 10 a 12°C); así se reduce al máximo la acción metabólica, se evita la aparición de hongos y toxinas y se puede mantener la germinación hasta por un año. El lugar de almacenamiento de café debe estar libre de reactivos químicos, fertilizantes, concentrados para animales, combustibles o cualquier otro producto que expida olores que puedan ser absorbidos por el café.

26

CAPÍTULO 3

Beneficio Ecológico del Café



BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ

El beneficio ecológico, como lo define y promueve Cenicafé, consta de varios elementos o componentes. Para que el concepto de beneficio ecológico sea exitoso, todos sus elementos deben estar proyectados, instalados y operados de acuerdo a especificaciones técnicas estrictas, ya que es fácil perder todo el concepto ecológico y de calidad si no se efectúan cada una de las operaciones siguiendo las especificaciones técnicas, con precisión. En general se recomienda que las personas encargadas de proyectar y construir todas las obras y delinear las operaciones, sean técnicos especializados.

Como el beneficio ecológico del café por vía húmeda puede ser un proceso continuo (a excepción del secado), que consta de varias etapas unitarias para transformar la cereza del café en café pergamino seco, se hace necesario el dimensionamiento estimando de manera adecuada las capacidades de cada uno de los procesos y disponer de sistemas de transporte adecuados para llevar, en primer lugar, la materia prima desde los lugares de cosecha hasta el beneficiadero y transportar, en segundo lugar, el café en sus diferentes estados y también los subproductos, de una etapa a otra, dentro del beneficiadero.

Para realizar el transporte de forma que el impacto ambiental sea mínimo, se requiere:

- Disminuir al mínimo los requerimientos de agua o eliminarla, si es posible, utilizando transportadores por gravedad o mecánicos.
- Recircular el agua estrictamente necesaria para el transporte, en caso de que el uso de ésta resulte indispensable, sin dejarla descomponer para que no altere la calidad del café.
- Evitar los daños al ecosistema, como por ejemplo, los causados al suelo en la construcción de carreteras dentro de las fincas.

3.1. MANEJO DEL CAFÉ EN CEREZA ¹³

El café debe ser recolectado con el mayor cuidado. En particular, se recomienda recolectar solamente los **granos maduros** en forma oportuna, ejecutando los pases

¹³ Preparado por Sanz, U., J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

QR

BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ

El beneficio ecológico, como lo define y promueve Cenicafé, consta de varios elementos o componentes. Para que el concepto de beneficio ecológico sea exitoso, todos sus elementos deben estar proyectados, instalados y operados de acuerdo a especificaciones técnicas estrictas, ya que es fácil perder todo el concepto ecológico y de calidad si no se efectúan cada una de las operaciones siguiendo las especificaciones técnicas, con precisión. En general se recomienda que las personas encargadas de proyectar y construir todas las obras y delinear las operaciones, sean técnicos especializados.

Como el beneficio ecológico del café por vía húmeda puede ser un proceso continuo (a excepción del secado), que consta de varias etapas unitarias para transformar la cereza del café en café pergamino seco, se hace necesario el dimensionamiento estimando de manera adecuada las capacidades de cada uno de los procesos y disponer de sistemas de transporte adecuados para llevar, en primer lugar, la materia prima desde los lugares de cosecha hasta el beneficiadero y transportar, en segundo lugar, el café en sus diferentes estados y también los subproductos, de una etapa a otra, dentro del beneficiadero.

Para realizar el transporte de forma que el impacto ambiental sea mínimo, se requiere:

- Disminuir al mínimo los requerimientos de agua o eliminarla, si es posible, utilizando transportadores por gravedad o mecánicos.
- Recircular el agua estrictamente necesaria para el transporte, en caso de que el uso de ésta resulte indispensable, sin dejarla descomponer para que no altere la calidad del café.
- Evitar los daños al ecosistema, como por ejemplo, los causados al suelo en la construcción de carreteras dentro de las fincas.

3.1. MANEJO DEL CAFÉ EN CEREZA ¹³

El café debe ser recolectado con el mayor cuidado. En particular, se recomienda recolectar solamente los **granos maduros** en forma oportuna, ejecutando los pases

¹³ Preparado por Sanz, U., J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

necesarios y evitando quebrar las ramas. Recientemente, FEDERACAFÉ ha recomendado incrementar el número de pases en la recolección del café para evitar al máximo la permanencia innecesaria de frutos maduros en el árbol, que sirven de alimento y de sustrato para la reproducción de la broca del café.

Debe planearse la cosecha diaria de manera tal que tan pronto se termine, se pueda iniciar lo más rápido posible el beneficio. **El café en cereza es un fruto perecedero que se deteriora rápidamente; el método más apropiado y económico para detener el deterioro consiste en disminuir su humedad mediante el secado.**

3.1.1. Transporte del café cereza del campo al beneficiadero

El transporte del café cereza al beneficiadero puede hacerse de diferentes maneras: en el hombro de los recolectores, en el lomo de bestias (ganado mular o caballar), en automotores de diferentes capacidades, en cafeductos, y utilizando cables aéreos de gravedad o accionados por motores.

3.1.1.1. Transporte del café cereza por cafeductos

La contaminación de las aguas puede iniciarse en la etapa de transporte del café cereza desde el cultivo al beneficiadero, si se utilizan **cafeductos**,¹⁴ práctica utilizada en algunas regiones de Colombia.

Cenicafé y el Comité de Cafeteros de Antioquia, realizaron estudios para evaluar ésta técnica y posiblemente, contribuir a la disminución de los consumos de agua y de su contaminación. Se realizó una investigación con el fin de determinar las cantidades de agua mínimas para transportar café cereza por cafeductos (128), utilizando diferentes grados de inclinación de la tubería PVC sanitaria: 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 26 y 28° y distintos diámetros, 7,62, 10,16 y 15,24cm (3, 4 y 6 pulgadas). Cada prueba se repitió tres veces.

Durante la investigación se encontraron las relaciones que determinan las capacidades de transporte y en particular, se demostró que con inclinaciones entre 2 y 20°, con respecto a la horizontal, la capacidad de transporte es independiente del diámetro de la tubería utilizada en el cafeducto y que el criterio de selección de un diámetro mayor, depende de la cantidad de impurezas, livianas y pesadas que pueda poseer el café cereza recolectado. Para las inclinaciones de 25, 26 y 28° se observó que con el aumento del diámetro aumenta la capacidad de transporte.

¹⁴ **Cafeductos** son sistemas de transporte del café en cereza dentro de tuberías cerradas de PVC, con ayuda del agua y de la gravedad proporcionada naturalmente por las pendientes del terreno. En estos sistemas, el agua se contamina sensiblemente y no se recircula, por las dificultades técnicas y los altos costos.

100

3.1.1.2. Transporte del café cereza por cable aéreo de gravedad

Los transportadores por cable aéreo de gravedad son una alternativa ecológica y de reducción al esfuerzo humano en el transporte motorizado o humano, de sacos de 60kg en zonas de ladera, donde normalmente los suelos se presentan húmedos y demasiado lisos. El transportador por **cable aéreo de gravedad** consiste en un cable de acero (Figura 12), apoyado en dos soportes, sobre el cual se mueve una carga desde un punto elevado hasta un punto ubicado en un nivel inferior, utilizando la energía potencial por la diferencia de alturas.

Con el fin de determinar los parámetros que gobiernan este tipo de transportadores para movilizar bultos de café cereza colgados de un dispositivo polea-gancho, se fabricó en Cenicafé (126) un banco de pruebas consistente de un cable suspendido entre dos torres de acero, al cual se podía variar su pendiente entre 5 y 20% y las flechas máximas entre el 4 y el 8%.

En los transportadores de cable aéreo por gravedad se define como **cuerda** (C), a la longitud de la recta que une los puntos de carga y descarga; **pendiente** (m), a la relación que existe entre la distancia vertical (Y) y la distancia horizontal (X) entre los puntos de carga y descarga, expresada en porcentaje (%); **deflexión** (f), a la distancia vertical que existe entre un punto del cable y la cuerda; y, **flecha máxima** (y), a la relación que existe entre la deflexión máxima y la cuerda, expresada en porcentaje (%).

La investigación consistió en determinar las mejores combinaciones de flechas y pendientes que no requirieran dispositivos de frenado en la descarga, utilizando dos tipos de cojinetes en las poleas: bujes en bronce fosforado y rodamientos rígidos de bolas. Con pendientes entre 10 y 12,5% y flechas de 4 y 5%, la polea de bujes en bronce fosforado tuvo excelente desempeño transportando sacos de 60kg de café cereza. Con pendientes superiores al 15% se requiere de dispositivos de frenado en la descarga. Con la misma carga y la misma polea, las flechas de 6 y 8% no mostraron características recomendables por la presencia de ondas que evitaron la estabilidad del sistema de transporte.

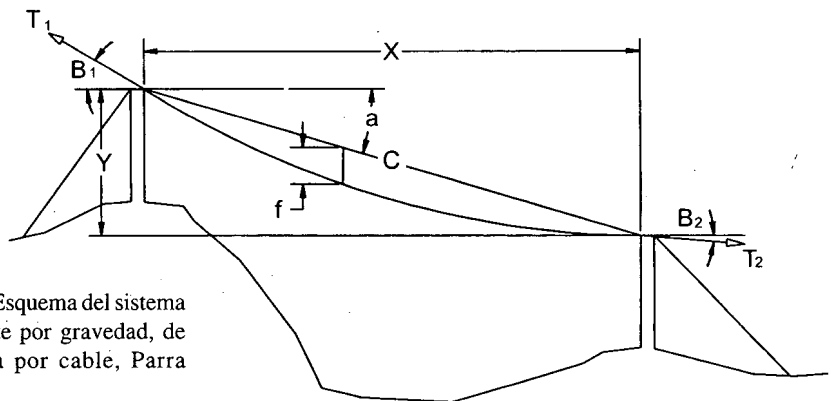


Figura 12. Esquema del sistema de transporte por gravedad, de café cereza por cable, Parra (125).

Cuando se utilizó una polea con rodamientos rígidos de bolas y carga de 60kg de café cereza, se hizo necesario el uso de dispositivos de frenado en todas las combinaciones; para lograr la velocidad cero en el lugar de descarga, con este tipo de poleas, se propusieron flechas menores que la mínima estudiada (4%). Con base en los resultados obtenidos, se recomienda que para el transporte por cable aéreo de gravedad se debe:

- Realizar un plano topográfico detallado y seleccionar la altura de las dos torres.
- Seleccionar adecuadamente el cable.
- Diseñar las estructuras que soportan el cable.

El diámetro mínimo de cables de acero para transportadores de café cereza por cable aéreo de gravedad, en las condiciones que se enumeraron, debe ser de 12,70mm (1/2") para longitudes hasta 300m. Por cada 120m adicionales, deben agregarse 3,17mm (1/8").

Las torres que sostienen el cable deben diseñarse a flexo-compresión, debido a que las tensiones máximas en el cable T_1 y T_2 tienen componentes verticales y horizontales. Parra (126) determinó en su estudio las ecuaciones necesarias para el adecuado diseño.

3.1.1.3. Transporte del café cereza por cable aéreo motorizado

De igual forma que el sistema de transporte por gravedad, y con el mismo objetivo ecológico y de mitigar el esfuerzo humano, en Cenicafe se diseñó y construyó un transportador mecánico de café cereza por cable aéreo (129) para el transporte de seis sacos de café de 60kg mediante tracción, en una vagoneta metálica desde un punto inferior a otro de mayor altura. El proyecto de transporte por cable incluyó trayectos rectos y curvos. En ese estudio se definieron todas las ecuaciones de diseño de las estructuras, de los cables, de los apoyos mecánicos y en general, de todos los elementos importantes del sistema.

3.1.2. Transporte de café cereza por gravedad dentro del beneficiadero

El transporte por gravedad es un sistema ecológico, y en muchas oportunidades, el más sencillo y económico. No obstante, algunas veces existen muy buenas infraestructuras antiguas, ya construidas, o el café se recibe portando objetos duros como piedras y metálicos, y resulta impracticable modificar los sistemas para poder utilizar la gravedad como medio de transporte, por el número y complejidad de las obras civiles necesarias, o por el daño que se le ocasiona a los equipos.

El transporte del café por gravedad exige algunos requerimientos técnicos especiales, relacionados con las propiedades físicas del café y de la superficie con que estén en contacto. Para garantizar de que se utilice transporte por gravedad sin problemas de represamiento del material, se obtuvieron los **ángulos de desliza-**

miento natural del café en diferentes estados (116), sobre diferentes superficies comúnmente utilizadas en la construcción de beneficiaderos. En la Tabla 11 se presentan los resultados.

3.1.3. Tolva seca para la recepción del café cereza

Para el mejor control de la operación global del beneficiadero, de la calidad de la materia prima y del café obtenido, y para poder calcular con propiedad el rendimiento (Capítulo 5) es muy importante pesar el café cereza previamente caracterizado, individualizando las medidas según los lotes de donde proceda, antes de iniciar y después de terminar su transformación.

Las tolvas (Figura 13), pueden ser construidas en madera, o en madera recubierta por láminas de aluminio. El ángulo formado entre sus paredes y el plano horizontal (el piso) debe de ser de 45 a 50° o sea, tener una pendiente igual o superior al 100%. Esta pendiente también se debe mantener en los ductos que conducen las cerezas a las despulpadoras, especialmente en los casos de que el recibo se encuentra fuera del beneficiadero, para aprovechar la gravedad. En estas tolvas se puede recibir el café transportado en sacos o a granel. Si es a granel se debe disponer de elementos

Tabla 11. Ángulos de deslizamiento en grados, para el café en diferentes estados y sobre distintas superficies*

Superficie	Estado del café				
	Cereza	Despulpado	Lavado	Pergamino seco	Almendra
Madera cepillada con fibra perpendicular al flujo	33,0	30,1	50,4	21,3	24,2
Madera cepillada con fibra paralela al flujo	32,2	33,8	47,2	24,2	26,6
Madera tosca con fibra perpendicular al flujo	36,5	38,0	51,3	50,2	29,7
Madera tosca con fibra paralela al flujo	37,2	38,0	50,2	52,4	25,2
Tubería PVC de 6"	26,1	15,1	31,0	19,8	18,8
Metal	31,8	16,7	33,8	29,2	21,8
Alfagrés	37,2	17,2	42,6	45,6	31,8
Concreto	28,8	35,8	49,2	57,2	45,0
Mayólica	31,8	19,8	41,3	44,1	29,7

* Para efectos prácticos, los datos obtenidos de la Tabla 11 deben multiplicarse por un factor empírico que varía entre 1,20 y 1,50 dependiendo de lo crítico de la aplicación; por ejemplo, para garantizar la descarga completa de las tolvas incluyendo el material que se encuentra en las aristas, el factor debe ser del orden de 1,40; para transporte en toboganes cortos (hasta 2m), del orden de 1,25; para toboganes medianos (entre 2 y 8m), del orden de 1,35; y para toboganes largos (entre 8 y 15m), del orden de 1,50. Adicionalmente se han usado con éxito toboganes metálicos para la descarga por gravedad de pulpa hasta las fosas, con una inclinación de 45°.



Figura 13. Tolva seca para la recepción del café cereza.

facilitadores para la descarga de las cerezas desde un vehículo (camión, volqueta, etc.) a la tolva. El ducto de descarga de la tolva seca puede construirse en forma circular, utilizando un tubo de 6 pulgadas de diámetro, o en forma cuadrada, de 20 centímetros de lado. El ducto debe disponer de una compuerta o guillotina para controlar manualmente el flujo del grano.

Es altamente deseable que la tolva que recibe el café cereza (cc) (Figura 41, parte superior) y lo alimenta a las despulpadoras, funcione completamente sin agua, de forma que el despulpado pueda ser efectuado en la misma forma. La forma más sencilla y la más recomendada para los pequeños caficultores es la de utilizar la tolva seca (Figura 13), en la cual se depositan las cerezas sin agua, previo el control para detectar objetos duros en el café.

En fincas con producciones inferiores a los 3.750kg (300@) de café pergamino seco al año, el recibo se puede efectuar en la tolva de la despulpadora, a la cual se le aumenta frecuentemente su capacidad prologándole las paredes, mediante tablas de madera o láminas metálicas. Normalmente se llena la tolva con el café y se dejan en espera los bultos restantes.

La **capacidad de la tolva** se calcula aproximadamente para el 70% del día pico. Generalmente se construyen en forma de tronco de pirámide invertida, acopladas a un ducto superior (paralelepípedo) conformado por las paredes de la tolva, de sección rectangular, y se localizan por encima de las despulpadoras, en un piso superior o fuera del edificio del beneficiadero.

Las dimensiones de una o varias tolvas (N) pueden determinarse con la ayuda de las Tablas 12 y 13, que presentan el volumen total (V) expresado en metros cúbicos, con alturas totales de 1,2m y 1,4m, en función de las longitudes de las tolvas (A) y (L) expresadas en metros. Si la tolva posee un volumen adicional en forma de paralelepípedo, se debe aumentar este volumen simplemente multiplicando la sección por la altura.

Tabla 12. Dimensiones y capacidad de tolvas de 1,2m de altura, para el recibo de café en cereza.

N=1			N=2			N=3			N=4			N=5			N=N		
A	L	V	A	L	V	A	L	V	A	L	V	A	L	V	A	L	V
0,4	1,0	0,96	2,0	1,93	3,0	2,89	4,0	3,86	5,0	4,8	2,0+(N-2)	0,96+(N-1)x0,965					
0,5	1,2	1,29	2,2	2,4	3,2	3,52	4,2	4,64	5,2	5,8	2,2+(N-2)	1,29+(N-1)x1,115					
0,6	1,4	1,63	2,4	2,87	3,4	4,12	4,4	5,36	5,4	6,6	2,4+(N-2)	1,63+(N-1)x1,245					
0,7	1,6	1,96	2,6	3,31	3,6	4,67	4,6	6,02	5,6	7,4	2,6+(N-2)	1,96+(N-1)x1,355					
0,8	1,8	2,26	2,8	3,71	3,8	5,15	4,8	6,60	5,8	8,0	2,8+(N-2)	2,26+(N-1)x1,455					
0,9	2,0	2,53	3,0	4,04	4,0	5,56	5,0	7,07	6,0	8,6	3,0+(N-2)	2,53+(N-1)x1,515					
1,0	2,2	2,74	3,2	4,30	4,2	5,87	5,2	7,43	6,2	9,0	3,2+(N-2)	2,74+(N-1)x1,565					
1,1	2,4	2,87	3,4	4,47	4,4	6,06	5,4	7,66	6,4	9,3	3,4+(N-2)	2,87+(N-1)x1,595					
1,2	2,6	2,92	3,6	4,53	4,6	6,13	5,6	7,74	6,6	9,3	3,6+(N-2)	2,92+(N-1)x1,605					

N = número de tolvas.
A = ancho de la tolva, (m).
L = largo de la tolva, (m).
V = volumen de la tolva, (m³).

Tabla 13. Dimensiones y capacidad de tolvas de 1,4m de altura para café cereza.

N=1			N=2			N=3			N=4			N=5			N=N		
A	L	V	A	L	V	A	L	V	A	L	V	A	L	V	A	L	V
0,4	1,0	1,2	2,0	2,3	3,0	3,5	4,0	4,66	5,0	5,8	2,0+(N-2)	1,16+(N-1)1,165					
0,5	1,2	1,6	2,2	2,9	3,2	4,3	4,2	5,64	5,2	7,0	2,2+(N-2)	1,58+(N-1)1,355					
0,6	1,4	2,0	2,4	3,6	3,4	5,1	4,4	6,59	5,4	8,1	2,4+(N-2)	2,02+(N-1)1,525					
0,7	1,6	2,5	2,6	4,1	3,6	5,3	4,6	6,98	5,6	8,7	2,6+(N-2)	2,46+(N-1)1,675					
0,8	1,8	2,9	2,8	4,2	3,8	6,5	4,8	8,32	5,8	10,1	2,8+(N-2)	2,91+(N-1)1,805					
0,9	2,0	3,3	3,0	5,2	4,0	7,2	5,0	9,07	6,0	11,0	3,0+(N-2)	3,33+(N-1)1,915					
1,0	2,2	3,7	3,2	5,7	4,2	7,7	5,2	9,72	6,2	11,7	3,2+(N-2)	3,70+(N-1)2,005					
1,1	2,4	4,0	3,4	6,1	4,4	8,2	5,4	10,3	6,4	12,3	3,4+(N-2)	4,03+(N-1)2,075					
1,2	2,6	4,3	3,6	6,4	4,6	8,5	5,6	10,7	6,6	12,8	3,6+(N-2)	4,20+(N-1)2,125					
1,3	2,8	4,4	3,8	6,9	4,8	8,8	5,8	10,9	6,8	13,1	3,8+(N-2)	4,44+(N-1)2,155					
1,4	3,0	4,5	4,0	6,7	5,0	8,8	6,0	11,0	7,0	13,2	4,0+(N-2)	4,49+(N-1)2,165					

N = número de tolvas.
A = ancho de la tolva, (m).
L = largo de la tolva, (m).
V = volumen de la tolva, (m³).

Para instalaciones grandes, en las cuales se deben utilizar equipos mecánicos, se recomienda el uso del tornillo sinfín (Sección 3.13.), bandas, o cualquier medio no hidráulico. De esta forma se garantiza que la pulpa no presente agua adicional y retenga la máxima cantidad de mucílago (Sección 3.17.).

Como segunda opción, en casos de muy difícil aplicación del transporte mecánico para beneficiaderos grandes o para modificar beneficiaderos existentes de gran capacidad, o cuando la calidad del café no es la mejor, se puede considerar el **manejo hidráulico adecuado** de las cerezas para transportar el café cereza y retirar los objetos pesados y los flotes, incluyendo los granos excesivamente brocados. Para estos casos, el uso del agua puede ser lo más recomendable desde el punto de vista económico, dadas las grandes ventajas particulares que representa el transporte, la

clasificación y la eliminación de piedras y elementos duros utilizando este medio. En estos casos es indispensable la **recirculación del agua** en la operación diaria y el diseño adecuado de los tanques, ductos de transporte y del sistema hidráulico, en general. La cantidad de agua necesaria en estos casos no debe sobrepasar $0,4\text{m}^3$. Si se manejan grandes cantidades de café cereza el consumo específico de agua puede considerarse completamente despreciable. El agua utilizada en un día no puede reutilizarse al día siguiente.

Es indispensable, en éste segundo caso, retirar completamente el agua que escurre en la misma tolva de alimentación del café cereza mediante uno o dos pisos de fondo perforado, (Figura 74) antes del despulpado. Este es el procedimiento que se utiliza en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma (CBEA) (Sección 3.19.). De esta forma se minimiza drásticamente el uso de agua se clasifica el café y se retiran los objetos pesados y leves hidráulicamente y la mayoría de los granos altamente brocados. En este sistema se incluye un canal semisumergido, con muy buenos resultados.

Para que el segundo procedimiento funcione adecuadamente es necesario que antes de circular el agua, la tolva o tolvas de alimentación de la(s) despulpadora(s) siempre debe(n) encontrarse llena(s) de café cereza. De esta forma el agua tiene el menor espacio libre para desplazarse y entra directamente en la masa de café en donde se **disipa su energía** al ser forzada a pasar por el espacio intergranular de las cerezas, hasta donde descansan en el fondo de lámina perforada. De esta forma se logra una buena separación; la adición de una segunda etapa con doble fondo, en serie, complementa el retiro de prácticamente toda el agua presente en el café. Es necesario hacer un mantenimiento y limpieza periódica para evitar que se obstruyan los pisos perforados.

Una alternativa para el manejo mecanizado del café en cereza, consecuente con los modernos desarrollos de la tecnología BECOLSUB, y para eliminar la construcción convencional del segundo piso para lograr el transporte por gravedad, consiste en la utilización de transportadores de paletas para alimentar la tolva de la despulpadora, como se indica en la Figura 14. Adicionalmente, se estudian en Cenicafé métodos alternativos, incluyendo los electrónicos (1), **para retirar los objetos duros, como piedras y objetos metálicos del café en cereza, antes de entrar a la despulpadora.**

3.2. DESPULPADO DEL CAFÉ ¹⁵

Entre la pulpa y el pergamino de los granos de café maduros se encuentra el mucílago, un líquido gelatinoso con viscosidad y humedad apropiados para que mediante la acción de fuerzas que presionan el grano en las despulpadoras, ocurra el despulpado que separa los granos de café de la pulpa, sin adición de agua.

¹⁵ Preparado por Álvarez, G. J., y Oliveros, T. C. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

Figura 14. Transportador de alimentación de dulcos BECOLSUB, paración d

El uso de mas de do sin : esta técnica

Estudi café s vertic calida sin d

Para rom tran zas fici

utilizando este medio.
la operación diaria y
sistema hidráulico, en
sobrepasar 0,4m³. Si
específico de agua puede
la en un día no puede

nte el agua que escurre
nte uno o dos pisos de
el procedimiento que se
BEA) (Sección 3.19.).
e clasifica el café y se
mayoría de los granos
nisumergido, con muy

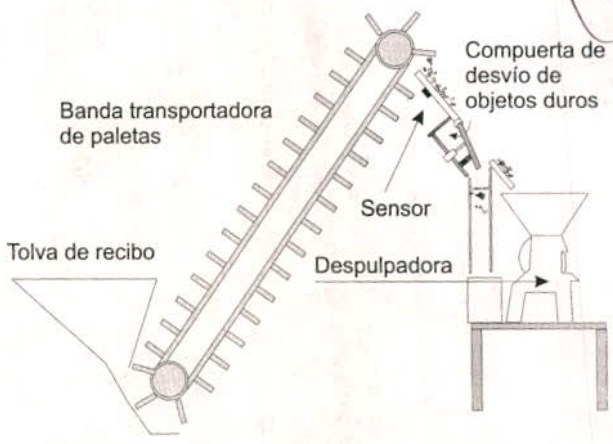
e es necesario que antes
) despulpadora(s) siem-
forma el agua tiene el
e la masa de café en
acido intergranular de las
forada. De esta forma se
apa con doble fondo, en
a presente en el café. Es
a evitar que se obstruyan

reza, consecuente con los
eliminar la construcción
r gravedad, consiste en la
tolva de la despulpadora,
ian en Cenicafe métodos
los objetos duros, como
antes de entrar a la

uros se encuentra el mucí-
ropiados para que median-
despulpadoras, ocurra el
n adición de agua.

ría Agrícola, Cenicafe.

Figura 14. Utilización de trans-
portador de paletas para alimen-
tación de despulpadoras (inclu-
yendo las que conforman los mó-
dulos BECOLSUB) y posible se-
paración de objetos duros, me-
diante captación de señales elec-
trónicas.



El uso de agua en el proceso de despulpado se consideraba necesario en los siste-
mas de beneficio convencionales, para obtener café de buena calidad. El despulpa-
do sin agua era practicado por algunos pequeños caficultores en Colombia, pero
esta técnica era considerada propia del atraso y carencia de los mínimos requeri-
mientos técnicos necesarios para el adecuado beneficio del café.

Estudios realizados en Cenicafe (3), comprobaron la posibilidad de **despulpar el
café sin agua** (Figura 15), utilizando las despulpadoras de cilindro horizontal y una
vertical (modelo PENAGOS 255C), sin que se afecte la capacidad del proceso y la
calidad de los granos despulpados, en las cuatro variables: pulpa en el grano, grano
sin despulpar, grano trillado y grano mordido.

Para liberar a los granos de su envoltura exterior (pericarpio o pulpa) es necesario
romper las fibras que la conforman mediante esfuerzos de tensión (longitudinales y
transversales) y de cizallamiento. Estos esfuerzos se generan al comprimir las cere-
zas en el espacio conformado por una placa fija (denominada pechero) y una super-
ficie móvil que puede ser la camisa de un cilindro o el diente de un disco.



Figura 15. Despulpadoras de eje
horizontal, operadas sin agua.

Los canales del pechero, fuera de propiciar la separación de los granos de la pulpa, se disponen de forma inclinada para permitir el transporte hacia los orificios de salida y simultáneamente, el retiro de la pulpa del flujo de los granos por el efecto de arrastre de los resaltos afilados de la camisa o dientes de los discos y por la acción de la fuerza centrífuga suministrada por la rotación del cilindro

El proceso de despulpado de la cereza madura se presenta en una curva típica de fuerza aplicada vs. deformación (Figura 16). En este caso la ruptura de la pulpa se inicia cuando la carga aplicada es de 60 Newton (N) y la deformación de alrededor de 2,5mm (punto A). El proceso de ruptura de la pulpa continúa, las semillas comienzan a ser expulsadas y se da inicio a un nuevo proceso de compresión de las semillas en el cual se alcanzan valores de carga próximos a 80N y deformación de 4mm (punto B). El **proceso de compresión** puede causar en las semillas, especialmente en las de gran tamaño, deformaciones superiores a las que éstas pueden soportar sin sufrir daños estructurales (1,0mm) y que se reflejan al final del proceso de beneficio en los granos aplastados, veteados y decolorados, entre otros.

Las cerezas verdes son materiales mas rígidos que ofrecen gran resistencia al despulpado y consecuentemente, pueden no ser despulpadas y soportar cargas superiores a 200N, como se muestra en la Figura 17. Un alto porcentaje de estos materiales resulta con **daño mecánico** al pasar por la despulpadora. Los granos verdes y secos presentes en la masa de café cereza contribuyen a incrementar notoriamente la potencia requerida para accionar las despulpadoras.

Un aporte de importancia para la práctica del beneficio ecológico, por parte del Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia y la Empresa Privada de ese departamento, es el desarrollo de una **despulpadora de disco** (Figura 49) que trabaja sin agua. Si se utiliza este equipo, se puede permitir la presencia de algunos objetos duros en el café cereza depositado en la tolva seca, principalmente piedras, que son triturados sin causar daños apreciables a los discos. No es este el caso de las despulpadoras de camisa horizontal tradicional, que son muy sensibles a los daños por presencia de los objetos duros.

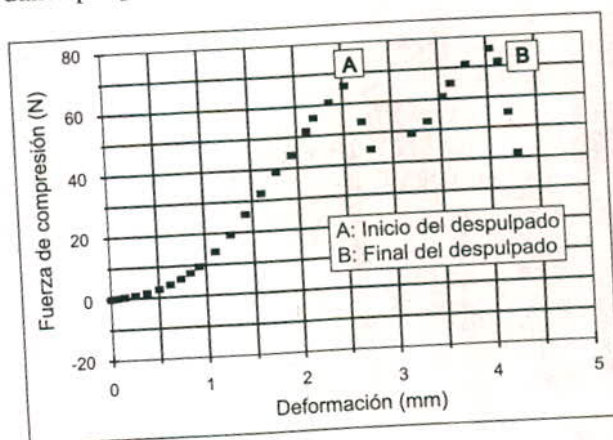


Figura 16. Comportamiento de una cereza madura de café sometida a compresión entre placas paralelas.

os granos de la pulpa, hacia los orificios de los granos por el efecto de los discos y por la el cilindro

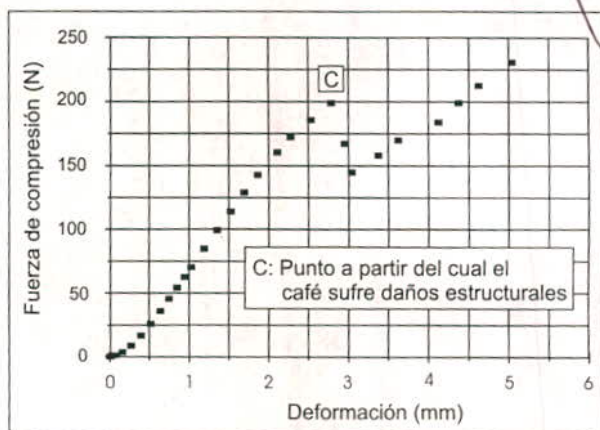
en una curva típica de ruptura de la pulpa se formación de alrededor continúa, las semillas o de compresión de las 80N y deformación de las semillas, especialmente las que éstas pueden sean al final del proceso los, entre otros.

gran resistencia al des- y soportar cargas super- centaje de estos mate- ra. Los granos verdes y tr- entar notoriamente

ecológico, por parte del Empresa Privada de ese disco (Figura 49) que la presencia de algunos principalmente piedras, os. No es este el caso de son muy sensibles a los

Figura 16. Comportamiento de una cereza madura de café sometida a compresión entre placas paralelas.

Figura 17. Comportamiento de una cereza verde de café sometida a compresión entre placas paralelas.



3.3. DESPULPADORA DE CAFÉ ACCIONADA A PEDAL

Como alternativa al uso de la fuerza manual del caficultor para accionar las despulpadoras, Cenicafé diseñó un sistema de despulpado utilizando máquinas despulpadoras convencionales accionadas por un mecanismo de bicicleta consistente en pedales y transmisión de potencia por cadena (Figura 18). Los detalles de construcción y lista de materiales necesarios se detallan en la publicación: Avances Técnicos de Cenicafé No 168 (4).



Figura 18. Despulpadora Nº 3 (tradicionalmente accionada por un motor de 1 hp) movida a pedal.

A la despulpadora del montaje a pedal se le aumentó la rotación en el eje alimentador de 42 a 82 rpm, modificando la relación tradicional de los piñones del eje del cilindro y el eje alimentador. Este cambio exige más torque, porque hay mayor alimentación del café cereza y no permite su accionamiento manual.

Mediante análisis estadístico realizado a una prueba con ocho repeticiones en la cual se comparó el proceso de despulpado efectuado manualmente con relación al nuevo sistema de accionamiento a pedal, se obtuvo un aumento de capacidad de 224 a 534kg de café cereza por hora. Las características de calidad del café despulpado estipuladas por la norma ICONTEC (85) se cumplieron para los dos tratamientos, en los cuales no hubo diferencias significativas y el esfuerzo efectuado por el operador de la despulpadora a pedal fue fácilmente soportable para un operario de la zona cafetera.

3.4. DISMINUCIÓN EN LAS PÉRDIDAS POR DESPULPADO

En estudio reciente contratado por el Comité de Cafeteros de Caldas (51) que incluyó 5.112 visitas a fincas durante la cosecha principal de 1995, se concluyó que las pérdidas en el despulpado representan en promedio, el 3,7% de la producción del departamento. Se registraron municipios con pérdidas en el despulpado del 9,0; 6,7; 6,5; 6,1 y 5,7%. Éstas ocurren principalmente por la sobrepresión que los granos reciben en la despulpadora durante su tránsito a través de los canales de los pecheros. Esta estrechez puede ser debida al mal diseño, mal estado, mala calibración y/o mal manejo de las despulpadoras, o a presencia de granos demasiados grandes y a granos que no se alinean adecuadamente dentro de la despulpadora, entre otras razones.

Cenicafé, adelantó estudios de optimización del equipo DESLIM (Sección 3.10.) para evitar este tipo de pérdidas con muy buenos resultados; se encontró que las sobrepresiones se pueden evitar simplemente aumentando la altura o la profundidad de los canales de los pecheros en 1 milímetro "descalibrando la despulpadora", de forma que todos los granos fluyeran más libremente, con menos obstáculos, disminuyendo o eliminando las sobrepresiones y por tanto, **el daño mecánico**. En contraparte, como resultado de ésta alteración, se aumentó la proporción de granos sin despulpar, lo cual no constituyó ningún problema, según los resultados, porque el desmucilaginator fácilmente despulpó los granos que no habían sido despulpados, sin afectarse su desempeño.

Al adicionar estas pérdidas debidas a la mala calibración de las despulpadoras, a los valores típicos de ahorro de pérdidas por el uso del desmucilaginator mecánico, se puede contabilizar la eliminación total del orden del 8% de la producción cafetera mediante la correcta utilización del módulo BECOLSUB.

110

3.5. CALIBRACIÓN DE LAS DESPULPADORAS DE LOS MÓDULOS BECOLSUB¹⁶

Para lograr el correcto funcionamiento de un módulo para beneficio ecológico del café es necesario operarlo en los rangos recomendados para los flujos de café cereza y de agua. El flujo de café en una despulpadora es afectado por la velocidad de rotación del cilindro, por el tipo de dosificador (dimensiones y la presencia de álabes en su superficie, en algunos modelos), por la calidad del café y principalmente, por la distancia libre entre el agitador y la platina (denominada cuchilla).

En el proceso de calibración de una despulpadora de cilindro horizontal se realizan las siguientes actividades:

- Se pesan generalmente 2 ó 3 muestras de 5 a 10kg de café cereza.
- Se toma una cereza de la tolva de la máquina al azar y se coloca en posición longitudinal en el espacio libre entre la cuchilla y el agitador.
- Se aflojan los tornillos que sujetan la cuchilla y se desplaza ésta hasta una distancia ligeramente superior a la mayor dimensión transversal de la cereza (13,5mm ancho promedio de una cereza).
- Se activa el motor de la despulpadora y se registra el tiempo que toma el despulpado del café depositado en la tolva.
- Dependiendo del valor de rendimiento obtenido, se cierra o se amplía la separación entre la cuchilla y el agitador y se repiten los pasos anteriores.

La calibración de una despulpadora, que es un proceso delicado en el cual hay que parar la máquina, se debe repetir al menos cada semana para lograr el mejor desempeño del módulo BECOLSUB, debido a que el tamaño de las cerezas, que en una misma finca varía de un lote a otro por diferentes factores (la edad de los árboles, entre otros), puede afectar el rendimiento de la máquina. En algunas despulpadoras se observan variaciones importantes en su desempeño por efecto de la calidad de la materia prima, lo cual afecta el desmucilaginado mecánico del café.

Con el fin de facilitar la calibración de las despulpadoras de cilindro horizontal, en Cenicafé se desarrolló un dispositivo mecánico (Figura 19), con el cual se puede variar la separación entre el agitador y la cuchilla **sin detener la máquina**. El mecanismo, diseñado inicialmente para una despulpadora 1 ½ del BECOLSUB 100, consiste de una compuerta en lámina de hierro de 3,18mm (1/8") de espesor, la cual posee dos apoyos soldados a un eje doblado de 10mm de diámetro. Este eje, roscado en un extremo se desplaza a través de un buje de hierro soldado a la estructura de la máquina. El elemento de regulación es una perilla de bronce de 5,08cm (2") de diámetro, que sirve de tuerca para la rosca, y está soportada por un buje de hierro también soldado a la estructura. Al girar, la perilla desplaza el eje acoplado a la compuerta regu-

¹⁶ Preparado por Oliveros, T. C. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

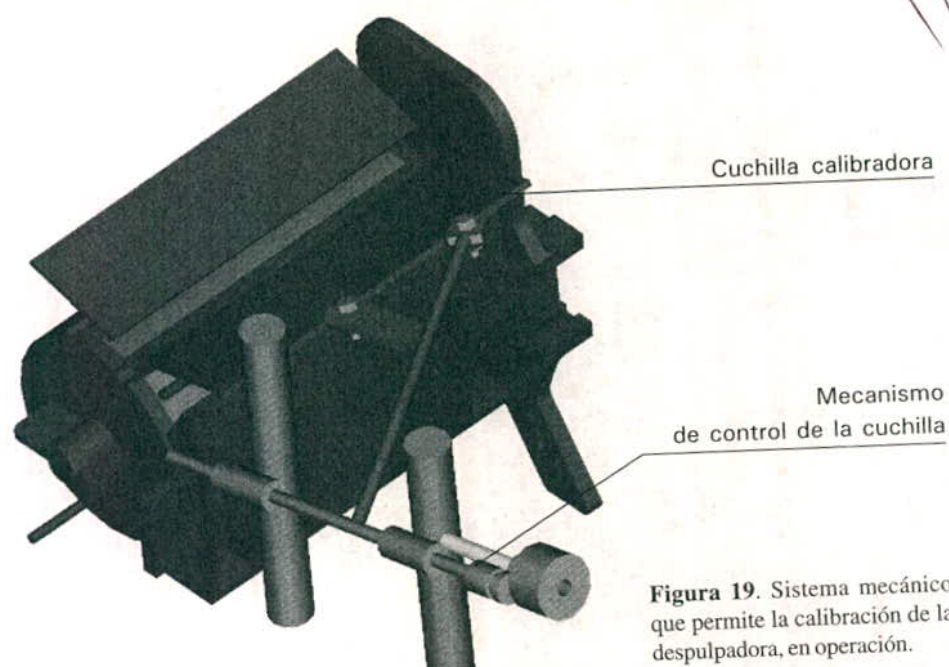


Figura 19. Sistema mecánico que permite la calibración de la despulpadora, en operación.

lando la entrada de café a la zona de despulpado. El mecanismo posee una contratuerca para fijar el punto de calibración que se desee en la máquina.

Este mecanismo puede ser diseñado para las máquinas de cilindro horizontal utilizadas para el beneficio del café. Con él se puede calibrar la despulpadora de cilindro horizontal en cualquier momento, forma rápida, sin detener su marcha, y ajustar el rendimiento del módulo BECOLSUB a la calidad de café cereza que se tenga. Gracias a este dispositivo, en el pico de cosecha, con el café de mejor calidad, se podrá operar el equipo a la mayor capacidad posible y en ocasiones, al inicio de cosecha o en épocas de sequía, a la capacidad adecuada para obtener café pergamino húmedo de buena calidad.

3.6. CLASIFICACIÓN DEL CAFÉ CON ZARANDAS ¹⁷

En diferentes investigaciones de Cenicafé se ha demostrado que utilizando el sistema de beneficio convencional es posible obtener café Tipo Federación (Figura 20), usando zarandas y tanques de fermentación del mucílago convencionales. Las zarandas deben ubicarse en el recibo del café despulpado para retirarle a los granos buenos la pulpa, los elementos extraños y los granos que no fueron despulpados. Las pasillas separadas pueden ser procesadas por otra despulpadora calibrada en forma especial, o por máquinas repasadoras o desmucilaginosas, para extraer los granos buenos. Las zarandas alternativamente pueden ser utilizadas también antes del despulpado, o después de que el grano pergamino haya sido secado.

¹⁷ Preparado por Álvarez, H. J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

Cuchilla calibradora

Mecanismo
de control de la cuchilla

Figura 19. Sistema mecánico
permite la calibración de la
pulpadora, en operación.

posee una contratuerca

El cilindro horizontal utiliza-
pulpadora de cilindro
r su marcha, y ajustar el
fé cereza que se tenga.
afé de mejor calidad, se
1 ocasiones, al inicio de
ra obtener café pergami-

ANDAS 17

lo que utilizando el siste-
Federación (Figura 20),
convencionales. Las za-
para retirarle a los granos
no fueron despulpados.
pulpadora calibrada en
molidores, para extraer los
r utilizadas también antes
ya sido secado.

nicafé.

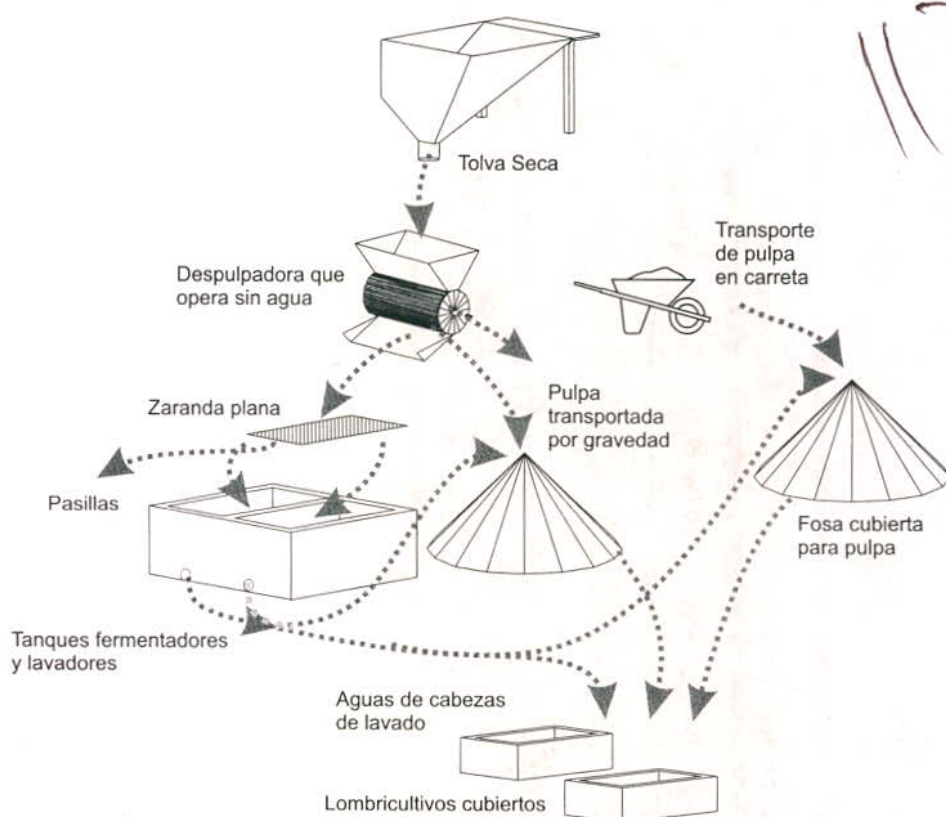


Figura 20. Esquema general del beneficio ecológico en el cual se utilizan zarandas y tanques de fermentación del mucilago tradicionales.

Las zarandas planas (Figura 24), se utilizan convencionalmente para pequeñas producciones y las zarandas cilíndricas de varillas, para mayores producciones (Figuras 65 y 66). En estas últimas y para evitar que los granos queden aprisionados entre las varillas, se puede utilizar un rodillo limpiador de cerdas que continuamente los retira; el rodillo se acciona con la misma zaranda. Este procedimiento evita la utilización de agua que comúnmente se usa con este fin.

Torres (172) concluye en su trabajo que una zaranda plana colocada después del despulpado fue suficiente como **sistema único de clasificación** en el beneficio. En particular, con la sola zaranda plana se logró retirar aproximadamente el 43,3% de las pasillas como se muestra en la Tabla 14 y en la Figura 21. Se complementa esta labor de clasificación durante el lavado en los mismos tanques de fermentación retirando manualmente los materiales flotantes por medio de dispositivos sencillos como una malla ó colador, con lo cual se obtiene un café pergamino seco de buena calidad, esto es, ajustado a las normas de compra de café establecidas por FEDERACAFÉ.

Tabla 14. Porcentaje de pasillas de café retiradas en la zaranda plana ubicada después de la despulpadora.

Prueba número	Pasilla inicial %	Pasilla final %	Pasilla retirada %
1	13,1	5,8	55,7
2	15,3	9,9	35,2
3	17,7	10,7	39,7
4	11,9	6,6	44,4
5	12,3	6,8	44,8
6	11,0	6,5	40,8
7	14,6	7,6	48,1
8	10,7	5,67	46,9
9	14,7	10,3	29,9
10	10,8	5,7	47,2
Promedio	13,2	7,6	43,3

En la Tabla 15, Álvarez (11) presenta los resultados de la evaluación de la calidad física del café procesado en un beneficiadero construido en Cenicafe para pequeños caficultores (Figura 24). Se trabajó en dos tipos de tanques de fermentación, el tanque tradicional y el tanque tina (186, 192), que presenta como novedad la modificación de las esquinas rectas del fondo, mediante rellenos de concreto, para formar unas superficies curvas y facilitar el manejo de las palas de agitación para el lavado y la disminución en el consumo del agua. Se utilizó una zaranda plana para retirar impurezas y los granos sin despulpar.

Se observa que los porcentajes de granos guayabas, media cara, pelados y las impurezas presentan valores muy bajos, lo cual permitió clasificar el café obtenido como café tipo Federación, en los dos tipos de tanques.

Los diferentes modelos de la tecnología BECOLSUB se construyen con una zaranda cilíndrica opcional (Figuras 22, 65 y 66), que clasifica el café, separando los

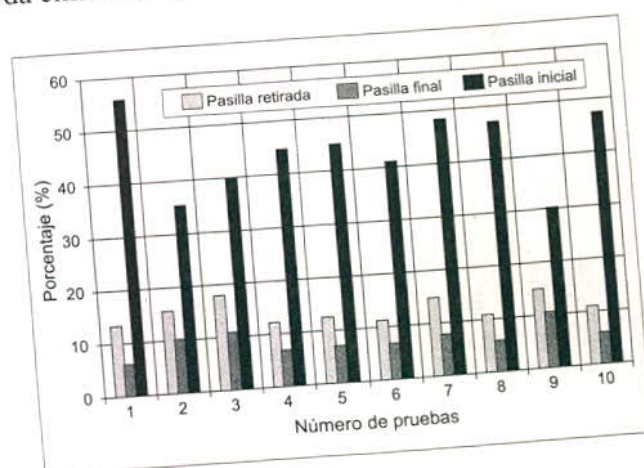


Figura 21. Porcentaje de pasillas en el café despulpado, retiradas en la zaranda plana.

anda plana ubicada

Pasilla retirada %
55,7
35,2
39,7
44,4
44,8
40,8
48,1
46,9
29,9
47,2
43,3

aluación de la calidad
Cenicafé para peque-
es de fermentación, el
omo novedad la modi-
de concreto, para for-
e agitación para el
na zaranda plana para

lia cara, pelados y las
sificar el café obtenido

istruyen con una zaran-
el café, separando los

gura 21. Porcentaje de pasillas
el café despulpado, retiradas
la zaranda plana.

Tabla 15. Calidad física del café procesado en el beneficiadero para el pequeño
caficultor de Cenicafe (13).

Tanque tradicional				Tanque tina			
Clasificación de los granos separados							
G* %	MC %	P %	I %	G %	MC %	P %	I %
0,19	1,28	0,68	0,59	0,09	1,28	0,69	0,65
0,09	0,75	0,68	0,61	0,17	1,45	0,92	0,74
0,48	1,56	1,46	0,75	0,34	2,59	0,80	0,81
0,11	1,25	1,08	0,47	0,21	1,56	0,88	0,59
0,38	0,77	0,83	0,47	0,32	1,04	1,20	0,66
0,13	0,89	0,58	0,57	0,12	1,13	0,79	0,54
0,10	0,70	0,90	0,65	0,13	1,10	0,84	0,65
0,13	1,33	1,29	0,52	0,50	1,12	1,36	0,62
0,17	0,92	1,33	0,85	0,03	0,72	1,76	0,53
0,00	1,06	1,27	0,42	0,08	0,64	1,29	0,54
0,20	1,92	0,96	0,54	0,00	1,17	1,21	0,41
0,35	1,39	1,47	0,75	0,36	0,97	0,83	0,51
0,07	0,72	1,20	0,61	0,40	1,73	1,31	0,69
Promedio de valores:							
0,20	1,1	1,08	0,60	0,23	1,24	1,15	0,91

- G = Granos Guayabas.
MC = Granos Media Cara.
P = Granos Pelados.
I = Impurezas.

granos de mejor calidad de los granos inferiores, de la pulpa y de materiales extra-
ños al café, por el principio físico de las diferencias de tamaño. Son especialmente
útiles cuando la calidad del café cereza es deficiente. La utilización de la zaranda
puede ayudar a una mejor presentación del café pergamino pero el rendimiento del
café en el beneficio se reduce (Capítulo 5).

La recomendación de Cenicafe de **no utilizar agua** en la clasificación de los dife-
rentes estados del café y en particular, la eliminación del uso de canales de correteo
y semisumergidos, induce en primera instancia a utilizar zarandas clasificadoras
eficientes que funcionen sin agua, principalmente cuando la materia prima es de
mala calidad.

La zaranda es opcional en el módulo BECOLSUB porque se ha demostrado que
sin ella y contando con materia prima de buena calidad, es posible obtener café
Tipo Federación. La explicación de este hecho se fundamenta en que el equipo
DESLIM, (Sección 3.10.) es en sí un elemento clasificador, capaz de pulir granos
buenos al retirarles la pulpa seca adherida, destruir los granos defectuosos que no
tienen buena estructura física, y expulsar los que presentan dimensiones muy pe-
queñas.

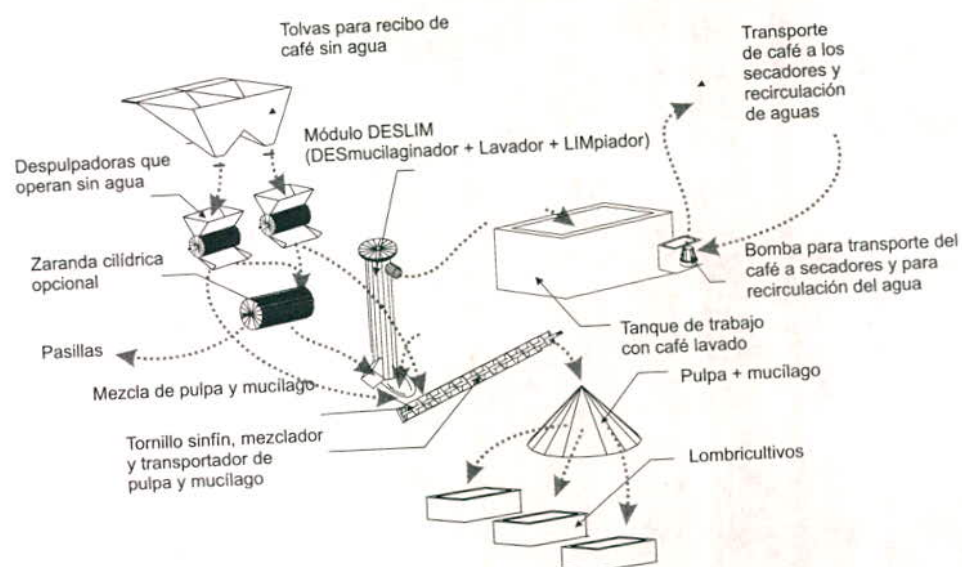


Figura 22. Esquema general del sistema de beneficio utilizando la tecnología BECOLSUB.

De otro lado, en el beneficiadero de Cenicafé se han utilizado las zarandas planas y cilíndricas con gran eficiencia para **separar los granos almendras** después de secados en los secadores de torre, IFC (Intermitentes de Flujos Concorrentes) (Figuras 23 y 104), mejorando notablemente la calidad del café. Este proceso de separación se constituye en una muy buena opción que no utiliza agua, para separar los granos brocados, verdes, y en general pasillas, que pueden perder su frágil pergamino por la acción combinada del desmucilagador, el manejo hidráulico y el secado, en los cuales los granos continuamente están en movimiento.

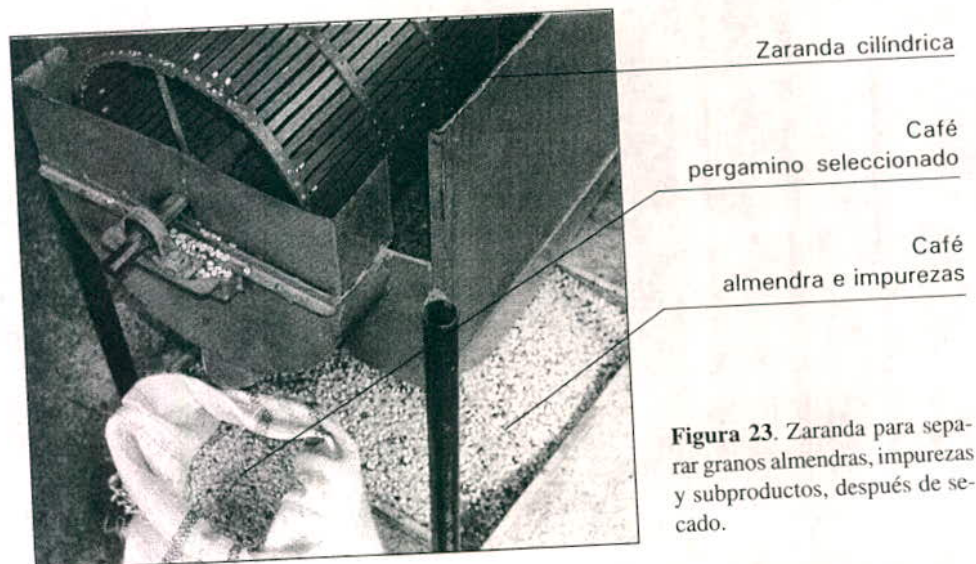


Figura 23. Zaranda para separar granos almendras, impurezas y subproductos, después de secado.

3.7. FERMENTACIÓN DEL MUCÍLAGO

El mucílago del café contiene 15% de sólidos en la forma de un hidrogel coloidal insoluble en agua, sin estructura celular; los sólidos presentes en éste tienen un 80% de ácidos pécticos y 20% de azúcares.

Durante la fermentación ocurren múltiples reacciones bioquímicas que permiten después de 10 a 18 horas que el mucílago se disuelva en agua. La fermentación natural del mucílago (y no del grano) sólo es necesaria para permitir el buen lavado del café. El término correcto, por tanto, se refiere a la fermentación del mucílago. Si se demora el secado, la fermentación del café ocurre, causando un defecto grave.

El proceso de fermentación convencional es uno de los procesos más críticos durante el beneficio húmedo, en lo que se refiere a la conservación de la calidad del café y por tanto, debe controlarse cuidadosamente el tiempo del proceso evitando la ocurrencia de sobrefermentación que origina aromas y sabores a vinagre, piña madura, cebolla, rancio y nauseabundo.

La eliminación de la fermentación es ampliamente deseable por razones de calidad, de disminución de espacio e infraestructura utilizada en el beneficiadero y también porque durante las reacciones bioquímicas de respiración y de difusión de sólidos del grano al agua, se pierde en promedio 1,5% de la materia seca del grano (Sección 5.4.).

En general, es muy deficiente el control de calidad del proceso de beneficio en las fincas y frecuentemente los caficultores finalizan el proceso de fermentación del mucílago antes o después del punto recomendado, el que a su vez depende de varios factores y no es fácil de precisar. De esta forma es muy común obtener cafés mal lavados, lo cual dificulta el buen secado o cafés fermentados. Las dos posibilidades originan graves defectos de calidad.

3.8. LAVADO DEL CAFÉ CON MUCÍLAGO FERMENTADO

Es práctica común la utilización los tanques de fermentación para simultáneamente lavar y clasificar el café (Figuras 24 y 27). Recientemente también se ha demostrado que es posible utilizar los mismos dispositivos para minimizar el consumo de agua (192) mediante el procedimiento de **cuatro enjuagues**. La técnica representada en la Figura 24, consiste en aplicar al café con el mucílago fermentado el agua necesaria para cubrir completamente los granos y remover vigorosamente la masa. El agua del primer enjuague se vacía y se reemplaza con agua limpia, repitiéndose el proceso durante tres veces más; en el primer enjuague se concentra el 66% de la materia orgánica del mucílago y en los dos primeros enjuagues se encuentra el 90%. Si se dispone de estas aguas adecuadamente y se despulpa y se maneja la pulpa sin agua, la contaminación potencial puede controlarse en aproximadamente

Transporte de café a los secadores y recirculación de aguas

Bomba para transporte del café a secadores y para recirculación del agua

rabajo
ado
a + mucílago

mbicultivos

ogía BECOLSUB.

o las zarandas planas y almendras después de (Fic- concurrentes) (Fic- café. Este proceso de utiliza agua, para separar ueden perder su frágil l manejo hidráulico y el vimiento.

Zaranda cilíndrica

Café
pergamino seleccionado

Café
almendra e impurezas

igura 23. Zaranda para separar granos almendras, impurezas subproductos, después de se- do.



Zaranda plana

Tanque tina

Figura 24. Lavado del café por agitación manual en el tanque tina. La zaranda plana clasifica el café despulpado.

el 85%. De ésta forma se logran consumos de agua globales de 4,5L/kg cps. Si el tanque es pequeño, la remoción la puede hacer el caficultor con una pala.

Para practicar el lavado de cuatro enjuagues en beneficiaderos, (Figuras 24, 26, 27, 29 y 52), se debe utilizar una bomba de circulación de café para transportarlo de un tanque a otro. El lavado optimizado en el mismo tanque se ha venido utilizando comercialmente por varios años en Cenicafé, en pequeñas fincas cafeteras (Sección 8.1.) y en la Subestación de Cenicafé Maracay en el Quindío (Figuras 52 y 53).

La práctica del lavado utilizando **canales de correteo** (36, 95, 172, 182), (Figura 25) ha sido tradicional en nuestro país, principalmente para pequeños caficultores, pero también se ha utilizado por medianos y grandes. Por mucho tiempo se consideró que si el café no se lavaba mediante este método no era viable su comercialización. Además, si se usa éste, es posible separar café de buenas características, el

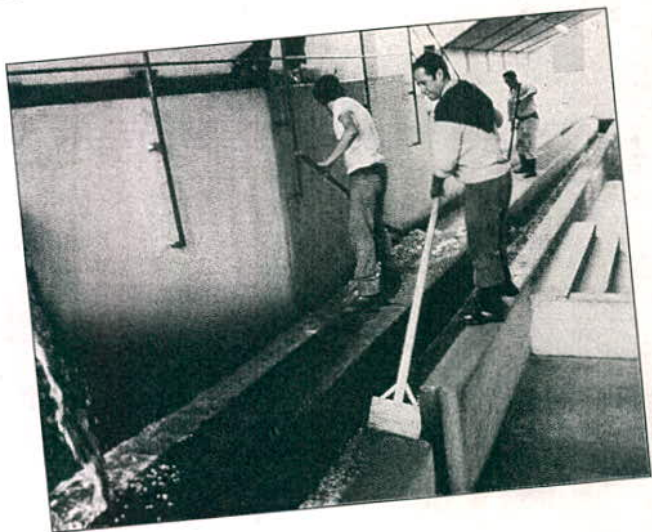


Figura 25. Lavado del café con mucilago fermentado en canales de correteo, mediante agitación manual.

Zaranda plana

Tanque tina

Figura 24. Lavado del café por
acción manual en el tanque
La zaranda plana clasifica
el despulpado.

de 4,5L/kg cps. Si el
con una pala.

os, (Figuras 24, 26, 27,
para transportarlo de un
e ha venido utilizando
no cafeteras (Sección
fo (Figuras 52 y 53).

, 95, 172, 182), (Figura
pequeños caficultores,
mucho tiempo se consi-
viable su comercializa-
enas características, el

Figura 25. Lavado del café con
mucílago fermentado en canales
de correteo, mediante agitación
manual.

cual es muy deseado por los compradores, para mezclarle pasillas (con valores aproximados del 5%) y aún así, obtener café de la máxima clasificación, tipo Federación.

El proceso de lavado se consigue con agitación vigorosa, utilizando la fuerza manual y palas especiales, del café dispuesto en canales de 0,3 ó 0,4m de ancho, con longitudes que varían entre 10m y 40m (preferencialmente rectos). Mediante la combinación de compuertas y considerables caudales de agua (del orden de 20L por kilogramo de café pergamino seco) que no es recirculada, se obtienen cafés de diferentes calidades en forma de gradiente de calidad a lo largo del canal. El de primera, más cercano a la entrada del canal. Los flotes y granos de mala calidad salen del canal transportados con el flujo del agua. Además de la desventaja del alto consumo de agua, el proceso es una tarea dispendiosa que utiliza gran cantidad de mano de obra y en éste pueden perderse apreciables volúmenes de café de buena calidad (hasta un 19%) que escapan con los granos separados. Cenicafe consideró desde el inicio, como un reto de investigación, conseguir igualmente café de muy buena calidad como en el canal de correteo, pero evitando las pérdidas y eliminando el uso excesivo de mano de obra y tiempo de lavado, además, disminuyendo al máximo el consumo del agua.

3.9. LAVADO Y TRANSPORTE DE CAFÉ CON BOMBA SUMERGIBLE ¹⁸

Las bombas sumergibles (Figuras 26 y 27), son muy utilizadas para el lavado y transporte del café con mucílago concentrado proveniente de su fermentación en los beneficiaderos convencionales de medianos y grandes productores.



Figura 26. Motobomba sumergible utilizada para el lavado y transporte del café.

¹⁸ Preparado por Sanz U., J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafe.



119
Figura 27. Lavado del café durante su transporte con motobomba, utilizando cuatro enjuagues.

Estas, son en general **bombas centrífugas** que están conformadas por un conjunto de álabes rotatorios dentro de un alojamiento o carcasa, los cuales suministran energía centrífuga a un fluido o a una suspensión. El resultado es el transporte del fluido o la suspensión, de un lugar a otro, a través de una tubería cerrada.

El lavado en **canales semisumergidos** (36, 95) (Figura 28), se realiza conjuntamente con la clasificación del café con mucílago fermentado, en canales de 0,20m de ancho, sección rectangular, longitudes entre 2 y 3m, con ranuras en el fondo del canal separadas entre sí aproximadamente 0,5m. El café es transportado a través del canal por medio de una bomba sumergible. El café de buena calidad atraviesa las ranuras, debido a su mayor densidad. La capacidad aproximada del proceso es



Figura 28. Canal semisumergido utilizado para el lavado y clasificación tradicional del café pergamino.

de 7.000kg de cps por hora y el consumo de agua, cuando no se hace recirculación, es de 6,4L/kg de cps. No se recomienda utilizar agua completamente recirculada ya que al tratarse de un sistema de lavado, el agua adquiere cada vez mayores concentraciones de mucílago y otras materiales indeseables, y no es posible lavar adecuadamente el café. La eficiencia del lavado sin recirculación del agua, es del orden del 90%.

El sistema de **transporte con bomba sumergida** se puede adaptar a un equipo DESLIM, para transportar el café lavado a los secadores. Aunque este dispositivo utiliza agua, la adición de la energía mecánica hace posible el transporte hasta lugares más elevados en los cuales se puede ubicar un separador agua-grano (5), (Figura 29), para retornar el líquido utilizado hasta la bomba nuevamente, lográndose así disminuir el consumo específico de agua.

En la Figura 29 puede observarse el esquema de un circuito típico de lavado y transporte del café a un secador con recirculación de agua. Si el café proviene del desmucilagador DESLIM, o sea ya lavado, el volumen de agua necesario para el transporte al secador es de tan solo la capacidad del tanque donde se ubica la bomba más el volumen de las tuberías, que en un beneficiadero grande no debe sobrepasar 0,3m³. El **consumo específico del agua de recirculación, o sea el agua utilizada por kilogramo de café pergamino seco en un día de operación normal, puede ser despreciable**. Si el café no está lavado es necesario adicionarle, en forma parcial, agua limpia en alguna sección del circuito. En este caso debe permitirse al sistema el desalojo continuo de un caudal equivalente de agua con mucílago.

El funcionamiento adecuado de un sistema de lavado y transporte de café pergamino, utilizando una motobomba y un circuito hidráulico con recirculación de agua, debe ser diseñado adecuadamente. La potencia de la bomba seleccionada debe ser suficiente para vencer las resistencias de la gravedad, de la fricción de los tramos de

Figura 27. Lavado del café durante su transporte con motobomba utilizando cuatro enjuagues.

realizadas por un conjunto de canales, los cuales suministran agua para el transporte del café en tubería cerrada.

8), se realiza conjuntamente, en canales de 0,20m de ancho y ranuras en el fondo del canal, es transportado a través de tuberías de buena calidad que atraviesa la zona de roximada del proceso es

Figura 28. Canal semisumergido utilizado para el lavado y clasificación tradicional del café pergamino.

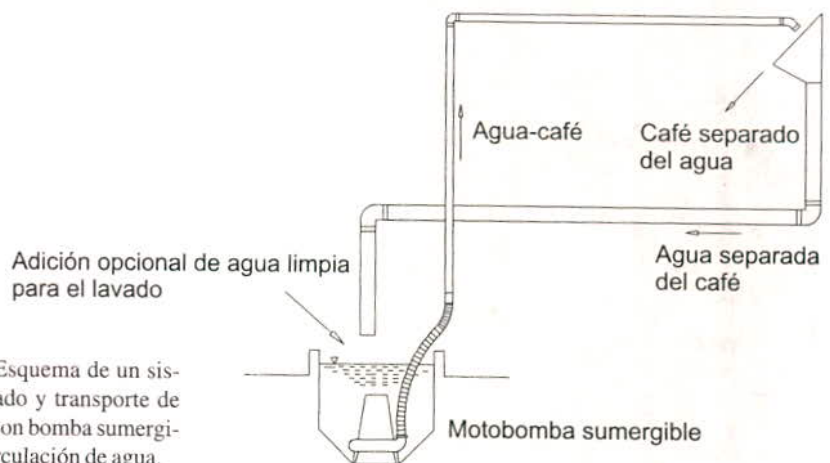


Figura 29. Esquema de un sistema de lavado y transporte de café lavado con bomba sumergible, con recirculación de agua.

tubería vertical y horizontal, y de los accesorios de conexión que se oponen al flujo de la mezcla agua y café.

Al transportar esta mezcla con una bomba sumergible, las pérdidas de presión se incrementan considerablemente en comparación con el manejo de agua solamente. En Cenicafé se realizó un estudio para determinar las pérdidas de presión cuando se variaba la concentración de café en el agua y el efecto del aumento de ésta sobre el daño mecánico en el producto (165, 166). Se encontró que para el transporte hidráulico de café por una tubería vertical de 76,2mm de diámetro (3") con velocidades de flujo de la mezcla entre 1,0 y 1,7m/s, las **pérdidas de presión** pueden predecirse con muy buena precisión utilizando la ecuación < 1 >.

$$(h_f)_v = 0,417738V^{0,1976} C^{0,6964} \quad < 1 >$$

En donde:

- $(h_f)_v$ = Pérdidas de presión para la mezcla, m c.a./100m.
- V = Velocidad media de la mezcla, m/s.
- C = Concentración de café, volumen aparente de café/volumen de agua.

Para el transporte hidráulico de la mezcla agua-café por tubería horizontal de 76,2mm (3") de diámetro con velocidades entre 1,5 y 2,5m/s, las pérdidas de presión pueden predecirse con buena precisión por la ecuación < 2 >

$$(h_f)_h = h_f - 0,1244 + 1,60497C \quad < 2 >$$

En donde:

- $(h_f)_h$ = Pérdidas de presión para la mezcla, m c.a./100m.
- h_f = Pérdidas de presión con agua sola, m c.a./100m.
- C = Concentración de café, volumen aparente de café/volumen de agua.

Se determinó, además, que las pérdidas de presión ocurridas en codos y acoples en T, en tubería PVC de 76,2 mm de diámetro expresadas en longitud equivalente de tubería recta, pueden considerarse como iguales a la longitud equivalente de estos mismos accesorios cuando se transporta agua solamente.

Adicionalmente se realizó una **curva característica** de la bomba sumergible utilizada en los ensayos, marca IHM, modelo HWH 10-21-3 de 0,746 kw (1 hp) (Figura 30). Para éste fin se utilizaron diferentes concentraciones en volumen (volumen de agua/volumen aparente de café).

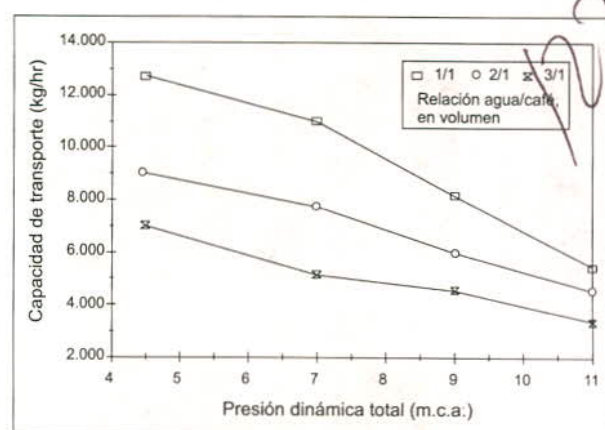


Figura 30. Curvas características de la bomba sumergible marca IHM modelo HWH 10-21-3 de 1 hp, al transportar café lavado.

3.10. DESMUCILAGINADO MECÁNICO, LAVADO Y LIMPIEZA DEL CAFÉ. EQUIPO DESLIM ¹⁹

El mucílago cubre al pergamino (Figura 31), con espesor que varía desde 0,4 mm (en la cara plana del grano) hasta 2,0 mm (en la parte convexa). Representa el 22%, en peso del café despulpado y el 13% del peso de la cereza²⁰. El mucílago contiene agua, sustancias pécticas, azúcares reductores y no reductores, celulosa y cenizas (Tabla 16).

Pulpa
Capa de mucílago
Almendra

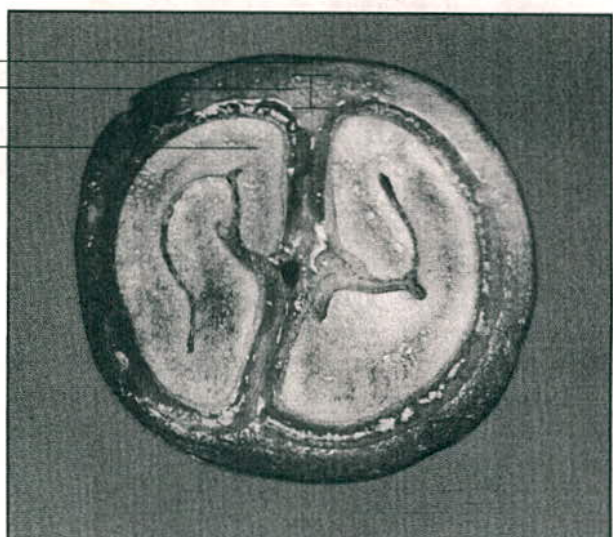


Figura 31. Corte transversal de una semilla de café despulpado ilustrando la distribución y el tamaño relativo del mucílago.

¹⁹ Preparado por Oliveros T., C. E. y Sanz U., J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.
²⁰ Valor promedio obtenido en 50 lotes de café cereza. Cada muestra (500g de cereza) se despulpó y se descartaron los flotes y los granos verdes y secos que no se despulparon. El mucílago se retiró por medio de enzimas (menos de 30 minutos), los granos posteriormente se lavaron y se dejaron escurrir en las condiciones del laboratorio (20°C y 75% de humedad relativa) durante 10 minutos.

Tabla 16. Composición química del mucílago del café. Tomado de Ríos (149)

Tratamiento	Azúcares reductores % b.h.	Total azúcares % b.h.	Grasa % b.s.	Fibra % b.s.	K %	Ca %	Mg %	Mn %	Fe %
Café seleccionado *	4,31	6,68	1,04	6,91	1,07	0,22	0,07	0,005	0,026
Café sin seleccionar **	4,28	7,40	1,10	6,58	1,27	0,23	0,08	0,006	0,033

* Solamente cerezas maduras y pintonas

** Café de recolección normal

3.10.1. Eliminación del mucílago

En los **café denominados suaves** el mucílago se retira antes del inicio del secado. En la mayoría de los países productores de esta calidad de café, el mucílago se elimina por medio de la fermentación natural y el lavado posterior. Cuando esta labor se realiza con buen control²¹ y el secado se ejecuta bajo condiciones adecuadas, se obtienen cafés con pergamino limpio y de alta calidad en taza.

Sin embargo, en muchos casos hay poco ó ningún control en la finca, especialmente cuando la producción es baja y el café despulpado de varios días se reúne en un mismo tanque. Estas condiciones normalmente dan origen a cafés de mala calidad con sabor a fermento, lo cual ocasiona importantes pérdidas económicas, debido a que los cafés son rechazados por los compradores.

El desmucilaginado mecánico permite obviar los problemas antes mencionados, dependiendo de la tecnología utilizada para la eliminación y el manejo del mucílago.

El café pergamino desmucilaginado se **lava directamente en el desmucilaginator** tipo DESLIM (Sección 3.10.5.), equipo desmucilaginator-lavador-limpiador en el que se incluye la sección de lavado en la parte superior, con flujos de grano y de agua en contracorriente. Pueden presentarse una o la combinación de las siguientes condiciones en que el lavado en el propio desmucilaginator no sea suficiente para lavar el café a satisfacción, a saber: materia prima de mala calidad y ausencia de zaranda clasificadora en el módulo BECOLSUB (Sección 3.14.); descalibración del equipo, deseo del caficultor de obtener una presentación excelente del grano. Una de las mejores opciones para complementar el lavado en estas circunstancias es la utilización del hidrociclón (Sección 3.11.), o la motobomba durante el lavado y el

²¹ Se considera que hay **buen control** en la etapa de fermentación cuando el lavado se inicia una vez ocurrida la solubilización del mucílago. Esto se detecta tomando una muestra de café, lavándola con agua limpia y frotando los granos entre las manos: cuando el café está a **punto de lavado** los granos exhiben un aspecto rugoso, similar al cascajo. También hay control en la fermentación del mucílago cuando no se mezclan en un mismo tanque cafés de diferente día de cosecha.

o de Ríos (149)

Mg	Mn	Fe
%	%	%
0,07	0,005	0,026
0,08	0,006	0,033

del inicio del secado. café, el mucílago se esterior. Cuando esta condiciones adecuadas en taza.

a finca, especialmente días se reúne en un cafés de mala calidad micas, debido a

antes mencionados, manejo del mucílago.

el desmucilaginador vador-limpiador en el flujos de grano y de ición de las siguientes no sea suficiente para calidad y ausencia de 4.); descalibración del elente del grano. Una as circunstancias es la durante el lavado y el

a cuando el lavado to se detecta tomando lo los granos entre las os exhiben un aspecto nentación del mucílago ente día de cosecha.

transporte y lavado del café entre el tanque y el silo secador (Sección 3.9), o finalmente un enjuague manual.

3.10.2. Principios del desmucilaginado mecánico del café

Cuando se agita una masa de café despulpado se logra desprender un porcentaje importante de mucílago en pocos segundos (Figura 32). Los fluidos, mucílago más el agua adicionada y las partículas provenientes de la pulpa presente en el café despulpado, restos de granos (inmaduros, atacados por la broca, etc.) y otras impurezas, dan origen a suspensiones altamente viscosas las cuales según Oliveros (113) son de naturaleza altamente pseudoplástica, es decir, su viscosidad se reduce notablemente cuando la tasa de deformación a la que se someten, se incrementa.

Cuando la velocidad de rotación aumenta la **tasa de deformación** a la cual es sometida la suspensión mucílago-café se incrementa, los esfuerzos cortantes que actúan en la vecindad de los granos aumentan y la frecuencia de las colisiones entre granos se incrementan (mayor intercambio de energía), por lo cual la tasa de remoción de mucílago aumenta (Figura 33).

Sin embargo, cuando la velocidad de rotación es muy alta (más de 1.500 rpm, según evaluación con el rotor CENICAFÉ III) los granos tienden a alinearse con la

Sección de lavado

Alto volumen de mucílago desprendido

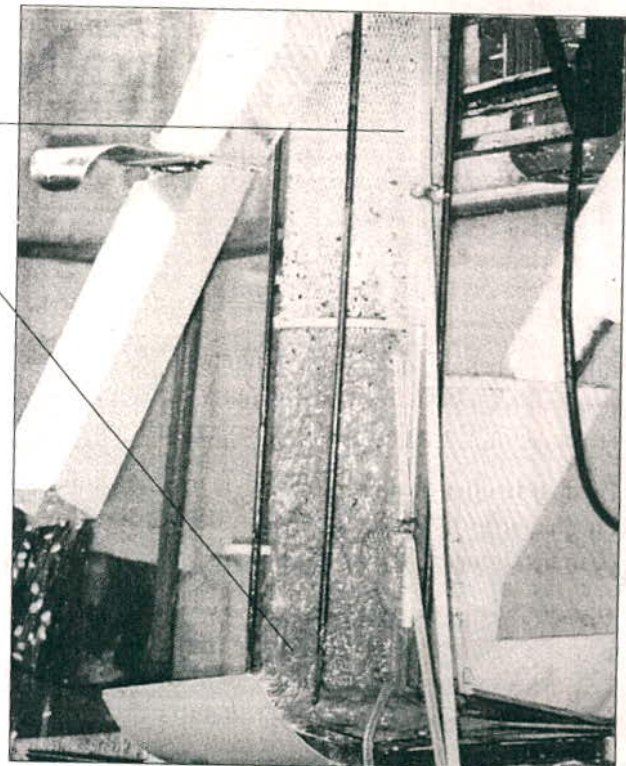


Figura 32. Alto volumen de mucílago desprendido en los primeros instantes del proceso de desmucilaginado mecánico (sección inferior del equipo). Se diferencian las etapas de desmucilaginado (parte inferior) y de lavado con flujos de agua y de grano en contracorriente (parte superior).

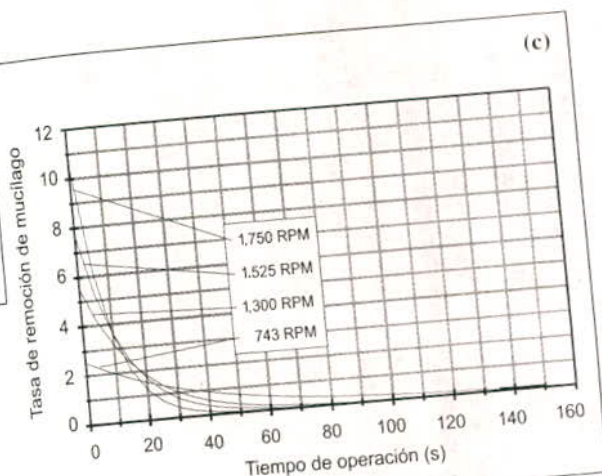
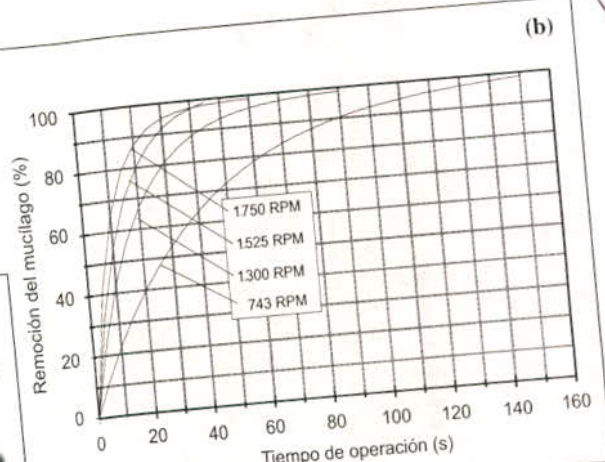
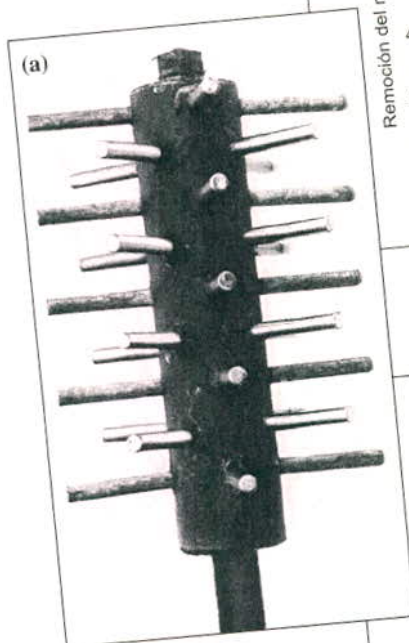


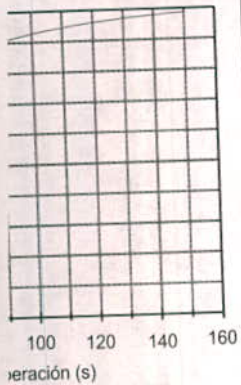
Figura 33. Efecto de la velocidad de rotación de un agitador CENICAFÉ III (a), en el desprendimiento del mucilago (b) y en la tasa de remoción de mucilago (c).

dirección principal del flujo (tangencial) lo cual reduce la frecuencia de las colisiones entre los granos y ocasiona una "aparente" estabilidad en la viscosidad de la suspensión. En estas condiciones la tasa de desmucilaginado se reduce.

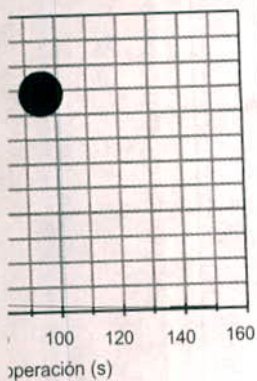
En condiciones de alta velocidad de rotación también se puede inducir inestabilidad en el patrón de flujo (aparición de vórtices) que podrían incidir en la tasa de desmucilaginado.

El proceso de desmucilaginado se ve afectado principalmente por: el diámetro del rotor, la velocidad de rotación, el tipo de rotor y la **viscosidad de la suspensión** (Figura 34), (la cual a su vez depende de la velocidad de rotación, de la cantidad de agua utilizada por unidad de producto y de la calidad del café en baba que entra al desmucilaginado).

(b)



(c)

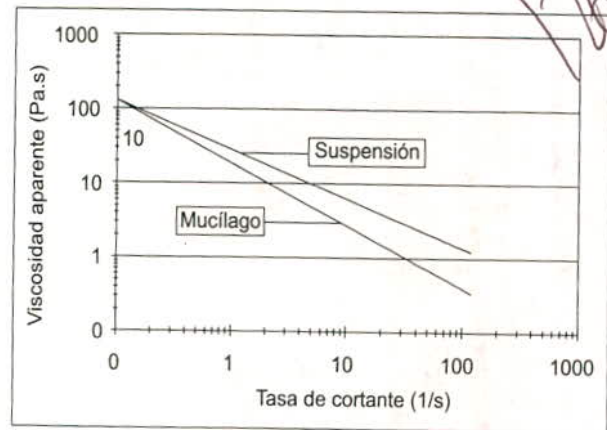


ecuencia de las colisiones en la viscosidad de la masa se reduce.

de inducir inestabilidad en la tasa de

por el diámetro del tubo de la suspensión, de la cantidad de café en baba que entra al

Figura 34. Comportamiento reológico del mucílago del café y de suspensiones mucílago-café en baba.



3.10.3. Desarrollo de equipos para el desmucilaginado mecánico del café en Cenicafé.

Las actividades de investigación sobre el desmucilaginado mecánico en Cenicafé se iniciaron en 1984 (14, 150). Se partió de las experiencias obtenidas en Centroamérica con la tecnología DEMUCIL que combinaba la acción mecánica, suministrada por un agitador y la actividad enzimática provista por una enzima pectolítica. En ensayos preliminares realizados en Cenicafé con la tecnología DEMUCIL se observó que el desprendimiento del mucílago se debía principalmente a la agitación de la masa. Con base en estos resultados se diseñó el primer prototipo denominado DESMULACLA (DESMUCilagador, LAVador, CLASificador) (Figura 35).

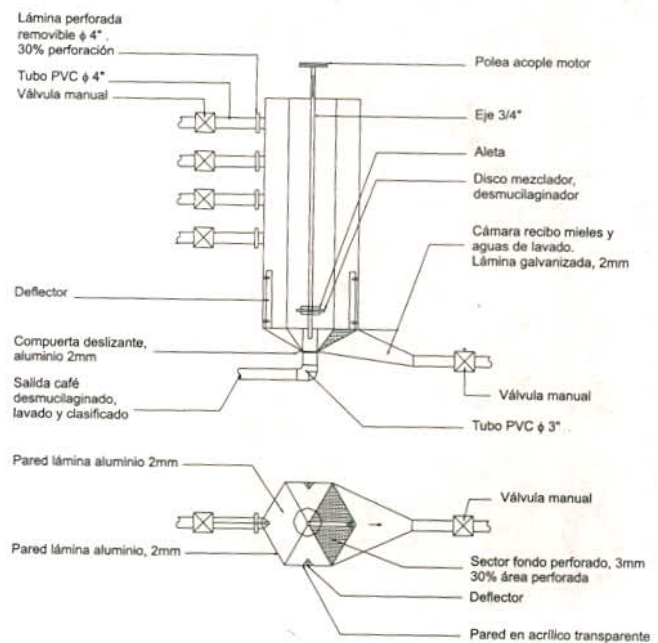


Figura 35. Diagrama del primer prototipo desmucilagador, lavador, clasificador de café, DESMULACLA, diseñado (150), construido y evaluado en Cenicafé en 1984 (14).

El agitador utilizado en el DESMULACLA constaba de un disco de acrílico de 180 mm de diámetro y 10 mm de espesor con cuatro perforaciones de 50 mm de diámetro cada una. En cada cara del disco se encontraban colocadas en cruz, cuatro paletas de aluminio de 50 mm de longitud. La altura total del agitador era 40 mm; éste se encontraba en el centro de una cámara de sección hexagonal de 250 mm de lado. La relación diámetro de rotor/diámetro del tanque (considerando un círculo inscrito de 500 mm de diámetro) era 0,36. La altura total de la cámara era 1.320 mm.

Los resultados obtenidos en la evaluación del DESMULACLA, presentados en la Tabla 17, mostraron un efecto importante de la velocidad de agitación en el rendimiento al operar el equipo por tandas. Sin embargo, a medida que se incrementó la velocidad de rotación se observó un incremento notorio en el daño mecánico. El mejor desempeño obtenido con el DESMULACLA fue muy inferior al obtenido en Cenicafé con un desmucilagador Pinhalense²² (112).

El bajo desempeño del DESMULACLA fue atribuido al patrón de flujo generado por el agitador. Los granos solamente se someten a fuerte agitación cuando están próximos al rotor; cuando éstos se alejan del rotor se aumenta la distancia entre ellos y se reduce el número de colisiones (intercambios de momentum). En estas regiones la tasa de remoción de mucílago es menor.

Con el fin de obtener un patrón de flujo más uniforme en toda la cámara de desmucilagado se construyó un prototipo denominado CENICAFÉ-B-I (Figura 36).

Tabla 17. Parámetros obtenidos en la evaluación del desempeño del desmucilagador prototipo DESMULACLA.

Velocidad de rotación RPM	Capacidad kg café en baba / h*	Potencia W/(kg café en baba / h)**	Consumo de agua L/kg de cps
400	20	38	8,64
500	26	30	6,75
60	32	24	5,78

* Calculado con base en el tiempo para remover el 95% del mucílago. Equipo operando por tandas.

** Fue estimado considerando solamente la potencia instalada (0,74 kw) y la capacidad del equipo. No se consideran las pérdidas en la transmisión de la potencia, en la conversión de energía eléctrica a energía mecánica, ni las pérdidas en la agitación de la masa (debidas a la disipación viscosa).

²² El equipo consta de un rotor, similar al utilizado en extrusores de alimentos, el cual gira en el interior de una carcasa construida en lámina con perforaciones oblongas. El desmucilagado ocurre debido a la acción de esfuerzos cortantes aplicados en el espacio libre entre el rotor y la carcasa. Se utiliza agua a presión para mantener limpia la cara interior de la carcasa y para retirar de la máquina el café desmucilagado. El equipo utilizado tiene capacidad para 900 kg/h de café despulpado y es accionado por un motor de 7,46 kW (10 hp).

sco de acrílico de 180
s de 50mm de diáme-
zadas en cruz, cuatro
el agitador era 40mm;
agonal de 250mm de
nsiderando un círculo
cámara era 1.320mm.

LA, presentados en la
e agitación en el rendi-
la que se incrementó la
el daño mecánico. El
inferior al obtenido en

atrón de flujo generado
agitación cuando están
enta la distancia entre
momentum). En estas

id. cámara de desmu-
AFÉ-B-I (Figura 36).

mpañeo del desmucilagi-

n	Consumo de agua L/kg de cps
	8,64
	6,75
	5,78

ilago. Equipo operando por

(0,74 kw) y la capacidad del
otencia, en la conversión de
ción de la masa (debidas a la

cores de alimentos, el
lámina con perforaciones
ión de esfuerzos cortantes
a. Se utiliza agua a presión
ara retirar de la máquina el
idad para 900kg/h de café
10 hp).

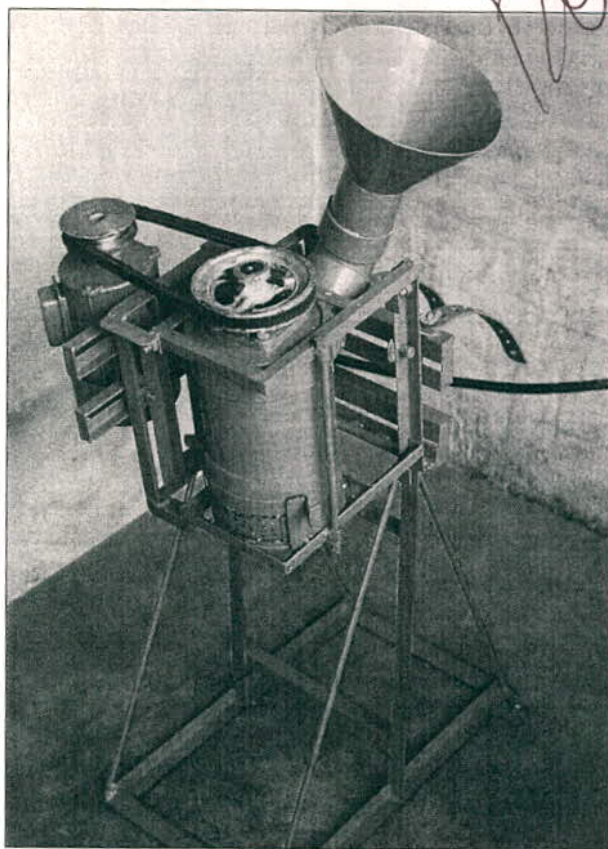


Figura 36. Desmucilaginador por agitación con rotor tipo CE-NICAFÉ-B-I.

El equipo CENICAFÉ-B-I constaba de un rotor similar al utilizado en el equipo ELMU, fabricado en Centroamérica. El rotor tipo múltiple "paddle" de un eje de 2,54cm de diámetro (1"), construido en acero 1030, de 40cm de longitud, con barras de bronce latón de 15,0cm de longitud y 0,95cm de diámetro colocadas perpendicularmente al eje y separadas 5,0cm entre centros. El rotor estaba colocado en el centro de una cámara de PVC de 15,4cm de diámetro interior, con dos hileras de barras de bronce latón de 5,9cm de longitud y 0,95cm de diámetro, que actuaban como promotoras de esfuerzos y reguladores del flujo. En medio de éstas giraban las barras del agitador. El rotor era accionado por un motor de 0,74kw (1,0 hp). El modelo CENICAFÉ-B-I se operaba por tandas de 4,5kg de café en baba.

En ensayos preliminares realizados con el prototipo CENICAFÉ-B-I se observó una remoción del 95% del mucílago en 6 minutos. El prototipo se evaluó y su mejor desempeño se comparó con el obtenido con el equipo Pinhalense. Los resultados correspondientes al promedio de 10 ensayos se consignan en la Tabla 18.

Los valores de la Tabla 18 muestran progresos notorios en la reducción del daño mecánico y en el consumo de agua; sin embargo, no se logró reducir la potencia

Tabla 18. Desempeño comparativo de diferentes desmucilaginosadores evaluados en Cenicafé.

Característica	DESMULACLA	CENICAFÉ-B-1	Pinhalense
Potencia W/(kg de café en baba/h)	24,0	16,4	8,3
Consumo de agua (L/kg de café seco)	5,68	2,5	7,5
Daño mecánico (%)*	1,5	3,5	

* Valor alto (>2,0%) no reportado.

específica con relación al valor obtenido con el equipo Pinhalense (considerado alto para las condiciones colombianas).

Con base en los resultados obtenidos con el prototipo CENICAFÉ-B-I se construyó un equipo de mayor capacidad (para 40kg de café en baba), denominado CENICAFÉ-B-II (Figura 37), el cual se operó por tandas. El rotor del equipo, de 37,0cm de diámetro, constaba de un eje de acero 1030 de 3,75cm de diámetro y 50,0cm de longitud con hileras de barras de bronce-latón (72° entre hileras) de 0,95cm de diámetro y 15,6cm de longitud, espaciadas 24,5mm entre centros. Concéntricamente con el eje del rotor se colocó un tubo de PVC de 15,4cm de diámetro.

La cámara de desmucilaginado constaba de un cilindro de acero de 38,0cm de diámetro en cuyo interior se colocaron hileras de barras de bronce de dimensiones, material y separación similares a las del rotor. El desmucilaginado se producía en la **corona circular** definida por la pared interior de la carcaza y la superficie exterior del cilindro de PVC colocado en el rotor.

El equipo CENICAFÉ-B-II fue posteriormente modificado por Sanz en 1992 obteniendo un **desmucilaginator de flujo descendente con lavado ascendente**, que operaba en **forma continua**, denominado CENICAFÉ-C-I. Básicamente la modi-

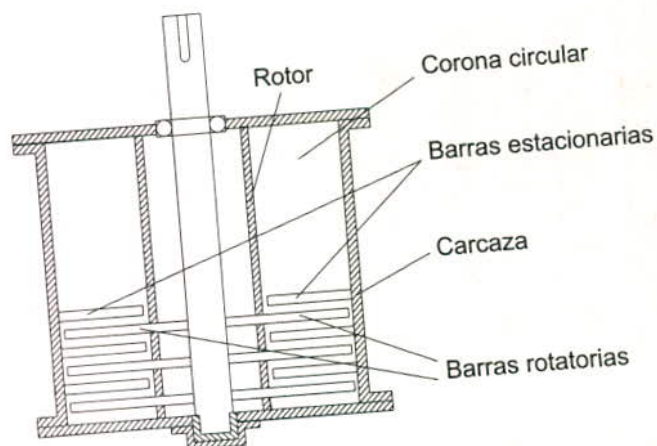


Figura 37. Esquema del desmucilaginator de barras, CENICAFÉ-B-II.

ginadores evaluados

B-1	Pinhalense
	8,3
	7,5

ense (considerado alto

AFÉ-B-I se construyó
enominado CENICA-
equipo, de 37,0cm de
diámetro y 50,0cm de
hileras) de 0,95cm de
ros. Concéntricamente
diámetro.

e acero de 38,0cm de
ronce de dimensiones,
inado se producía en la
y la superficie exterior

por Sanz en 1992 obten-
ivado ascendente, que
Básicamente la modi-

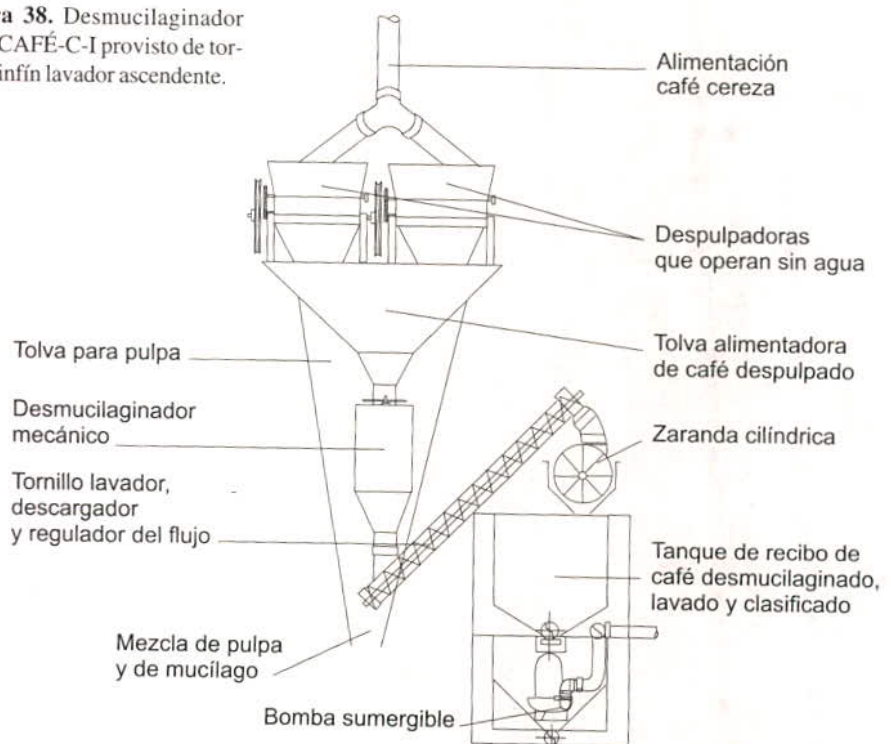
gura 37. Esquema del desmu-
aginador de barras, CENICA-
B-II.

ficación consistió en la adición de un tornillo sinfín²³ colocado en la tolva de descarga del desmucilaginador (Figura 38), el cual permitió controlar el tiempo de residencia del café en el desmucilaginador y retirar el mucílago desprendido (lavador). La mejor operación del sistema desmucilaginador-lavador se obtuvo con una inclinación de 35° del tornillo sinfín.

En la Tabla 19 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del prototipo CENICAFÉ-C-I. Los valores indican un avance importante en el desmucilaginado mecánico en los aspectos de mayor importancia para las condiciones colombianas: consumo de potencia/kg de café procesado, consumo de agua/kg de café procesado y daño mecánico. Sin embargo, dos factores motivaron la continuación de los estudios en laboratorio: la eficacia de desmucilaginado (92,8%) inferior a la deseada (>95,0%) y el consumo de potencia superior al reportado (75) de 1,80 W/kg de café baba/hora.

El desmucilaginador CENICAFÉ-C-II, (164) se diseñó para superar los factores limitantes mencionados y se construyó con un rotor de menor diámetro que el de su predecesor (CENICAFÉ-C-I), 0,20 m de diámetro interno de la carcaza, pero de mayor longitud, 1,20m, (Figura 39). Para aprovechar la fuerza centrífuga generada

Figura 38. Desmucilaginador CENICAFÉ-C-I provisto de tornillo sinfín lavador ascendente.



²³ Especificaciones del tornillo sinfín: diámetro externo 156mm, paso 150mm, diámetro del eje 31,75mm, longitud 2m, diámetro de la carcaza 158mm.

Tabla 19. Desempeño comparativo de diferentes desmucilaginosadores mecánicos desarrollados en Cenicafé.

Característica	CENICAFÉ-B-I	CENICAFÉ-C-I
Potencia (W/kg café baba/h)	16,50	2,90
Consumo de agua (L/kg de café seco)	2,50	1,00*
Daño mecánico, (%)	1,50	1,19

* Lavado incompleto. No se incluye el agua utilizada para terminar el lavado.

por el rotor en la expulsión de mieles se diseñó una carcaza de 0,20m de altura con perforaciones en forma de rombos la cual se colocó en la parte inferior.

Adicionalmente, se evaluó (164) un equipo utilizado en Colombia como "repasador" de café²⁴, marca COLMECANO. La carcaza de este equipo tenía perforaciones de 4,76mm (3/16") de diámetro para permitir la evacuación de las mieles producidas por la agitación. El eje del agitador estaba inclinado 30° con relación a la horizontal y el rotor (Figura 40) estaba constituido por una serie de piñones de fundición de aluminio, típicamente utilizados en las repasadoras tipo COLMECANO de la industria Antioqueña. En la descarga del desmucilaginosador se colocó horizontalmente un dispositivo con el cual se lograba dar el tiempo de residencia en el desmucilaginosador, 60 segundos para obtener mas del 95% de remoción de mucílago y lavar el café (Figura 41). En la Tabla 20 se presentan los mejores resultados obtenidos en la evaluación de los desmucilaginosadores CENICAFÉ-C-I, CENICAFÉ-C-II y COLMECANO.

En términos generales, el mejor desempeño se obtuvo con el desmucilaginosador COLMECANO y con base en estos resultados se construyó el módulo DESMULAC²⁵ (Figura 41), el cual constaba básicamente de dos despulpadoras convencionales de cilindro horizontal con capacidad para 1.200kg de café cereza/h cada una, un conjunto desmucilaginosador-lavador con capacidad para procesar el café en baba procedente de las despulpadoras, un canal semisumergido para completar el lavado y limpiar el café y un tornillo sinfín de 25,4mm de diámetro (4") y 25,4mm de paso, para mezclar el mucílago y la pulpa y posteriormente transportar estos subproductos del beneficio hasta la fosa para su transformación en lombricompost.

²⁴ Con la repasadora se busca despulpar granos que por su tamaño, inferior al mínimo requerido para ser despulpado, o por tener la pulpa adherida al pergamino (granos secos, granos atacados por mancha de hierro, etc.) no son despulpados y pasan a formar parte de los cafés de más baja calidad (denominados pasillas en Colombia).

²⁵ Este módulo fue construido en 1992-93 específicamente para evaluarlo y atender el pedido de la cooperativa de caficultores de anserma, de construir una Central de Beneficio Ecológica con la mejor tecnología de Cenicafé.

inadores mecánicos

CENICAFÉ-C-I
2,90
1,00
1,19

l lavado.

le 0,20m de altura con
te inferior.

bia como "repasador"
tenía perforaciones de
las mieles producidas
relación a la horizontal
ñones de fundición de
MECANO de la indus-
có horizontalmente un
● en el desmucilagina-
de mucílago y lavar el
ultados obtenidos en la
I, CENICAFÉ-C-II y

on el desmucilaginador
onstruyó el módulo
de dos despulpadoras
.200kg de café cereza/h
dad para procesar el café
mergido para completar
diámetro (4") y 25,4mm
mente transportar estos
ión en lombricompuesto.

i tamaño, inferior al mini-
adherida al pergamino
no son despulpados y
(denominados pasillas en

para evaluarlo y atender
de construir una Central
café.

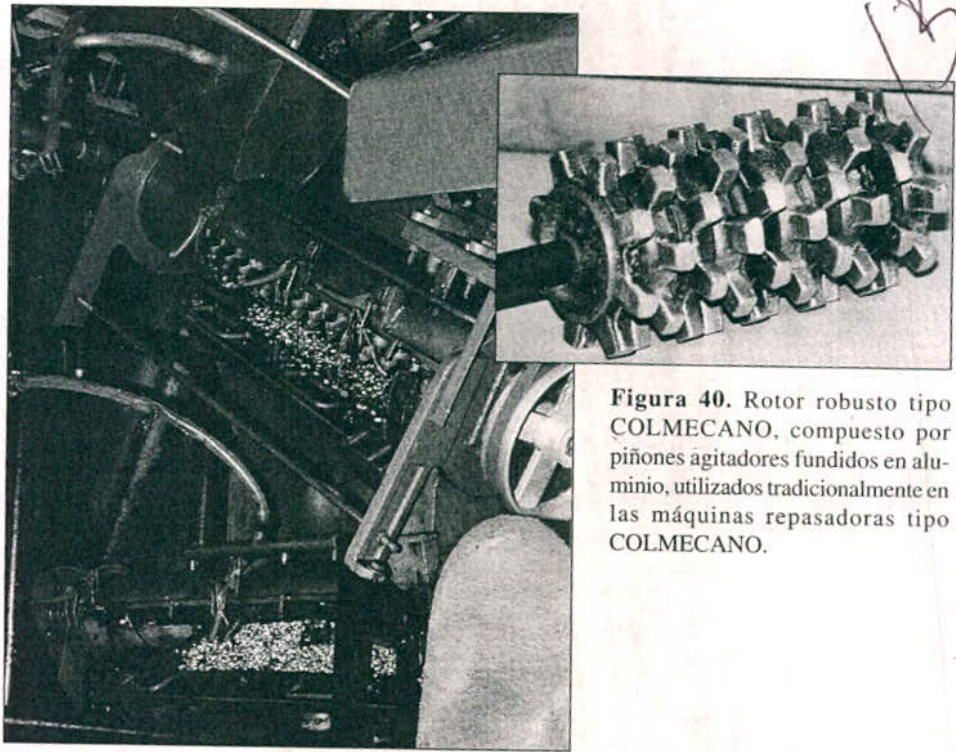


Figura 39. Desmucilaginador CENICAFÉ-C-II.

Figura 40. Rotor robusto tipo COLMECANO, compuesto por piñones agitadores fundidos en aluminio, utilizados tradicionalmente en las máquinas repasadoras tipo COLMECANO.

3.10.4. La tecnología DESLIM

Los resultados obtenidos por Ramírez (144) en la evaluación del módulo DESMULAC mostraron que al mezclar el mucílago y la pulpa se podía controlar más del 85% de la contaminación generada en el proceso. Esto se logró gracias a que más del 50% del mucílago se retuvo en la pulpa; solamente se mezclaban las mieles más concentradas provenientes del desmucilaginador y del lavador, con la pulpa.

La tecnología DESMULAC se utilizó en el proyecto de la Central de Beneficio Ecológico de Anserma (CBEA) (Sección 3.19.) donde se construyeron dos módulos, cada uno con capacidad para procesar 2.400kg de café cereza/h, similares al de

Tabla 20. Desempeño comparativo de desmucilaginadores mecánicos.

Característica	CENICAFÉ-C-I	CENICAFÉ-C-II	COLMECANO
Potencia (W/Kg café baba/h)	2,90	2,51	2,08
Consumo de agua (L/kg de café seco)	1,00	---	2,75
Daño mecánico, (%)	1,19	2,70	1,04

Tolva seca

Desmucilaginator
mecánico inclinado

Despulpadoras que
operan sin agua

Tornillo sinfín para
transporte de café en baba

Tornillo sinfín para
transporte de la
pulpa a las fosas

Pulpa

Figura 41. Aspecto general del módulo DESMULAC desarrollado en Cenicafé.

Cenicafé. En las primeras evaluaciones en la CBEA se observó que los mejores resultados, en términos ecológicos, se podrían obtener si se pudiera mezclar con la pulpa todo el mucílago desprendido y las partículas resultantes del desmucilaginado; sin embargo, con la tecnología DESMULAC esto no era posible ya que una parte importante de estos materiales estaban altamente diluidos (en la salida del lavador y en el agua del canal semisumergido) y al ser incorporados a los otros efluentes se disminuía la retención en la pulpa (a menos del 30%) y el manejo de la contaminación (a menos del 80%).

El desmucilaginator mecánico para café desarrollado por Fukunaga (75), (Figura 42), constaba de dos cámaras verticales de 15cm de diámetro, comunicadas entre sí, en el centro de cada una de las cuales se colocó un agitador construido en barras de acero de 6,35mm de diámetro. Con el fin de incrementar la agitación y producir flujo ascendente de café en cada una de las cámaras, se soldaron varillas de acero de 9,5mm de diámetro a la superficie externa de los agitadores. La velocidad de rotación de los agitadores en la primera cámara fue 860 rpm y en la segunda 1.000 rpm. De acuerdo con el inventor, el café procesado en la máquina necesitaba agua

Tolva de alimentación
del café despulpadoSalida del café
desmucilaginadoDesmucilagadores
de café pergamino,
verticales de
flujo ascendente

Figura 42. Desmucilagador de café en baba, vertical, de flujo ascendente desarrollado por Fukunaga, 1957 (75).

adicional para el lavado y el daño mecánico causado a los granos era bajo. El consumo específico de agua, sin incluir el lavado posterior, y la potencia específica instalada fueron 0,42L/cps y 2,44W/kg de cps procesado, respectivamente.

La tecnología DESLIM (**DES** mucilagador, **L**avador, **LIM**piador) se desarrolló en Cenicafé principalmente para superar las limitaciones observadas en el equipo DESMULAC de la Central de Beneficio Ecológico de Anserma. Se incorporó el concepto del lavado ascendente empleado por Fukunaga (75) y adoptado por Sanz (164) en el CENICAFÉ-C-I, al desmucilagador COLMECANO dando origen a un desmucilagador de flujo vertical ascendente de granos. Para el efecto se colocó un tornillo sinfín corto en la parte inferior, se modificó la carcasa (para incrementar la expulsión de mieles e impurezas), se varió el diámetro de los agitadores (se pasó de una relación diámetro rotor/diámetro carcasa de 0,659 a 0,614) y se modificó el volumen y la localización de la aplicación del agua.

Con el equipo DESLIM se redujo el consumo de agua de 3,5 a menos de 1,0L/kg de cps y se obtuvieron mieles altamente concentradas, aptas para ser mezcladas con la pulpa. Adicionalmente se simplificó notoriamente la mejor tecnología de beneficio que se tenía (DESMULAC); se eliminaron el lavador, el canal semisumergido, el sistema de recirculación de aguas y un filtro de materiales pequeños, que demandaban motores y una bomba para su operación. Con la tecnología DESLIM y el rediseño del módulo DESMULAC se dio origen a la tecnología BECOLSUB (**BE**neficio **EC**ológico del Café y de los **SUB**productos que se ilustra con detalle en la Sección 3.14.).

En estudios realizados por Oliveros (115) se determinaron dos parámetros importantes para el escalamiento de la tecnología DESLIM: la **tasa promedio cortante aplicada** por el rotor y el requerimiento de potencia. En la selección de los rotores de los desmucilagadores se utiliza el concepto de Tasa Cortante Promedia Aplicada (TCPA) como parámetro para evaluar y comparar equipos en aplicaciones de

agitación (como el desmucilaginado del café). La TCPA para el agitador del equipo DESLIM (construido con agitador tipo COLMECANO (Figura 40) de 13,5cm de diámetro externo, diámetro interno de 9,0cm y 8 alabes de sección trapezoidal de 1,3 cm de espesor) se obtuvo en Cenicafé. En la Figura 43 se puede observar el efecto de la velocidad de rotación en la TCPA en el rango de 500 a 1.300 rpm para un rotor construido con agitadores tipo COLMECANO.

La potencia requerida para accionar un rotor de un desmucilaginator depende de: la longitud (ó número de agitadores) y el diámetro, la velocidad de rotación, la viscosidad de la suspensión café - mucílago y el tipo de rotor. Adicionalmente en el caso de los equipos DESLIM la potencia es afectada sensiblemente por la longitud del espacio anular configurado entre la carcaza o camisa perforada y el diámetro externo del agitador. Para disminuir el efecto del tamaño de ánulo en la potencia, sin sacrificar la eficiencia en la remoción del mucílago, la relación entre el diámetro del rotor y el diámetro de la carcaza se estableció en 0,61.

En la Figura 44 se presenta la **curva de potencia** para el rotor del desmucilaginator DESLIM 3000; el rotor consta de 25 agitadores tipo COLMECANO de 13,5cm. de diámetro externo y 9,0cm de diámetro interno; la carcaza tiene 22,0cm de diámetro y el espacio libre entre la carcaza y el diámetro exterior del rotor (ánulo) es de 4,25cm.

En general, se observa una relación no lineal entre el consumo de potencia y la velocidad de rotación (rpm); a velocidades de rotación inferiores a 1.100 rpm, la potencia para mantener el flujo tangencial (Pt) es notoriamente superior a la potencia para impulsar el café a través del ánulo (Pv). A velocidades altas de rotación (>1.100 rpm) Pv es superior a Pt. La potencia para accionar un equipo DESLIM 3000 a una velocidad específica se puede estimar adicionándole al valor obtenido de la Figura 44, las pérdidas debidas a la disipación viscosa (disipación térmica, 13%) y las pérdidas en la transmisión de potencia (10%).

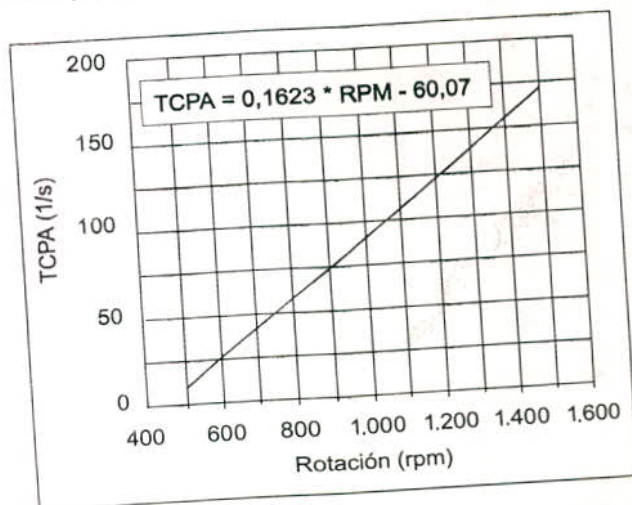


Figura 43. Tasa Cortante Promedio Aplicada (TCPA), por un rotor COLMECANO (Figura 40), con agitadores de 13,5cm de diámetro externo y 9,0cm de diámetro interno.

El agitador del equipo (ara 40) de 13,5cm de sección trapezoidal de se puede observar el 500 a 1.300 rpm para

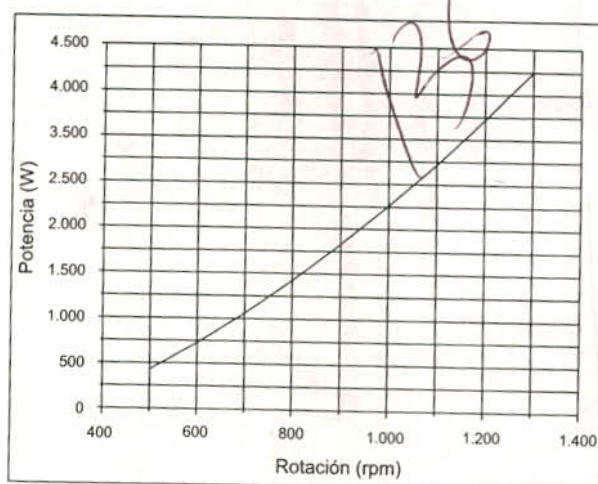
El agitador depende de: la de rotación, la viscosionalmente en el caso te por la longitud del la y el diámetro externo en la potencia, sin n entre el diámetro del

del desmucilaginador 3CANO de 13,5cm. de ne 22,0cm de diámetro del rotor (ánulo) es de

El consumo de potencia y la eriores a 1.100 rpm, la ante superior a la potendades altas de rotación ar un equipo DESLIM ndole al valor obtenido sa (disipación térmica,

Figura 43. Tasa Cortante Proedio Aplicada (TCPA), por un tor COLMECANO (Figura 40), n agitadores de 13,5cm de diámetro externo y 9,0cm de diámetro interno.

Figura 44. Efecto de la velocidad de rotación en el consumo de potencia para un equipo DESLIM 3000, operado con alimentación de 1.500kg de café despulpado/h.



La camisa, el tamaño y la forma de las aberturas de la carcasa, afectan notoriamente el funcionamiento de los equipos DESLIM. A través de las perforaciones se expulsa el mucílago y gran parte de otros materiales como restos de pulpa, fracciones de granos, etc., debido al efecto de la fuerza centrífuga. Como el patrón de flujo en un desmucilaginador es principalmente tangencial²⁶, las partículas, incluidos los granos, se alinean en esta dirección por lo cual y con fines de limpieza del café, resulta conveniente colocar las aberturas en la dirección tangencial. El tamaño de las aberturas debe permitir solamente la salida de las impurezas, evitando que queden granos pequeños incrustados en ellas; ésto se logra con perforaciones oblongas de longitud mayor a 19mm. y de ancho en el rango de 3 a 3,5mm.

3.10.5. Componentes de los equipos DESLIM

Después de las numerosas evaluaciones en laboratorio y en beneficiaderos comerciales efectuadas por Cenicafe, los equipos DESLIM han sido modificados y optimizados. Las dimensiones principales de los diferentes equipos DESLIM se presentan en la Tabla 23. Sus partes constitutivas esenciales son las siguientes:

3.10.5.1. Carcaza

Es la parte fija de la máquina que por el tamaño, la forma y disposición de las perforaciones (ovaladas de 3,0 a 3,5 x 19 a 25mm, horizontales), separa el mucílago desprendido y las impurezas (pulpa y pergamino, principalmente) de los granos de café (Figura 45).

²⁶ En un equipo DESLIM operando a 900 rpm, la máxima velocidad tangencial de una partícula localizada en el borde del alabe, es 6,36m.s⁻¹ mientras que la velocidad axial, generada por el tornillo sinfín, es 0,0133m.s⁻¹. La velocidad radial en dispositivos de este tipo es muy inferior a la tangencial y a la axial.

La carcaza de los desmucilagadores mecánicos DESLIM es de longitud variable de acuerdo con la capacidad. Para resistir los esfuerzos que se generan dentro de los desmucilagadores, el cilindro de lámina troquelada debe estar reforzado. Debe tener en la parte frontal, una puerta de acceso con un sistema de cierre suficientemente fuerte para evitar que se abra durante el trabajo.

En los extremos, unidas por medio del sistema de bridas, se deben instalar dos tapas donde se ubican los rodamientos que soportan el rotor del equipo.

En la parte intermedia y en la parte superior se deben tener **entradas para adicionar el agua** de desmucilagado y de lavado, respectivamente, dentro de la máquina. Para conseguir un desempeño óptimo respecto al consumo de agua y calidad de desmucilagado, los valores en los que deben estar calibrados estos caudales están consignados en la Tabla 21.

3.10.5.2. Rotor

La parte rotatoria (Figuras 40 y 45), es el dispositivo mecánico que por la velocidad de giro y forma especial se encarga de causar los esfuerzos cortantes a la masa de café, necesarios para el desprendimiento del mucílago que recubre los granos. Está formado por tres tipos de elementos ensamblados en un eje: el alimentador y dosificador, los agitadores y los limpiadores; el eje es de sección circular en los extremos y de sección cuadrada en la parte intermedia.

Para evitar las obstrucciones de la malla perforada de la carcaza se dispone de **limpiadores**, que consisten en cilindros unidos rígidamente a una varilla.

La potencia se transmite por medio de una polea de forma que el rotor gire a una velocidad de 870 rpm. Se dispone de una tolva de alimentación para proporcionar continuamente el café despulpado al desmucilagador mecánico. Mediante un ducto de descarga se conduce el café desmucilagado hasta el secador u otro dispositivo de limpieza complementario como un hidrociclón u otro sistema de lavado. Esta etapa es necesaria si la materia prima es de muy mala calidad.

Tabla 21. Características principales de los tres modelos DESLIM para desmucilagar mecánicamente el café.

Características	Capacidad. - kg cc/h				
	100	300	600	1000	3000
Longitud del Rotor, m	0,40	0,50	0,53	0,70	1,00
Potencia, kw	0,37	0,59	0,89	1,34	4,92
	(0,50)	(0,80)	(1,2 hp)	(1,8 hp)	(6,6 hp)
Agua de desmucilagado, L/min	-	-	1,00	1,75	3,75
Agua Lavado, L/min	0,40	0,80	1,00	1,75	3,75

cc = café cereza.

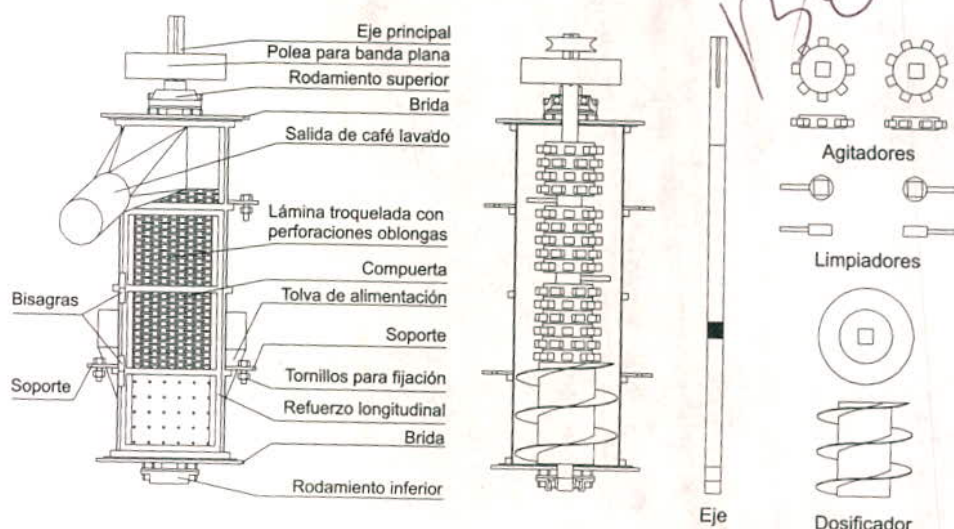


Figura 45. Esquema general, principales componentes y elementos de los equipos DESLIM para desmucilagar café.

El mucílago y materiales que salen por las perforaciones de la carcasa se mezclan con la pulpa en el equipo BECOLSUB.

3.10.6. Características de los desmucilagadores de flujo ascendente, DESLIM

El 95% de las fincas cafeteras colombianas tienen cultivos de café de menos de 3ha. En cada hectárea se producen, en promedio 925kg, (74@) de cps por año. De las 866.000 fincas registradas en la Encuesta Cafetera de 1.997, un poco más de 10.000 predios tiene extensión superior a 10ha y menos de 100 fincas tienen mas de 50ha sembradas en café. La tecnología para el beneficio ecológico del café con manejo de los subproductos (BECOLSUB) ha sido diseñada teniendo en cuenta la estructura cafetera colombiana. En la Tabla 22 se presenta la oferta existente de la tecnología BECOLSUB para diferentes rangos de producción anual.

Tabla 22. Niveles de producción anual de café (ton y @ cps/año) y módulos BECOLSUB apropiados.

Modulo DESLIM	Rango de producción, ton	(@) cps/año*
100	Menor de 12,5	(Menor de 1.000)
300	12,5 a 18,8	(1.000 a 1.500)
600	18,8 a 37,5	(1.501 a 3.000)
1.000	37,5 a 75,0	(3.001 a 6.000)
3.000	Mayor de 75,0	(Mayor de 6.000)

* Valores obtenidos considerando días pico de 2,0% y 2,5%, seis horas de operación en el día pico y conversión cereza a seco de 5,0.

A continuación se presentan las características específicas de cada uno de los diferentes modelos de la tecnología DESLIM.

3.10.6.1. Modelo DESLIM 100

El equipo DESLIM 100 incluido en el módulo BECOLSUB 100 (Figura 46), consta de un rotor con 16 agitadores de aluminio inyectado, de 92mm de diámetro, que gira a 870 r.p.m. en el interior de una carcaza de 12,8cm de diámetro interno (relación diámetro rotor a diámetro de carcaza de 0,718). El rotor está soportado por dos rodamientos, el superior, tipo "chumacera" de pared y el inferior de rodillos cónicos. El tornillo sinfín impulsor del café tiene 136,7mm de diámetro externo y 85,9mm de diámetro interno, 40mm de paso y altura total de 87mm; está construido en acero inoxidable calibre (1/8). La camisa también está fabricada en acero inoxidable calibre 18, con perforaciones de 3,1mm x 19,0mm; el ancho de las nervaduras horizontales y verticales es de 3,2mm y 2,9mm, respectivamente.

En el modelo DESLIM 100 solamente se le suministra agua en la parte superior, esencialmente para el lavado del café. Para permitir el mejor aprovechamiento del agua suministrada no se perforó el tercio superior de la camisa. El agua requerida para la adecuada operación del equipo (0,4L/min) se suministra por medio de un tubo de 5,95mm de diámetro interno (15/64") colocado en la parte superior del DESLIM en el lado opuesto a la descarga de los granos desmucilaginosos y lavados.

Para la operación del módulo BECOLSUB (desmucilaginator, despulpadora y tornillo sinfín) se utiliza un motor de 0,74kW (1,0 hp). Para accionar el desmucilaginator se requieren 0,44kW (0,6 hp). Otras dimensiones de importancia de este módulo y de los siguientes se presentan en la Tabla 23.

3.10.6.2. Modelo DESLIM 300

Para necesidades de procesamiento de 12,5 hasta 18,8ton (1.000 hasta 1.500@) de cps/año se diseñó el desmucilaginator DESLIM-300 (Figura 47) utilizando la metodología para escalamiento de rotores propuesta por Oliveros *et al.* (115). La carcaza de 60cm de altura se construyó en PVC de 156mm (6") (es posible utilizar otro material como el acero inoxidable, calibre 18, o el aluminio de 2,0mm de espesor, siempre y cuando se mantenga el mismo diámetro interior) con perforaciones oblongas perpendiculares al eje del rotor, de 3,5 x 25,0mm. El rotor, que gira a 870 rpm, consta de un alimentador de tornillo sinfín de 145mm de diámetro, altura de 130mm y paso de 40mm, 22 agitadores de 8 álabes contruidos en aluminio inyectado (que garantiza larga duración) con 60mm de diámetro interior y 92mm de diámetro exterior. El rotor está soportado sobre dos rodamientos localizados en la carcaza: el superior es rígido de bolas, tipo FY, para eje de 19,05mm (3/4") de diámetro y el inferior, de rodillos cónicos, referencia 30203. Para la protección del rodamiento inferior (de la acción de las mieles y del agua utilizada para el lavado del equipo al

da uno de los dife-

(Figura 46), cons-
n de diámetro, que
diámetro interno
tor está soportado
inferior de rodillos
diámetro externo y
mm; está construi-
fabricada en acero
n; el ancho de las
pectivamente.

n la parte superior,
rovechamiento del
. El agua requerida
ra por medio de un
parte superior del
cñados y lava-

despulpadora y tor-
nar el desmucilagi-
mportancia de este

0 hasta 1.500@) de
) utilizando la meto-
al. (115). La carcaza
posible utilizar otro
e 2,0mm de espesor,
rforaciones oblongas
que gira a 870 rpm,
tro, altura de 130mm
n inyectado (que
92mm de diámetro
ados en la carcaza: el
4") de diámetro y el
ción del rodamiento
lavado del equipo al



Figura 46. Imagen virtual del modelo BECOLSUB 100; lograda por computador.

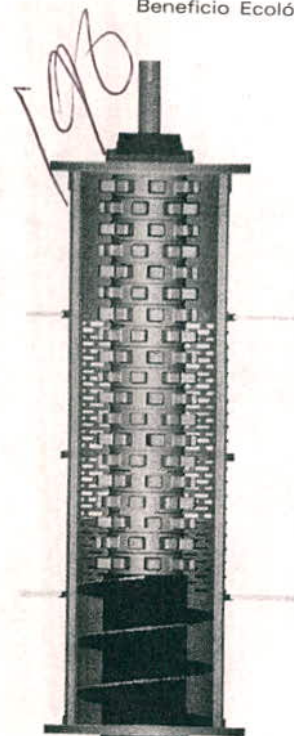


Figura 47. Imagen virtual interior del equipo DESLIM 300, se observa el eje central, tornillo sinfín, carcaza y agitadores.

final de la jornada) se diseñó un alojamiento para el rodamiento de tal manera que quede 63mm por encima de base inferior.

Al igual que en el DESLIM 100, solamente se suministra agua para el lavado del café (0,80L/min), en un solo punto localizado en la parte superior. Para permitir un mejor aprovechamiento del agua, en el DESLIM 300 no se perforó el tercio superior de la carcaza. De esta forma el agua de lavado, que se mueve en dirección opuesta a la del grano, se aprovecha para lavar el café durante buena parte de su recorrido.

Para la operación del módulo (desmucilaginador, despulpadora y tornillo sinfín) se utiliza un motor de 1,34kW (1,8 hp). En la eventualidad de que se utilicen dos motores, se requiere uno de 0,75kW (1 hp) para la despulpadora y el tornillo sinfín y otro de 1,2 hp para el desmucilaginador.

3.10.6.3. Modelo DESLIM 600

El equipo DESLIM 600, con capacidad para 600kg de cc/h, consta de un rotor con 10 agitadores tipo COLMECANO de 13,5cm de diámetro externo y 9,0cm de diámetro interno, separados (centro-centro) 28mm. Por medio de un tornillo sinfín de 20,5 cm de diámetro interno, 10,2cm de paso y 20,0cm de longitud, colocado en

Tabla 23. Características técnicas de los equipos DESLIM y los módulos BECOLSUB 100, 300, 600, 1000 y 3000 (kg de café cereza/hora).

PARÁMETRO	MÓDULO				
	100	300	600	1000	3000
Altura total L (mm)	400	600 a 650	540 a 610	700 a 800	1000
Diámetro interior (mm)	132 a 135	158 a 162	213 a 216	213 a 216	213 a 216
Altura alimentador sinfín (mm)	80	129 a 135	140 a 160	200	200
Paso alimentador (mm)	26 a 30	40 a 42	44 a 51	64	64
Diámetro hélice alimentador (mm)	112 a 115	138 a 142	193 a 196	193 a 196	193 a 196
Tolerancia entre Alimentador y camisa (mm)	10	10	10	10	10
Entradas de agua (un)	1	1	2	2	3
Caudal de agua (l/min)	0,4	0,8	1,6	3	8
Agitadores (un)	16	21	10	15	25
Agitadores-limpiadores	no tiene	2	2	2	4
Dientes agitadores (un)	8	8	8	8	8
Diámetro agitadores (mm)	92	92	133 a 137	133 a 137	133 a 137
Espesor agitadores (mm)	18	18	24 a 26	24 a 26	24 a 26
Largo diente agitador-limpiador (mm)	34 a 36	34 a 36	34 a 36	34 a 36	34 a 36
Largo diente agitador (mm)	17 a 18	17 a 18	17 a 18	17 a 18	17 a 18
Ancho diente agitador (mm)	14,8 a 15,4	14,8 a 15,4	20 a 22	20 a 22	20 a 22
Altura diente agitador (mm)	9,8 a 10,2	9,8 a 10,2	14 a 15	14 a 15	14 a 15
Espesor (calibre) camisa (inoxidable)	1,2 (18)	1,2 (18)	1,2 (18)	1,2 (18)	1,2 (18)
Ancho perforaciones camisa (mm)	3 a 3,5	3 a 3,5	3 a 3,5	3 a 3,5	3 a 3,5
Largo perforaciones camisa (mm)	> de 19	> de 19	> de 19	> de 19	> de 19
Separación horizontal entre perforaciones (mm)	mayor a 3	mayor a 3	mayor a 3	mayor a 3	mayor a 3
Separación vertical entre perforaciones (mm)	> de 3	> de 3	> de 3	> de 3	> de 3
Longitud lado del eje (mm)	19,05	19,05	31,75	31,75	31,75
Potencia con o sin zaranda (hp)	1	1,8	3	4,8	6,6
Longitud zaranda varillas/lámina troquelada (mm)	no tiene	400/400	550/660	900/950	1100/1400
Diámetro zaranda (mm)	no tiene	300	400	400	400
Separación entre varillas (mm)	X	8,5	8,5	8,5	8,5
Velocidad eje desmucilaginator (rpm)	870 a 880	870 a 880	870 a 880	870 a 880	870 a 880
Velocidad zaranda (rpm)	X	20 a 30	20 a 30	20 a 30	20 a 30
Velocidad tornillo sinfín pulpa-mucilago (rpm)	160 a 180	160 a 180	160 a 180	160 a 180	160 a 180

la parte inferior del equipo, se impulsa el café en dirección ascendente por la acción del tornillo sinfín localizado en la parte inferior (Figura 45). El agua requerida en el proceso se suministra en la parte intermedia de la cámara de desmucilaginator (0,8L/min) y en la parte superior del equipo (0,8L/min). Debido al flujo ascendente con expulsión de mucílago e impurezas a través de la camisa y a la disposición del agua el café resulta lavado y limpio, listo para continuar el proceso de beneficio. El rotor gira a 870 rpm.

SLIM y los módulos
/hora).

	1000	3000
	700 a 800	1000
	213 a 216	213 a 216
	200	200
	64	64
	193 a 196	193 a 196
	10	10
	2	3
	3	8
	15	25
	2	4
	8	8
7	133 a 137	133 a 137
	24 a 26	24 a 26
	34 a 36	34 a 36
	17 a 18	17 a 18
	20 a 22	20 a 22
5	14 a 15	14 a 15
	1,2 (18)	1,2 (18)
	3 a 3,5	3 a 3,5
9	> de 19	> de 19
13	mayor a 3	mayor a 3
3	> de 3	> de 3
5	31,75	31,75
	4,8	6,6
60	900/950	1100/1400
	400	400
	8,5	8,5
880	870 a 880	870 a 880
30	20 a 30	20 a 30
180	160 a 180	160 a 180

n ascendente por la acción
). El agua requerida en el
de desmucilaginado (0,8L/
do al flujo ascendente con
y a la disposición del agua
ceso de beneficio. El rotor

3.10.6.4. Modelo DESLIM 1000

En el modelo DESLIM 1000 (Figura 48) se utiliza un rotor similar al del modelo anterior pero con 15 agitadores tipo COLMECANO. El agua utilizada (3,0L/min.) se aplica en dos sitios: en la mitad de la altura de la cámara y en la descarga (1,5 L/min en cada uno). El rotor gira a 870 rpm y es accionado por un motor de 2,4 hp. En los módulos BECOLSUB 1000 se requiere un motor de 4,8 hp para accionar la despulpadora, el desmucilaginador y el tornillo sinfín.

3.10.6.5. Modelo DESLIM 3000

En el equipo DESLIM 3000 (Figura 49) se utiliza un rotor con 25 agitadores similares a los anteriores, girando a 870 rpm. La carcaza también es del mismo diámetro (0,222m). Cuando se alimenta con el café en baba proveniente del despulpado de 2.400kg de café cereza/h, sin clasificación ni limpieza previas de la cereza, se requiere un motor de 4,8 hp. Si el rendimiento del despulpado es de 3.000kg de cereza/h se requiere un motor de 6,6 hp. El agua, 8,0L/min, en el caso de 2.400kg de cereza/h, se distribuye en iguales cantidades en tres lugares localizados en el tercio inferior, medio y superior de la cámara de desmucilaginado.

En la Tabla 23 se presentan, en forma muy detallada, las características de cada uno de los elementos constituyentes de los equipos DESLIM y algunas características de los módulos BECOLSUB, para los modelos 100, 300, 600, 1000 y 3000kg de café cereza por hora.

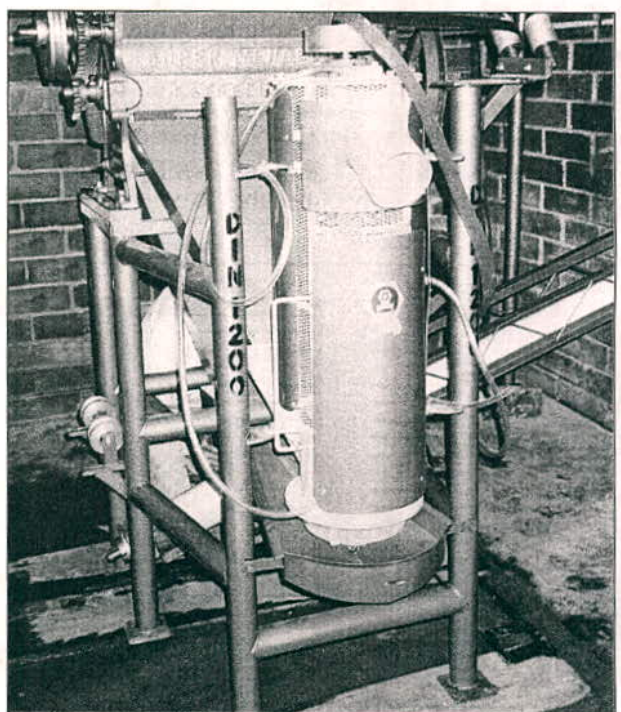


Figura 48. Desmucilaginador modelo DESLIM 1000, constituyente de un equipo BECOLSUB, construido por la industria nacional.

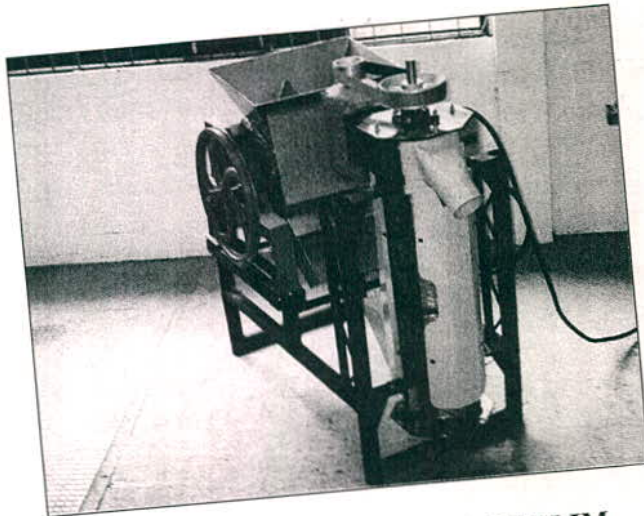


Figura 49. Modelo DESLIM 3000 con despulpadora de doble disco y capacidad de 2.500kg café cereza/hora.

3.10.7. Desempeño de la Tecnología DESLIM

En la Figura 50 se presentan los valores promedios de calidad del café pergamino obtenido con un equipo DESLIM 600, comparado con el beneficio convencional con fermentación. Se retiraron los granos verdes y secos del café en cereza utilizado en las evaluaciones; al café en baba se le retiraron los granos sin despulpar y parte de la pulpa utilizando una zaranda. El café obtenido por los dos métodos resultó de alta calidad física. El **daño mecánico** intrínseco, debido al equipo solamente, fue muy bajo ($< 0,2\%$). El consumo específico de agua también ($0,96\text{L/kg}$ de café seco) y la relación potencia instalada/capacidad observada fue de $3,68\text{ W/(kg de café despulpado/h)}$. Similares resultados se han obtenido con los modelos DESLIM 1000 y DESLIM 3000.

Al café procesado en los equipos DESLIM fue necesario retirarle los flotes antes de llevarlo al secador; en el caso de fincas pequeñas esta operación se realiza agregando agua limpia al café hasta cubrirlo con una lámina de 10cm y los flotes se retiran

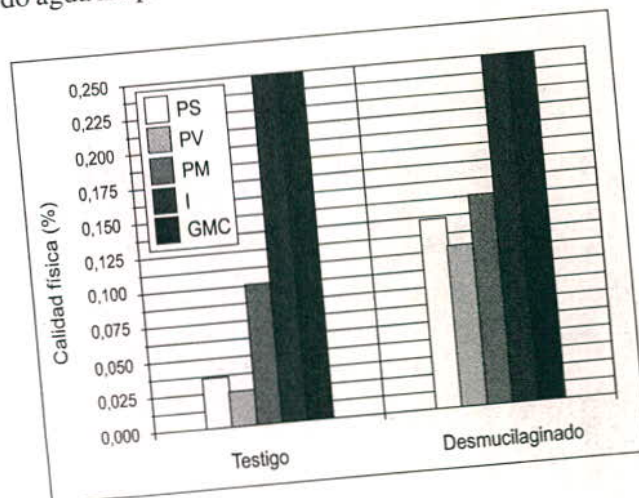


Figura 50. Calidad física del café obtenido (PS = pergamino seco; GMC = grano mediacara; PV = pergamino verde; I = impurezas; PM = pergamino monstruo), con el equipo DESLIM 600.

utilizando un recipiente perforado. En fincas grandes se utiliza una bomba para transportar el café hasta los secadores y los flotes se retiran en el tanque de la bomba y las restantes impurezas por medio de otros dispositivos como el hidrociclón.

En las operaciones con agua para limpiar el café pergamino se genera **contaminación** en los niveles mostrados en la Figura 51. Los valores de DQO²⁷/litro de agua utilizada, para el primer enjuague, que puede ser suficiente si el equipo está operado correctamente, aunque intrínsecamente altos, son muy inferiores a los observados en las aguas mieles resultantes del beneficio con fermentación natural tradicionalmente arrojadas a las quebradas o a los ríos (>30.000mg de DQO/litro). Los valores de DQO/litro para el segundo enjuague (a veces necesario por la mala calidad del café) son notoriamente inferiores a los del primer enjuague. En la Figura 51 también se presentan los valores de DQO/litro en el caso del procesamiento de 3.000kg de café cereza de mala calidad (alto contenido de granos brocados, secos y guayabas), con tecnología BECOLSUB e hidrociclón (Sección 3.11.) con recirculación de aguas. En este caso la concentración de partículas removidas en el hidrociclón, aumenta la carga orgánica de las aguas utilizadas (8.500mg DQO/L). El consumo específico de agua es relativamente bajo (0,12 L/kg de cps).

Finalmente, con la tecnología BECOLSUB desarrollada en Cenicafé, se logra conseguir las siguientes **ventajas** con relación al proceso convencional con fermentación natural:

- Reducción importante en el consumo específico de agua (< 1,0L/kg de cps).
- Mejoramiento notorio en el rendimiento (Capítulo 5) café cereza: café seco, por la recuperación de cerezas maduras y pintonas que por su tamaño y/o por fallas en la calibración de las máquinas no resultan despulpadas y de cerezas con almendras normales pero con la pulpa adherida al pergamino debido a problemas fitosanitarios, como la mancha de hierro. En evaluaciones de los equipos DESLIM

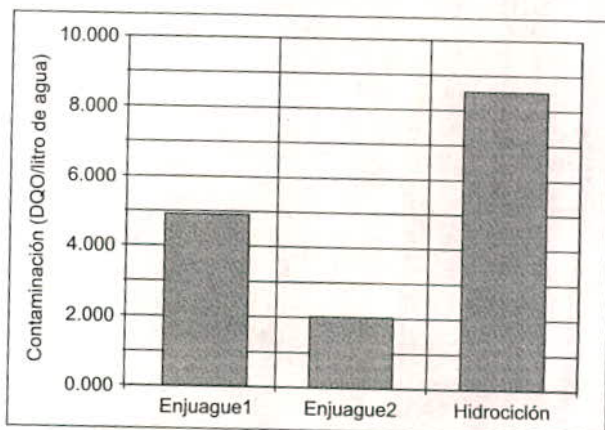


Figura 51. Contaminación generada por la utilización del agua posterior al proceso de desmucilaginado en equipos DESLIM, para la eliminación de los flotes e impurezas.

²⁷ DQO = Demanda Química de Oxígeno.

se han observado conversiones de cereza a seco en el rango de 3,8 a 4,5 mientras que con la fermentación natural las conversiones fueron superiores a 4,4.

- Manejo de mas del 50% de la contaminación generada por las mieles resultantes del proceso gracias a la retención de un porcentaje mayor del 50% de estos efluentes al mezclarlos con la pulpa, utilizando un tornillo sinfín (proceso BECOLSUB). Si el despulpado y el transporte de la pulpa hasta los sitios de transformación se realizan sin agua, se puede evitar más del 90% de la contaminación que tradicionalmente ha ocasionado el beneficio húmedo del café.
- Reducción importante en el tamaño y en el costo de la infraestructura requerida para el procesamiento húmedo del café. (Uno de las primeras modificaciones que se hicieron con el equipo DESLIM, fue en la Subestación de Cenicafé Paraguaicito, en el departamento del Quindío en donde funcionaba entre 1993 y 1995, un sistema ecológico de transporte no hidráulico simultáneo de café despulpado y de pulpa a las fosas, por el sistema de cable-disco. La fermentación se efectuaba por el sistema tradicional y el lavado por el sistema de cuatro enjuagues (Figuras 52 y 53).
- Con el módulo BECOLSUB móvil, (Sección 3.18.) se pueden obtener ingresos adicionales por la reducción en el costo del transporte, pues la pulpa y el mucílago

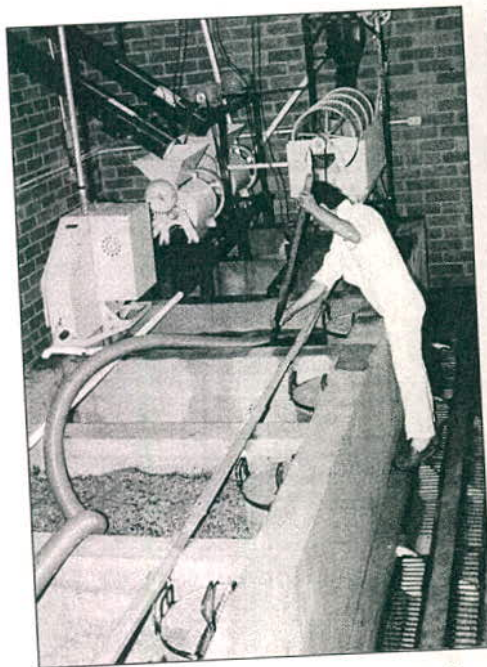


Figura 52. Sistema de zaranda clasificadora, transportador por el sistema cable - disco, 7 tanques de fermentación y lavado mediante motobomba utilizada para el transporte del café. Cenicafé, Paraguaicito, Quindío 1993-1995.

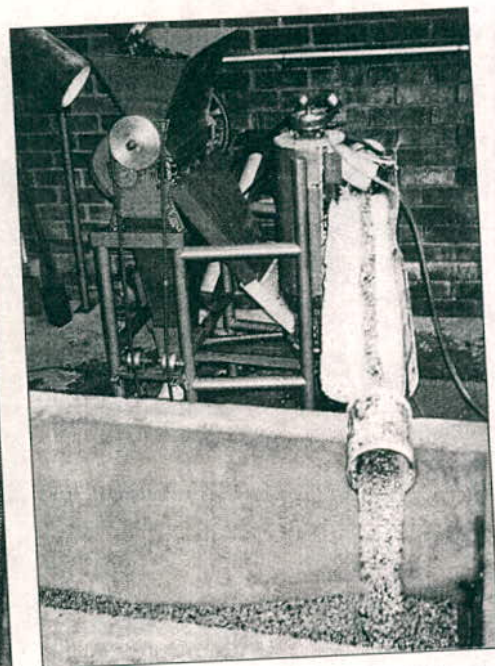


Figura 53. Simplificación del sistema de lavado, limpiando y clasificando del café mediante el módulo BECOLSUB, en una cuarta parte del espacio anterior. Cenicafé, Paraguaicito, Quindío 1996.

o de 3,8 a 4,5 mien-
n superiores a 4,4.

as mieles resultantes
or del 50% de estos
nillo sinfín (proceso
pa hasta los sitios de
el 90% de la contami-
medo del café.

aeestructura requerida
neras modificaciones
estación de Cenicafe
nacionaba entre 1993 y
multáneo de café des-
co. La fermentación se
stema de cuatro enjua-

ueden obtener ingresos
es la pulpa y el mucíla-



lificación del sistema de lavado,
ficando del café mediante el mó-
B, en una cuarta parte del espa-
café, Paraguaicito, Quindío 1996.

go pueden quedar localizados en los lotes para su posterior manejo ecológico y únicamente se transportaría el café lavado a los secadores.

- Simplificación del proceso de beneficio húmedo del café. Cuando la cereza es de buena calidad (menos del 5% de cerezas verdes y secas) se puede obtener café pergamino lavado con menos del 2,0% de guayabas y media cara (granos con más de la mitad de la pulpa adherida a su superficie) y menos del 0,5% de impurezas, listo para el secado. Cuando la cereza no es de buena calidad, situación que normalmente se presenta en Colombia en épocas fuera de la cosecha principal, se puede limpiar el café lavado utilizando dispositivos como el hidrociclón con recirculación de agua, o en el estado de pergamino seco, utilizando zarandas circulares con aberturas de 4,1 a 4,3 mm.

3.11. LAVADO Y CLASIFICACIÓN DEL CAFÉ EN EL HIDROCICLÓN ²⁸

En el proceso de beneficio húmedo del café tradicionalmente se ha utilizado el canal de correteo (CCo) (Figura 25) y el canal semisumergido (CSS) (Figura 28), para lavar el café y retirar los granos vanos, las impurezas y obtener así cafés de alta calidad física. Cuando el CCo y el CSS se utilizan adecuadamente, permiten separar cafés tipo Federación de cafés de calidad inferior ó corrientes (45).

Sin embargo, tanto en el CCo como en el CSS se observan importantes limitaciones como los altos consumos de agua cuando no hay recirculación (más de 15L de agua por kg de café pergamino seco beneficiado) y porcentajes altos (19%) de café bueno junto con las pasillas (95, 172). En consecuencia, se dificulta y encarece enormemente el manejo ecológico de los efluentes, se extiende el tiempo de operación (por el repase) y se ocasionan importantes pérdidas económicas al caficultor.

El hidrociclón, HC (Figuras 54 y 55) es un dispositivo que permite retirar las impurezas del café con alta eficacia y eficiencia; el equipo se alimenta con las partículas bajo presión utilizando una bomba sumergible. La suspensión agua-café, rota alrededor del eje longitudinal del HC formando un remolino exterior descendente que arrastra los granos más densos (café bueno) hacia las paredes, hasta evacuarlos por la parte inferior ó **ápice**. Las partículas de menor densidad (granos verdes, brocados y algunos granos sanos) y de forma aplanada (restos de pulpa), son arrastradas hacia un remolino interior ascendente, el cual los descarga en la parte superior ó **localizador**.

Las **variables geométricas** ó de diseño de un hidrociclón (Figura 54) son: Diámetro principal = D ; Sección de entrada = bxh ; Diámetro del ápice = D_u ; Diámetro del localizador = D_o ; Altura del localizador = h_{lv} ; Altura de la sección cilíndrica = H_{ci} ; Altura de la sección cónica = H_{co} ; Angulo del cono = θ .

²⁸ Preparado por Aristizábal, I. D. Ingeniería Agrícola, Cenicafe.

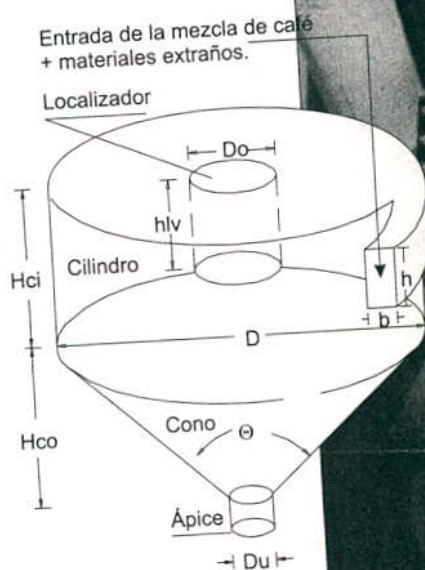


Figura 54. Variables de diseño de un hidrociclón.

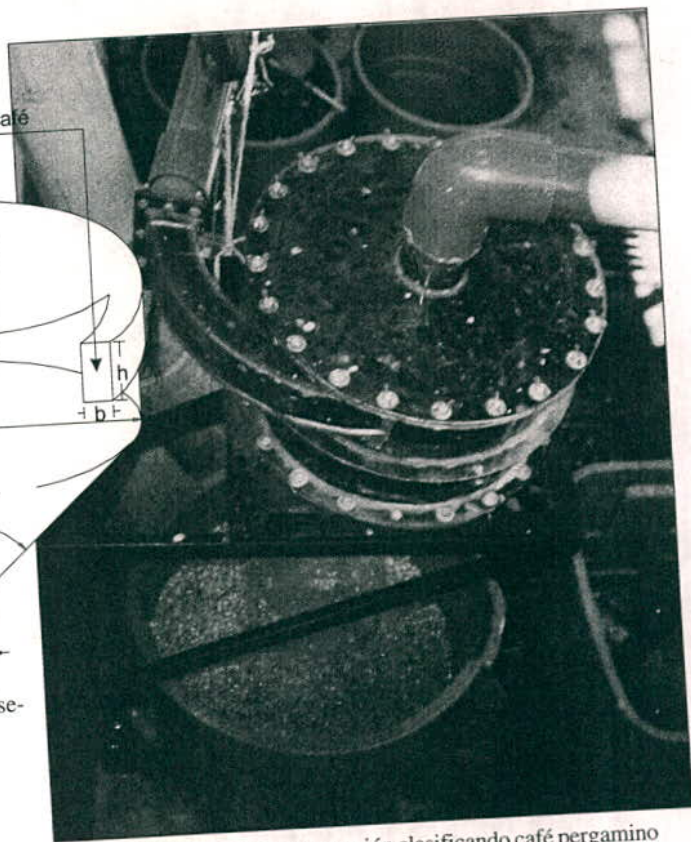


Figura 55. Hidrociclón en operación clasificando café pergamino en Cenicafé.

Las variables de operación que más influyen en el funcionamiento del HC son el caudal y la concentración de la suspensión agua - café. La capacidad del HC depende principalmente de las variables D y H_{ci} , de las características de la motobomba instalada y del flujo de café alimentado al tanque de bombeo (19, 25, 91, 163).

Aristizábal (19) diseñó y evaluó el desempeño de un HC en el lavado y en la clasificación de café procedente de los tanques de fermentación. Las dimensiones del equipo se encuentran en la Tabla 24 y en la Figura 54. En la Figura 55 se muestra el equipo en funcionamiento.

3.11.1. Diseño de un hidrociclón

Para diseñar un hidrociclón se debe conocer el flujo de café por procesar, el caudal de suspensión agua - café que puede transportar la bomba que se utilice y la altura entre el tanque de bombeo y la entrada al hidrociclón. En la Tabla 25 se presentan las dimensiones de hidrociclones para diferentes capacidades de transporte y altura dinámica total de bombeo (H); adicionalmente, se incluyen los valores mínimos de potencia de la motobomba requeridos en cada caso.

Tabla 24. Dimensiones del hidrociclón experimental de Cenicafé para la clasificación del café.

D cm	Di* cm	Du cm	Do cm	hlv cm	Hci cm	Hco cm	θ °
35,0	5,17	3,83	6,30	12,0	21,0	21,0	81,0

* Diámetro equivalente a las dimensiones h y b.

Tabla 25. Dimensiones del hidrociclón para diferentes condiciones de bombeo.

Capacidad kg/h	Caudal L/min	H m	Potencia kw	D cm	Di cm	Du cm	Do cm	hlv cm	Hci cm	Hco cm	θ °
1.500	100	5,0	0,37(1/2 hp)	35,0	5,46	3,34	5,46	14,0	24,0	26,0	62,7
2.200	380	2,5	0,56(3/4 hp)	64,0	8,89	1,90	5,45	25,0	29,0	33,0	81,0
3.000	200	5,5	0,74(1,0 hp)	55,0	8,89	4,37	8,89	22,0	33,0	30,0	80,0

3.11.2. Construcción

El hidrociclón está constituido en su parte superior por un cilindro de diámetro D y en su parte inferior por un cono de ángulo θ : el localizador penetra en el cuerpo del cilindro una distancia hlv, equivalente al 40% del valor del diámetro principal. Se recomienda construir la entrada al hidrociclón en forma de envolvente de sección rectangular (bxh), con el lado mayor paralelo al eje del hidrociclón. La altura del cilindro (Hci) debe ser 2 ó 3 veces la altura de la sección de entrada (calculada en base a Di, diámetro de área equivalente de la sección bxh). La altura del cono (Hco) se elige igual a la altura Hci, o la correspondiente a un ángulo de cono θ entre 60 y 90°. En la parte final del cono, correspondiente al diámetro del ápice (Du), se recomienda acoplar un cilindro del mismo diámetro y de altura de 10cm. Debe evitarse que la descarga superior tenga un efecto sifón. En caso de requerir una conducción por debajo de la descarga inferior, se debe construir una almenara a la salida del HC (19) (Figura 56).

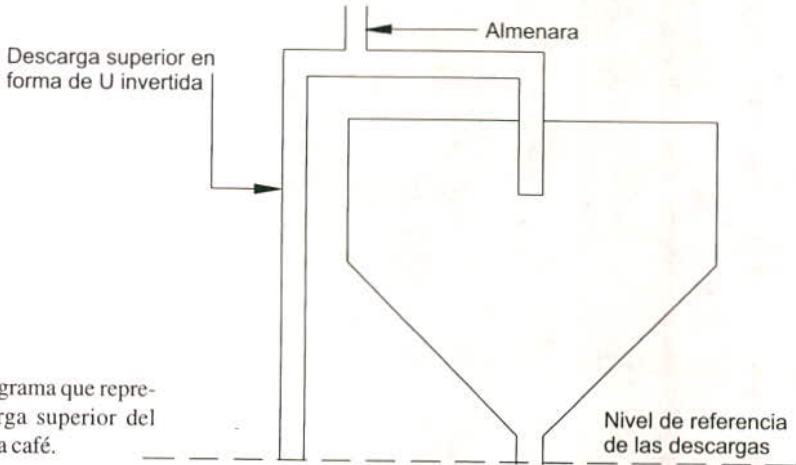


Figura 56. Diagrama que representa la descarga superior del hidrociclón para café.

749

3.11.3. Instalación y funcionamiento

El hidrociclón se soporta por medio de una estructura construida en ángulo de hierro la cual puede fijarse en la zona húmeda del beneficiadero, cerca al desmucilagador, a los tanques de fermentación, o al tanque de bombeo, de tal modo que el café clasificado pueda almacenarse temporalmente en un tanque de trabajo para ser posteriormente bombeado a la zona de secado. La diferencia de altura entre el tanque de bombeo y la descarga superior del equipo y las pérdidas de presión debidas a la tubería y a los cambios de dirección, deben ser tales que la presión de entrada al HC esté comprendida entre 13,8 y 34,5kPa (2 a 5psi). De esta forma se tiene una descarga en el ápice en forma de abanico con ángulos mayores de 30° respecto a la vertical, lo cual indica que el HC está funcionando correctamente y en consecuencia, se puede obtener café pergamino lavado con bajo contenido de guayabas e impurezas. El caudal de agua evacuado por el ápice, aproximadamente el 30% del total utilizado, se debe retornar al tanque de bombeo. En la Figura 56 se observa como el café clasificado se obtiene por la descarga inferior o ápice.

La descarga del localizador entrega un alto porcentaje de pasillas, granos muy brocados, restos de pulpa, un porcentaje relativamente bajo de granos buenos (12,4%) y el restante 70% del caudal de agua utilizada, el cual debe retornar al tanque de bombeo. Estos materiales pueden ser recirculados fácilmente, obteniéndose una importante recuperación de café bueno (19).

3.11.4. Evaluación del hidrociclón

Los resultados obtenidos de la evaluación comparativa del hidrociclón, (Tabla 26) permiten concluir que este dispositivo presenta las siguientes ventajas con relación al CCo y al CSS: menor consumo específico de agua (se gasta menos agua para clasificar la misma cantidad de café), menores pérdidas de café sano que fluye con

Tabla 26. Desempeño del prototipo de un hidrociclón, diseñado para lavado y clasificación de café pergamino. (19*, 182**, 95****)

Equipo %	Imp. S. %	C.B.S. %	Pas. S. %	C.S.P. %	P. + I.	Cap. kg/h L/kg	C.E.A.
HC*	71,6	24,8	28,2	12,4	7,3	1.640	1,9
Cco **	—	23,6	—	18,9	—	450	18,7
CSS***	86,5	—	85,2	19,8	3,2	7.000	3,2

Imp. S. = Impurezas separadas.
 C.B.S. = Café brocado separado.
 Pas. S. = Pasillas separadas.
 C.S.P. = Café sano en las pasillas.
 P. + I. = Pasillas más impurezas en el café sano.
 Cap. = Capacidad.
 C.E.A. = Consumo específico de agua (litros por kilogramo de café húmedo).

struida en ángulo de
ero, cerca al desmuci-
eo, de tal modo que el
que de trabajo para ser
cia de altura entre el
s pérdidas de presión
ales que la presión de
psi). De esta forma se
gulos mayores de 30°
do correctamente y en
pajo contenido de gua-
s, aproximadamente el
eo. En la Figura 56 se
inferior o ápice.

sillas, granos muy bro-
granos buenos (12,4%)
e retornar al tanque de
ente, obteniéndose una

l hidriciclón, (Tabla 26)
es ventajas con relación
gasta menos agua para
café sano que fluye con

diseñado para lavado y

I.	Cap. kg/h L/kg	C.E.A.
1	1.640	1,9
2	450	18,7
3	7.000	3,2

io de café húmedo).

las pasillas, es decir, el porcentaje en peso del café bueno que se separa junto con el material liviano como pasillas, pulpa y otras impurezas por la ineficiencia propia del clasificador es menor en el HC que en el CCo y en el CSS, y mayor eficacia en la separación del café brocado. Aunque el porcentaje de pasillas más impurezas, que aparecen finalmente en el café clasificado por el ápice del HC es del 7,3% en húmedo, este café después de seco queda dentro de las normas como tipo Federación, debido a que las impurezas reducen sensiblemente su peso por su mayor contenido de humedad. En Cenicafe se beneficiaron durante la cosecha principal de 1995, doscientas toneladas de café cereza utilizando despulpado sin agua, desmucilaginado mecánico (desmucilaginador tipo DESLIM) y como sistema clasificador el hidrociclón (Figura 57), con un consumo de agua (con recirculación) promedio de 3,8L por kilogramo de café pergamino seco, obteniéndose alrededor de 40ton de café pergamino seco tipo Federación.

3.11.5. Ventajas de la utilización del hidrociclón

Las principales ventajas que presenta el hidrociclón para limpiar y clasificar café proveniente de procesos de desmucilaginado mecánico ó de fermentación natural, con relación al canal de correteo y al canal semisumergido, son las siguientes:

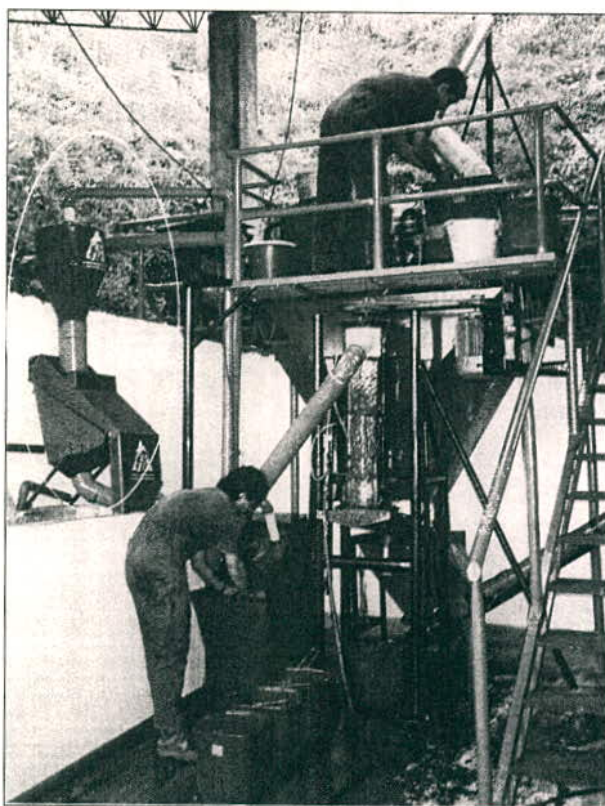


Figura 57. Operación del hidrociclón acoplado a un módulo BECOLSUB, en Cenicafe.

- Fácil construcción e instalación.
- Se puede construir en lámina de hierro ó en otros materiales sintéticos.
- Las motobombas sumergibles convencionalmente utilizadas en los beneficiaderos permiten poner en funcionamiento el hidrociclón.
- Es de operación continua. Una vez establecidas las condiciones normales de operación del equipo con agua solamente, se puede iniciar el proceso de clasificación del café.
- El café separado como pasilla puede recircularse después de terminar la clasificación del café disponible del día, hasta conseguir una recuperación cercana al 100% del café bueno.
- Ocupa poco espacio y se puede trasladar de sitio.
- Se puede conectar al circuito que transporta el café lavado al secador.
- Es económico, requiere poco mantenimiento y ahorra mano de obra.
- Es el complemento ideal para los desmucilaginosos DESLIM desarrollados en Cenicafé, cuando se dispone de una materia prima con alto contenido de pasillas.
- Es apropiado para el beneficio ecológico del café en los beneficiaderos que utilizan desmucilaginosos DESLIM, ya que se puede utilizar un volumen de agua relativamente pequeño ($< 0,1\text{m}^3$) con recirculación.

3.11.6. Desventajas de la utilización del hidrociclón

- Para aumentar su capacidad no basta simplemente aumentar proporcionalmente sus dimensiones; se deben evaluar las características de la bomba y su instalación (Tabla 25).
- Para su óptimo desempeño el equipo exige un flujo constante de café al tanque de bombeo.
- Cantidades instantáneas muy altas de café pueden causar taponamiento del ápice con la consecuente evacuación de todo el material sin clasificar, por la descarga superior.

3.12. TRANSPORTE NEUMÁTICO DE CAFÉ PERGAMINO Y PULPA FRESCA DE CAFÉ

Los transportadores neumáticos son sistemas que utilizan la energía del aire dentro de un ducto para desplazar materiales de un lugar a otro. La fuente de potencia del aire la recibe de un ventilador de alta presión.

En Cenicafé (177) y con el objeto de presentar alternativas al transporte hidráulico de los diferentes estados del café y de la pulpa, se realizaron estudios de transporte

neumático de café pergamino y de pulpa fresca en un sistema de presión positiva utilizando tuberías de PVC de presión, de 107,7mm (4") y 160mm (6") de diámetro. En la Figura 58 se puede observar el esquema de un transportador neumático de presión positiva como el que fue utilizado.

Se encontró que el sistema neumático en tuberías horizontales y verticales de 4" de diámetro resultó apropiado para el transporte del café pergamino lavado seco de agua y seco de la pulpa fresca. El daño mecánico causado en el pergamino en cualquier estado fue pequeño, cuando se transportó café en longitudes menores de 50m y con un máximo de 6 codos.

Los resultados de esta investigación relacionaron el **caudal** y la **presión estática** necesaria para lograr el transporte de los materiales; mediante la combinación de estos datos se hace posible la selección del ventilador apropiado.

En la Tabla 27 se presentan las **velocidades mínimas** del aire requeridas en el transporte horizontal y vertical del café pergamino (recién lavado, seco de agua y seco) y de la pulpa fresca de café.

Figura 58. Esquema de un transportador neumático de presión positiva.

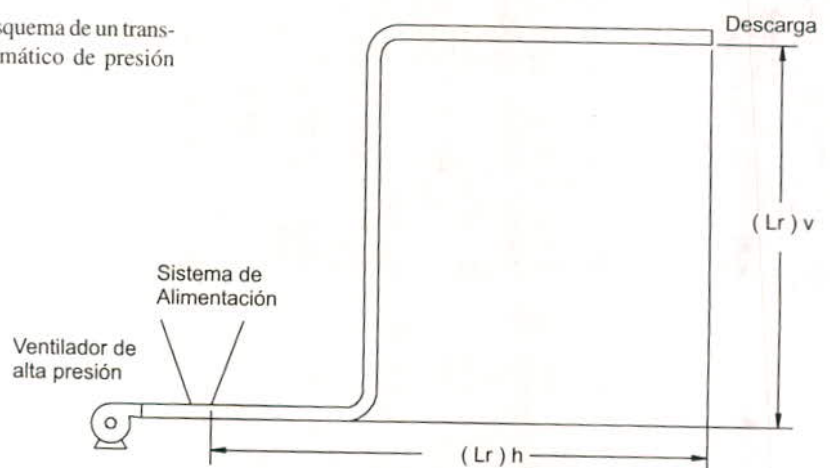


Tabla 27. Velocidades mínimas del aire para el transporte neumático, vertical y horizontal de café pergamino y de la pulpa de café.

Producto	Velocidades mínimas (m/s)			
	Tubería: 160 mm		Tubería: 107,7 mm	
	Transporte horizontal	Transporte vertical	Transporte horizontal	Transporte vertical
Café pergamino recién lavado	17,95	19,74	11,89	13,17
Café pergamino seco de agua	17,06	19,25	11,56	12,83
Café pergamino seco	15,35	17,01	11,09	10,91
Pulpa fresca	15,62	14,43	14,04	11,21

3.13. TRANSPORTE Y MEZCLA DE LA PULPA CON TORNILLO SINFIN²⁹

Dentro de la misma filosofía de trabajo de investigación y buscando opciones diferentes al transporte hidráulico de los diferentes estados de café y de la pulpa, se estudió la viabilidad de utilizar el tornillo sinfín para el transporte del café y de sus subproductos en los beneficiaderos de café.

El tornillo sinfín, (Figura 59) es un sistema de transporte que consta de un rotor en forma de hélice continua (tornillo) que al girar, apoyado en sus dos extremos dentro de una carcasa en forma de "U" o en un tubo, imparte movimiento axial al material que en ella se deposita. Este sistema puede ser utilizado particularmente para transportar la pulpa de café sola o mezclada con el mucílago proveniente del desmucilaginado mecánico con bajos consumos específicos de agua (menores que 1 litro por kilogramo de café pergamino seco (cps), como en el desmucilaginado mecánico de flujo ascendente (DESLIM). Este transportador se caracteriza por la sencillez de su construcción, montaje, manejo y mantenimiento, resultando relativamente económico y poco exigente en potencia.

Cuando se utiliza el tornillo sinfín para el transporte y mezcla de la pulpa más el mucílago bien concentrado, se puede obtener una retención del fluido en la pulpa de 56 %. Cuando la adición es solamente por gravedad, en el mejor de los casos la



Figura 59. Tornillo sinfín para mezcla y transporte de la pulpa de café con mucílago.

²⁹ Preparado por Sanz U., J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

cando opciones dife-
afé y de la pulpa, se
orte del café y de sus

consta de un rotor en
s dos extremos dentro
iento axial al material
ularmente para trans-
go proveniente del
de agua (menores que
el desmucilagador
r se caracteriza por la
nto, resultando relati-

cla de la pulpa más el
del fluido en la pulpa
el mejor de los casos la



Figura 59. Tornillo sinfín para mezcla y transporte de la pulpa de café con mucílago.

fé.

retención es del orden de 32% (127). Esto hace del tornillo sinfín una pieza fundamental en el beneficio ecológico del café, por vía húmeda, con el cual se logra que la reducción de la contaminación sea mayor del 90% (39, 117, 144).

Si se hace necesario transportar la mezcla a distancias largas, se recomienda realizar la mezcla de la pulpa y el mucílago concentrado en un tramo corto de tornillo sinfín (de 1m) y posteriormente utilizar otro dispositivo en serie, de más bajo precio, como las bandas transportadoras.

Para obtener las dimensiones y características de transportadores de tornillo sinfín para pulpa sola o mezclada con mucílago concentrado, se desarrolló en Cenicafé la siguiente tecnología útil para la utilización del tornillo sinfín para el transporte del café y de la pulpa mezclada con mucílago.

3.13.1. Dimensiones principales

En la Figura 60 se presentan las principales dimensiones del rotor de los transportadores de tornillo sinfín. Se denomina D al diámetro exterior, d al diámetro interior o diámetro del eje, p al paso o avance por vuelta, h a la altura de la hélice, L_e a la longitud efectiva de rosca y L a la longitud total incluyendo la longitud de los apoyos.

3.13.2. Selección del diámetro exterior

Para facilitar la selección del diámetro exterior del tornillo sinfín, se preparó una gráfica (Figura 61), en la cual, en su parte inferior se tienen curvas de tiempo de despulpado en el día pico contra la capacidad de transporte, para diferentes capacidades de beneficiadero en el día pico (Sección 3.16.), calculadas con una velocidad angular en el eje de 180rpm, paso igual al diámetro exterior y una inclinación máxima con la horizontal de 30°. En la parte superior se presenta una curva de capacidad de transporte contra diámetro exterior.

El manejo de la gráfica se inicia estimando la cantidad de horas utilizadas para despulpar el café en el día pico; con este valor (en la parte inferior de la gráfica), se

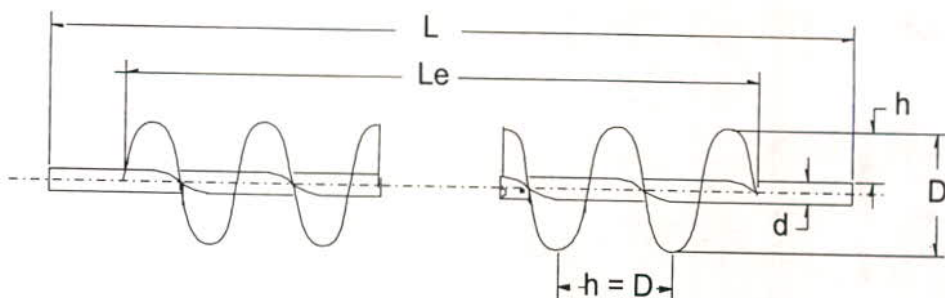


Figura 60. Dimensiones principales del rotor del transportador de un tornillo sinfín.

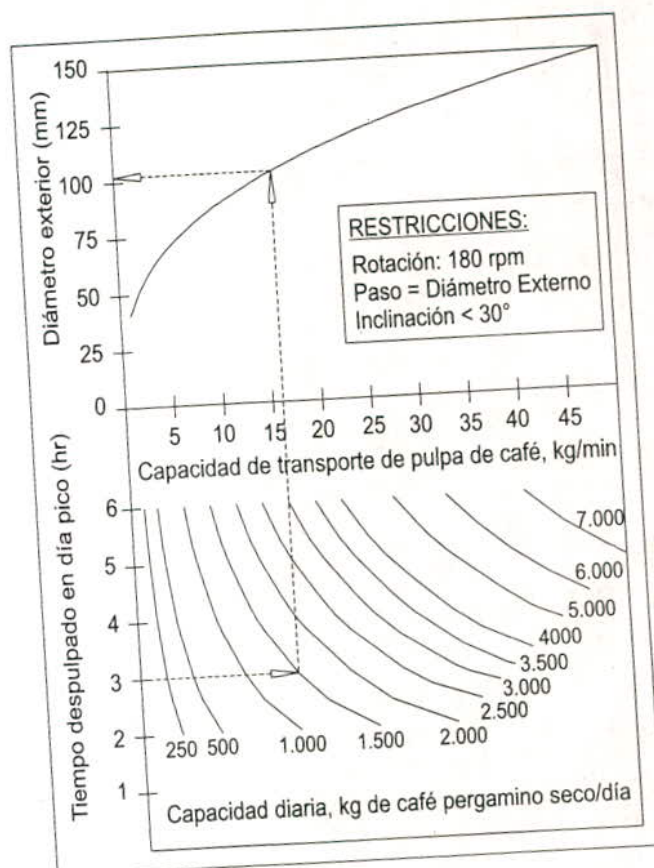


Figura 61. Gráfico utilizado para la selección del diámetro exterior en transportadores de tornillo sinfín para pulpa de café sola o mezclada con mucílago concentrado.

mueve horizontalmente hacia la derecha hasta cortar la capacidad, en kilogramos de cps del beneficiadero en el día pico. Desde este punto se desplaza verticalmente cortando el eje X y la curva superior; el punto de corte con el eje X es el valor de la capacidad de transporte de pulpa requerida y en el punto de corte con la curva superior se desplaza horizontalmente hacia la izquierda hasta cortar el eje Y, donde se obtiene el valor del diámetro exterior del tornillo sinfín. Para efectos prácticos, el diámetro exterior obtenido en este gráfico puede expresarse como diámetro nominal (Dn) en pulgadas, haciendo la conversión por medio de la Tabla 28. La dimensión se debe aproximar el valor al número entero superior³⁰.

Si el tiempo utilizado para despulpar el café cereza del día pico es de 3 horas y el beneficiadero está diseñado para 1.500kg de cps por día, la capacidad del tornillo sinfín debe ser mayor o igual a 16kg/min. Esta capacidad se logra con un tornillo sinfín con un diámetro mayor o igual a 102,5mm (4"), paso igual al diámetro, 180 rpm y una inclinación inferior a 30°, como puede observarse en la Figura 61, (líneas punteadas).

³⁰ El sistema Inglés de unidades es más utilizado en el ambiente cafetero que el sistema internacional de unidades.

3.13.3. Cálculo del diámetro del eje y potencia del tornillo sinfín

Debido a que los ejes del rotor de los transportadores de tornillo sinfín son largos, su propio peso causa problemas de flexión y vibraciones indeseables; por esta razón y por economía, es recomendable utilizar tubería galvanizada en lugar de ejes macizos.

El diámetro del tubo a utilizar como eje del tornillo sinfín depende de la longitud y de la potencia que se requiera para moverlo. En la Tabla 28 se presentan los **diámetros** de tubería galvanizada y las **potencias** recomendadas para diferentes longitudes y capacidades. Por los requerimientos tan bajos de potencia, cuando los ejes de las despulpadoras y del tornillo están paralelos se facilita utilizar el mismo motor para accionarlos simultáneamente.

Cuando las longitudes de los transportadores de tornillo sinfín superan los valores indicados en la Tabla 28, se deben utilizar apoyos intermedios. El diseño de estos apoyos debe ser cuidadoso, debido a que una reducción en el área transversal se puede constituir en una reducción de la capacidad y un aumento considerable de la potencia.

3.13.4. Construcción del tornillo sinfín

Un tornillo sinfín se puede considerar como una sucesión de discos (Figura 62), con dimensiones que corresponden a los diámetros exterior e interior del rotor, que tienen que ser cortados en forma radial y unirse unos con otros de manera que formen una especie de resorte helicoidal; posteriormente se estiran sobre un eje.

Tabla 28. Potencias y diámetros de ejes en tubería galvanizada, recomendados para transportadores de tornillo sinfín con pulpa sola o mezclada con mucílago concentrado.

Longitud efectiva, m	Rango de Capacidad, kg/min	Motor Recomendado,		Dn Recomendado,	
		kw. (hp)		mm.	(pulg)
2,00	30	0,30 (0,40)		26,67	(¾)
2,00	30-50	0,67 (0,90)		26,67	(¾)
2,50	20	0,30 (0,40)		26,67	(¾)
2,50	20-50	0,67 (0,90)		26,67	(¾)
3,00	20	0,30 (0,40)		26,67	(¾)
3,00	20-50	0,67 (0,90)		26,67	(¾)
3,50	10	0,30 (0,40)		26,67	(¾)
3,50	10-50	0,67 (0,90)		26,67	(¾)
4,00	10	0,30 (0,90)		33,40	(1)
4,00	10-50	0,67 (0,90)		33,40	(1)
4,50	10	0,30 (0,40)		42,16	(1 ¼)
4,50	10-50	0,67 (0,90)		42,16	(1 ¼)
5,00	10	0,30 (0,40)		42,16	(1 ¼)
5,00	10-50	0,67 (0,90)		42,16	(1 ¼)

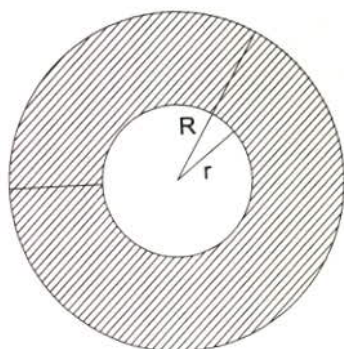


Figura 62. Dimensiones para la construcción de los discos del tornillo sinfín. (R = radio externo; r = radio interno, ver Tabla 29).

Para evitar errores en el montaje se debe tener en cuenta la dirección del lugar de descarga y el sentido de giro que se va a utilizar, para determinar si el rotor tiene rosca izquierda o derecha. El tipo de rosca tiene que ser tomado en cuenta en el momento que se estén uniendo los discos con soldadura.

Las dimensiones que deben tener los discos (Figura 62) se pueden observar en la Tabla 29, donde Dn es el diámetro nominal del rotor, D el diámetro exterior real del rotor (4mm menor que el diámetro interior de la tubería PVC sanitaria), el paso del tornillo $p = D$, d es el diámetro del eje en tubería galvanizada, R es el radio mayor del disco, r es el radio menor del disco y N el número de discos por metro lineal de tornillo.

Después de unidos y estirados los discos sobre el eje de tubería galvanizada, se debe rectificar el paso y la perpendicularidad antes de ser unidos rígidamente con soldadura eléctrica. Cuando se esté aplicando la soldadura se debe tener en cuenta la realización de "cordones" en lugares suficientemente distanciados para evitar

Tabla 29. Dimensiones de los discos para la construcción del rotor del transportador de tornillo sinfín.

Dn mm y	D = p mm	d mm pulgadas(")	R mm	r mm	N Uds./m
60 (2")	50,49	26,67	28,88	16,97	18,16
60 (2")	50,49	33,40	28,44	19,89	18,45
60 (2")	50,49	42,16	28,05	23,88	18,70
82 (3")	72,19	26,67	42,52	19,75	12,34
82 (3")	72,19	33,40	41,72	22,32	12,57
82 (3")	72,19	42,16	41,00	25,98	12,79
114 (4")	103,70	26,67	63,13	24,61	8,31
114 (4")	103,70	33,40	61,83	26,67	8,48
114 (4")	103,70	42,16	60,57	29,80	8,66
168 (6")	156,04	26,67	98,65	33,96	5,31
168 (6")	156,04	33,40	96,64	35,32	5,42
168 (6")	156,04	42,16	94,56	37,62	5,54

deformaciones por el calentamiento del tubo y en lugares diametralmente opuestos para evitar problemas de desbalanceo.

3.14. BENEFICIADERO ECOLÓGICO CON MANEJO DE SUBPRODUCTOS - MÓDULO BECOLSUB ³¹

El módulo BECOLSUB (BEneficiadero ECOLógico y Manejador de SUBproductos) es una tecnología para el beneficio ecológico del café que integra: el uso de despulpadoras convencionales (Sección 3.2.) para el despulpado del café sin agua, el uso del módulo DESLIM (Sección 3.10.4.) para el desprendimiento del mucílago, el lavado limpieza y clasificación parcial o total del café pergamino, el uso del tornillo sinfín (Sección 3.13.) para la mezcla y transporte mecánico de los subproductos pulpa, mucílago, y materiales extraños al buen café, desalojados del equipo DESLIM, hasta lugares de depósito y, eventualmente, cuando la materia prima es de deficiente calidad, el uso del hidrociclón (Sección 3.11.) para la preparación final del café pergamino (Figuras 63, 64, 65, 66, 67, 68 y 73).

La estructura principal está conformada por dos pórticos en tubería metálica para conducciones eléctricas (tipo conduit). El motor eléctrico (o de gasolina, en el módulo BECOLSUB móvil, (Sección 3.15.) utilizado para mover el desmucilaginador mecánico, la despulpadora y el tornillo sinfín, con la capacidad mencionada como se indica en la Tabla 28, se montan en un sistema mecánico para tensión de la banda, con el eje paralelo al eje del desmucilaginador.

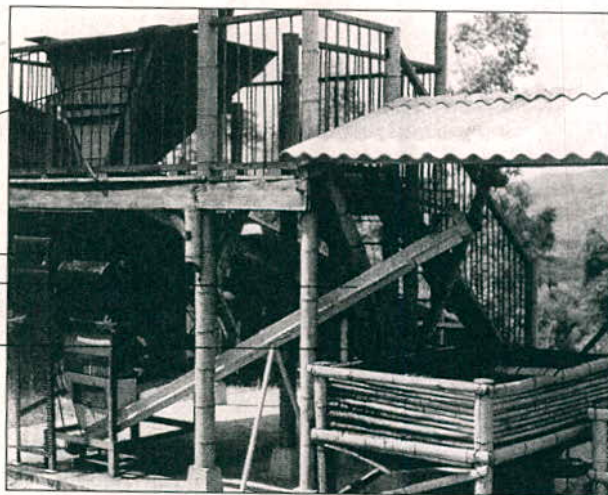
Tolva seca

BECOLSUB

Tornillo sinfín

Depósito de recolección para el lombricultivo

Figura 63. Módulo demostrativo BECOLSUB, dentro de un beneficiadero construido en guadua. Cenicafé, Chinchiná.



³¹ Tomado del registro de patente No. 95031744, Ministerio de Industria y Comercio de Colombia (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia). "Proceso para la transformación del café cereza a café pergamino lavado que incluye el despulpado sin agua, el desmucilaginado, lavado y limpieza del café pergamino y la mezcla del mucílago con la pulpa, mediante la utilización de despulpadora, desmucilaginador y tornillo sinfín".

strucción de los discos del radio interno, ver Tabla 29).

dirección del lugar de minar si el rotor tiene formado en cuenta en el

pueden observar en la imetro exterior real del sanitaria), el paso del la, R es el radio mayor cos por metro lineal de

ubería galvanizada, se unidos rígidamente con se debe tener en cuenta istanciados para evitar

del rotor del transporta-

r mm	N Uds./m
16,97	18,16
19,89	18,45
23,88	18,70
19,75	12,34
22,32	12,57
25,98	12,79
24,61	8,31
26,67	8,48
29,80	8,66
33,96	5,31
35,32	5,42
37,62	5,54

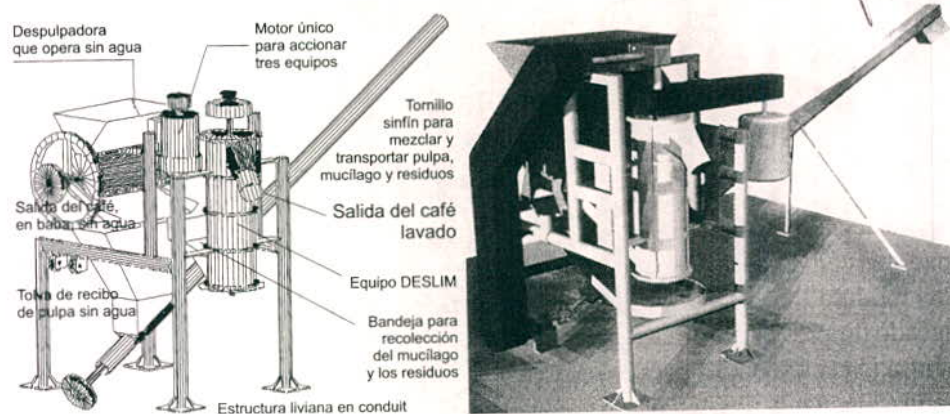


Figura 64. Esquema tridimensional e imagen virtual del módulo BECOLSUB (Beneficiadero Ecológico, con Manejo de Subproductos).

El sistema de reducción de velocidad entre el motor eléctrico y el desmucilaginador mecánico (870 rpm), se hace por medio de una transmisión con banda plana³². Se aprovecha la baja velocidad de giro del eje del desmucilaginador mecánico para mover la despulpadora y el tornillo sinfín.

Como los ejes del desmucilaginador mecánico, de la despulpadora (180 rpm) y del tornillo sinfín (180 rpm), no son paralelos, la transmisión de potencia entre estos se hace por medio de bandas de sección transversal circular³³.

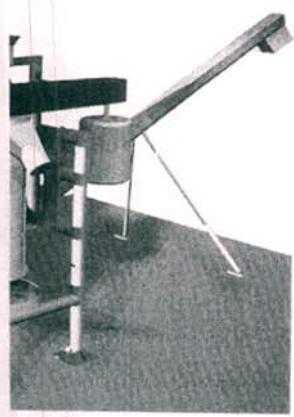
Los cambios de dirección que se presentan en las bandas de sección circular, se realizan por medio de poleas auxiliares (poleas locas) apoyadas en doble rodamiento para disminuir al mínimo las pérdidas por fricción.

La longitud e inclinación de este tornillo depende de la infraestructura donde se va a instalar.

Adicionalmente a lo expuesto, se diseñaron los módulos BECOLSUB provistos de zarandas cilíndricas (Sección 3.6.) opcionales para clasificar los granos despulpados, con el objeto de separar, de los granos normales, los granos que no fueron

³² Las bandas planas usadas en este montaje fueron marca Habasit tipo F-14, formadas por una capa de poliamida, recubierta por ambos lados con caucho de nitrilo acrílico. Cuando se cumple con las recomendaciones exigidas para la instalación de estas bandas, la eficiencia en la transmisión de potencia es superior al 95%. Cualquier cambio en este sistema de transmisión debe tener en cuenta este valor.

³³ Las bandas de sección transversal circular utilizadas en este montaje fueron de Polycord marca Habasit de 15mm de diámetro. Cuando se cumple con las recomendaciones exigidas para la instalación de estas bandas, la eficiencia en la transmisión de potencia es superior al 95%; cualquier cambio en este sistema de transmisión debe tener en cuenta este valor.



SUB (Beneficiadero Ecológico)

o y el desmucilagador
in con banda plana³². Se
ginador mecánico para

iladora (180 rpm) y del
e potencia entre estos se

de sección circular, se
adas en doble rodamien-

estructura donde se va a

ECOLSUB provistos de
los granos despulpados,
granos que no fueron

labasit tipo F-14, forma-
os con caucho de nitrilo
jidas para la instalación
cia es superior al 95%.
er en cuenta este valor.

este montaje fueron de
se cumple con las reco-
la eficiencia en la reco-
lio en este sistema de

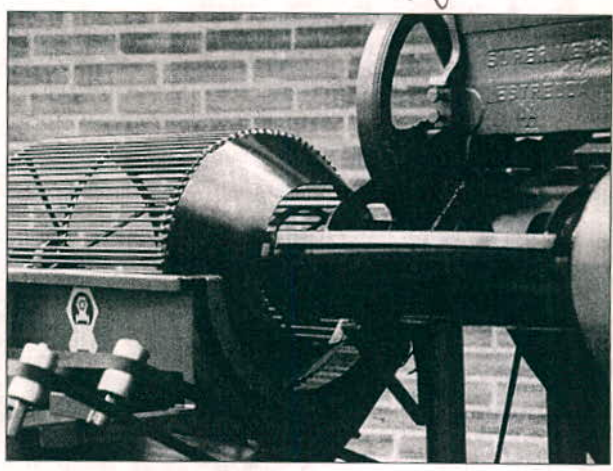


Figura 65. Módulo BECOLSUB, con zaranda cilíndrica para clasificación del café despulpado.

despulpados, como granos guayaba, verdes y en general, elementos mayores que la abertura entre varillas (Figuras 65 y 66).

3.15. MÓDULO BECOLSUB MÓVIL ³⁴

Como una respuesta de Cenicafé a varias inquietudes (en particular de la División Técnica del Comité de Cafeteros de Caldas) de que dado el pequeño espacio y el éxito inicial del módulo BECOLSUB fijo, descrito en la sección anterior, se proyectara un módulo autónomo de energía que pudiera remolcarse por vehículos pequeños, como los camperos de uso popular en la zona cafetera y para propiciar una nueva agroindustria, por la cual nuevos empresarios podrían ofrecer el servicio de beneficio a domicilio, se diseñó y construyó un equipo móvil BECOLSUB (145) con la característica especial de que fuera posible **transportarlo** por la zona cafetera colombiana (Figuras 67, 68 y 73).

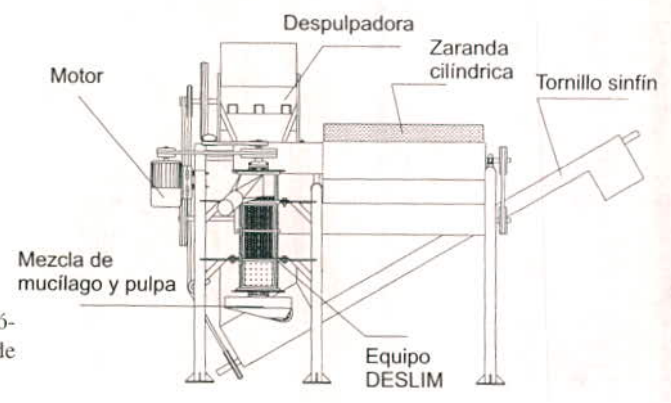


Figura 66. Vista lateral del módulo BECOLSUB provisto de zaranda cilíndrica.

³⁴ Preparado por Ramírez G., C. A. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

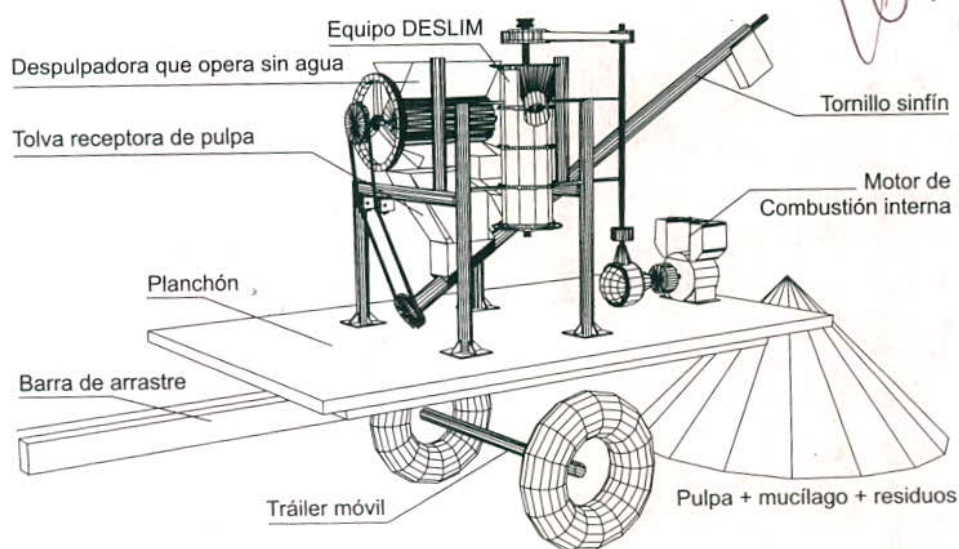
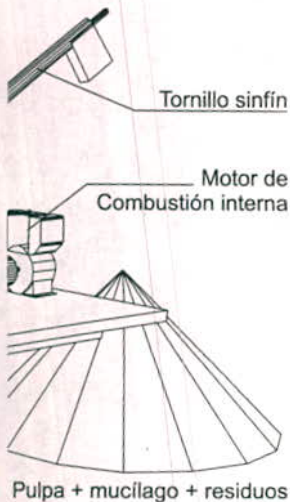


Figura 67. Esquema del Módulo BECOLSUB 600 móvil.

Con el módulo BECOLSUB **móvil** se obtienen ingresos adicionales debido a la reducción en los costos de transporte, pues la pulpa y el mucílago pueden quedar localizados en los lotes de café de la finca para su posterior manejo ecológico y, únicamente, se transporta el café lavado hasta los secadores, transportando así menor peso y aumentando la capacidad de carga, lo cual conlleva a una economía en el consumo de combustible y en la mano de obra requerida.

Un ejemplo da cifras concretas a lo expuesto: si se asume una finca con una producción de 125 ton (10.000 @) de cps al año, en el día pico (2% de cc), se recibirían 12.500kg de café cereza, cantidad que exigiría siete viajes de una volqueta con capacidad por viaje de 3m³. Si se beneficia con el módulo BECOLSUB móvil en los lotes, solamente se requerirían 3,9 viajes lo cual significa un ahorro del 45% del volumen de transporte.

El prototipo construido (Figura 68), es el primer modelo BECOLSUB 600 móvil construido por Cenicafé, accionado por un motor de combustión interna de gasolina marca Kohler de 8 hp. Para el transporte de la pulpa con el mucílago se utiliza un tornillo sinfín accionado por el mismo motor. Este conjunto se instaló sobre el planchón de un remolque de dos ruedas; para ello fue necesario introducir un sistema de transmisión de potencia (se utilizó un reductor estándar automotriz), para reducir las revoluciones de salida del motor de 3.600 hasta 1.800 rpm. Por medio de poleas y bandas (plana y redonda) se redujo la velocidad angular hasta 870 rpm, en el eje del desmucilagador. El desempeño del equipo, la calidad del café obtenido (Figura 69), la mezcla de los subproductos (Figura 70) y el control de la contaminación, se discuten en la Sección 3.18.



adicionales debido a la mucílago pueden quedar rior manejo ecológico y, es, transportando así conlleva a una economía erida.

e una finca con una pro- (2% de cc), se recibirían jes de una volqueta con o BECOLSUB móvil en ca un ahorro del 45% del

BECOLSUB 600 móvil uestión interna de gasoli- el mucílago se utiliza un junto se instaló sobre el esario introducir un siste- tándar automotriz), para ta 1.800 rpm. Por medio ngular hasta 870 rpm, a calidad del café obteni-) y el control de la conta-



Figura 68. Módulo BECOLSUB 600 móvil, remolcado por un vehículo campero.



Figura 69. Café de muy alta calidad obtenido con el BECOLSUB móvil.

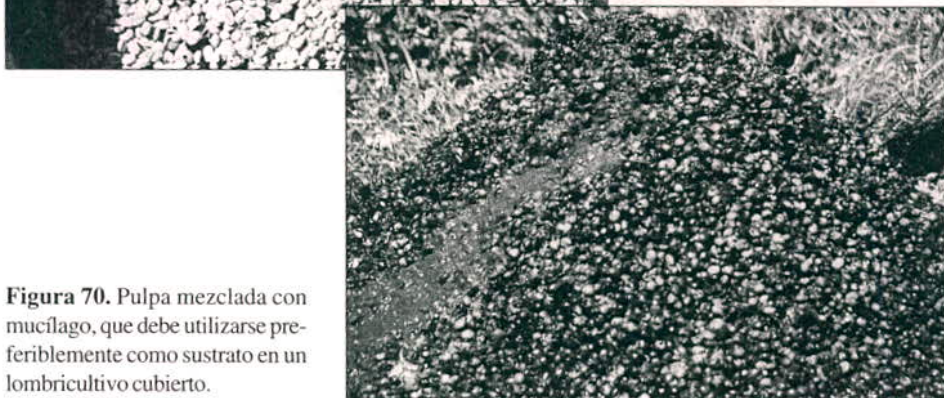


Figura 70. Pulpa mezclada con mucílago, que debe utilizarse preferiblemente como sustrato en un lombricultivo cubierto.

3.16. SELECCIÓN DE UN MÓDULO BECOLSUB

Con el objeto de facilitar la selección del equipo BECOLSUB con la capacidad adecuada, se presenta la Figura 71 que relaciona la producción anual de la finca expresada en @ (arroba = 12.5kg) de café pergamino seco por año (eje X) con la capacidad del equipo BECOLSUB expresada en kilogramos de café cereza por hora (eje Y) para determinar el número de horas de operación del módulo (parámetro del cuerpo de la gráfica).

La gráfica ha sido construida asumiendo que el día pico de la finca es del 2,5% y que la conversión de café cereza a café pergamino seco es de 5kg de cc. a 1kg de cps (o lo que es igual, de 62,5kg de cc. a una arroba de cps). Si no son éstas las condiciones de la finca, fácilmente se podrán corregir los cálculos, como se indica a continuación:

Mediante un ejemplo se ilustra la **utilización de la gráfica**; si el caficultor espera producir 31.3ton (2.500@) de café pergamino seco al año, operando 6 horas el módulo en el día pico, se localiza el valor de 2.500 en el eje de las X y se sube perpendicularmente hasta cortar la línea de 6 horas de funcionamiento. Desde el punto de corte se desplaza horizontalmente a la izquierda hasta cortar el eje de las Y, y se lee el valor de 640kg de café cereza por hora. El equipo apropiado será un módulo BECOLSUB 600. El tiempo real de operación en el día pico será de 6 horas por la fracción 640/600, o sea, de 6,4 horas

A mayores valores de conversiones de café cereza a café pergamino seco y a mayores valores de los días pico se requerirá, proporcionalmente, un módulo BECOLSUB de mayor capacidad. A menores valores de las variables anotadas se requerirá proporcionalmente menor capacidad.

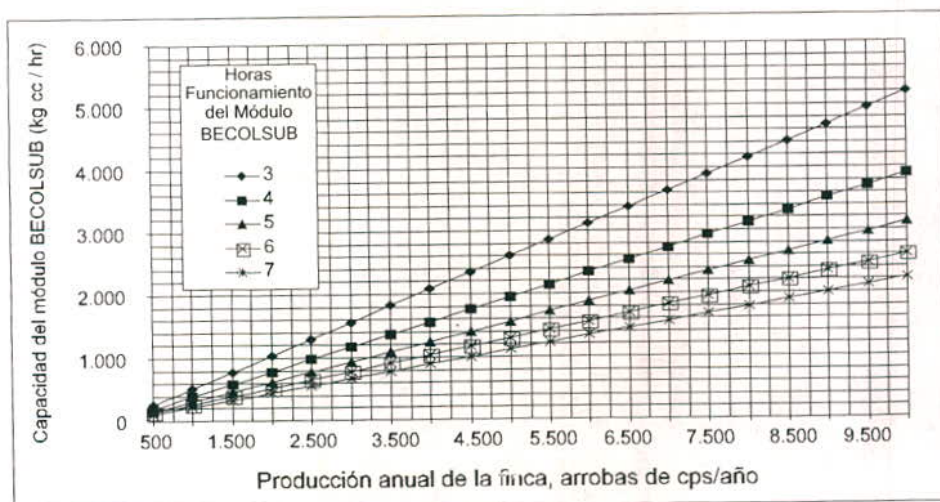


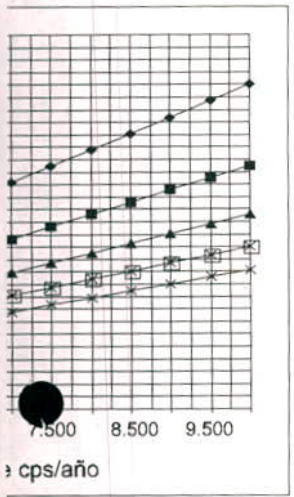
Figura 71. Selección del equipo DESLIM y del módulo BECOLSUB en función de la producción de la finca y del número de horas de funcionamiento del módulo.

JB
SUB con la capacidad
cción anual de la finca
o por año (eje X) con la
mos de café cereza por
ón del módulo (paráme-

le la finca es del 2,5% y
s de 5kg de cc. a 1kg de
cps). Si no son éstas las
álculos, como se indica

a; si el caficultor espera
ño, operando 6 horas el
el eje de las X y se sube
ncionamiento. Desde el
hasta cortar el eje de las
quipo apropiado será un
en el día pico será de 6

afé pergamino seco y a
almente, un módulo BE-
as variables anotadas se



en función de la producción de

De otro lado, a mayor número de horas de funcionamiento del módulo, menor será, proporcionalmente, la capacidad necesaria del módulo.

De esta manera y en el mismo ejemplo anterior, si en la misma finca para otra condición de cosecha, la conversión de café cereza a pergamino seco esperada fuera de 4,2 a 1 y el día pico estimado fuera del 2%, el valor encontrado de 640kg cc/h se debe corregir multiplicando 640 por las fracciones 4,2/5 y 2/2,5 respectivamente, obteniéndose el valor de 430kg de café cereza por hora. La solución es adquirir el mismo Módulo BECOLSUB 600, pero debe ser operado 4,3 horas en el día pico que resulta de multiplicar el valor de 6,4 horas consecutivamente por los fracciones 4,5/5 y 2/2,5.

Las ecuaciones utilizadas en los cálculos de ésta Sección se incluyen a continuación para que el lector pueda utilizarlas independientemente sin necesidad de usar la Figura 71. En la Tabla 30 aparecen las variables necesarias para ejecutar los cálculos, su nomenclatura de las fórmulas y las unidades correspondientes.

Tabla 30. Variables y unidades utilizadas en los círculos para seleccionar el módulo BECOLSUB.

Variable	Unidades	Sigla
Producción finca en @ de café pergamino seco por año	@cps/año	PF@PpA
Día pico en el año, en porcentaje	100 x año/día	DP
Relación de kg (kilogramos) a @ (arrobas)	12,5kg/@	RELKa@
Relación de café cereza a café pergamino seco	Decimal	RelCCaP
Producción finca e kilogramos de cps por día	Kgcps/día	PFKPPD
Producción finca, Kilogramos de café cereza por día	KgCC/día	PFKCCPD
Horas de operación del equipo por día	Horas	HorOp
Capacidad horaria necesaria de la unidad BECOLSUB	KgCC/hora	CapB

Los cálculos se efectúan por medio de las siguientes fórmulas:

Producción finca en kilogramos de cps por día.

$$PFKPPD = PF@PpA \times RELKa@ \times DP / 100$$

< 3 >

Producción finca en kilogramos de cc por día.

$$PFKCCPD = PFKPPD \times RelCCaP$$

< 4 >

Capacidad horaria de la unidad BECOLSUB.

$$CapB = PFKCCPD / HorOp$$

< 5 >

3.17. RETENCIÓN EN LA PULPA DE CAFÉ, DEL EFLUENTE LÍQUIDO-SÓLIDO, RESULTANTE DE LOS MÓDULOS BECOLSUB³⁵

El mucílago generado mediante la remoción mecánica contiene restos de pulpa y otras estructuras del grano que incrementan notoriamente su potencial contaminante: más de 100.000mg de sólidos totales/kg de cps con desmucilaginado mecánico, frente a menos de 40.000mg de sólidos totales/kg de cps en el beneficio convencional; de otro lado, una mayor cantidad de masa potencial contaminante se genera por la acción del desmucilaginador mecánico. La tecnología BECOLSUB, desarrollada en Cenicafé, permite una reducción notoria en el consumo específico de agua ($< 1,0\text{L/kg cps}$) y el manejo ecológico de los subproductos mucílago y pulpa, al mezclarlos, lográndose la retención de más del 50% del mucílago y la reducción de la contaminación en más del 90% (144).

En este estudio (127) se evaluó el efecto del consumo específico de agua (0,4; 0,7 y 1,0 L/kg de cps) y la adición de partículas de cisco de café al mucílago, en la retención de estos efluentes líquidos, utilizando la pulpa como lecho. La mayor retención de mucílago (81%) se obtuvo con el consumo específico de agua de 0,7L/kg de cps y la adición de partículas de cisco (8% en peso). Con este nivel de retención se logró controlar el 96,5% de la contaminación total generada por el beneficio húmedo del café.

El cisco agregado contribuye a reducir la contaminación debido a que absorbe parte del mucílago (35,2 %, en peso) y mejora la capacidad de filtración del lecho (el nivel de sólidos totales presentes en los líquidos drenados en los tratamientos con cisco es el más bajo).

Se hizo la caracterización reológica de las suspensiones obtenidas en los tratamientos utilizando viscometría de placas paralelas; en cada efluente líquido se determinó el índice de fluidez, el índice de consistencia y el de comportamiento de flujo. El índice de fluidez aumenta notoriamente con la reducción en el consumo específico de agua y la adición de partículas de cisco (valor máximo de 24,77 Pa); similar tendencia mostró el índice de consistencia. El índice de comportamiento mostró poca variación (mínimo de 0,185) e indicó que los efluentes líquidos son altamente pseudoplásticos. No se observó relación entre el valor del índice de fluidez y el porcentaje de retención de mucílago en el lecho. El drenaje del mucílago se acelera principalmente por la reducción de su viscosidad, debido a la actividad bioquímica propia del mucílago y al calentamiento del lecho (temperatura máxima de 52°C).

En la Figura 72 se presentan los resultados obtenidos en el **control de la contaminación** con los tratamientos utilizados (los valores de la abscisa marcados con un

³⁵ Preparado por Pascuas L., R.T. Becaria de COLCIENCIAS, Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

ULTANTE

atiene restos de pulpa y
1 potencial contaminan-
mucilaginado mecánico,
el beneficio convencio-
contaminante se genera
BECOLSUB, desarro-
umo específico de agua
s mucílago y pulpa, al
cílago y la reducción de

cífico de agua (0,4; 0,7
café al mucílago, en la
como lecho. La mayor
específico de agua de
eso). Con este nivel de
n total generada por el

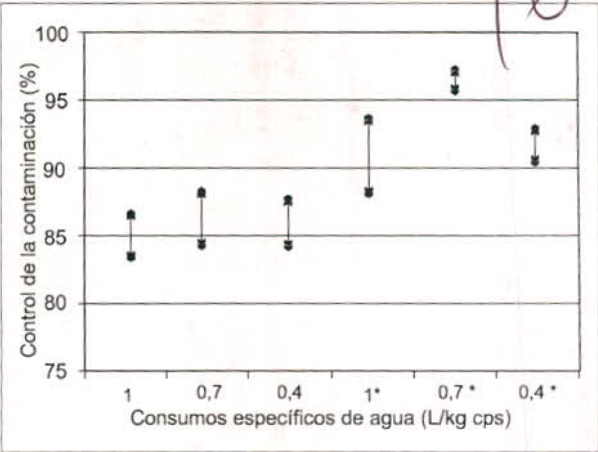
ido a que absorbe parte
filtración del lecho (el
en los tratamientos con

enidas en los tratamien-
te líquido se determinó
ortamiento de flujo. El
el consumo específico
o de 24,77 Pa); similar
omportamiento mostró
líquidos son altamente
índice de fluidez y el
del mucílago se acelera
la actividad bioquímica
ra máxima de 52°C).

ontrol de la contami-
scisa marcados con un

AS, Ingeniería Agrícola,

Figura 72. Comparación de por-
centajes de control total de con-
taminación, con adición de cisco
de café al mucílago (valores indi-
cados con asterisco).



asterisco (*) indican que en ese tratamiento se le adicionó cisco de café al mucílago, 8% en peso). No se observó, al 5% de significancia, diferencia entre los tratamien-
tos sin adición de partículas de cisco en la variable control de contaminación. En el
tratamiento con adición de 8% de cisco al mucílago (en peso) se obtuvo el valor
mas alto de control de contaminación (96,5%).

Se evaluó la actividad de la lombriz roja californiana, *Eisenia foetida* Savigny,
utilizando como sustrato la mezcla pulpa + mucílago + cisco, resultante del trata-
miento con mayor retención. Como tratamiento testigo se usó pulpa sola como
sustrato. Los resultados obtenidos (Tabla 31) indican que con el sustrato pulpa +
mucílago (obtenido con 0,7L/kg de cps y 8% de cisco) se obtienen mayores valores
de conversión de lombricompuesto, de incremento en peso de lombriz y de tasa de
consumo.

Tabla 31. Actividad de la lombriz roja californiana *Eisenia foetida* Savigny en dos
sustratos.

VARIABLE	SUSTRATO	
	Pulpa + mucílago + cisco	Pulpa sola
Conversión de lombricompuesto en base seca , (%)	40,80	18,02
Incremento en peso de lombriz, (%)	14,07	***
Tasa de consumo (g sustrato/g lombriz/día)	0,87	0,77

*** Se presentaron pérdidas en peso de la lombriz.

3.18. EVALUACIONES DE CAMPO DEL MÓDULO BECOLSUB 600 MÓVIL ³⁶

Con la finalidad de evaluar integralmente y en la forma real en el campo, se experimentó con el equipo BECOLSUB 600 móvil (Figuras 67 y 68) mediante siete pruebas en la finca "Calamar Restrepo", ubicada en el municipio de Chinchiná, Caldas, a 1.400 msnm. con temperatura promedio de 20,8°C y una precipitación anual de 2.656mm, en promedio. El proceso se efectuó con café cereza maduro de la var. Colombia. El período de trabajo estuvo entre los días 11 de diciembre de 1996 a 16 de enero de 1997. Se describen a continuación los resultados de las evaluaciones.

3.18.1. Caracterización de los diferentes tipos de café obtenidos

La caracterización de la materia prima y la evaluación de la tecnología BECOLSUB se realizó conforme a la metodología adoptada convencionalmente para Cenicafé en proyectos de investigación, en la evaluación de los prototipos DESLIM y BECOLSUB, según Ramírez (145), Álvarez (6) y Álvarez (10). En las Tabla 32 a 42, se presentan los resultados correspondientes a las diferentes evaluaciones y para cada una de las repeticiones; de esta forma se demuestra la consistencia de los resultados.

Al analizar los valores de la Tabla 32, se observa que las muestras de café contienen un alto porcentaje de grano maduro cosechado (80,3%). Se observa además un porcentaje promedio normal de pasillas (granos guayabas + impurezas).

Los porcentajes de granos verdes (1,29%) y pintones (6,77%) se consideran normales en la recolección de la cosecha, teniendo en cuenta que para esas fechas se

Tabla 32. Caracterización del café cereza recibido. (Muestras de 500g).

Parámetros	Prueba 1 g	Prueba 2 g	Prueba 3 g	Prueba 4 g	Prueba 5 g	Prueba 6 g	Prueba 7% g	$\bar{X}$ g	$\bar{X}$ %
Grano verde	1,85	12,70	11,90	4,65	6,00	3,00	4,55	6,38	1,29
Grano pintón	61,45	44,20	60,90	27,05	22,50	10,65	7,45	33,46	6,77
Grano maduro	416,50	346,00	355,50	376,50	419,00	434,00	430,50	396,86	80,32
Sobremaduro	17,70	77,50	52,00	27,65	33,00	37,00	41,00	40,84	8,26
Guayaba	0,40	20,30	16,50	10,00	15,00	11,10	12,00	12,19	2,47
Impurezas	3,10	3,70	3,85	5,45	4,70	4,80	5,20	4,40	0,89
Peso Total muestra %	501	504,40	500,65	451,30	500,20	500,55	500,70	494,11	100,00

$\bar{X}$ = Promedio

³⁶ Preparado Ramírez G., C. A. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

6

en el campo, se experi-
y 68) mediante siete
nicipio de Chinchiná,
°C y una precipitación
café cereza maduro de
as 11 de diciembre de
los resultados de las

Obtenidos

tecnología BECOLSUB
ialmente para Cenicafé
prototipos DESLIM y
(10). En las Tabla 32 a
erentes evaluaciones y
ra la consistencia de los

le de café contienen
Se observa además un
+ impurezas).

77%) se consideran nor-
que para esas fechas se

estras de 500g).

Prueba	$\bar{X}$	$\bar{X}$
7%		
g	g	%
4,55	6,38	1,29
7,45	33,46	6,77
430,50	396,86	80,32
41,00	40,84	8,26
12,00	12,19	2,47
5,20	4,40	0,89
500,70	494,11	100,00

café.

acercaba el final de la cosecha principal. El valor de granos sobremaduros es alto (8,26%) y podría causar problemas en la taza.

Según el análisis mostrado en la Tabla 33, los porcentajes de grano trillado y mordido, que conforman el daño mecánico después de despulpado, son muy bajos (0,01%), cuando se opera la despulpadora sin agua, lo cual está de acuerdo con lo observado en estudios realizados en Cenicafé. El parámetro pulpa en el grano (1,87%) es inferior al valor permitido (2%) por la Norma ICONTEC (85). De lo anterior se deduce un buen funcionamiento de la despulpadora.

En la misma tabla se consigna un daño mecánico de grano verde de 0,12%, (0,08 + 0,04) valor que se considera bajo respecto al porcentaje inicial de grano verde de 1,29%. También se observan porcentajes de grano guayaba normales (2,05%).

De la información de la Tabla 34, se deduce que el **daño mecánico** causado por el desmucilaginado (daño en el desmucilaginado-daño en el despulpado) es realmente muy bajo (valor medio de 0,16%). El daño mecánico proveniente del grano pelado verde, pelado verde partido, pelado verde brocado es sólo de 0,58%, porcentaje que también se considera bajo para el resultado del desmucilaginado final.

El análisis de calidad del café despulpado indica que hay 2,05% de guayabas y mediacaras, los cuales sometidos al desmucilaginador se reducen a 0,75% de guayabas y mediacaras, lo cual indica que en el proceso de desmucilaginado existe **recuperación** del 63,42% de granos guayabas y mediacaras.

Tabla 33. Caracterización del café despulpado (Muestra de 100g).

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7%	$\bar{X}$	$\bar{X}$
	g	g	g	g	g	g	g	g	%
Grano sano	94,40	89,55	92,00	90,95	93,10	94,50	95,00	92,79	92,79
Pelado sano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pelado partido	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Pelado brocado	0,05	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03
Pelado verde	0,10	0,15	0,15	0,00	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08
Pelado verde partido	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	0,04	0,04
Pelado verde brocado	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
B + *	2,50	2,25	1,30	1,15	0,85	1,45	0,90	1,49	1,49
B + + **	1,60	1,75	0,55	0,60	0,75	0,60	0,50	0,91	0,91
Pulpa en el grano	0,90	1,95	2,75	2,50	2,70	1,20	1,10	1,87	1,87
Guayaba	0,15	3,15	2,60	3,05	1,85	1,40	2,15	2,05	2,05
Impurezas	0,25	0,95	0,55	1,75	0,60	0,80	0,20	0,73	0,73

* Grano medianamente atacado por la broca del café.

** Grano altamente atacado por la broca del café.

$\bar{X}$ = Promedio.

169

Tabla 34. Caracterización del café desmucilaginado (Muestra de 100 g).

Parámetros	Prueba 1 g	Prueba 2 g	Prueba 3 g	Prueba 4 g	Prueba 5 g	Prueba 6 g	Prueba 7% g	$\bar{X}$ g	$\bar{X}$ %
Grano Sano	91,90	93,70	95,30	95,90	96,00	96,95	97,20	95,28	95,28
Pelado Sano	0,40	0,05	0,25	0,15	0,05	0,05	0,00	0,14	0,14
Pelado Partido	0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,03	0,03
Pelado Brocado	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05	0,05
Pelado Verde	0,70	0,25	0,20	0,10	0,20	0,15	0,10	0,24	0,24
Pelado Verde Partido	1,65	0,05	0,00	0,15	0,05	0,00	0,05	0,28	0,28
Pelado Verde Brocado	0,05	0,10	0,15	0,05	0,05	0,00	0,00	0,06	0,06
Brocado +	2,40	2,30	1,75	1,40	1,05	1,35	0,95	1,60	1,60
Brocado + +	1,30	0,60	0,65	0,75	0,70	0,35	0,55	0,70	0,70
Pulpa en el Grano	0,45	0,85	0,75	0,55	0,35	0,25	0,45	0,52	0,52
Guayaba y media cara	0,05	1,65	0,70	0,75	0,90	0,70	0,50	0,75	0,75
Impurezas	1,00	0,25	0,15	0,15	0,65	0,15	0,15	0,36	0,36

* Grano medianamente atacado por la broca del café.

** Grano altamente atacado por la broca del café.

$\bar{X}$ = Promedio.

Al observar la **variable pulpa en el grano** después de despulpado (1,87%), y después de desmucilaginado (0,52%), se concluye que hay una disminución del 72,2%, lo cual resulta también muy ventajoso, considerando la calidad física del grano. La diferencia en impurezas obtenida en el proceso de desmucilaginado indica que hay una remoción del 50,69%. En la caracterización de la muestra desmucilaginata se detecta una incidencia de broca de 2,3%, lo cual resulta un porcentaje aceptable si se considera que se deriva de infestaciones de campo.

Al comparar los resultados de la Tabla 35, que se refiere a la **calidad del café pergamino seco**, con respecto a las normas de comercialización de café tipo Federación, se observa que el proceso BECOLSUB móvil permite obtener café perga-

Tabla 35. Caracterización del café pergamino seco proveniente del beneficio en un BECOLSUB móvil (Muestra de 100g).

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7%	Norma Café tipo Federación	$\bar{X}$ %
Pelado %	2,00	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,20	2,00	0,44
Guayaba %	0,05	0,40	0,15	1,00	0,40	0,30	0,30	3,00	0,37
Broca %	2,00	2,10	1,15	0,95	0,90	0,65	0,40	5,50	1,16
Impurezas %	0,30	0,25	0,15	0,20	0,25	0,15	0,10	5,00	0,20
Humedad % (b.h.)	12,00	10,40	10,10	11,00	11,30	11,10	11,30	10-12	11,03

$\bar{X}$ = Promedio.

ra de 100 g).

Prueba 7% g	$\bar{X}$ g	$\bar{X}$ %
97,20	95,28	95,28
0,00	0,14	0,14
0,05	0,03	0,03
0,00	0,05	0,05
0,10	0,24	0,24
0,05	0,28	0,28
0,00	0,06	0,06
0,95	1,60	1,60
0,55	0,70	0,70
0,45	0,52	0,52
0,50	0,75	0,75
0,15	0,36	0,36

de pulpa (1,87%), y
ay una disminución del
do la calidad física del
e desmucilaginado indi-
ización de la muestra
2,3%, lo cual resulta un
taciones de campo.

re a la **calidad del café**
zación de café tipo Fede-
mite obtener café perga-

reniente del beneficio en

Prueba 7% g	Norma Café tipo Federación	$\bar{X}$ %
0,20	2,00	0,44
0,30	3,00	0,37
0,40	5,50	1,16
0,10	5,00	0,20
11,30	10-12	11,03

mino seco Tipo Federación; los porcentajes en cada uno de los parámetros son inferiores a las normas de recibo y se demuestra una vez más, que la tecnología es apropiada para el procesamiento del café.

En la Tabla 36 se presentan los valores de velocidad angular de los diferentes ejes que caracterizan la calibración y el funcionamiento adecuado del equipo; se observa que velocidad de giro del eje de la despulpadora es más alto que el valor recomendado para éste tipo de despulpadoras (180 rpm).

Los análisis de la Tabla 37 corresponden a las cuatro ultimas evaluaciones luego de realizar los ajustes requeridos para conseguir un óptimo funcionamiento del equipo; se observa que el **rendimiento** del equipo, expresado en la transformación del café cereza por hora, fue de 596kg/hora, es decir, igual a la capacidad nominal de diseño de los Módulos BECOLSUB 600.

3.18.2. Rendimientos y desempeños

El consumo de agua suministrado al equipo fue de 1,5L/min, en promedio, (Tabla 38) para un volumen total de consumo de agua por prueba de 31,3L. El consumo específico de agua con respecto al café cereza es de 0,155L/kg cc. Si utilizamos la relación cereza a seco promedio (4,84kg de cereza a seco), se obtiene un consumo específico de agua de 0,75L/kg de cps, valor muy cercano al mínimo logrado (0,6L/kg).

3.18.3. Control de la contaminación con el módulo BECOLSUB 600 móvil

En la Tabla 39 se pueden observar los flujos de agua + mucílago generados por el equipo. Para el análisis de la contaminación generada por el beneficio ecológico del café se evaluaron las muestras de las pruebas Nos. 4, 5, 6, y 7 (Tabla 40).

Tabla 36. Velocidades de giro de los diferentes ejes del BECOLSUB móvil (rpm).

Parámetros	Prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Promedio
Motor gasolina	X	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600
Eje desmucilagador	X	984	959	994	975	980	965	975
Eje tornillo sinfín pulpa	X	208	215	210	212	210	205	210
Eje despulpadora	X	218	212	226	218	215	210	216

Tabla 37. Capacidad de proceso del módulo BECOLSUB 600 móvil.

Parámetros	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Promedio
Café cereza procesado, kg	201	208	200	200	202
Tiempo proceso, min	21	23	20	18	21
Cereza/hora, kg	574	543	600	667	596

Tabla 38. Consumo de agua del módulo BECOLSUB 600 móvil.

Parámetros	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Promedio
Agua, L/min.	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5
Café cereza, kg	201,0	208,0	200,0	200,0	202,3
Tiempo operación, min.	21,0	23,0	20,0	18,0	20,5
Total agua proceso, litros (L)	31,50	36,8	30,0	27,0	31,3

Tabla 39. Flujos de agua+mucílago generados por en el BECOLSUB 600 móvil.

Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5		Prueba 6		Prueba 7	
mL	s	mL	s	mL	s	mL	s	mL	s	mL	s	mL	s
800	19,25	620	15,93	560	15,40	750	15	700	15	710	16,52	330	15,58
960	21,77	540	15,20	600	15,29	830	15	730	15	805	17,64	900	15,49
790	16,43	620	15,85	600	15,29	920	15	800	15	800	15,99	1180	15,77
890	16,86	610	15,22	660	15,38			800	15	950	17,56	990	15,51
		700	15,37	580	15,29							1100	15,56
850	19,15	593	15,66	587	15,33	833	15	743	15	816	16,93	900	15,58

Tabla 40. Flujos de agua + mucílago, drenados y análisis de DQO.

Parámetros	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Promedio
Flujo (agua + mucílago)/min	3,33	2,97	2,89	3,46	3,16
Flujo total (agua + mucílago) (L)	70,00	68,39	66,47	79,58	71,11
Total drenados, Litros (L)	17,33	26,15	18,00	13,00	18,62
D.Q.O. mucílago, mg/L	124.000	95.000	136.000	125.000	120.000
D.Q.O. Drenados, mg/L	94.500	112.500	138.000	130.000	118.750
g D.Q.O./kg generados	43,18	31,23	45,20	49,74	42,34
g D.Q.O./kg drenados	8,15	14,14	12,42	8,45	10,79
Contaminación generada, %	7,15	12,41	10,89	7,41	9,47
Contaminación controlada, %	92,85	87,59	89,11	92,59	90,53

En la Tabla 41 se observan los flujos de agua y el mucílago medidos en el equipo al adicionarle 1,5L/min de agua; el valor promedio de la **contaminación** del efluente drenado fue de 118.750mg de DQO/L, muy cercano al valor encontrado por Oliveros *et al.* (121) de 120.000mg de DQO/L. Esto indica condiciones de trabajo similares a los equipos evaluados en las investigaciones de desmucilaginado mecánico en los laboratorios. El valor promedio de la **contaminación controlada** por medio netamente físico fue de 90,5%.

De la Tabla 41 se puede concluir además que con la tecnología BECOLSUB se efectúa una retención física del efluente del 73,6% en volumen y un control físico de la contaminación generada por el beneficio húmedo del café del 90,5%; esto sin tener en cuenta que parte de los drenados de la pulpa se pueden utilizar para el riego de los lombricultivos.

172

vil.

Prueba 7	Promedio
1,5	1,5
200,0	202,3
18,0	20,5
27,0	31,3

COLSUB 600 móvil.

Prueba 6 nL	s	Prueba 7 ML	s
710	16,52	330	15,58
805	17,64	900	15,49
800	15,99	1180	15,77
950	17,56	990	15,51
		1100	15,56
816	16,93	900	15,58

le DQO.

Prueba 7	Promedio
3,46	3,16
79,58	71,11
13,00	18,62
125.000	120.000
130.000	118.750
49,74	42,34
8,45	10,79
7,41	9,47
92,59	90,53

medidos en el equipo al
taminación del efluente
encontrado por Oliveros
ones de trabajo similares
laminado mecánico en los
controlada por medio

tecnología BECOLSUB se
lumen y un control físico
el café del 90,5%; esto sin
ueden utilizar para el riego

Tabla 41. Control de la contaminación generada, por el módulo BECOLSUB 600 móvil.

Parámetros	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Promedio
Total (mucilago + agua), Litros (L)	70	68,39	68,39	79,58	71,59
Total (pulpa + mucilago), kg	134	136	130	121	130,25
Total drenados, Litros (L)	17,33	26,15	18	13	18,62
Retención en volumen, %	75,24	61,76	73,68	83,66	73,59
Control contaminación, %	92,85	87,59	89,11	92,59	90,53

El promedio del peso del café pergamino seco fue de 41,9kg lo cual significa un rendimiento o relación de conversión de café cereza a pergamino seco de 4,84 a 1, una relación de café lavado a café pergamino seco de 2,08 y 2,33 para la relación de café cereza a café lavado (Tabla 42).

Se obtuvo un **consumo de combustible** (gasolina verde corriente de 85 octanos) de 0,02L/kg de cps. (0,066 galones/@ de cps), que equivalen \$ 5,1/kg de cps (\$ 63,75/@ de cps) (con valores de enero de 1997), en promedio.

3.18.4. Control de la contaminación con el módulo BECOLSUB 1000 móvil

Con un equipo BECOLSUB 1000 móvil, Figura 73, se realizaron 14 evaluaciones distribuidas en cuatro fincas, como se indica en la Tabla 43. 1) Finca "La Palma", ubicada en la vereda "El Limonar", municipio de Sasaima, Cundinamarca, a 1.450 msnm, temperatura promedio de 21°C y una precipitación anual de 2.078mm. El proceso se efectuó con café cereza tipo Variedad Colombia maduro. El período de trabajo fue en los meses de noviembre de 1997 y abril de 1998. 2) Finca "Tasmania",

Tabla 42. Desempeño general de la tecnología BECOLSUB móvil, en el beneficio de café.

Parámetros	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Promedio
Total café cereza, kg	201,00	208,00	200,00	200,00	202,25
Rendimiento café cereza, kg/hr	574,00	543,00	600,00	667,00	596,00
Café desmucilaginado, kg/min	4,73	3,82	3,84	5,28	4,42
Total café lavado calculado, kg	99,33	87,86	76,80	95,04	89,76
Total café lavado pesado, kg	82,50	87,00	85,00	94,00	87,13
Total CPS, kg	39,80	43,00	41,00	43,70	41,88
Rendimiento café cereza a café seco	5,05	4,84	4,88	4,58	4,84
Rendimiento café lavado a café seco	2,07	2,02	2,07	2,15	2,08
Rendimiento café cereza a café lavado	2,44	2,39	2,35	2,13	2,33
Relación agua/kg cps.	0,79	0,86	0,73	0,62	0,75
Consumo combustible, L/ton cps	X	19,40	X	X	18,20
Consumo combustible (gal/@)	X	0,064	X	X	0,06



Figura 73. Módulo BECOLSUB 1000 con el cual se realizaron pruebas de campo en la finca "La Palma", Cundinamarca.

ubicada en el municipio de Pereira, Risaralda, 3) Finca "La Coralia", ubicada en el municipio de Pereira, Risaralda a 1.350 msnm, con una temperatura promedio de 21,6°C y una precipitación anual de 1883,3mm, en promedio.

El proceso de beneficio se efectuó con café cereza maduro tipo Variedad Colombia. Se llevó a cabo el trabajo entre los meses de noviembre de 1997 y abril de 1998.

Se efectuaron las siguientes caracterizaciones, siguiendo la misma metodología utilizada para evaluar el módulo BECOLSUB 600 móvil: calidad del café cereza, rendimientos de café cereza a café pergamino seco; capacidad del equipo. Los resultados generales se resumen en la Tabla 43. Se determinó además el control de la contaminación y los resultados fueron similares a los obtenidos con el módulo BECOLSUB 600 móvil.

El rendimiento promedio del equipo fue de 1.157kg. de café cereza/hora. La conversión de cereza a pergamino fue de 5,12 a 1. El consumo de agua por kg de café pergamino seco fue de 0,94L. Se obtuvo un consumo de combustible de gasolina verde corriente de 85 octanos de 13,3L/ton (0,040 galones por arroba) de cps.

Tabla 43. Desempeño general de la tecnología BECOLSUB 1000 móvil.

	LA CORALIA Mitaca (3 pruebas)	TASMANIA Principal (2 pruebas)	LA PALMA Mitaca (3 pruebas)	LA PALMA Principal (6 pruebas)	PROMEDIO
Total café cereza (kg./hora)	1140,52	1186,00	1135,51	1164,27	1156,58
Café desmucilaginado (kg/min.)		9,18		9,18	9,18
Total café lavado pesado (kg)	97,00	255,75	107,83	189,10	162,42
Total cps (kg)	49,5	115,00	46,33	80,33	72,79
Café cereza por prueba (kg)	228,6	623,00	416,33	223,00	372,75
Rendimiento cereza-seco	4,63	5,42	4,82	5,28	5,12
Relación agua/kg. cps	0,88	0,96	0,92	1,00	0,94
café pergamino seco (@)	3,96	9,20	3,71	6,43	5,82
Consumo combustible (L/ton)	11,50	13,30	13,0	13,0	12,10
Consumo combustible gal/@	0,038	0,044	0,043	0,043	0,040

3.19. CENTRAL DE BENEFICIO ECOLÓGICO DE ANSERMA, CALDAS (CBEA) ³⁷

Cenicafé diseñó, construyó y puso en funcionamiento con la colaboración del Comité de Cafeteros de Caldas y de la Cooperativa de Caficultores de Anserma, la CENTRAL DE BENEFICIO ECOLÓGICO DE ANSERMA, localizada en dicho municipio a 1.750 msnm (Figuras 74 y 75).

El objetivo del proyecto es el de **comercializar café cereza** ofrecido por los caficultores de la región, adoptar las mejores tecnologías, introducir conceptos ecológicos en el proceso del beneficio y prestar un excelente servicio al caficultor, principalmente para mejorar sus ingresos y facilitar su gestión de beneficio. El café cereza que se utiliza, producido en diferentes pisos térmicos, proviene de numerosas fincas de la región.

Los trabajos se realizaron como respuesta a la solicitud conjunta de la Cooperativa de Caficultores de Anserma y del Comité Departamental de Cafeteros de Caldas en 1990, de realizar un proyecto con la tecnología que Cenicafé había generado.

En general y como respuesta a la solicitud se formuló el proyecto y se concluyó el montaje de los equipos en 1994, año en el que se iniciaron las evaluaciones. En 1995 se introdujeron los conceptos integrales de los equipos DESLIM y BECOLSUB, de forma que en mayo de 1995, por **primera vez**, se evaluaron satisfactoriamente tres equipos comerciales DESLIM 3000, con consumos de 0,6L de agua por kilogramo de café pergamino seco, con el concepto integrado de control físico de la contaminación. Los equipos, mezclaban el mucílago con la pulpa y con los residuos provenientes de la recuperación de granos guayaba y media cara, produciendo una

³⁷ Preparado por Roa M., G. y Álvarez G., J. Ingeniería Agrícola, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia

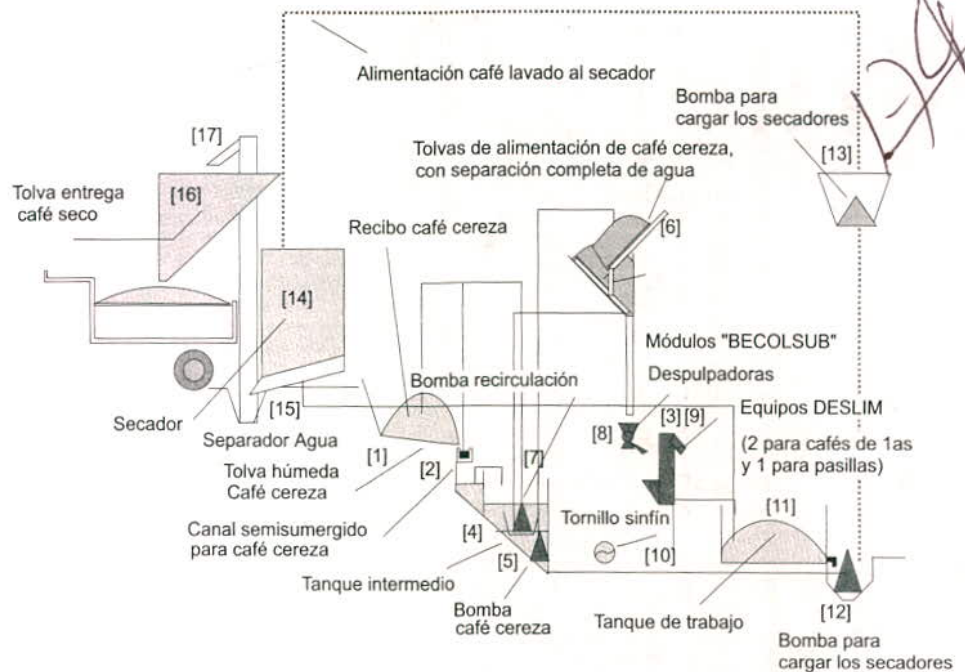


Figura 74. Esquema de la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.

mezcla que se utilizó como sustrato para la producción comercial del lombricultivo, la cual se evaluó conjuntamente con dos firmas comerciales (Capítulo 6).

La CBEA se diseñó con el objetivo de controlar la contaminación por medios físicos y también para conseguir una mejor clasificación del café con broca, que se constituía como una amenaza potencial muy grande para la región, particularmente, por el sistema novedoso de comercialización que propiciaría la proliferación del insecto. El proyecto incluyó la clasificación hidráulica de los granos atacados por la broca del café mediante el canal semisumergido para café cereza, que es hasta hoy, junto con el hidrociclón (Sección 3.11.), uno de los mejores medios de separación y



Figura 75. Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.

clasificación de materiales leves, como los granos de café severamente brocados. El método hidráulico permite además la separación de objetos pesados como piedras y tornillos, que podrían arruinar frecuentemente las camisas de las despulpadoras y que significan hasta la fecha un problema serio. Hasta la presente fecha, Octubre de 1999, el sistema de clasificación hidráulico es muy bien aceptado y no incrementa el consumo de agua sensiblemente por unidad de café procesado, por el sistema de recirculación efectuado.

3.19.1. Componentes de la Central de Beneficio de Anserma, Caldas

La Central está constituida de los **elementos** incluidos en la Figura 74. El proceso de beneficio se desarrolla de la siguiente manera:

Se recibe el café cereza en sacos o a granel en una tolva húmeda [1]. El agua de transporte³⁸ conduce el café cereza al canal semisumergido [2] donde se separan y conducen los materiales livianos y el café brocado al módulo BECOLSUB de pasillas [3]. Los granos más densos, que se sedimentan por entre las ranuras del canal, caen al fondo de un tanque intermedio [4], cuyo nivel de agua se controla para utilizar la mínima cantidad y garantizar que la bomba de café cereza [5] no se quede en vacío. El café cereza se transporta hidráulicamente hasta la tolva elevada [6] en donde el agua de transporte se separa por dos fondos falsos perforados dispuestos en serie y regresa por gravedad a una bomba de recirculación confinada en un pequeño tanque de agua [7], la cual reutiliza el agua recibida para la operación de la tolva húmeda de recibo y del canal semisumergido. El café cae, sin agua y por gravedad, a las despulpadoras [8] (Figura 15) de los dos módulos BECOLSUB de cafés de primeras los cuales también se operan en ausencia de agua. Una tolva recibe el café despulpado que alimenta dos desmucilaginadores DESLIM 3000 [9] de cafés de primeras. La pulpa desprendida va a otra tolva que vacía su contenido a un tornillo sinfín [10] que a su vez recibe el mucílago de los tres equipos DESLIM y los transporta a la fosa de pulpa y mucílago (Figuras 76 y 123), [1]. El café desmucilaginado, lavado y limpio se entrega al tanque de trabajo [11] formando un proceso continuo a través de la tolva de café cereza, las despulpadoras y el equipo DESLIM que desmucilagina, lava y limpia. Del tanque de trabajo se lleva, por medio de dos bombas en serie [12] y [13], a dos secadores convencionales de capacidad estática de 7,5 ton (600@) de café pergamino seco. El café pergamino seco se transporta a una tolva de entrega de café seco [16], por medio de un transportador de cangilones convencional [17].

³⁸ Teniendo en consideración de que se decidió utilizar agua como medio de clasificación de los granos atacados con broca, lo más lógico fue también aprovechar las excelentes características del transporte hidráulico y se proyectó, además, demostrar que su uso bien proyectado no implica perjuicio al carácter ecológico del proyecto.

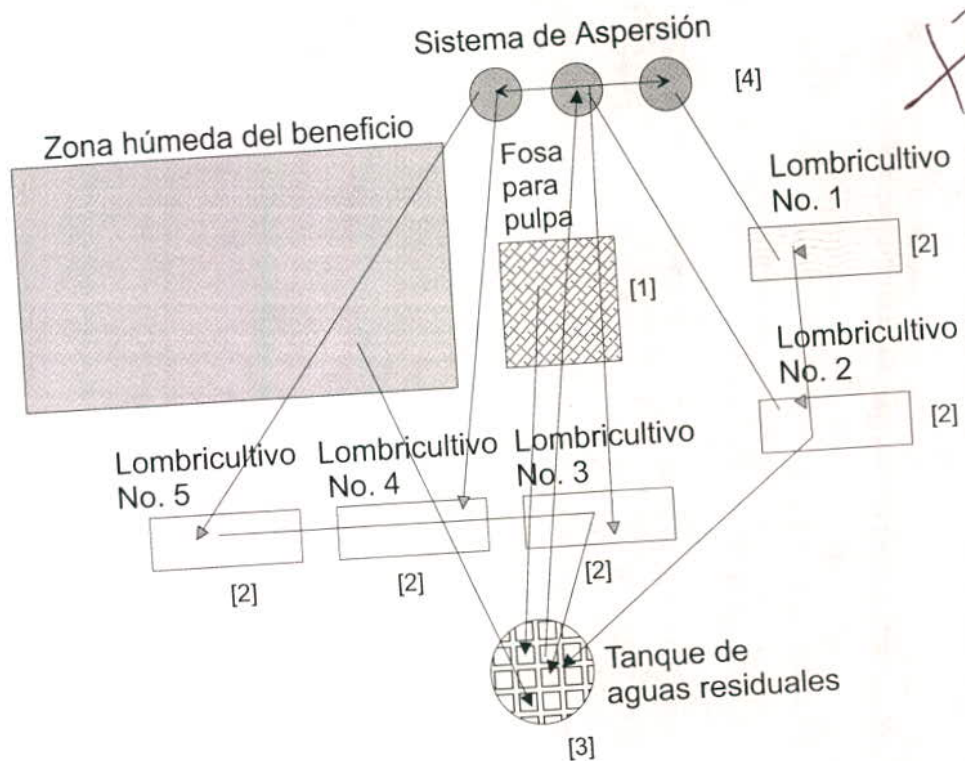


Figura 76. Esquema del manejo de los subproductos pulpa y mucílago en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, CBEA. Caldas.

Se efectuaron además evaluaciones (Sección 4.8.7.) de 3 secadores CENICAFE-IFC, de 5ton (400@) de capacidad, cada uno, obteniéndose resultados parciales muy aceptables en 3 pruebas. En el presente momento se proyectan modificaciones en el sistema de dosificación de la descarga de los granos, para garantizar perfecta uniformidad en los flujos de los granos y la humedad final del café.

El agua de transporte del café a los secadores se recircula gracias al separador de agua-café [15] y a la bomba de los secadores [12] y [13]. También se incorporó a este circuito, un hidrociclón para complementar la clasificación efectuada por los equipos DESLIM.

A pesar que se dispuso de dos bombas de recirculación, de los tanques de depósito y de recirculación y de las tuberías hidráulicas de conexión, el agua necesaria para ocupar todo el circuito es de menos de 3 m³, que se pueden recircular durante las 24 horas de operación de la Central. El consumo de agua por unidad de café pergamino procesado, en caso de que se trabaje con la mitad del día pico, sería tan solo de 0,4L de agua/kg cps, o sea, menos del 10% del total del agua nominal para colocar en funcionamiento todas las etapas del proceso del beneficio.

ón

[4]

Lombricultivo
No. 1

[2]

Lombricultivo
No. 2

[2]

de
esiduales

go en la Central de Beneficio

secadores CENICAFE-
ose resultados parciales
royectan modificaciones
para garantizar perfecta
l del café.

a gracias al separador de
. También se incorporó a
icación efectuada por los

le los tanques de depósito
ón, el agua necesaria para
le circular durante las
agua por unidad de café
idad del día pico, sería tan
tal del agua nominal para
el beneficio.

3.19.2. Manejo de la pulpa, del mucílago y de la lombriz

La pulpa mezclada con el mucílago se transporta mediante el tornillo sin fin a las fosas para la pulpa [1], (Figuras 76 y 123), en donde se almacena por varios meses para alimentar las lombrices (Capítulo 6). El criterio de diseño para estimar la capacidad de estas fosas se basa en que al final de la cosecha principal se llene completamente la fosa y que se encuentre completamente desocupada antes del inicio de la cosecha principal. De esta manera se minimiza el área de almacenamiento, se garantiza el alimento para la lombriz en todo el año, y se uniformiza la producción del abono orgánico.

La pulpa mezclada se transporta manualmente por carreta de la fosa a los lechos de lombricultivo [2], en donde se aplican capas de 4 centímetros de espesor una o dos veces por semana, hasta una altura máxima de 40 cm.

Al final de la jornada diaria todas las aguas se evacuan al tanque de aguas residuales de 30 m³ [3], (Figura 76) de donde se bombean a los lechos de pulpa con lombrices [2]. A este mismo tanque llegan las aguas de drenado de las fosas de pulpa [1] y de los lechos de pulpa y lombrices; una bomba conduce estas aguas a un sistema de irrigación del lombricultivo por aspersión [4]. La contaminación real de la Central de Beneficio se mide por el caudal, y el valor de DQO correspondiente que rebose este tanque y que en el futuro será eliminada por la adopción de los biodigestores anaeróbicos (Capítulo 8). Se estima que este rebose sea actualmente, en término de contaminación, menos del 10% del potencial contaminante total.

3.19.3. Evaluación de la Central

Entre Octubre/95 y Enero/96, se procesaron 670.000kg de café cereza con todos los equipos funcionando, incluyendo las modificaciones de la CENTRAL en la parte húmeda, de los secadores de torre (Sección 4.8.7.) y el manejo del lombricultivo. Con base en ésta evaluación preliminar y con las modificaciones efectuadas, la CENTRAL ha funcionado ininterrumpidamente desde Septiembre 1998 hasta Octubre 1999, atendiendo sin restricciones las demandas de los caficultores y obteniéndose en ella café tipo Federación.

3.19.3.1. Uso del método CERPER en la CBEA

Se consideró desde el inicio de la elaboración del proyecto de la CBEA, que parte fundamental en el éxito de la operación sería la real, justa y oportuna evaluación de la calidad del café cereza que los caficultores entregaran en la Central. Los métodos que tradicionalmente se han utilizado comercialmente para éste fin eran, según evaluaciones preliminares de Cenicafé, de muy dudosa precisión, por lo cual se decidió profundizar en los estudios correspondientes y obtener un método alternativo. Como resultado se obtuvo el método CERPER (estimador de la relación café CEReza a PERgamino) en Cenicafé (8, 79), cuyo desarrollo y evaluación compa-

rativa en relación con el método real de beneficio y con los métodos convencionales se presenta en la Sección 5.5.1.

Los resultados comparativos obtenidos para estimar la relación de café cereza a café pergamino seco mediante la utilización del método CERPER y el método convencional por vía hidráulica, utilizado por la Cooperativa de Caficultores de Anserma, se presentan en la y en la Figura 77.

El rendimiento de 71 evaluaciones (como promedio de los meses de octubre, noviembre y diciembre de 1995) de café cereza para producir café pergamino seco, medido con el método CERPER modificado (Sección 5.5.1.) fue de 5,2 (coeficiente de variación = 7,6%) contra el valor del 5,7 (coeficiente de variación de 10,6%) determinado por medio del procedimiento de flotación utilizado por la Cooperativa.

En la Figura 77 se presentan los valores obtenidos en el período de evaluación; la línea recta corresponde a la relación ideal 1 a 1, los símbolos de cruces representan la evaluación efectuada por la relación de los pesajes antes (café cereza) y después (café pergamino seco) del beneficio. Se observa que existen diferencias notorias entre las dos predicciones y que el **método CERPER se aproxima con mucha exactitud** al sistema real e ideal de la evaluación de la relación cereza/pergamino.

3.19.3.2. Calidad del café cereza y del café pergamino

Café Cereza. En general, el café entregado a la Central en los años de 1995 y 1996 fue de baja calidad (Figura 78), posiblemente porque los caficultores eran muy conscientes de que no sería rechazado ningún tipo de café.

En efecto, el valor promedio de la suma de los granos verdes, pintones, sobremaduros, brocados y pasillas fue del 35%, valor muy superior al esperado (máximo del 15%) para obtener un café Tipo Federación, en un beneficiadero convencional.

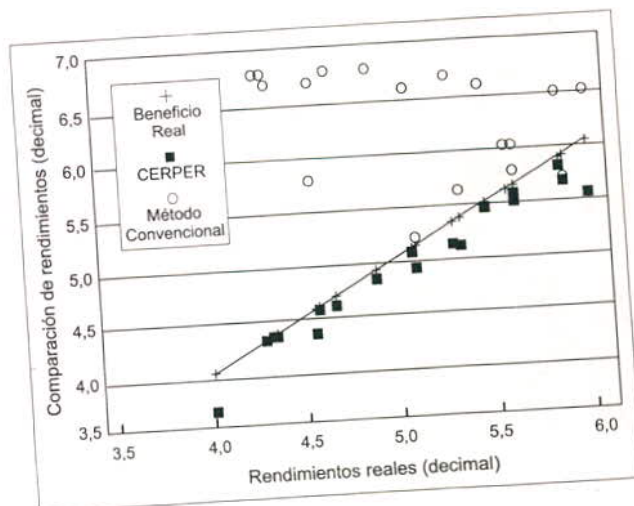


Figura 77. Comparación entre los valores estimados de la relación de café cereza a café pergamino seco mediante el método CERPER y el de flotación. (Total de 71 muestras).

métodos convencionales

relación de café cereza a CERPER y el método activa de Caficultores de

os meses de octubre, no-
cir café pergamino seco,
.1.) fue de 5,2 (coeficien-
e de variación de 10,6%)
izado por la Cooperativa.

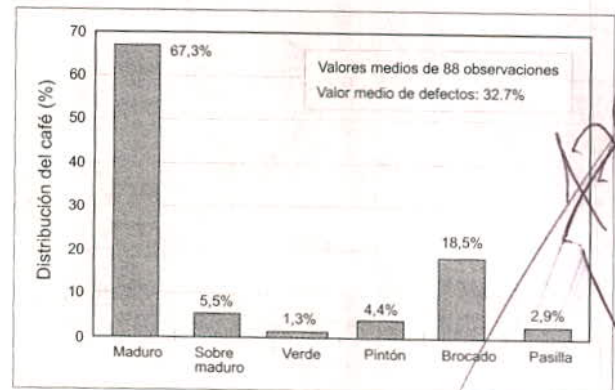
período de evaluación; la
los de cruces representan
s (café cereza) y después
isten diferencias notorias
se aproxima con mucha
ación cereza/pergamino.

o
n los años de 1995 y 1996
los caficultores eran muy
fé.

s, pintones, sobremaduros,
perado (máximo del 15%)
ro convencional.

Figura 77. Comparación entre
los valores estimados de la rela-
ción de café cereza a café per-
gamino seco mediante el método
CERPER y el de flotación. (To-
tal de 71 muestras).

Figura 78. Histograma de la calidad del café cereza recibido en la cosecha principal de 1995 en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.



3.19.3.3. Calidad del café pergamino obtenidas por desmucilaginado mecánico

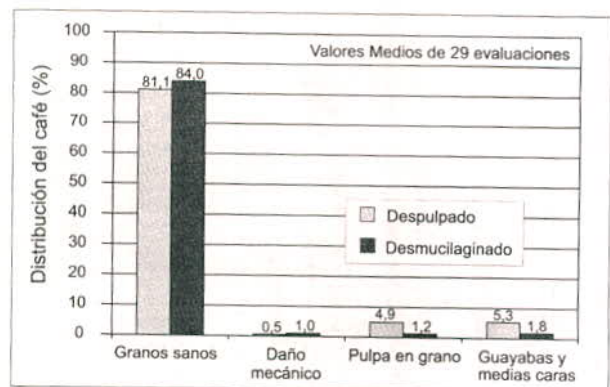
Se observa en las Figuras 79 y 80 el efecto benéfico del desmucilaginado con relación al aumento de la calidad física expresada en granos normales (2,7%, en promedio ponderado); también leves aumentos de los granos trillados y mordidos (1,06%, en promedio ponderado), notoria disminución de los granos sin despulpar (5,9%), disminución de la pulpa en el grano (3,7%) y aumento del porcentaje del grano verde (4,3%).

En la Figura 81 se indica, con base en 29 evaluaciones, la disminución de los granos guayaba y media cara que corresponden a un aumento proporcional de mayor cantidad de grano bueno en el café pergamino.

En la Figura 82 se indica en detalle, el aumento del 0,5% del daño mecánico (grano trillado y grano mordido) por efecto del desmucilaginado mecánico. Este aumento es balanceado muy favorablemente por las mejoras de calidad del grano indicadas anteriormente.

En las Figuras 83 y 84 se observa el alto valor de granos buenos (70%) obtenido del tanque de las pasillas de la CBEA; este hecho, junto con el mejoramiento de los

Figura 79. Influencia del desmucilaginado mecánico en la calidad física del pergamino (Promedio de 29 evaluaciones).



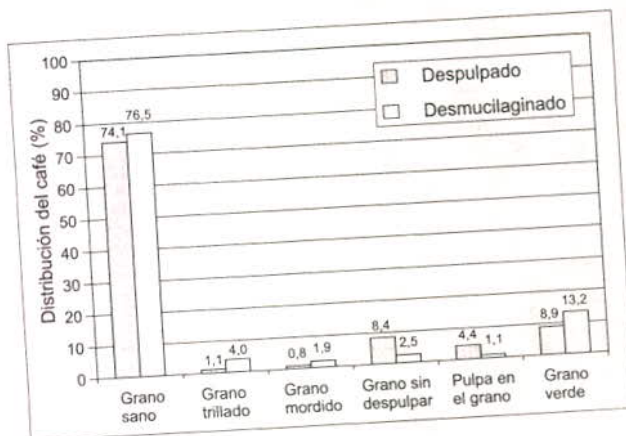


Figura 80. Influencia del desmucilaginado mecánico en la calidad física del pergamino (Promedio de 16 evaluaciones).

granos de primeras, hace de forma general que el efecto benéfico del desmucilaginado mecánico sea el de mejorar el rendimiento del beneficio sensiblemente, en comparación con el beneficio tradicional.

3.19.3.4. Secado del café

El secado del café fue efectuado en forma experimental utilizando 3 secadores de flujos de aire y grano concurrentes, IFC, con aplicación de la energía en forma intermitente. Las características generales de estos secadores demostraron ser muy buenas (Sección 4.8.7.). Debido a problemas de desuniformidad en la dosificación del flujo de granos en la descarga de los secadores, fueron sustituidos temporalmente por secadores convencionales de capa estática de tres niveles.

3.19.3.5. Lombricompuesto ³⁹

En la Central de Beneficio Ecológico de Café, se realizó un estudio (59) con el fin

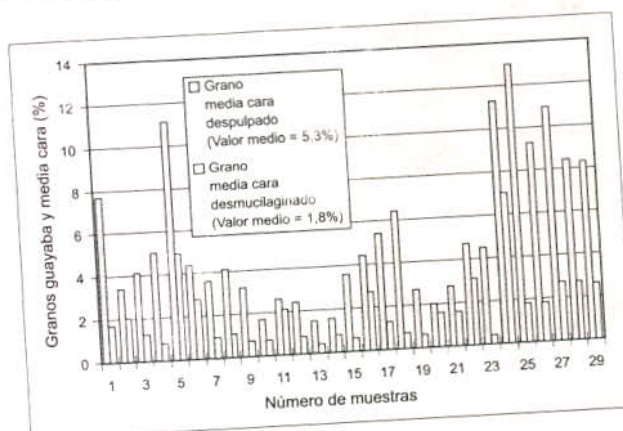


Figura 81. Influencia del desmucilaginado mecánico en la disminución de los granos guayaba (G) y media cara (MC).

³⁹ Los resultados de ésta investigación permitieron preparar la Sección 6. sobre manejo general de la lombricultura, utilizando la mezcla del mucilago con pulpa.

a 80. Influencia del
ilaginado mecánico en la
física del pergamino (Pro-
de 16 evaluaciones).

, del desmucilaginado
blemente, en compa-

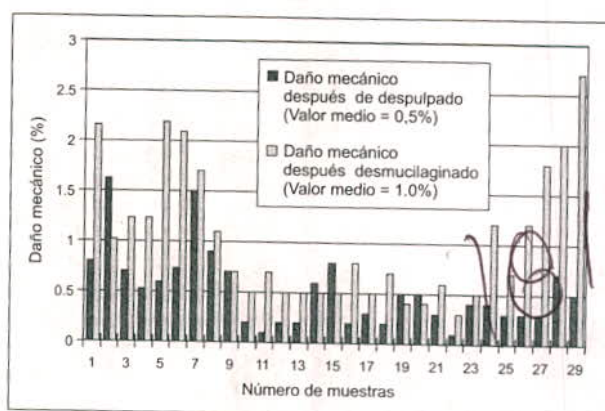
zando 3 secadores de
la energía en forma
de mostraron ser muy
dad en la dosificación
sustituidos temporal-
niveles.

estudio (59) con el fin

ura 81. Influencia del
nucinado mecánico en la
inución de los granos guaya-
G) y media cara (MC).

ar la Sección 6. sobre
el mucílago con pulpa.

Figura 82. Influencia del desmucilaginado mecánico en aumento del daño mecánico del café pergamino.



de comparar dos sistemas de lombricultura, para el manejo de la pulpa y el mucílago de café, con la participación de dos lombricultores comerciales, uno de los cuales (BIOAGRO) empleó un sistema en cajas plásticas abiertas por todos sus extremos, mientras que el otro lombricultor (MI JARDÍN) y Cenicafé utilizaron camas construidas en ladrillo y cemento (Figuras 122 a 126). Para ambos sistemas y los tres lombricultivos, se compararon ciclos de funcionamiento, incrementos en la biomasa de lombriz, rendimientos y caracterización en la conversión de pulpa en lombricomposto y caracterización de éste. Se calculó el costo de producción de lombricomposto en los dos sistemas.

Además, para el sistema en camas se evaluó el volumen de agua residual adecuado para regar periódicamente el lombricultivo. Según los resultados, evaluados a diciembre de 1996 (Tabla 44), se pudo manejar una cantidad de pulpa mezclada con

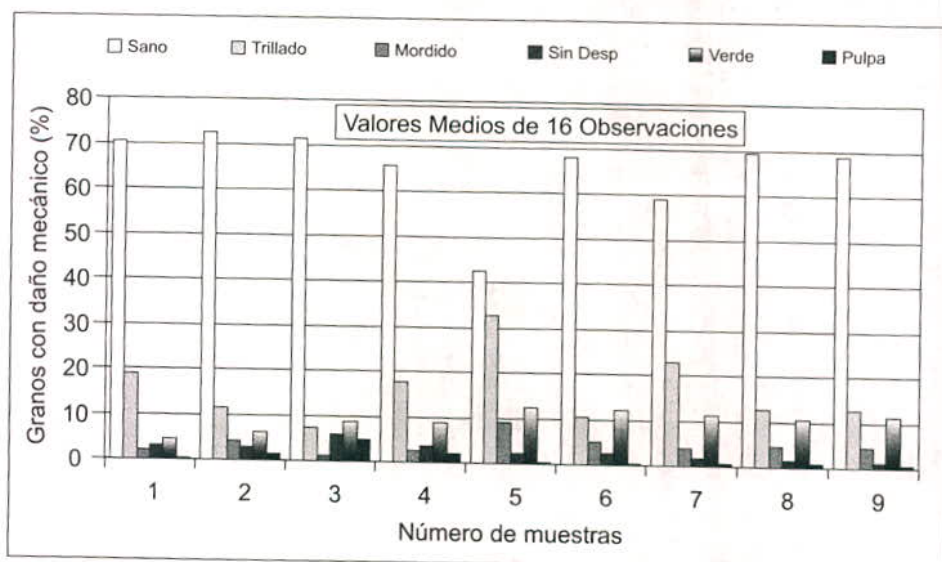


Figura 83. Análisis físico de los granos obtenidos del desmucilaginator de pasillas en la Central de Beneficio de Anserma.

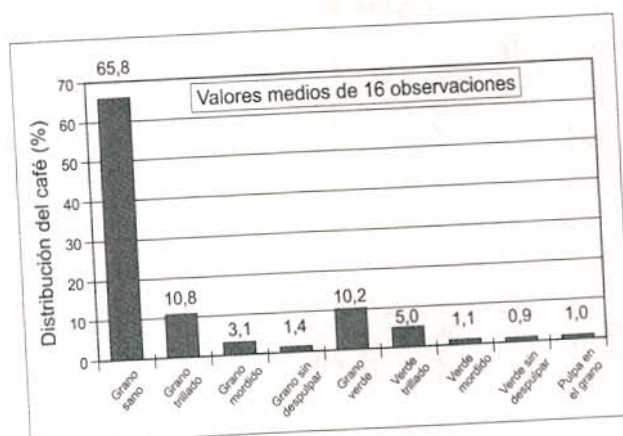


Figura 84. Recuperación de granos buenos en los flotes del café procesado en la Central de Beneficio de Anserma.

mucílago en camas de aproximadamente **1 tonelada por m² por año**. En el lombricultivo manejado por Cenicafé se obtuvieron incrementos en la biomasa de lombriz del 43% para ciclos de 4,5 meses y de 11,4 meses; mientras que para MI JARDÍN, se obtuvo un incremento del 106,7% para 6,1 meses y un decremento de 5,1% para 13,6 meses. La producción promedio de lombricomposto húmedo (80% humedad) fue de 249 y 199kg/m², para ciclos de 6,1 y 13,6 meses respectivamente, para MI JARDÍN. Para Cenicafé, la producción fue de 239 y 190kg/m², para ciclos de 4,5 y 11,4 meses, respectivamente. El **rendimiento en la conversión** de pulpa en lombricomposto fue del 55% en base seca (b.s.) y 38,2% (b.s.) respectivamente, para CENICAFE; mientras que para MI JARDÍN, se obtuvieron 45% y 32,6%, respectivamente. Utilizando riegos en los lombricultivos en camas de ladrillo se logró retener un volumen de agua residual de aproximadamente 1L/m²-día.

Los lombricompostos obtenidos en ambos sistemas presentaron propiedades fisicoquímicas muy similares. En el sistema de cajas plásticas se evaluaron 12 bloques con diferente número de cajas, con un ciclo promedio de producción de 4,17 meses (mínimo 3 y máximo 6). Se encontró un **incremento promedio en la biomasa** de lombrices del 107,7%, con una gran variabilidad entre bloques y cajas. Se obtuvieron producciones promedio de 8,91kg de lombricomposto húmedo (74,5% de humedad por caja, equivalente a 12kg con el 80% de humedad), con un rendimiento promedio en la conversión de pulpa en lombricomposto del 36,4%

Tabla 44. Tasas de producción de lombricomposto obtenidas en la CBEA, 1996.

Sistema	Ciclo	Tiempo (mes)	Rendimiento	Producción (80% humedad)	
				(kg/m ²)	(kg/m ² -día)
Cenicafé	1	4,5	55	239	1,77
Mi Jardín	1	6,1	45	249	1,36
Cenicafé	2	11,4	38,2	190	0,56
Mi Jardín	2	13,6	32,6	199	0,49
			(mes)	(kg/caja)	
Bioagro		4,17	36,4	12	

ra 84. Recuperación de granos en los flotes del café esado en la Central de Beneficio de Anserma.

or m² por año. En el lentos en la biomasa de ; mientras que para MI ses y un decremento de mpuesto húmedo (80% meses respectivamente 239 y 190kg/m², para to en la conversión de y 38,2% (b.s.) respecti- N, se obtuvieron 45% y ltivos en camas de ladri- nadamente 1L/m²-día.

resentaron propiedades cas se evaluaron 12 blo- o de producción de 4,17 nento promedio en la lad entre bloques y cajas. nbricompuesto húmedo 0% de humedad), con un bricompuesto del 36,4%

nidas en la CBEA, 1996.

lucción (80% humedad)	
(g/m ²)	(kg/m ² -día)
239	1,77
240	1,36
190	0,56
199	0,49
g/caja)	
12	

base seca, (b.s.) con una gran variabilidad, debido probablemente a problemas por los bajos y heterogéneos valores de humedad de trabajo. Se concluye que, para una mejor eficiencia de los lombricultivos, es conveniente realizar entre dos y tres ciclos de producción al año. Según las actividades, se calcularon los costos (en 1996) de producción (mano de obra) de lombricompuesto en cada sistema. Para el sistema en camas es aproximadamente de \$30/kg de lombricompuesto (80% de humedad), mientras que para el sistema en cajas es de aproximadamente \$64/kg de lombricompuesto (74,5% de humedad), resultando en un 60% más costoso, producir el lombricompuesto en cajas, al compararlo con lombricompuestos donde prevalecieron las mismas condiciones de humedad.

3.19.3.6. Consumo de agua

El agua consumida en el proceso de desmucilaginado, lavado y limpieza es del orden de 1 litro por kilogramo de café pergamino seco y la mayor parte de ella queda en la pulpa almacenada en la fosa.

3.19.3.7. Retención de la contaminación

Con las modificaciones introducidas en el beneficio húmedo en 1995 se modificaron significativamente las condiciones de retención de contaminación por la pulpa. La retención de la contaminación se estima en 90%.

3.19.3.8. Consumo de energía eléctrica

Para procesar 46.548kg de café pergamino en 276 entregas de los caficultores, se necesitaron 0,1 kilovatio-hora por kg de cps, o sea 0,66% del valor del producto, lo que significa el uso muy eficiente de los motores de la CBEA.

3.19.3.9. Mano de obra

La Central operó, en promedio, durante los días de plena actividad con 9 obreros de la Cooperativa, (1 celador, 1 mecánico, 2 operadores de secadores, 1 lombricultor y 4 obreros). El número de horas extras semanales fue de 38 horas diurnas y de 126 horas nocturnas. El costo semanal de la nómina fué de aproximadamente US\$390 en 1996. El valor promedio por kg de café pergamino seco durante tres semanas fue de US\$26,2/ton cps.

El costo por energía eléctrica, combustible de secado y mano de obra directa es de \$91,8/kg cps, o sea el 6,1% del valor del café.

La Central cobra por el beneficio del café la suma de US\$128/ton cps. El valor de venta medio del café pergamino seco es de US\$1.500/ton de cps.

3.19.3.10. Objetivos planteados en la propuesta del proyecto de la CBEA (1992-1993)

Cuando se aprobó el proyecto de la CBEA en una plenaria de una reunión de 59 especialistas de beneficio del café en Colombia (151) se presentaron muchas posibles ventajas; si bien, la CBEA solo ha funcionado comercialmente en el último año a partir de septiembre de 1998, después de la gran experiencia lograda, si se puede asegurar que ninguna de las potenciales **ventajas** anotadas con anterioridad sea posible descartarla. Ellas son:

- Para los caficultores de Anserma, Caldas, la ventaja de beneficiar su café en su propiedad o en beneficiaderos comunales que utilizan tecnologías tradicionales.
- El pago adecuado por el café cereza que hace entrega a la Cooperativa, por la correcta y rápida determinación de la relación del café cereza/café pergamino seco.
- Permite a los agricultores, en la época de la cosecha, dedicar su tiempo a actividades agrícolas y la supervisión de la cosecha.
- Da mayor seguridad y tranquilidad al caficultor evitándole la necesidad de mantener el café en la finca durante el beneficio, secado y almacenamiento.
- Facilita al caficultor la venta de su producto.
- Garantiza una calidad uniforme del café procesado.
- Efectúa el proceso de beneficio del café cereza para producir café pergamino seco, tipo Federación, bajo las mejores condiciones técnicas conocidas, con el mínimo consumo de agua, mínima contaminación y con el mayor control.
- Elimina los equipos clasificadores de café pergamino con mucílago fermentado, los cuales consumen de altos volúmenes de agua. Son estos el canalón de correteo y el canal semisumergido.
- Disminuye el consumo de agua de 20, 30 o 40L/kg, que se utilizan generalizadamente en el país, hasta 3 o menos litros por kilogramo de café pergamino seco.
- Elimina la etapa de fermentación mediante la introducción del desmucilaginator mecánico continuo, desarrollado en Cenicafé.
- Transporta la pulpa mezclada con el mucílago hacia las fosas o hacia los lugares de acopio, para posteriormente transformarla y aplicarla a la plantación, o a los almácigos como abono.
- Simplifica el conjunto de etapas del beneficio mediante la incorporación de la clasificación y el lavado del café pergamino, a los procesos de despulpado y desmucilaginado.

de una reunión de 50
 tentaron muchas posi-
 mente en el último año
 ia lograda, si se puede
 s con anterioridad sea

eneficiar su café en su
 iologías tradicionales.

la Cooperativa, por la
 cereza/café pergamino

icar su tiempo a activi-

le la necesidad de man-
 nacenamiento.

roducir café pergamino
 nicas conocidas, con el
 el mayor control.

n mucílago fermentado,
 stos el canalón de corre-

L/kg, que se utilizan
 kilogramo de café perga-

ón del desmucilagador

fosas o hacia los lugares
 la a la plantación, o a los

nte la incorporación de la
 rocesos de despulpado y

- Elimina completamente la contaminación de las aguas, o en el caso menos favorable, se puede realizar un mejor control de la mínima contaminación ocurrida en la poca cantidad de agua que se utiliza en el proceso del lavado y que podría ser incorporada a la mezcla de la pulpa y del mucílago, en sus diferentes estados de transformación.
- Reducción de hasta el 64% del área construida de los beneficiaderos tradicionales, en donde se utilizan tanques de fermentación y diferentes dispositivos hidráulicos para transportar, lavar y clasificar el café.
- Mejor control de las operaciones de beneficio del café mediante controles electromecánicos sencillos, para asegurar mínimos costos de proceso y mayor control de calidad en éstos.
- Disminución de costos en las ampliaciones de los beneficiaderos y centrales, de forma que al duplicar o cuadruplicar su capacidad de proceso, la ampliación de infraestructura necesaria es tan sólo proporcional a los equipos procesadores y el área que ocupan, y no la correspondiente a otros equipos de uso general como los de recepción, expedición, transporte y clasificación.
- Mejor manejo y utilización de la pulpa al eliminar su lavado y al utilizar su capacidad de retención del mucílago concentrado.
- Mejor facilidad para el aprovechamiento y valorización de los subproductos del café, debido a la disponibilidad del mucílago concentrado y separado, y la no tradicional saturación de humedad de la pulpa.
- Reducción de los costos de operación (tiempos y movimientos) del proceso, las áreas de construcción y los costos de inversión por unidad de masa beneficiada.
- Disminución de los efectos dañinos de la broca mediante la separación y tratamiento adecuado de los granos brocados y de la pulpa separada de ellos.
- Aprovechamiento de la experiencia de la Central de Beneficio de Anserma, para presentar diseños mejorados en futuras Centrales de Beneficio en el país.

3.19.3.11. Central de Anserma como generadora de tecnología de beneficio

El equipo de investigación en postcosecha de Cenicafé, considera que el elemento que más contribuyó a la **generación de la tecnología** fue el gran esfuerzo que efectuó durante los años de 1992 a 1996, para tornar viable el proyecto de la Central de Anserma, en la forma como fue inicialmente concebido.

La idea inicial de construir en los laboratorios de Cenicafé un prototipo que pudiera tener posibilidades de éxito comerciales, se originó como respuesta inmediata a la solicitud del proyecto por parte de la Cooperativa de Anserma y del Comité de Cafeteros de Caldas. A los pocos meses y con ésta finalidad primaria se construyó el módulo DESMULAC, que fue modificado todas las veces necesarias, hasta de-

sarrollar finalmente el módulo BECOLSUB. La Figura 39 muestra el modelo inicial y la Figura 47 el final. En forma general, Cenicafé generó tecnología en sus laboratorios para que pudiera, en corto plazo, ser utilizada comercialmente en la CBEA.

Se efectuaron los diseños de ingeniería del proyecto y se construyeron en los propios talleres todos los elementos principales de la Central. Se pusieron en funcionamiento los equipos y se sustituyeron todos aquellos que no funcionaron dentro del planteamiento ideal inicial; finalmente, se efectuaron modificaciones e innovaciones para superar ampliamente los objetivos iniciales propuestos para CBEA.

La adopción masiva, nacional e internacional de la tecnología BECOLSUB⁴⁰, es un indicador claro del éxito del desarrollo; las empresas comerciales que mejor han entendido la filosofía de la tecnología y cumplido su contrato con FEDERACAFÉ para comercializar la patente correspondiente (Sección 3.21.) deberán duplicar cada vez en menos tiempo su producción, para atender los pedidos generados por el proceso continuo de adopción.

En particular, como resultado del gran esfuerzo efectuado en el proyecto de la CBEA, se originó una **tecnología de beneficio muy superior a la del proyecto inicial** (equipos DESLIM y BECOLSUB), en los siguientes aspectos:

- Menor consumo de agua.
- Eliminación sustancial de equipos.
- Disminución sustancial de espacios.
- Disminución de costos.
- Mayor control de la contaminación.
- Mayor eficiencia y eficacia en la producción del lombricultivo y la multiplicación de la lombriz.
- Desarrollo comercial de los secadores de torre, de gran capacidad.
- Mejores posibilidades de prestar el más adecuado servicio técnico, económico y social al caficultor.
- Viabilidad de utilizar esta tecnología, para obtener todas sus ventajas, en beneficiaderos existentes, sin incurrir en grandes modificaciones.
- Creación del concepto y desarrollo tecnológico del módulo BECOLSUB, (bene-

⁴⁰ El Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología «Francisco José de Caldas» – COLCIENCIAS, en el año de 1996 premió y catalogó como “Grupo de excelencia en Investigación” al Programa de PostCosecha de Cenicafé, por el desarrollo de la tecnología BECOLSUB y que El Banco de Occidente concedió en 1997 el Primer Premio Nacional de Ecología en la Categoría Empresarial, del CONCURSO “PLANETA AZUL” al Programa de PostCosecha de Cenicafé, por el desarrollo de la tecnología BECOLSUB.

stra el modelo inicial
ología en sus labora-
lmente en la CBEA.

struyeron en los pro-
pusieron en funciona-
ncionaron dentro del
ciones e innovaciones
ara CBEA.

BECOLSUB⁴⁰, es un
ciales que mejor han
con FEDERACAFÉ
deberán duplicar cada
dos generados por el

en el proyecto de la
rior a la del proyecto
aspectos:

tivo y la multiplicación

apacidad.

o técnico, económico y

todas sus ventajas, en
aciones.

ilo BECOLSUB, (bene-

la Tecnología «Francisco
pre y catalogó como
ostCosecha de Cenicafé,
nco de Occidente conce-
la Categoría Empresarial,
Cosecha de Cenicafé, por

ficiadero ecológico y manejador de subproductos), equipo compacto portátil que incluye exactamente (en forma simplificada) la tecnología desarrollada para la CBEA.

3.20. CURSO INTERNACIONAL SOBRE EL BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia quiso participar del desarrollo de la nueva tecnología BECOLSUB entre todos los países interesados en el tema y para esto, organizó un **Seminario Internacional sobre “Caficultura Sostenible, Beneficio Ecológico del Café, una opción rentable”**, que se realizó durante los días 16, 17 y 18 de octubre de 1996, Figura 85. El curso se realizó en forma muy exitosa, con la participación de 25 técnicos extranjeros.

La instrucción la realizó el Programa de Postcosecha de Cenicafé en las instalaciones y laboratorios. Se complementó el programa en una finca comercial y en la CENTRAL DE BENEFICIO DE ANSERMA, Anserma, Caldas, donde operaba comercialmente la nueva tecnología. Se distribuyó un folleto con las características generales de la tecnología BECOLSUB.



Figura 85. Seminario internacional sobre Caficultura Sostenible – Beneficio del Café, una Opción Ecológica y Rentable. Octubre de 1996. Fotografía del grupo de participantes y del plegable promocional del evento.

139

3.21. COMERCIALIZACIÓN DEL MODULO BECOLSUB.

El equipo DESLIM y el equipo y el proceso BECOLSUB fueron registrados para obtener la patente, por la Federación Nacional de Cafeteros en Colombia y se está ampliando la cobertura de la patente a varios países cafeteros (Registro de patente No. 95031744 (101) La licencia de utilización de la patente se ha cedido sin costo alguno, a 23 industriales activos (Apendice C) que han solicitado el derecho de construcción de los equipos mediante firma de contratos, en los cuales se comprometen, entre otras cláusulas, a producir los equipos para dar inicialmente ventajas a los agricultores colombianos. Los industriales convocados a éste programa fueron seleccionados por los Comités Departamentales de Cafeteros del país, teniendo en cuenta la reconocida idoneidad y el buen servicio de atención técnica a los caficultores. Los industriales han recibido el material técnico correspondiente que comprende 16 planos completos de ingeniería, con los detalles de todos los equipos, incluyendo una zaranda cilíndrica de clasificación opcional. La Federación de Cafeteros se ha comprometido y ha venido cumpliendo con el compromiso de darles asistencia técnica general, a través de Cenicafe. En septiembre de 1999 se hizo la segunda entrega de los planos actualizados incluyendo los del módulo 100, la más reciente creación.

4 SECADO DEL CAFÉ ⁴¹

4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAFÉ

El contenido de humedad del café cereza es de aproximadamente 67%, en base húmeda; lo cual significa que la cantidad de agua en las cerezas del café es aproximadamente igual a las dos terceras partes de la masa total; la tercera parte restante la constituyen los sólidos. El contenido de humedad del café cereza expresado en base seca es de 200% (dos veces más agua que materia seca). El fruto del café es altamente perecedero y presenta una intensa actividad fisiológica inmediatamente después de la cosecha. Para evitar la disminución de su peso seco y lo que es mucho peor, la pérdida de su calidad, que comienza a ocurrir después del primer día, se debe secar ojalá inmediatamente, después de cosechado.

El proceso más adecuado para disminuir la humedad del café consiste primero en retirarle la pulpa y el mucílago por medios rápidos; así se obtiene el **café pergamino húmedo** cuyo contenido de humedad es aproximadamente del 50% en base húmeda y el 100% en base seca. Con éste método (beneficio vía húmeda) se procesan los cafés suaves de mejor calidad en el mundo. Otro método (el de beneficio vía seca), consiste en iniciar directamente el proceso de secado a partir del café cereza; en éste, hay que retirar por medios térmicos aproximadamente el doble de la humedad (la relación de los dos contenidos de humedad expresadas en base seca) para obtener café almendra o café verde con 12% de humedad, en base húmeda.

La cantidad de agua que se retira en el secado del café pergamino es muy superior a la que se extrae en los cereales y leguminosas para obtener la misma cantidad de producto seco; por ejemplo, para secar maíz que se encuentra en el 20% de humedad y dejarlo en el 12%, hay que evaporar respectivamente 8,7 veces menos agua, en comparación con lo que ocurre en el proceso de evaporación para obtener café pergamino seco con el mismo valor del 12%.

En el caso del secado del café cereza la dificultad del proceso no sólo la constituye la mayor cantidad de agua por evaporar, sino que se trata de un producto de muy difícil manejo, que no es mecánicamente consistente y que pierde fácilmente la

⁴¹ Preparado por Roa, M. G. y Álvarez G. J., Ingeniería Agrícola. Cenicafé.

pulpa, principalmente, si no se inicia el secado inmediatamente. Otro inconveniente se presenta con la obstrucción del paso uniforme del aire de secado, requisito indispensable para la buena calidad del producto final.

Esto ha llevado a los países que utilizan el proceso de vía seca a efectuar un presecado en secadores especiales o en patios de cemento "terreiros", o en silos "barcaças" (160) antes de llevarlos a los secadores mecánicos. En particular, en el secado al sol y si las condiciones atmosféricas no son ideales en los primeros dos días, se inicia el deterioro de la calidad del producto, observándose a menudo la proliferación de hongos en la superficie de las cerezas.

El **contenido de humedad** del café es un atributo de su calidad física. En Colombia las normas vigentes para la comercialización del café en pergamino (68) establecen que el contenido de humedad debe estar comprendido en el rango del 10 al 12% (b.h.) No es por azar que se recomienda este rango. En efecto, estos valores de humedad del grano corresponden, por las relaciones de equilibrio higroscópico o de equivalencias de presión de vapor en la superficie del grano y en el aire que lo rodea, a las condiciones ambientales medias de almacenamiento del café, como se puede apreciar en las curvas de humedad de equilibrio del café obtenidas en Cenicafé (173), (Figura 111).

La humedad es el factor individual de control más importante para la conservación adecuada de los granos. El valor del 12% de humedad corresponde al máximo valor bajo el cual se puede almacenar el café en condiciones ambientales, durante varios meses sin deterioro. Por encima de este valor las actividades fisiológicas de postcosecha como la respiración, se realizan con alta intensidad y para esto, el grano consume energía propia de su materia seca y se libera calor, lo cual se traduce en pérdida de peso, malas condiciones de almacenamiento y pérdida de la calidad del producto.

Adicionalmente, con valores de humedad del grano superiores al 12%, el aire intergranular adquiere niveles altos de **humedad relativa de equilibrio** por encima del 70%, por lo cual, la actividad de los microorganismos, especialmente hongos, mohos y bacterias se incrementa considerablemente contribuyendo al deterioro, a veces total, de la calidad del producto. Estos procesos de deterioro son más críticos en regiones de clima cálido.

4.2. DETERMINADOR DE HUMEDAD CENICAFÉ MH-2

Durante todos los tiempos y en todos los lugares se ha estudiado la eficiencia de distintos instrumentos para determinar la humedad y sus aplicaciones en el secado de los granos, profundamente (82).

A pesar de esto, los caficultores de casi todo el mundo se guían por métodos subjetivos para determinar el contenido de humedad de su producto, principalmen-

Otro inconveniente
ado, requisito indis-

seca a efectuar un
"reiros", o en silos
. En particular, en el
en los primeros dos
ándose a menudo la

id física. En Colom-
gamino (68) estable-
n el rango del 10 al
efecto, estos valores
libro higroscópico o
io y en el aire que lo
ito del café, como se
é obtenidas en Ceni-

para la conservación
e donde al máximo
ambientales, durante
dades fisiológicas de
sidad y para esto, el
era calor, lo cual se
uiento y pérdida de la

ores al 12%, el aire
equilibrio por enci-
, especialmente hon-
ribuyendo al deterio-
de deterioro son más

FÉ MH-2

línea la eficiencia de
caciones en el secado

se guían por métodos
ducto, principalmen-

te cuando se está secando. Para ello se utiliza la observación del color de la almendra y de su dureza, ejerciendo presión con las uñas, los dientes o el filo de una navaja. Estos métodos normalmente generan resultados erróneos lo cual se concluye de los estudios de una encuesta efectuada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (37).

En efecto, de 623 muestras de café pergamino beneficiadas en igual número de fincas, el 25% tenían menos del 10% de humedad y el 13% tenían más del 12%, o sea que sumando los dos extremos de defecto y de exceso de humedad, el 38% de las muestras no poseían el contenido de humedad final adecuado, lo que trae perjuicios para todos; inicialmente para el caficultor que tiene problemas con la comercialización del grano y la pérdida de su calidad, pero principalmente para el país productor que ve deteriorada la calidad de uno de sus principales productos de exportación.

Se requiere de un determinador de humedad, que por su precisión y su precio pudiera ser utilizado en la finca cafetera, para poder conducir bien el proceso del secado, y además, como se verá en la sección 5.5.1. para hacer parte de una tecnología (CERPER) de estimación rápida del rendimiento del café cereza a café pergamino Tipo Federación.

En Cenicafé se desarrolló un medidor de humedad rústico, de bajo costo, con precisión de $\pm 1,0\%$ en base húmeda y de fácil operación. Fue denominado medidor de humedad CENICAFÉ MH-2 (118, 120) (Figuras 86, 87 y 119), cuyo principio de funcionamiento está basado en el método estándar de destilación de Brown-Duvel (82).

Consta de un recipiente para la mezcla café-aceite, un condensador compuesto por un tubo de cobre de 9,53mm de diámetro y de 25cm de longitud, doblado en forma de L invertida, y una resistencia eléctrica de 550W. Además, de un depósito de

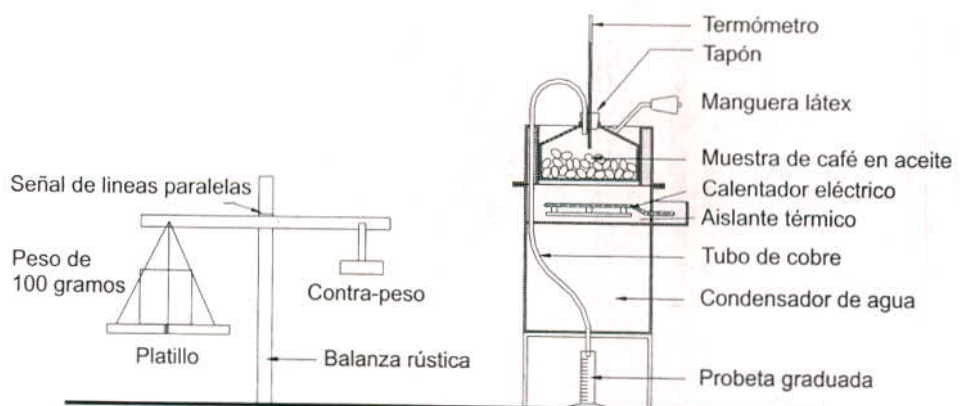


Figura 86. Esquema del determinador de Humedad CENICAFÉ MH-2.

agua con capacidad de 2,7L, un tapón de caucho para la boca del recipiente y una manguera de látex para conducir el vapor desde el recipiente hasta el condensador. Para reducir el calentamiento del agua del tanque condensador, se colocaron dos placas de asbesto-cemento de 15cm de diámetro y 3,5mm de espesor, entre la resistencia eléctrica y el condensador. Una balanza rústica de plato para pesar 100g de café, y un termómetro de mercurio de rango entre 0 y 250°C que mide la temperatura máxima a la que debe llegar la mezcla grano-agua y una probeta graduable de 25ml. En pruebas de laboratorio la precisión lograda con el determinador de humedad en el rango de 10% a 47% fue de 0,51% b.h., y se obtuvo un error estándar de $\pm 1,0\%$ b.h. Como resultado de su evaluación en el campo se le incorporó un dispositivo para proteger el termómetro.

El procedimiento para utilizar el medidor MH-2, consiste en pesar una muestra de 100g y colocarla en el recipiente con aceite vegetal, calentar la mezcla hasta que alcance el valor de 193°C, medidos con el termómetro de bulbo de mercurio convencional. El calor transferido del aceite a los granos permite evaporar toda el agua que se condensa y se mide en una probeta graduada. Es necesario dejar transcurrir un tiempo aproximado de 10 minutos, desde que se interrumpe la corriente eléctrica hasta que se termina el proceso de destilación del agua. Durante este lapso, la temperatura del termómetro baja aproximadamente hasta 150°C. El valor de la medida expresada en mililitros coincide (la densidad del destilado es de 1,0g/cm³) con el contenido de humedad expresado en porcentaje, en base húmeda.

En la evaluación respectiva (120) del medidor CENICAFÉ MH-2, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Permite determinar con facilidad, en la finca, la humedad del café pergamino sometido a secado, con una precisión de mas ó menos 1% b.h., comparado con el método de la estufa y requiere veinte minutos para obtener la lectura.
- Puede usarse con precisión en todo el rango del contenido de humedad del café pergamino 10% a 55% b.h., lo que no es posible con los determinadores indirectos, que funcionan con base a las propiedades dieléctricas.
- Es ligeramente inferior en su precisión al medidor indirecto marca KAPPA, útil solo para contenidos bajos de humedad 10 a 28% b.h. de café en reposo (fuera del contacto con el aire de secado por lo menos durante 10 horas), pero su costo es aproximadamente 10 veces menor.
- La temperatura máxima a que llega la mezcla de aceite y café pergamino influye significativamente en la precisión del medidor CENICAFÉ, que se debe desconectar de la corriente eléctrica cuando la mezcla alcance 193°C.
- La mayor precisión del medidor de humedad CENICAFÉ MH-2, se obtuvo en el rango de 10 a 20% b.h., por tanto, se puede utilizar el equipo para controlar eficazmente el proceso de secado mecánico de café.

- Su utilización potencial en la finca es múltiple; en particular, es elemento básico para la conformación del método rápido (CERPER) de determinación de la relación café cereza a café pergamino. (Sección 5.5.1.).

4.3. EVALUACIÓN DE LOS MEDIDORES COMERCIALES DE HUMEDAD

La firma DIES Ltda. de Medellín construyó los determinadores de humedad MH-2 con base en los planos de Cenicafé. Se evaluaron 5 medidores MH-2 (Figura 87), en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma (CBEA) en 1995.

Se realizaron 66 ensayos con cinco repeticiones cada uno; se utilizaron muestras de café pergamino húmedo de 100g, obtenidas en balanza con precisión de 0,1g, con humedad comprendida entre 48 y 55% b.h. correspondiente al contenido inicial de humedad del café pergamino seco. Las muestras se colocaron en el recipiente del medidor y se mezclaron con aceite vegetal hasta que fueran cubiertas totalmente. Se conectaron los medidores a la red eléctrica y se observó la evolución de la temperatura de la mezcla hasta alcanzar el límite establecido de 193°C, momento en el cual se suspendió el flujo eléctrico. De cada una de las muestras sometidas a la determinación de humedad en el medidor se tomó otra muestra, a la cual se le determinó la humedad con el método estándar de la estufa a 105°C, durante 16 horas.

En la Tabla 45 se presentan los resultados obtenidos en los cinco medidores construidos por DIES Ltda., comparados con la estufa.

Al analizar los contenidos de humedad obtenidos de los medidores MH-2 evaluados se encontró que, en promedio, tenían 52,8% b.h., con un coeficiente de variación de 2,7% en un intervalo (52,3%-53,3%) confiable al 95%, mientras que con la estufa se obtenía un promedio de 52,5% en un intervalo de (52,2%-52,9%) y un coeficiente de variación de 3,2%.

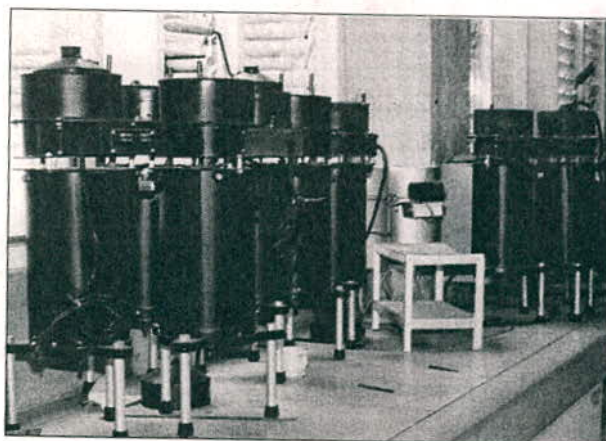


Figura 87. Banco de ocho determinadores de humedad CENICAFÉ MH-2 para control del café recibido y secado en la CBEA. (Sección 3.19.).

Tabla 45. Contenidos de humedad de muestras de café pergamino húmedo obtenidos en la estufa y en cinco determinadores de humedad MH-2. Se incluyen los límites de confianza para el promedio al 5%.

Medidores	Promedio %	Limite inferior %	Limite Superior %
MH2-1	52,44	51,92	52,97
MH2-2	52,36	51,97	52,72
MH2-3	53,17	52,58	53,75
MH2-4	53,08	52,44	53,72
MH2-4	53,16	52,59	53,73
Promedio	52,84	52,30	53,40
Estufa	52,55	52,18	52,93

De los resultados de la Tabla 45 se concluyó que los promedios obtenidos con los dos métodos fueron estadísticamente iguales; todos los medidores evaluados se enmarcan en el rango de **precisión** de mas o menos 1% b.h.

Para las correlaciones entre los medidores MH2-3, MH2-4 y MH2-5 y la estufa, el coeficiente de determinación r^2 , es superior a 0,99, significativo al nivel del 1%, lo cual muestra la estrecha relación en sus lecturas de contenido de humedad. Se recomienda por tanto la utilización de los medidores en el control del secado y para la determinación de la materia seca del grano cuando se aplica el método CERPER (Sección 5.5.1.).

El estudio permitió concluir que:

- El determinador de humedad CENICAFÉ MH-2 puede utilizarse en un amplio rango de contenidos de humedad del grano de café (10- 55% b.h.).
- Permite hallar el rendimiento del café en forma precisa, aún bajo condiciones de grano brocado.
- Determina el contenido de humedad del grano de café en cualquier tipo de explotación pequeña, mediana, grande y en centrales de beneficio.
- El equipo es adecuado para ser utilizado por el caficultor.

4.4. DETERMINADORES Y MEDIDORES INDIRECTOS DE HUMEDAD

Los métodos indirectos para determinar el contenido de humedad del café, como su nombre lo indica, miden una propiedad del grano que varía con su contenido de humedad. Las propiedades más estudiadas, que han permitido desarrollar medidores de humedad de amplia utilización, son la conductividad eléctrica y la capacidad dieléctrica.

En Colombia se utilizan los medidores del tipo capacitivo, que estiman la humedad con base en las propiedades dieléctricas de los granos, para el recibo del café en

pergamino húmedo obtenido con el método MH-2. Se incluyen los

Limite Superior %
52,97
52,72
53,75
53,72
53,73
53,40
52,93

datos obtenidos con los medidores evaluados se

y MH2-5 y la estufa, el resultado al nivel del 1%, lo contenido de humedad. Se control del secado y para calificar el método CERPER

utilizarse en un amplio rango de 55% b.h.).

aún bajo condiciones de

cualquier tipo de explotación.

r.

humedad del café, como su relación con su contenido de agua. Se desarrollan medidores electrónicos de humedad eléctrica y la capacidad

que estiman la humedad antes y después del recibo del café en

pergamino en los puestos de compra establecidos por ALMACAFE. Posada, citado por Oliveros *et al.* (120), al comparar las lecturas de humedad obtenidas con los medidores de éste tipo marca KAPPA y Dole con el método de estufa propuesto por la ISO para café trillado, que había estado almacenado, concluyó que los medidores KAPPA muestran buena precisión en las lecturas en el rango de 8 a 18% b.h. El medidor Dole posee baja sensibilidad para humedades inferiores al 10% b.h.

Por mucho tiempo se ha buscado una solución práctica para la medición utilizando métodos indirectos basados en propiedades del producto, los cuales permitan la medición de la humedad en pocos segundos y que no destruyan la muestra, cuando se está secando el café, y así poder finalizar correctamente esta importante etapa del proceso de beneficio.

El determinador de humedad electrónico indirecto es el instrumento de medición más popular en Colombia, y es usado para medir la humedad de café seco y reposado, pero es de reconocida inhabilidad para determinar correctamente la humedad del café pergamino cuando se está secando o para contenidos de humedades superiores al 30%, b.h. En efecto, los determinadores de humedad que basan su principio de determinación en las propiedades dieléctricas del café fallan por defecto, al medir principalmente la **humedad de la superficie** de los granos. Éstos, miden principalmente la humedad cercana a la superficie de los granos que presenta valores más bajos que el promedio, según el principio de difusión de humedad del café dentro del grano (Sección 4.5.) que controla el proceso del secado (28, 82). Tampoco ha sido posible desarrollar determinadores de humedad indirectos que den resultados correctos cuando el contenido de humedad es superior al 30% en base húmeda. Recientemente otro determinador que utiliza este mismo principio físico, propuesto por la industria IEC, propuso diseños más avanzados, para corregir las dificultades anotadas en las mediciones.

Se programaron experimentos para comparar las medidas de estos dos determinadores de humedad y se compararon con los valores obtenidos con la estufa a 105°C, durante 16 horas⁴².

Se analizaron 20 muestras de café proveniente de silos-secadores comerciales y los resultados se presentan en la Figura 88, que muestra como el determinador IEC presentó los mismo defectos que el KAPPA al subestimar significativamente el valor real del contenido de humedad determinado por la estufa, en todo el rango de humedad estudiado.

Es importante reconocer el gran valor del determinador de humedad CENICAFÉ MH-2, evaluado exhaustivamente para altos y bajos valores de humedad, con muestras de café obtenidas directamente durante el proceso de secado, para secadores solares, mecánicos de capa fija y mecánicos de grano en continuo movimiento.

⁴² Roa M., G. Comunicación personal. 1995.

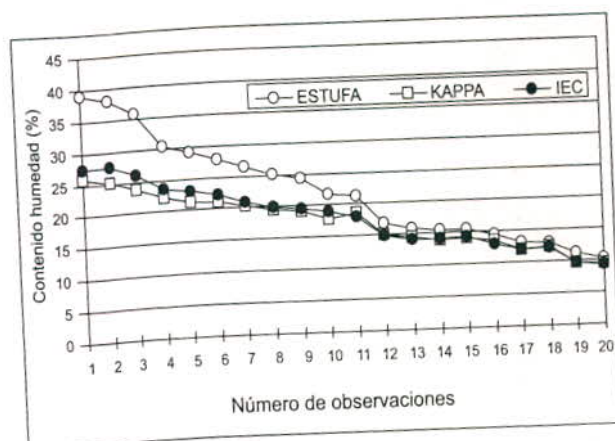


Figura 88. Comparación de dos medidores indirectos de humedad con relación al método estándar de la estufa.

4.5. DIFUSIÓN DE HUMEDAD DENTRO DEL GRANO DE CAFÉ.

Durante el proceso de secado mecánico del café pergamino, todos los granos ceden la mayor parte de la humedad al aire caliente que es forzado a pasar entre ellos; inicialmente la humedad de la superficie del grano se transfiere fácilmente al aire y en la medida que transcurre el proceso de secado se inicia una migración de agua de la parte interna del grano a la más externa, para sustituir la humedad perdida en la superficie. Este fenómeno de movimiento de la humedad dentro del grano se denomina **difusión** (28, 107). Clásicamente se distinguen dos períodos de secado: el inicial, donde la resistencia a la pérdida de humedad se da en la superficie, y el final, cuando la resistencia se ofrece dentro del grano. En la primera fase el coeficiente de transferencia de masa por convección determina las tasas de secado; en la segunda fase, que es la más prolongada para el caso del café, el coeficiente de difusión de humedad del grano del café (107), o la resistencia al paso del agua en el interior del grano, es el determinante.

Como resultado de la difusión los contenidos de humedad dentro de cada grano durante el secado son diferentes, mucho más altos en el interior y menores en la superficie. A medida que disminuye la humedad del grano la difusión del agua tiende a ser más lenta y la forma de aumentarla es incrementando su temperatura. El aumento de la temperatura origina una mayor presión de vapor del agua (que es la variable que junto con el coeficiente de difusión del grano determina directamente las tasas de pérdida de agua de los granos.

El aumento de la temperatura de los granos, a medida que progresa el secado, ocurre naturalmente porque cuando hay menos humedad, tienden a presentarse menores tasas de secado y menos enfriamiento por evaporación.

En la Sección 4. 9.1.3., se presentan, con algún detalle, las ecuaciones reales de difusión y las ecuaciones aproximadas empleadas en la simulación matemática.

127
128

4.6. SECADO SOLAR

4.6.1. El Secador Solar Rotatorio

El secado solar se practica desde el mismo momento en que se inició la producción de café y todavía se utiliza básicamente el mismo procedimiento; no se espera que el método tradicional de secado del café varíe substancialmente en el futuro, porque el aprovechamiento de la energía disponible (la radiación solar incidente y la energía propia del aire) es muy aceptable y los costos de los equipos utilizados son razonablemente bajos, principalmente para los pequeños productores.

Los intercambios de energía y de humedad toman lugar en la superficie de los granos; aquellos localizados en la parte inferior, en contacto con la superficie, prácticamente permanecen en el mismo estado de humedad porque no reciben la energía térmica necesaria para la evaporación del agua. Por tanto, es necesario revolver la masa; se recomienda hacer tres o cuatro movimientos del café por día. Tradicionalmente se utiliza un rastrillo de madera (Figura 93) sencillo para efectuar dicha operación.

Los granos que se someten al secado solar en la parte superior de la capa no llegan a estar en equilibrio higroscópico con el aire que lo rodea porque reciben una energía extra del sol, que origina su calentamiento y el aumento de la presión de vapor de agua en su superficie.

Los fenómenos de transferencia de energía y de humedad en el secado solar son muy complejos; son numerosas las variables que influyen en el proceso: la radiación solar, que varía ampliamente durante el día y de día a día; la temperatura, la humedad y la velocidad del aire que también varían; el contenido de humedad del grano que va disminuyendo (pero que puede aumentar en la noche) gradualmente; el tipo de piso sobre el cual descansa el grano; el espesor de la capa de grano; el procedimiento y la periodicidad utilizada para revolver los granos.

Como consecuencia, el tiempo total de secado sufre grandes variaciones, de dos o tres días hasta uno o dos meses.

En términos generales, para la zona cafetera colombiana se considera necesario que para un agricultor que produzca 3,75ton (300@) de café seco al año, se debe disponer de por lo menos 100 metros cuadrados para secar su café al sol. Este valor corresponde a 27 metros cuadrados por tonelada de café pergamino seco, o a 1,5 metros cuadrados de área de secado solar por cada 62,5kg (5@) de café pergamino seco.

Se comparó un nuevo tipo de secador solar rotatorio para el café, propuesto por Cenicafe (12, 77), con sistemas convencionales y no convencionales de secado solar (carros secadores convencionales con diferentes tipos de superficies, marquesinas convencionales y no convencionales, y el patio secador convencional).

El nuevo **secador solar rotatorio** (Figura 89) consta de una bandeja rotatoria que permite recibir la energía radiante en forma perpendicular, mediante su rotación (siguiendo la trayectoria del sol) alrededor de su eje y su fijación manual temporal. Permite también aprovechar más eficientemente la energía de las corrientes del aire que encuentran las capas de café mejor dispuestas para atravesarlas, entregando su energía (entalpía) y llevando consigo la humedad desprendida de los granos. Estos dos fenómenos físicos explican la mayor eficiencia y menor tiempo de secado de todos los equipos experimentados.

Para las mismas cantidades de café (3,8cm de capa), el secador rotatorio de 1,2m² de superficie secó 25kg (2@) de cps en **tiempos inferiores**, aproximadamente en dos días y medio menos con relación al secado en los carros secadores, con piso de madera (Figura 90).

Otras ventajas adicionales del secador rotatorio son: la limpieza de la operación y la protección del café (con una lámina de plástico) en caso de lluvia. Su costo es comparable al de las paseras pero más costoso (aproximadamente el doble) que los pisos de concreto.

El costo, la limitación de la cantidad de café, 25kg (2@) por pasera y las dificultades del manejo del café, hicieron que esta propuesta de mayor eficiencia y de mejores características técnicas no fuera hasta el momento, adoptada por los caficultores.

4.6.2. El Secador Solar Parabólico (146)

La marquesina de estructura parabólica para el secado de café pergamino y el lombricultivo (Figuras 91 y 126) (Sección 6.4.1.⁴³), es construida con materia-



Figura 89. Secador solar rotatorio para café.

⁴³ La diferencia que puede existir entre los secadores parabólicos para el café y el lombricultivo es el tipo de suelo. Para el café se recomienda un piso de concreto. Para el lombricultivo puede ser el mismo piso de tierra, por consideraciones netamente económicas.

a bandeja rotatoria que
; mediante su rotación
ción manual temporal.
le las corrientes del aire
vesarlas, entregando su
ida de los granos. Estos
or tiempo de secado de

ador rotatorio de 1,2m²
s, aproximadamente en
s secadores, con piso de

ieza de la operación y la
o de lluvia. Su costo es
amente el doble) que los

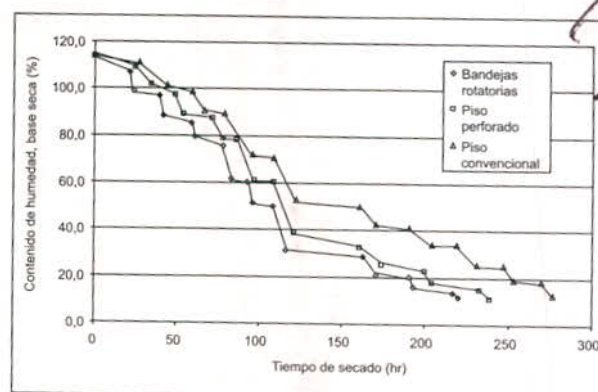
or pasera y las dificulta-
; mayor eficiencia y de
o, adoptada por los cafi-

de café pergamino y el
; construida con materia-

Figura 89. Secador solar rotato-
ra café.

rabólicos para el café y el
ienda un piso de concreto.
erra, por consideraciones

Figura 90. Comparación del se-
cado solar con capas de café
colocadas 1) en el secador de
bandejas rotatorias, 2) sobre una
superficie horizontal perforada y
3) sobre un piso de madera, utili-
zado en los carros secadores tra-
dicionales (77).



les típicos de disponibilidad en la finca, y su estructura mejorada en Cenicafé se ha
constituido en la **mejor alternativa** ofrecida por Cenicafé a los pequeños agricul-
tores (146).

Esta es una forma muy práctica (alta eficacia física, bajos costos y fácil manejo del
proceso) para utilizar la radiación y la energía del aire en el secado del café. Consis-
te de un techo plástico transparente y una estructura rústica en guadua de forma
parabólica, que permite aprovechar mejor la radiación difusa, durante los días
poco soleados o lluviosos y la radiación directa durante las horas de sol. También
acumula energía en forma de calor por el calentamiento de la losa de concreto, lo
cual es muy importante en las últimas etapas del secado cuando se requiere de
mayor temperatura del grano para acelerar la difusión de la humedad en el interior
del grano.

El desempeño del secador parabólico se comparó con el del secador de carros
tradicional, mediante la realización de sucesivas pruebas de secado en las cuales se
midió el tiempo de secado, el contenido de humedad y la uniformidad del contenido
final de la humedad del grano.

En la Figura 92 se observa la curva de secado promedio de 6 pruebas obtenidas de



Figura 91. Secador Solar con
estructura de marquesina de plás-
tico en forma parabólica.

la evaluación, considerando la variable tiempo de secado (días). En las pruebas realizadas se encontró que el tiempo de secado en el parabólico es menor en cuatro (4) días respecto al carro, siendo más eficiente en un 23,5%.

4.7. RASTRILLOS REVOLVEDORES DE CAFÉ

Los caficultores utilizan tradicionalmente rastrillos contruidos en madera o en lámina de hierro para la remoción del café en los patios de secado. El peso de los materiales de construcción de los rastrillos conlleva la utilización de mangos cortos y normalmente el operario pisa el café para revolverlo, dando como resultado granos pelados, resquebrajados y contaminados con materiales extraños. La presión y fricción del rastrillo sobre el grano puede originar además aplastamientos, defectos que comprometen la calidad física del café.

Cenicafé diseñó un nuevo rastrillo revolvedor (181) (Figura 93) cuyo material de construcción es una lámina de PVC proveniente de un tubo de 152,4 (6") de diámetro y 5mm de espesor, el cual es sometido a una temperatura de 150°C durante cinco minutos para volverlo maleable y darle la forma adecuada.

El rastrillo se diseñó con ocho dientes de 40mm de ancho, con un giro 105°. El rastrillo se fija a una Te de PVC de presión de 38,1mm (1-1/2") y por medio de una reducción de 38,1mm (1-1/2") a 12,7mm (1/2") se acopla a un mango (cabo) de madera de 3m de longitud.

Para evaluar el desempeño del rastrillo revolvedor CENICAFÉ se efectuaron cinco pruebas en las cuales se comparó con el rastrillo tradicional construido en madera en forma de una tabla lisa (Figura 93). En dos carros secadores se colocó la misma cantidad de café pergamino lavado, 120kg/carro, con una capa de 35mm de espesor y se sometieron al proceso de secado. La masa de café se revolvió tres veces al día con cada uno de los rastrillos.

Para determinar la **efectividad y uniformidad de volteo** de ambos rastrillos evaluados, se pintó la capa inferior de café de uno de los carros lográndose diferenciar

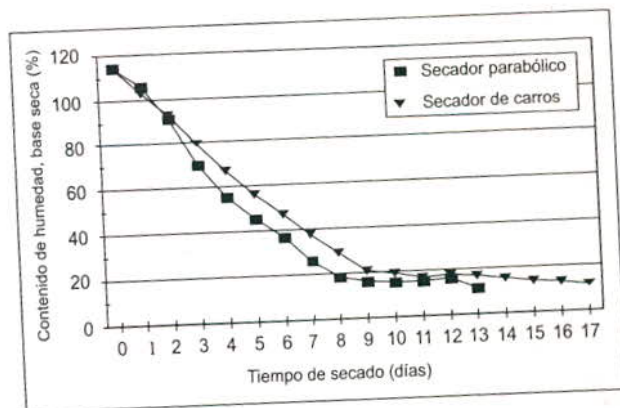


Figura 92. Comparación del secador de capas de café dispuestas en los carros tradicionales y en el secador solar parabólico

(días). En las pruebas
ico es menor en cuatro
7.

É
idos en madera o en lá-
secado. El peso de los
ación de mangos cortos
do como resultado gra-
; extraños. La presión y
plastamientos, defectos

ra 93) cuyo material de
de 152,4 (6") de diáme-
tura de 150°C durante
uada.
o, con un giro 105°. El
/2") y por medio de una
a un mango (cabo) de

AFÉ se efectuaron cinco
il construido en madera
ores se colocó la misma
capa de 35mm de espe-
se revolvió tres veces al
de ambos rastrillos eva-
s lográndose diferenciar

gura 92. Comparación del se-
dor de capas de café dispues-
; en los carros tradicionales y
el secador solar parabólico

visualmente la mezcla de los granos (Figura 93). Los resultados muestran que con el rastrillo CENICAFÉ, se logra secar el café hasta un contenido de humedad final del 12% b.h., en setenta y dos horas menos que cuando se utilizó el rastrillo tradicional; el tiempo de secado se redujo en un 25%; además, el rastrillo CENICAFÉ originó 46,2% menos de daño mecánico (Tabla 46), debido a que el diseño de los dientes del rastrillo CENICAFÉ permite mover más uniformemente el café y realizar su labor desde fuera del secador, sin comprometer la calidad física.

Las siguientes son recomendaciones que permiten hacer más eficiente el empleo del rastrillo:

- Aplicarlo sobre toda la masa de café en forma uniforme, sin dejar ni crear espacios para que se seque el piso del secador.
- Realizar la operación de revolver el café, por lo menos tres veces al día.
- Ejecutar la operación cada vez, sobre la masa total en una dirección y luego en sentido perpendicular a la anterior.
- Revolver con el rastrillo desde fuera del secador, sin pisar el café.

Para evitar que los dientes se rompan por fatiga, se diseñó (11) un mecanismo de resorte para que absorbiera los esfuerzos que originaban la rotura de los dientes (Figura 94).

Figura 93. Comparación de los efectos de remoción del rastrillo tradicional y el rastrillo revolvedor CENICAFÉ.

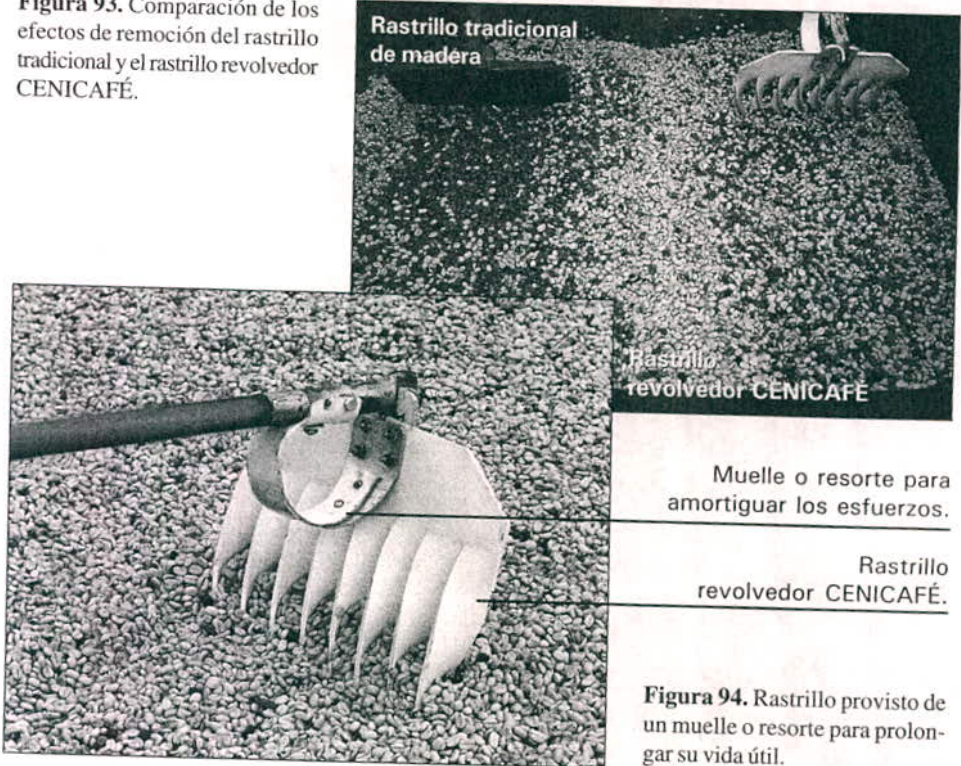


Figura 94. Rastrillo provisto de un muelle o resorte para prolongar su vida útil.

Tabla 46. Comparación del daño mecánico producido por la utilización del rastrillo tradicional y el rastrillo revolvedor, de dientes, CENICAFÉ.

Prueba	Porcentaje de daño mecánico	
	Rastrillo tradicional	Rastrillo CENICAFÉ
1	2,43	1,25
2	0,40	0,30
3	0,48	0,12
4	0,55	0,24
5	0,46	0,10
Promedio	0,864	0,402

4.8. SECADO MECÁNICO DEL CAFÉ

El secado del café en Colombia con aprovechamiento de las energías del sol y del aire es viable para flujos de cosecha pequeños, generalmente en fincas con producción anual de menos de 12,5ton (1.000@) de cps al año.

La cosecha generalmente coincide con la época de lluvias, por lo cual, el secado bajo esta técnica es lento, a veces casi nulo. Se requiere para producciones anuales superiores a las antes mencionadas, de una elevada inversión en áreas de secado, equipos y en mano de obra para practicar el secado solar, bajo la amenaza de pérdidas de calidad por lentitud en el proceso.

En el secado mecánico se aprovechan ventajosamente las **propiedades físicas** del café. En efecto, el espacio intergranular es uniforme y amplio (los volúmenes corresponden aproximadamente al 45% del volumen total), lo que permite el paso del aire en forma uniforme y evita los excesos de requerimientos de potencia mecánica. Una gran área de la superficie de los granos, aproximadamente 780 metros cuadrados por metro cúbico de café pergamino, permite el intercambio muy eficiente de energía térmica y de humedad.

Una aproximación para la selección del sistema de secado y las especificaciones del ventilador en el secado mecánico se presentan en la Tabla 47.

4.8.1. Caudal de aire

El paso del **caudal específico** adecuado a través de la masa del café que se desea secar es muy importante para el éxito de la operación de secado. La correcta selección e instalación del ventilador (Figura 95) es el factor más importante para el éxito de la operación.

La cantidad de aire que circula por el espacio intergranular es responsable de entregar la energía para producir la evaporación y retirar el vapor de agua resultante.

Si el aire es insuficiente, se incrementa el tiempo de secado y los granos presentan

a utilización del rastrillo

mecánico	
Rastrillo	CENICAFÉ
1,25	
0,30	
0,12	
0,24	
0,10	
0,402	

las energías del sol y del
nte en fincas con produc-

as, por lo cual, el secado
ara producciones anuales
rsión en áreas de secado,
la bajo la amenaza de

s **propiedades físicas** del
nplio (los volúmenes co-
lo que permite el paso del
tos de potencia mecánica.
nente 780 metros cuadra-
rcambio muy eficiente de

y las especificaciones del
la 47.

nasa del café que se desea
secado. La correcta selec-
ión importante para el éxito

ar es responsable de entre-
apor de agua resultante.

ado y los granos presentan

Tabla 47. Selección del sistema y especificaciones de secado según la produc-
ción de la finca

Secado Solar y Mecánico				
Capacidad ton (@) cps/año	Sistema ton (@) cps/año	Caudal m³/min	Presión cm H ₂ O	Potencia hp
Hasta 2,5 (200)	SS* paseras			
de 6,25 (500) a 12,5 (1000)	SS* carros			
de 12,5 (1000) a 25 (2000)	SM** 1 ton (80@)	80	6,2	2,0
de 25 (2000) a 37,5 (3000)	SM** 1,5 ton (120@)	120	6,2	3,0
de 37,5 (3000) a 62,5 (5000)	SM** 2 ton (160@)	160	6,2	5,0

* SS = Secado Solar; **SM = Secador Mecánico.

altas desuniformidades en el contenido final de humedad, presentándose granos
sobresecos, con menos del 10% y granos flojos, con humedades superiores al 14%.
De otro lado, si el caudal es mayor de lo necesario, se estará costearo inncesaria-
mente una potencia en el ventilador y mayores consumos de energía térmica para el
calentamiento del aire, lo que incidirá negativamente en el costo del secado.

Es muy importante operar los secadores de café con el correcto valor de los **cauda-
les de aire**; los resultados de investigación de Cenicafé (41) (Tabla 48) indican que
para el secado de café pergamino en capa estática el valor recomendado es el de 25
metros cúbicos por minuto, por cada metro cúbico que ocupe el grano; valor equi-
valente al de un caudal de 66m³/min/ton de café pergamino seco o de 20m³/(min/
m²), cuando la capa total de los granos es de 0,8 m (incluyendo una cámara de
presecado) o de 10m³/(min/m²) de secador, cuando la capa de grano es de 0,4m.
En la Tabla 48 se indica el caudal mínimo recomendado y las equivalencias, en
varias unidades.

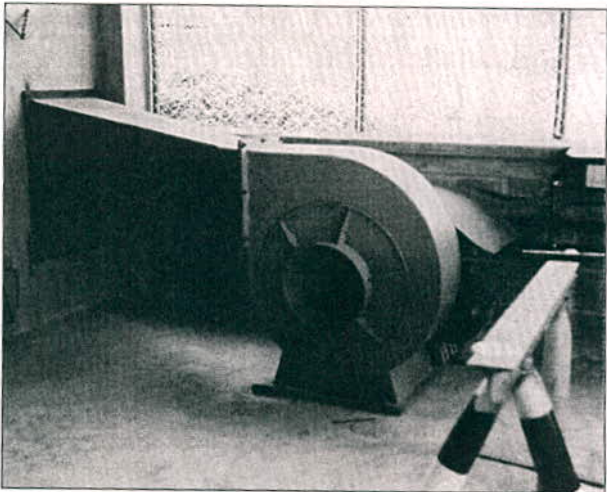


Figura 95. Ventilador centrífugo
forzando aire a un silo-secador
CENICAFÉ. Obsérvese la cor-
recta transición entre la salida del
ventilador y la entrada al secador
(el generador de aire caliente ha
sido retirado).

Tabla 48. Caudales recomendados para el secado del café pergamino en capas estáticas.

Caudal*	Unidades equivalentes de caudales específicos
25	m ³ /(min-m ³)
66	m ³ /(min-ton cps)
20	m ³ /(min-m ²) para h = 0,8m
10	m ³ /(min-m ²) para h = 0,4m

(*) Es preferible utilizar las primeras dos recomendaciones de caudales específicos (por unidad de volumen ocupado por el grano o por tonelada de café pergamino seco) porque estos valores siempre son constantes, para cualquier masa de café depositada en el silo-secador.

4.8.2. Paso del aire a través del café

El paso del aire por la masa de granos en cualquier tipo de secador es posible gracias a la energía mecánica suministrada por el ventilador; la resistencia ofrecida por unidad de longitud en la dirección del flujo del aire es proporcional al caudal por unidad de área y se manifiesta por una pérdida de presión estática. Para correlacionar estas variables se obtuvieron datos experimentales y resultaron tres ecuaciones, una para cada contenido de humedad (119). La relación planteada en la ecuación < 6 > (155) permite sustituir las tres ecuaciones en una sola, en función de la humedad del grano, con muy buena precisión. Los resultados de la ecuación < 6 > permiten estimar el caudal específico como función de la pérdida de presión específica para café pergamino y se muestra en la Figura 96. Esta expresión es muy útil para estimar el caudal real en los secadores, midiendo la pérdida de presión estática, mediante un manómetro construido con un tubo en U, transparente, con agua.

$$\frac{Q}{A} = (9,523 - 0,0476 M) \left| \frac{\Delta P}{\Delta L} \right|^{0,676} \quad < 6 >$$

despejando para $\Delta P / \Delta L$:

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \left| \frac{\frac{Q}{A}}{9,523 - 0,0476 M} \right|^{1,4793} \quad < 7 >$$

En donde:

- Q = Caudal de aire, (m³/min).
- A = Area transversal al flujo del aire, (m²).
- M = Contenido de humedad del café, (%).
- ΔP = Caída de presión en secciones distantes en L, (centímetros de agua).
- ΔL = Distancia entre mediciones de la pérdida de presión P, (m).

ergamino en capas

es específicos

dales específicos (por
rgamino seco) porque
depositada en el silo-

e secador es posible
a resistencia ofrecida
orcional al caudal por
ca. Para correlacionar
tres ecuaciones, una
en la ecuación < 6 >
noción de la humedad
ación < 6 > permiten
esión específica para
ión es muy útil para
a de presión estática,
arente, con agua.

< 6 >

< 7 >

entímetros de agua).
sión P, (m).

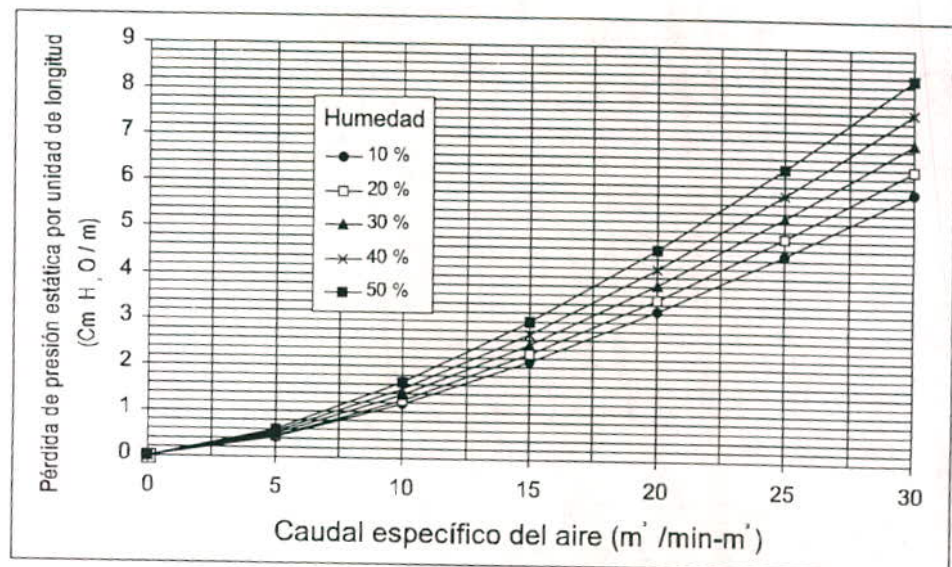


Figura 96. Relaciones de caudales y presiones estáticas por el paso del aire a través de capas de granos de café pergamino.

4.8.3. Ventiladores

Los ventiladores (Figura 95) tienen la misión de forzar cantidades adecuadas de aire por entre la masa de granos.

El **cálculo y selección del ventilador** adecuado es una tarea para especialistas que deben conocer los requerimientos de los caudales mínimos de secado del café pergamino y el cálculo de las pérdidas de presiones estáticas y dinámicas que el aire sufre al pasar por las capas del café y por cada uno de los elementos constituyentes del circuito neumático (ductos, transiciones, expansiones abruptas, curvas, compuertas, válvulas, etc.). El ventilador se selecciona calculando el caudal que debe entregar contra la suma de todas las presiones parciales de que consta el sistema (28, 82).

Otros factores importantes en la selección del ventilador son el tipo (centrífugo, axial), la eficiencia mecánica deseada, el nivel de ruido aceptable, la estabilidad mecánica, el balanceo estático y dinámico, la calidad de los materiales, la calidad de los rodamientos, el sistema de conexión entre el motor y el eje del ventilador, la posición del ventilador, etc.

La potencia total para mover el ventilador, considerando además su eficiencia se calcula en la forma siguiente:

$$Pot = \frac{Q \cdot P}{458 \cdot \eta} \quad < 8 >$$

En donde:

- Pot = Potencia, (hp).
 Q = Caudal, (metros cúbicos por minuto).
 P = Presión estática total, (cm de agua).
 458 = Factor de conversión.
 η = Eficiencia mecánica del ventilador, (decimal).

4.8.4. Generadores de aire caliente. Intercambiadores de calor

Para calentar el aire se pueden utilizar diferentes dispositivos que permiten convertir la energía química almacenada en los combustibles en energía térmica. Los combustibles más utilizados son: ACPM, coque, carbón mineral, cisco o pergamino del café (Sección 4.8.7.) y algunos productos resultantes de la refinación del petróleo.

Los dispositivos empleados para la conversión de energía deben permitir el calentamiento del aire sin que los productos resultantes de la combustión entren en contacto con él mismo (generadores de aire caliente de tipo indirecto).

La correcta operación y mantenimiento de uno de los equipos más utilizados para quemar ACPM por los agricultores, es presentada por Álvarez y Mejía (13). Los diseños adecuados de generadores de aire caliente deben disponer de características adecuadas para el mayor aprovechamiento de la energía térmica (buena eficiencia), tanto para combustibles líquidos como sólidos. Estas características incluyen la siguientes:

- Área adecuada para el intercambio del calor entre cámara de combustión y las superficies que calientan el aire, que normalmente se aumentan por medio de aletas.
- Adecuada geometría del intercambiador para garantizar un correcto coeficiente de transferencia de calor por convección.
- Flujos de gases de combustión y del aire con direcciones opuestas.

El ACPM presenta ventajas sobre el COQUE por la autonomía, por su mayor disponibilidad, por el mejor control de la temperatura de secado y por la mayor posibilidad de reducir los riesgos de contaminación del grano.

El COQUE, de menor costo que el ACPM, generalmente se quema en dispositivos de combustión directa, que permiten que los gases de combustión entren en contacto con los granos, con lo cual se afecta la calidad del café. Ambos requieren de una alimentación frecuente (normalmente inferior a 2 horas) y no es posible, en la práctica, mantener la temperatura con poca variación alrededor de 50°C, originando problemas con la calidad del café, principalmente por el cristalizado y sobresecado del grano.

La utilización del carbón mineral, o hulla, para la generación de aire caliente en el secado de café es popular. Se dispone de quemadores automáticos producidos por la industria nacional que garantizan un buen desempeño energético, con eficiencias superiores al 50%. La autonomía de alimentación del combustible y la durabilidad de las partes de los equipos, para producir un aire completamente limpio, también han sido refinadas.

Colombia produce en forma general, carbón de buena calidad, en muy buena cantidad y buena distribución por las principales zonas cafeteras. Si bien, la inversión inicial en el quemador-intercambiador de calor es más alto que cualquiera de las otras opciones, el costo del combustible es substancialmente menor.

Recientemente, en la introducción masiva del gas en Colombia, se han desarrollado diferentes opciones de utilizar esta fuente energética en el secado del café. El gas tendrá un espacio muy amplio por sus excelentes características de manejo, control y costo.

En la selección del tipo de combustible a utilizar se deben tener en cuenta los criterios antes mencionados y los incrementos en los costos de beneficio por el exceso de la mano de obra que se requiera para alimentar y supervisar algunos quemadores, la cual es de alto valor en horario nocturno.

Para calcular el consumo horario de combustible se debe tener presente: el flujo de aire, las temperaturas máxima de aire de secado y la mínima ambiental, la eficiencia de conversión de energía química a energía térmica. Este último factor depende del tipo de intercambiador utilizado. Desde un punto de vista práctico se puede considerar, para el caso de intercambiadores utilizados con quemadores de combustibles líquidos, lo siguiente:

- Un intercambiador con superficie aletada permite obtener fácilmente un 50% de eficiencia.
- Con los intercambiadores sin aletas rara vez se obtienen eficiencias superiores al 40%.
- Para la quema de coque, en general, los caficultores utilizan equipos que tienen eficiencia baja, máxima de 30%.

Para calcular el consumo horario de combustibles se recurre al siguiente balance de energía:

$$\text{ENERGÍA GENERADA POR EL COMBUSTIBLE} = \text{ENERGÍA GANADA POR EL AIRE} + \text{LAS PÉRDIDAS}$$

< 9 >

Las pérdidas están constituidas por las energías transferidas al ambiente por convección y principalmente, por la energía que llevan los gases de combustión y que salen por la chimenea.

A partir de este balance, y para simplificar los cálculos, se puede calcular el consumo horario con la ecuación < 10 > que permite calcular la cantidad de energía calorífica necesaria para aumentar la temperatura del aire que fluye con un caudal Q.

$$q = \frac{Q \Delta T 60}{\eta c} \quad < 10 >$$

En donde:

- Q = Caudal de aire (m³/min).
 q = Flujo de combustible (kg/min).
 ΔT = Diferencia de temperatura entre el aire de secado y el aire ambiental, °C.
 η = Eficiencia del intercambiador, (decimal).
 c = Poder calorífico del combustible, (kJ/kg).

Para los combustibles más utilizados se presentan los valores promedios de poder calorífico (c) presentados en la Tabla 49.

4.8.5. Secado mecánico de capas estáticas del café

4.8.5.1. Secado en una sola dirección del aire

Los secadores mecánicos utilizados para café en Colombia son, en general, de capa fija; esto significa que el grano se coloca en un depósito provisto de un piso construido en lámina metálica perforada y el aire lo atraviesa en una o alternativamente, en dos direcciones.

Los secadores de capa fija de granos en los cuales el aire atraviesa la masa de café en una sola dirección, producen un gradiente muy marcado de humedad a lo largo de toda la capa. Para el caso del café pergamino esta diferencia de humedad es todavía más grande debido al alto contenido inicial de humedad del café con relación a los cereales.

Evaluaciones efectuadas en Cenicafé (124) (Figura 97) indican que al secar café en un silo secador de capa fija de 0,40m, sin invertir la dirección del flujo del aire, con temperaturas de aire de secado de 50°C y un caudal de 60m³/min. ton cps, después

Tabla 49. Poder calorífico de algunos combustibles utilizados en Colombia.

Combustible	Poder Calorífico	
ACPM	146.000	(kJ/gal)
HULLA (antracita)	33.440	(kJ/kg)
HULLA (muestra Riosucio, Caldas)	28.750	(kJ/kg)
COQUE	30.514	(kJ/kg)
CASCARILLA DE CAFÉ	17.936	(kJ/kg)
CASCARILLA DE ARROZ	12.500	(kJ/kg)

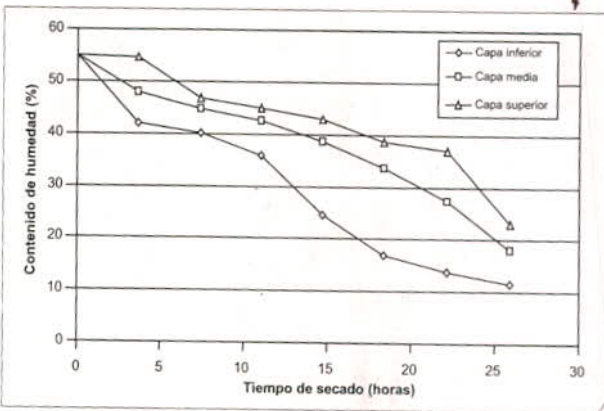


Figura 97. Curvas de secado de capa fija sin inversión del flujo del aire.

de 26 horas de secado, las diferencias en el contenido de humedad entre las capas extremas fueron del 13% (23,8 - 10,8), mientras que la humedad promedio de los granos era de 17%.

4.8.5.2. Secado con inversión de la dirección del flujo de aire

Para disminuir el gradiente de humedad en la capa estática del café se ha demostrado válida la opción de invertir la dirección del sentido del aire en la capa, a intervalos de 6 a 12 horas, de forma que se disminuye efectivamente el sobresecado en los granos que reciben el aire con mayor temperatura. Mediante esta operación los granos más húmedos quedan localizados en el interior de la capa. Si el caudal de aire utilizado es inferior al recomendado (Tabla 48), se obtendrán aún diferencias de humedad mayores, que pueden comprometer la calidad del producto.

En la Figura 98 se presentan las curvas de secado para los granos localizados en la capa inferior, en la capa media y en la capa superior en un secador CENICAFÉ, en el cual se aplicó un caudal específico de aire de secado a 50°C (64). Por medio de compuertas se invirtió la dirección del aire de secado cada tres horas. Durante las

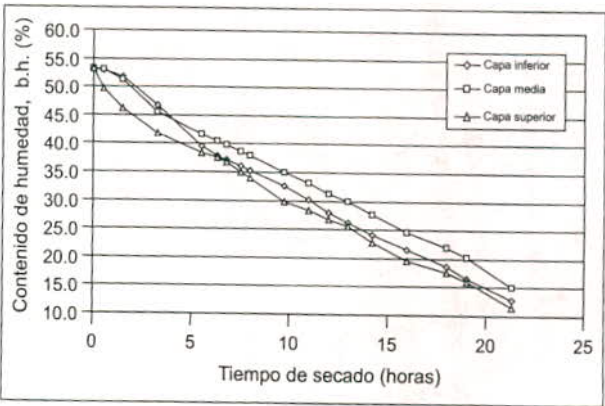


Figura 98. Curvas de secado de capa fija con inversión de la dirección del flujo del aire.

primeras 3 horas de secado el aire se forzó de abajo hacia arriba. El contenido de humedad de las tres capas al final de las 21,5 horas de secado, fue de 15,1% en la parte media, 11,5% en la superior y de 12,7% en la capa media.

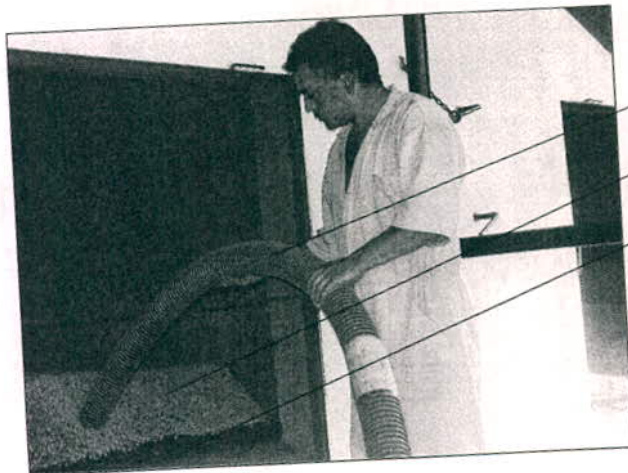
4.8.5.3. Presecado del café en capas estáticas

Una forma de utilizar más eficientemente la capacidad de secado del aire consiste en aprovechar el aire de salida de la primera capa estática para que atraviese otra capa, u otras capas, antes de salir a la atmósfera. Esta(s) nueva(s) cámara(s) se denomina(n) cámara(s) de presecado. Es necesario disponer de suficiente potencia en el ventilador para poder cumplir con el caudal mínimo.

Al aumentar la masa de café, se debe aumentar en igual proporción el caudal expresado en metros cúbicos por minuto por metro cuadrado del secador. Los valores de caudales expresados en metros cúbicos por metro cúbico ocupado por el grano o por tonelada de café pergamino seco deberán quedar iguales [$25 \text{ m}^3/(\text{min}-\text{m}^3)$ ó $66 \text{ m}^3/(\text{min}-\text{Ton cps})$].

En la Figura 99 se puede observar una cámara del secador CENICAFÉ, el cual se caracteriza por tener un compartimiento de secado y otro de presecado. Además, es posible invertir la dirección del flujo del aire tanto en el compartimiento de secado como en el de presecado.

La(s) cámara(s) para el presecado también puede estar localizada en la parte superior. En este caso solamente es posible la inversión del flujo del aire en la cámara de secado. Este secador, cuyo esquema se presenta en la Figura 100, es una adaptación del secador CENICAFÉ con la ventaja de que se reduce el área para su construcción y consecuentemente los costos. Estos secadores, de dos o tres capas, son de fácil construcción y son fabricados generalmente en ladrillo y concreto. Su capacidad puede variar de 0,625 a 3,75 ton de cps (50@ a 300@). La temperatura máxima del aire de secado debe ser de 50°C .



Tubo succionador para el transporte neumático del café.

Capa estática de café.

Piso perforado.

Figura 99. Silo secador tipo CENICAFÉ para café pergamino, en capas estáticas de secado y presecado, con inversión de la dirección del flujo del aire. Descarga neumática.

riba. El contenido de
lo, fue de 15,1% en la
dia.

ecado del aire consiste
para que atravesase otra
nueva(s) cámara(s) se
de suficiente potencia

orción el caudal expre-
secador. Los valores de
ocupado por el grano o
s $[25 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)]$ ó 66

CENICAFÉ, el cual se
de presecado. Además,
1 el compartimiento de

alizada en la parte supe-
del aire en la cámara de
gura 100, es una adapta-
uce el área para su cons-
de dos o tres capas, son
rillo y concreto. Su capa-
300@). La temperatura

Tubo succionador
para el transporte
neumático del café.

Capa estática de café.

Piso perforado.

Figura 99. Silo secador tipo CE-
NICAFÉ para café pergamino,
en capas estáticas de secado y
presecado, con inversión de la
dirección del flujo del aire. Des-
carga neumática.

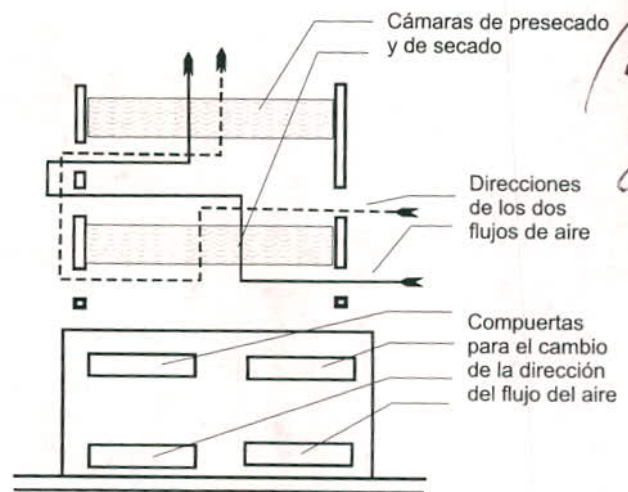


Figura 100. Esquema de un silo secador vertical, de dos capas estáticas, provisto de inversión de la dirección del flujo del aire, solamente en la cámara de secado.

Si se utilizan temperaturas superiores a los 50°C , aunque disminuye el tiempo de secado, conduce a una reducción en los ingresos del caficultor, por el sobresecado inevitable que ocurren en las capas exteriores, para obviar la presencia de granos húmedos en las capas intermedias de la masa.

4.8.5.4. Secado mecánico del café en carros convencionales para secado al sol

En Cenicafe se desarrolló otro secador mecánico de capa fija para pequeños y medianos caficultores (29), con capacidad de 750kg (60@) cps, a partir de un secador solar de carros, igual al utilizado tradicionalmente por los caficultores. El secador solar está constituido por varias plataformas de secado dispuestas una sobre otra, soportadas sobre rodachinas que facilitan su desplazamiento para exponer el grano al sol o resguardarlo en caso de lluvia.

Las siguientes modificaciones fueron necesarias en la estructura tradicional para efectuar el secado mecánico del grano.

- El piso de madera de las cuatro bandejas se reemplazó por anejo cafetero de 4 x 4 huecos por 25,4mm (pulgada).
- El sellamiento lateral y posterior se realizó mediante la construcción de paredes de ladrillo farol revocadas internamente.
- El sellamiento frontal del espacio libre entre las bandejas se realizó mediante dos compuertas construidas en lámina metálica.
- Se construyó un techo de dos alas, con teja de zinc y vigas de madera para facilitar el manejo del café de la plataforma superior. El giro de cada ala del techo se efectuó por medio de cuatro bisagras.
- La cámara plenum del secador se formó por el espacio libre entre el anejo de la plataforma inferior y el piso del secador.

Su operación se asemejó al manejo tradicional de un horno de panadería, el cual es alimentado indistintamente retirando la capa que ha terminado el proceso, y sustituyéndola inmediatamente con otra capa con producto fresco.

El secador presentó un comportamiento satisfactorio, obteniéndose buenos resultados en el proceso.

El caudal promedio utilizado para las cinco primeras experiencias fue de $5,6 \text{ m}^3/\text{min-m}^2$, lo que es equivalente a $23,5 \text{ m}^3/\text{min-m}^3$ o a $61 \text{ m}^3/\text{min-Ton cps}$. A medida que se retiraban las capas los caudales aumentaron hasta en un 80% de los valores anotados.

En la Tabla 50 se muestra el desempeño del secador en cuatro experimentos; se puede observar en el primero, que la primera capa obtuvo el contenido de humedad final de 11% a las 23 horas de secado, momento en que ésta se retiró del secador; la última capa fue retirada a las 36 horas de inicio del secado (13 horas después de retirar la primera capa).

La uniformidad del contenido final de humedad fue muy aceptable, presentando coeficientes de variación inferiores al 10%, cuando el valor correspondiente en los silos secadores con inversión del sentido del aire, y con los caudales recomendados, del mismo orden de magnitud.

La eficiencia térmica del secador fue de 4.638 kJ/kg de agua evaporada, en promedio, el cual es un valor muy aceptable.

4.8.5.5. Dimensionamiento de los secadores de capa fija

Los secadores son los elementos de mayor costo en el beneficio del café y el proceso del secado es el más demorado dentro de todo el proceso. Para la estimación inicial de la capacidad de los secadores estáticos se puede utilizar el concepto general de que la capacidad de los secadores debe ser suficiente para secar la

Tabla 50. Tiempo total de secado para cada plataforma y para cada prueba, en un secador solar de carros. Humedad final = 11%.

	Número de la prueba					
	1	2	3	4 *	5	6
Plataforma	Tiempo de secado, horas					
1	23,5	24	23,5	-	24,0	23,0
2	28,0	27	28,0	23,8	27,5	26,5
3	29,5	36	32,0	32,5	36,0	30,5
4	36,0	38	36,0	37,5	38,5	35,5

* En esta prueba no se cargó la plataforma inferior.

** En esta prueba el espesor de la capa de grano fue 0,20m.

panadería, el cual es el proceso, y sustituyendo

dose buenos resultados

encias fue de 5,6 m³/1-Ton cps. A medida que se reducen los valores

tro experimentos; se contenida de humedad retiró del secador; la 13 horas después de

ceptable, presentando correspondiente en los niveles recomendados,

evaluada, en promedio

beneficio del café y el proceso. Para la estimación de utilizar el concepto eficiente para secar la

ra cada prueba, en un

5	6
24,0	23,0
27,5	26,5
36,0	30,5
38,5	35,5

cantidad producida en la semana pico, que puede ser estimada igual a cuatro veces la producción del día pico.

En términos prácticos, cuando se utiliza el sistema de beneficio convencional con fermentación, el número de tandas (cantidad de producto depositado en los secadores) que se secan semanalmente es generalmente igual a tres.

Mediante la introducción del desmucilaginado mecánico, que permite iniciar el secado en el primer día de la semana, la utilización de los secadores puede aumentarse a cuatro tandas, o sea 33,3% más capacidad de secado y por tanto puede reducirse en esta misma cifra la capacidad de secado instalada en la finca.

4.8.5.6. Selección del ventilador

Una vez se conoce la cantidad de café por secar en una tanda, se puede calcular el volumen que ocupa utilizando el valor de la densidad del café lavado (650kg/m³) según la Tabla 58 que se incluye en el Apéndice A. La cantidad de aire que debe pasar por la masa de café se obtiene de la Tabla 48. La presión estática que debe suministrar el ventilador a éste caudal se calcula de la ecuación < 7 >. La potencia del ventilador se calcula mediante la ecuación < 8 >.

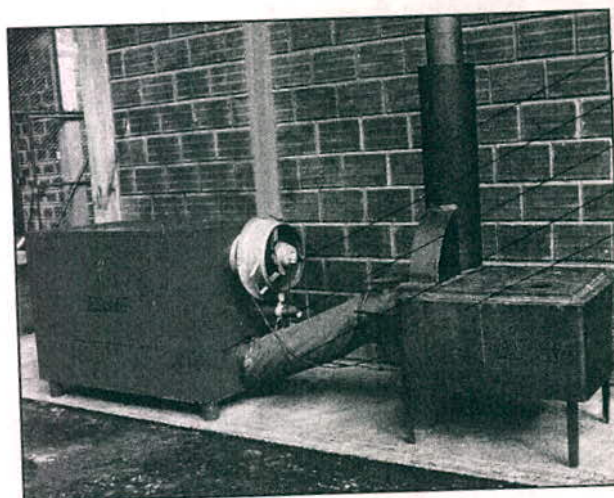
Cuando los ductos y las compuertas se dimensionan adecuadamente, es decir, cuando su área es aproximadamente 50% mayor que el área de la succión del ventilador, las pérdidas de presión del aire para pasar por éstos obstáculos son pequeñas, comparadas con las pérdidas a través de la capa de granos; como criterio práctico se les puede estimar como iguales a 15% de las que ocurren a través del grano.

4.8.6. Secador mecánico de café, para el aprovechamiento de la energía calorífica no utilizada en las estufas campesinas (96)

En las fincas cafeteras se emplean estufas que usan leña o carbón mineral como combustible para la preparación de los alimentos. En dichas cocinas se aprovecha una parte pequeña de la energía calórica generada para la preparación de alimentos, pero permanece encendida aún durante la noche para facilitar al día siguiente el encendido.

Dadas las dificultades del secado en los sistemas solares existentes durante la cosecha, fundamentalmente por factores climáticos (lluvia, alta nubosidad, etc.) se planteó como alternativa de secado mecánico de café para pequeños productores, mediante el empleo de elementos disponibles en la propia finca cafetera (estufa y leña de café proveniente de la zoca).

El equipo de secado se denominó "EScafé" Estufa Secadora para café, para una capacidad de 125kg (10@) de café pergamino seco/tanda y consta de: una estufa modificada, una cámara de secado igual a la desarrollada por Montenegro (105), un ventilador y un ducto (Figura 101). La estufa modificada constituye el hogar de combustión y el intercambiador de calor (formado por dos componentes) para el



Intercambiador de calor.
Ventilador.
Cámara de secado.
Ducto.
Estufa modificada.

Figura 101. Equipo de secado "EScafé" para el aprovechamiento de energía calorífica en los hogares campesinos.

equipo de secado, a saber, el primero es una camisa que recubre dos paredes, lateral y fondo de la estufa para así aprovechar el calor generado por ellas, y el segundo es un ducto denominado carcaza que recubre concentricamente la chimenea, a la cual se le adicionó cuatro aletas longitudinales.

El equipo cuenta con un sistema simple para la inversión del flujo del aire en la capa de café, conformado por un ventilador tipo axial de 0,154kW, con un caudal de 30 m³/min acoplado a un eje sobre el cual gira alrededor de un punto fijo, permitiendo la inversión de acuerdo al avance del secado.

En la estufa, la energía no empleada en la preparación de alimentos durante una prueba de secado, proveniente de combustibles como el carbón mineral y la leña de café, es aproximadamente 635kW-h (78%) y 731kW-h (81%) respectivamente. De ésta se aprovecha para el secado de café más del 33 %.

El **tiempo de secado** de café en el equipo fue de 3 días, o sea 7 días menos que el secador solar operando con el funcionamiento habitual de las horas empleadas para cocinar, es decir 15 horas en las que se le suministraba combustible y se regulaba la temperatura (compuertas) para obtener en la cámara de secado un promedio de 47,3°C con carbón y 49,3°C con leña.

Durante el secado del café se emplearon 96,1kg de carbón y 183,1kg de leña. Se obtuvo un contenido de humedad final del café del 10% (b.h.), en promedio.

La Tabla 51 muestra los resultados obtenidos empleando cada uno de los combustibles y con el secado natural.

4.8.7. Secador Intermitente de Flujos Concurrentes, (IFC)

Los secadores de capa fija ocupan gran área en los beneficiaderos, aún los de diseño vertical con dos o más capas. El aire debe pasar simultáneamente por todas

Tabla 51. Valores obtenidos de la energía disponible, la energía utilizada en el secado, el tiempo de secado y el contenido de humedad final.

	Energía Disponible	Energía utilizada en el secado	Tiempo de secado	Contenido de humedad final promedio
Carbón mineral	78%	35%	3 días	10,10% b.h.
Leña de café	81%	33%	3 días	10,15% b.h.
Secado natural			10 días	10,78% b.h.

las capas, con volúmenes específicos altos para disminuir la desuniformidad intrínseca en este tipo de secadores y para garantizar un tiempo de secado aceptable. De otro lado, los secadores deben quedar dentro de estructuras convencionales.

Con el fin de presentar alternativas para superar las limitaciones inherentes de los secadores de capa fija y disponer de una tecnología de mejor desempeño técnico, Cenicafé, después de un examen minucioso sobre las diferentes alternativas posibles, inició un programa de investigación para desarrollar un tipo de secador intermitente de flujos concurrentes (IFC).

El secador IFC consta, en su estructura básica (Figuras 102, 103 y 104) de dos partes principales: la cámara de secado y la cámara de reposo. La cámara de reposo se divide en dos, inferior y superior. La masa de granos se mueve continuamente dentro del secador, por medio de un sistema de descarga inferior y de un transportador de cangilones.

En la cámara de secado el aire y el grano fluyen en el mismo sentido, hacia abajo, de donde se origina su nombre de secador de flujos de aire y granos concurrentes; en ésta, el aire de más alta temperatura proveniente del generador de aire caliente, encuentra a los granos más húmedos produciéndose altas tasas de evaporación. Estas tasas impiden el excesivo calentamiento de los granos, de forma que su temperatura no sobrepasa los 45°C, valor muy distante de la temperatura del aire que puede llegar hasta los 40°C (Figura 107); de esta forma se conserva la calidad del

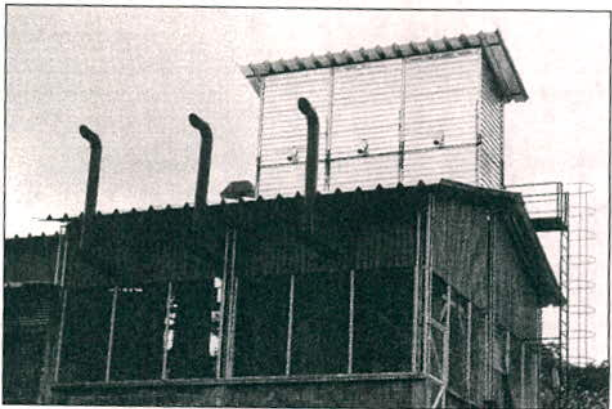


Figura 102. Secadores intermitentes de flujos concurrentes, CENICAFÉ - IFC.

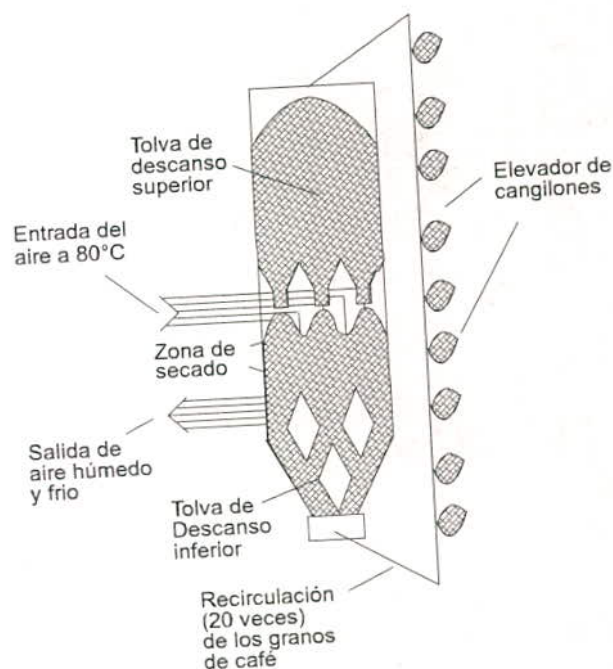


Figura 103. Esquema de un secador intermitente de flujos concurrentes, CENICAFÉ - IFC.

café. Además, el sistema de secado con flujos de aire y grano en forma concurrente y con temperaturas relativamente altas es muy eficiente, por consideraciones termodinámicas.

De la cámara de secado el grano pasa a la de **cámara de reposo inferior**, en la cual los granos no quedan en contacto con el aire caliente; en este espacio ocurre la redistribución de humedad, desde el interior al exterior, en cada uno de los granos. La masa se descarga por gravedad controlada por un dosificador mecánico y la toma el transportador de cangilones, el cual a su vez la descarga en la parte superior del secador, donde continúa su período de reposo en la **cámara de reposo superior**. El sistema de recirculación de los granos a través del secador se repite aproximadamente 20 veces, hasta obtenerse el contenido de humedad deseado en el rango de humedad del 10 - 12% b.h. Todos los granos reciben la energía en forma discontinua, de ahí que el secador reciba el nombre de **secador intermitente**.

Inicialmente se construyó (92) y se evaluó (52) un secador IFC prototipo con capacidad de 500kg de cps (40@). Su desempeño técnico y la calidad final del café dieron resultados muy promisorios (123).

El mismo secador prototipo se modificó para mejorar el sistema de transporte del grano. En una evaluación de la operación y de la calidad del producto obtenido (123) se realizaron 8 observaciones con el secador, variando las temperaturas de aire de secado de 80 a 86°C y los flujos de granos de 0,024 a 0,048 m³/min.m². El tiempo total de secado varió entre 26 y 32 horas. El contenido de humedad inicial promedio fue de 53,8% (1,65% coeficiente de variación, CV). El contenido de

Figura 103. Esquema de un secador intermitente de flujos concurrentes, CENICAFÉ - IFC.

o en forma concurrente
o en consideraciones ter-

oso inferior, en la cual
este espacio ocurre la
cada uno de los granos.
sificador mecánico y la
arga en la parte superior
imara de reposo supe-
secador se repite aproxi-
humedad deseado en el
iben la energía en forma
ador intermitente.

ador IFC prototipo con
y la calidad final del café

siema de transporte del
d del producto obtenido
ando las temperaturas de
24 a 0,048 m³/min.m². El
enido de humedad inicial
(n, CV). El contenido de

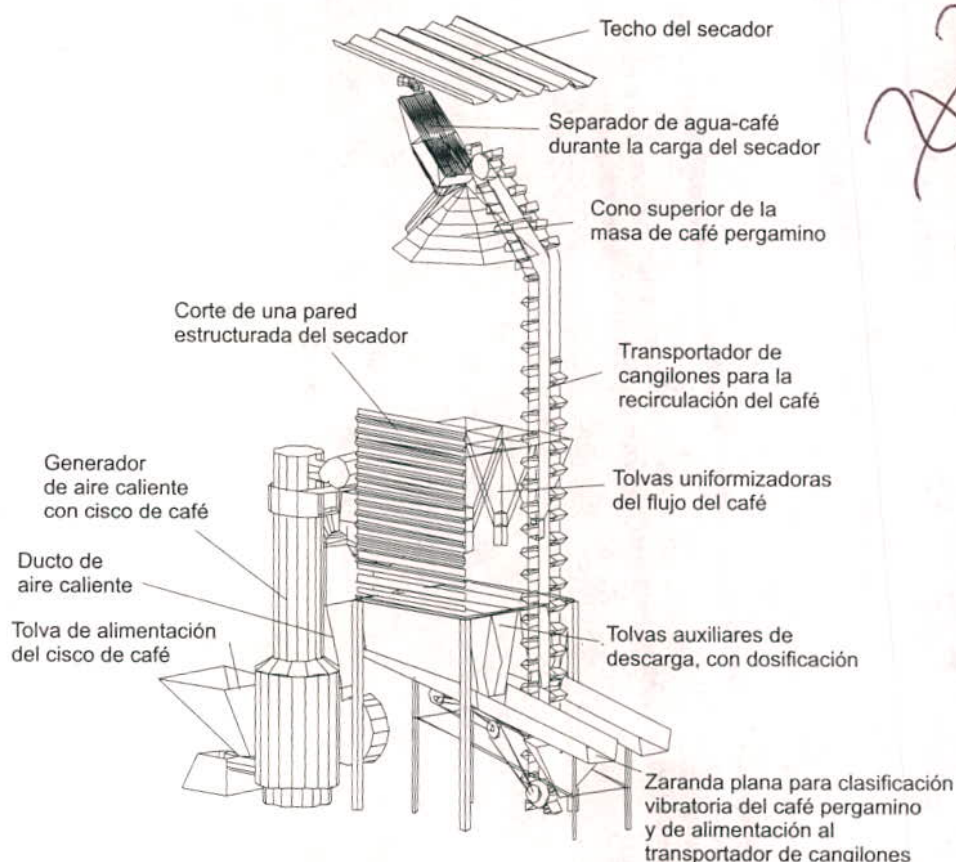


Figura 104. Diagrama tridimensional de un Secador Intermitente de Flujos Concurrentes, CENICAFÉ - IFC.

humedad final promedio fue de 11,0% (5,72 CV). Este valor bajo de coeficiente de variación indica la casi perfecta uniformidad de contenido final de humedad, requisito que facilita la comercialización y permite una conservación buena durante el almacenamiento. Además, es aproximadamente 3 veces más bajo que el valor correspondiente a los secadores de capa estática.

El hecho de poder trabajar a temperaturas relativamente altas de secado es muy conveniente desde el punto de vista de eficiencia termodinámica; en efecto, en la Figura 105 se muestran las humedades absolutas de salida y de entrada en el secador, que indican que la extracción de la humedad es muy alta (cerca a la saturación), y constante, a lo largo del todo el proceso de secado (lo que se también se puede confirmar por el carácter lineal de la curva de secado (Figura 106).

Todas las curvas de secado (variación de la humedad con relación al tiempo de secado) obtenidas en el secador IFC, prototipo y comercial, muestran disminución de la humedad lineal con relación al tiempo (Figura 106) y la temperatura del grano estable

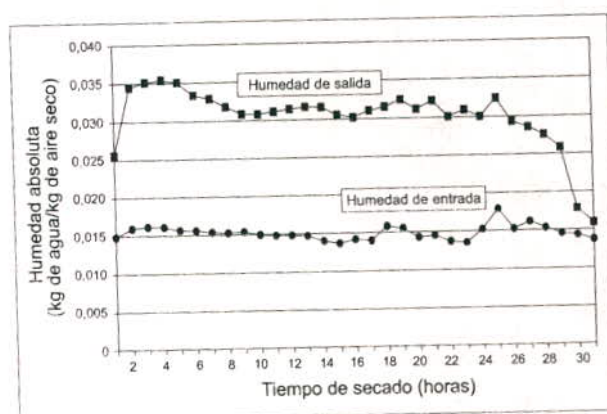


Figura 105. Uniformidad en las diferencias entre las humedades absolutas de entrada y de salida al secador.

por debajo de 40°C, cuando la temperatura del aire de secado no sobrepasa 80°C (Figura 107). Las pruebas de calidad física y de taza de todas las muestras fueron muy aceptables, obteniéndose calificaciones de café de alta calidad (123).

Durante estos experimentos se desarrolló una metodología para finalizar el proceso del secado utilizando la energía propia de los granos; para ello se desconectó la fuente de calor y se continuó inyectando aire ambiente, para reducir los dos últimos puntos de humedad y obtener el contenido de humedad final deseado (11 a 12%, b.h.) (123).

Como conclusión general del estudio se comprobó que el secador de flujos concurrentes para café pergamino era un sistema de secado válido y potencialmente competitivo con relación a otros sistemas mecánicos (123).

Con base a los resultados de optimización operacional del secador IFC (106, 107) se construyó y evaluó un secador IFC de capacidad de 1.000kg de cps similar al prototipo (111). En este segundo prototipo se efectuaron reformas e innovaciones para optimizarlo y disminuir a menos de 1% la trilla de granos, durante toda la operación. Para evitar las reacciones químicas originadas por el contacto del café

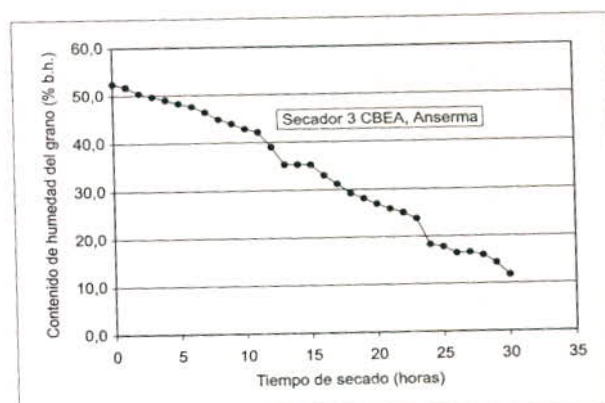


Figura 106. Curva de secado obtenida en los secadores CENI-CAFÉ - IFC. Se caracteriza por la reducción lineal de la humedad durante el tiempo de secado.

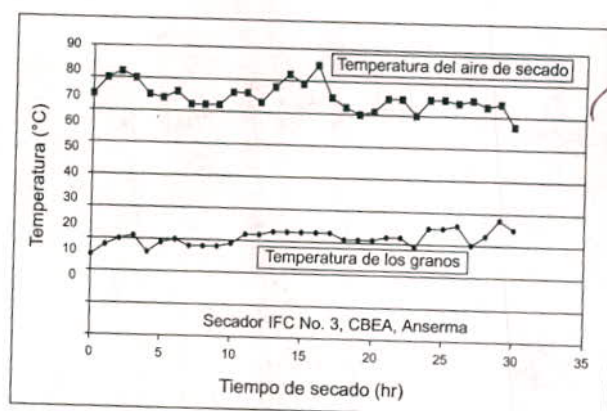


Figura 107. Comparación entre las temperaturas del aire de secado y de las temperaturas de los granos en una operación típica de los secadores CENICAFÉ – IFC.

105. Uniformidad en las temperaturas de entrada y de salida.

o no sobrepasa 80°C muestras fueron muy (123).

ra finalizar el proceso ello se desconectó la reducir los dos últimos l deseado (11 a 12%,

ador de flujos concu- do y potencialmente

cador IFC (106, 107) 0kg de cps similar al ormas e innovaciones anos, durante toda la r el contacto del café

106. Curva de secado ida en los secadores CENI- 3 - IFC. Se caracteriza por acción lineal de la humedad te el tiempo de secado.

pergamino húmedo con las paredes de lámina galvanizada del secador, se revistió con láminas delgadas de acero inoxidable de costo muy reducido.

Se evaluó el secador IFC de 1.000kg con mejoramientos mecánicos y utilizando un quemador de carbón mineral y se comprobaron las excelentes condiciones de secado con disminución lineal de la humedad desde 54%, hasta 12%, b.h. La temperatura de secado se mantuvo constante en un valor de 83°C, con un coeficiente de variación de sólo 3,3%, gracias a un dispositivo electrónico que controla el quemador de hulla construido en Cenicafé (197).

La eficiencia del secador expresada en kJ/kg de agua evaporada se determinó con la ayuda de un programa sicrométrico computarizado (28). El valor resultante de 3.763kJ/kg de H₂O, indica la altísima eficiencia del secador. En términos relativos, la eficiencia del secador comparada con la evaporación de agua libre, en la que no existe ninguna resistencia de difusión, es del 63,4%.

A continuación se presentan resultados experimentales correspondientes a los secadores IFC evaluados en forma experimental en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma. (Sección 3.19.)

El área de la sección del secador es de 4m². El volumen de secado efectivo es de 4m² x 0,65m = 2,6m³. El volumen de descanso (tiempo en que el café no está sometido al flujo de aire caliente es de: 10,85 m³. La relación **volumen de secado a volumen de descanso** igual a 0,24.

La temperatura de secado utilizada fue de 75°C, en promedio. Al final del secado, cuando la humedad fue del orden del 14% se apagó el generador de aire caliente y se dejó forzar el aire a través de los granos en movimiento a temperatura ambiente, durante dos horas. Al final de este tiempo, el grano presentaba el 12% de humedad.

El caudal de aire en el secador es de 45 m³/min-m² que aplicado a un área transversal de 4m² de los secadores dio un caudal total de 180m³/min.

La potencia necesaria para vencer la resistencia de los granos en este secador es de

6,0hp pero debido a la gran resistencia que ofrece el intercambiador de calor al paso del aire, la potencia total para todo el sistema neumático de secado es de 13,5hp.

El **tiempo medio de secado**, utilizando temperaturas de 75°C para una carga de 3,4ton (270@) de café pergamino seco fue de 28 horas. El tiempo de carga media del secador por medio de las motobombas fue de 45 minutos. El tiempo de descarga media fue de 30 minutos.

En la Figura 108 se indica la calidad del café pergamino seco obtenido en el secador de torre, cargado con 2.620kg de café lavado.

Se demostró que al descargar el secador, el café tenía **contenidos de humedad muy uniformes** y cercanos a la humedad ideal (para asegurar el mayor peso de venta) del 12%, (Figura 109). El coeficiente de variación de la humedad fue de 3,3%, (cuando no se presentaron fallas con el sistema de dosificación), lo que corroboró que este tipo de secador presenta aproximadamente 3 veces menos desuniformidad que los secadores de capa estática.

En la Figura 110 se indica la excelente calidad del café verde obtenido. El café fue catalogado como **café tipo Federación**.

Todos los secadores fueron utilizados con **cisco del café**, como combustible. El consumo de cisco fue de 310kg de cisco por tonelada de café pergamino seco, ó sea que con un kilogramo de cisco se secaron 3,22kg de café pergamino seco. Es decir, el contenido de cisco en el café pergamino seco contiene el 61% de la energía necesaria para secar el grano, en un quemador con una eficiencia del 60%. Si la eficiencia fuese ideal, (100%) el pergamino contenido en un grano podría producir toda la energía para secar el café pergamino. El costo de la materia prima (enero de 1996) fue de aproximadamente \$27,8/kg cps.

En el presente año se está programando la modificación del sistema de descarga de los granos de los secadores, para lograr la recirculación de los mismos, de forma que se consiga completamente la uniformidad de este proceso y así garantizar el mismo tratamiento de secado a cada uno de los granos.

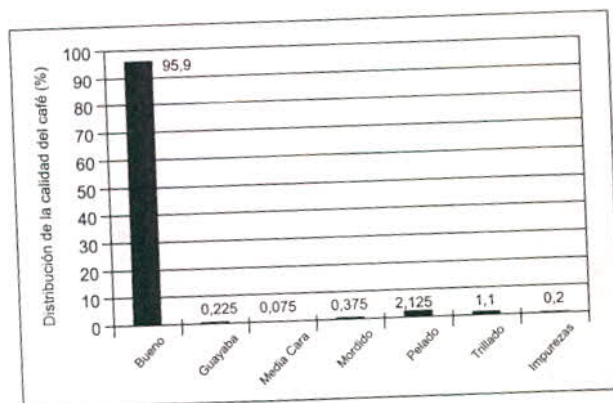


Figura 108. Calidad del café pergamino secado en el secador IFC de torre.

viador de calor al paso
ecado es de 13,5hp.
°C para una carga de
empo de carga media
. El tiempo de descar-

obtenido en el secador

tenidos de humedad
irar el mayor peso de
de la humedad fue de
dosificación), lo que
nente 3 veces menos

e obtenido. El café fue

como combustible. El
pergamino seco, ó sea
gamino seco. Es decir,
el 61% de la energía
ciencia del 60%. Si la
grano podría producir
ateria prima (enero de

sistema de descarga de
los mismos, de forma
peso y así garantizar el

Figura 108. Calidad del café
pergamino seco en el secador
de torre.

Figura 109. Uniformidad del
café pergamino seco en el se-
cador IFC de torre, Anserma,
Caldas.

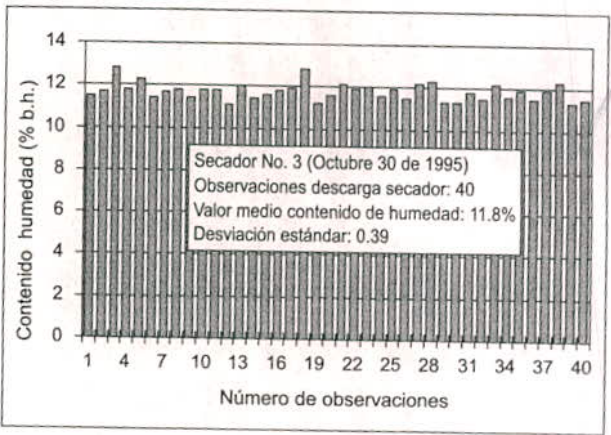
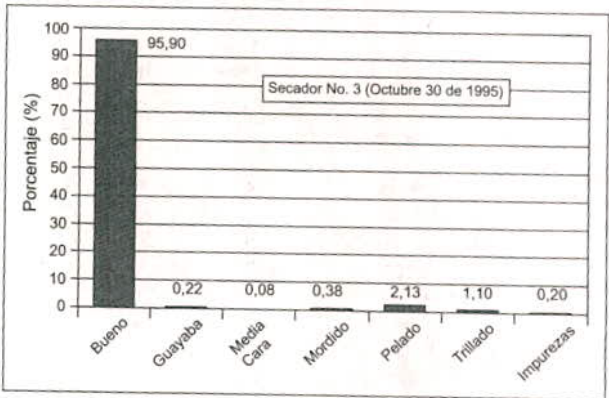


Figura 110. Calidad de la almen-
dra del café seco en el seca-
dor IFC de torre, Anserma, Cal-
das.



4.9. SIMULACIÓN MATEMÁTICA DEL SECADO

Desde hace tres décadas, cuando se inició el uso masivo de los computadores, se han utilizado los modelos matemáticos para describir los procesos de secado y enfriamiento de los granos.

Desde el inicio de esta nueva tecnología digital aplicada, se consideraron los procesos de secado y almacenamiento de granos (28) como muy buenos ejemplos de la gran utilidad práctica de la simulación matemática, que en los inicios trataba de justificarse.

En efecto, los granos presentan **propiedades físicas ideales** para su secado, enfriamiento y modelación matemática, dispuestos a granel, debido a la adecuada uniformidad de sus dimensiones físicas en su tamaño, forma y espacio intergranular; su estructura fuerte y los coeficientes de fricción entre los propios granos le permiten su disposición en capas de granos de varias decenas de metros de altura; el valor considerablemente alto y uniforme del área superficial por unidad de volumen de granos y en general sus excelentes propiedades físicas, en las que también se incluyen sus dimensiones reducidas, la alta conductividad y difusividad térmica en su

estado húmedo, facilitan la transferencia de calor y de humedad a bajas temperaturas cuando se hace circular una corriente de aire, bajo condiciones controladas, cuando se disponen en los secadores y en los silos adecuados.

Se ha demostrado en los estudios de secado y de almacenamiento de granos con aire forzado que, cualquiera sea la configuración del secador y los sistemas de almacenamiento, es siempre posible modelar los procesos matemáticamente, mediante ecuaciones. Se obtienen así las variaciones de la humedad y temperatura de los granos y del aire, en cualquier instante y en cualquier posición de los equipos.

Desde que se demostró la validez de estos principios se ha hecho uso intensivo de los modelos matemáticos para diseñar y operar óptimamente los secadores y los sistemas de almacenamiento.

Estos procesos de diseño y de optimización de equipos se han conseguido en tiempos muy cortos, debido a que con la simulación matemática se predice el secado y almacenamiento en tiempos breves y con menos errores, con relación a los procesos reales.

4.9.1. Propiedades físicas

4.9.1.1. Contenido de humedad de equilibrio

El proceso de transferencia de humedad del grano al aire termina cuando la **presión de vapor** del agua en la superficie del grano se iguala con la presión de vapor del aire, evento que puede presentarse si se dispone del tiempo necesario para desarrollarse el proceso. Depende del contenido de humedad del grano, de la humedad y del aire y en temperatura que es igual a la temperatura del aire del grano.

En los secadores mecánicos normalmente no se llega al equilibrio higroscópico, porque no es necesario y porque la humedad de equilibrio podría estar cercana a cero. No obstante, las tasas de secado de los granos dependen esencialmente de los valores "potenciales" de humedad de equilibrio y no podría lograrse la modelación matemática sin el conocimiento de esta propiedad física.

Es posible también que el grano absorba humedad del aire, cuando su presión de vapor en la superficie es menor que la presión de vapor del aire.

Cenicafé ha desarrollado trabajos para la obtención de datos experimentales de equilibrio en los laboratorios, obteniendo ecuaciones que se aproximan con suficiente exactitud a los valores experimentales y utilizado estos modelos para conformar los sistemas de simulación en secado y almacenamiento de café, en estas dos importantes etapas de la producción y conservación del café. Las curvas de humedad de equilibrio para café pergamino (173) se ampliaron a un rango más amplio de temperatura (10 a 56°C) y de humedad (4 a 26%, en base seca) (107). Mediante la ecuación < 11 > se determina el contenido de humedad (% , base seca) de equilibrio

ad a bajas temperaturas controladas,

nimiento de granos con los y los sistemas de automáticamente, humedad y temperatura de operación de los equipos.

echo uso intensivo de los secadores y los

n conseguido en tiempo se predice el secado y en relación a los proce-

nina cuando la presión a presión de vapor del necesario para desarrollo, de la humedad y aire del grano.

equilibrio higroscópico, podría estar cercana a pueden esencialmente de a lograrse la modelación

, cuando su presión de aire.

atos experimentales de se aproximan con suficiente. Modelos para confort de café, en éstas dos fé. Las curvas de humedad un rango más amplio de seca) (107). Mediante la base seca) de equilibrio

del café pergamino, como función de la humedad relativa (ϕ) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

$$M_{eq} = (61,030848 \phi - 108,37141 \phi^2 + 74,461059 \phi^3) e^{(-0,037047 \phi + 0,070114 \phi^2 - 0,035177 \phi^3) \theta}$$

< 11 >

En donde:

- M_{eq} = Contenido de humedad de equilibrio del café pergamino, (%), b.s.
 ϕ = Humedad relativa, (decimal)
 θ = Temperatura del aire, ($^{\circ}\text{C}$), grados centígrados

Las curvas correspondientes a ésta ecuación se presentan en la Figura 111.

4.9.1.2. Calor latente de vaporización

El calor latente de vaporización del café pergamino es una propiedad física que indica exactamente la **cantidad de calor** necesaria para evaporar el agua contenida en el grano; depende de la temperatura y de la humedad del producto. La relación se obtiene a partir de los datos de humedad de equilibrio (82), la cual está representada por la ecuación < 12 >, de calor latente de vaporización del café pergamino (173):

La expresión obtenida es:

$$L = (2502,4 - 2,4295 \theta) [1 + 1,44408 e^{(-21,5011 M)}]$$

< 12 >

En donde:

- L = Calor latente de vaporización del café pergamino, (kJ/kg)
 θ = Temperatura, ($^{\circ}\text{C}$), grados centígrados
 M = Contenido de humedad del café, (decimal) base seca

4.9.1.3. Secado de capa delgada. Difusión de humedad

La capa delgada de café pergamino es un concepto físico-matemático indispensable para referirse a la parte elemental de constitución de una masa de granos dispuesta en un secador o en un silo de almacenamiento, sometida a la acción del aire forzado a través del espacio entre granos. El espesor de la capa delgada puede asumirse como la altura de un grano.

Para obtener en el laboratorio las curvas experimentales de secado de capa delgada se colocan varios granos en una capa delgada sobre una malla perforada y se someten a diferentes condiciones de temperatura y de humedad del aire forzado en un secador de laboratorio. Es deseable colocar **las capas delgadas entre capas espe-**

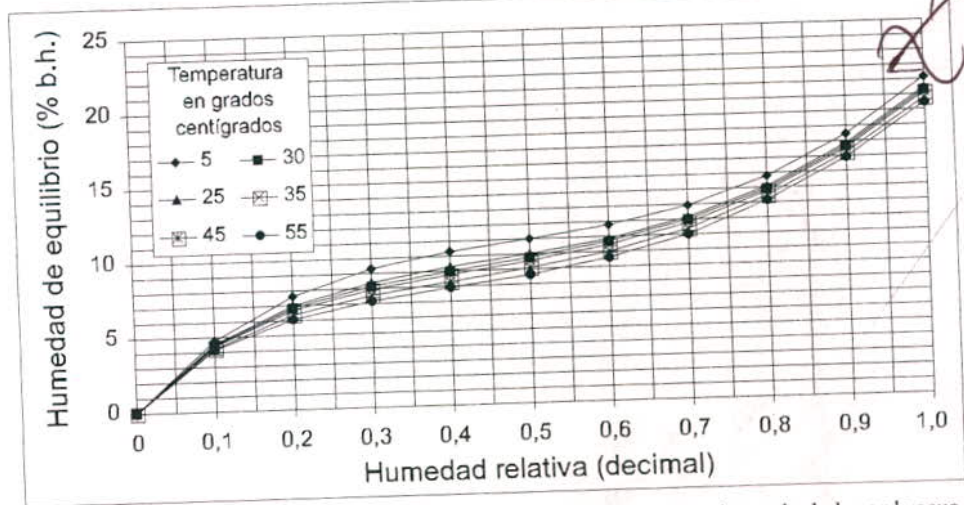


Figura 111. Curva de contenido de humedad de equilibrio del café pergamino, calculada con la ecuación 11, transformada a base húmeda.

sas, del mismo material, para obtener datos en condiciones más reales de los secadores (87 y 161). Los valores de las variaciones del contenido de humedad del grano con relación a la variación de las condiciones de temperatura y humedad del aire, presentan muy buena correlación en la ecuación semiempírica de capa delgada (154), que ha sido utilizada para café y otros productos (87, 94, 107, 124, 154 y 161). Mediante esta misma tecnología se desarrolló la ecuación de secado de capa delgada para café pergamino (87, 94, 125 y 155). La ecuación de secado de capa delgada en su forma diferencial está dada por :

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -mq (M - M_{eq}) (p_{vs} - p_v)^n t^{q-1}$$

< 13 >

En donde:

- $\partial M / \partial t$ = Tasa del cambio del contenido de humedad del grano por unidad de tiempo.
- m, n, q = Parámetros de la ecuación de capa delgada, que se obtienen mediante procedimientos de regresión lineal o no lineal, e integración numérica.
- M = Contenido de humedad del café en el tiempo "t", (decimal) base seca.
- M_{eq} = Contenido de humedad de equilibrio del café, dec., base seca.
- p_{vs} = Presión del vapor saturado, (kPa).
- p_v = Presión parcial del vapor de agua, (kPa).
- t = Tiempo, (horas).

Si las condiciones de temperaturas y humedades son constantes durante el secado,

la ecuación diferencial se puede integrar para obtener la ecuación de secado de capa delgada de café pergamino, integrada para condiciones controladas del aire:

$$\frac{M - M_{eq}}{M_o - M_{eq}} = e^{-m (p_{vs} - p_v)^n t^q}$$

< 14 >

En donde el miembro izquierdo de la ecuación es la razón de humedad y:

M_o = Contenido inicial de humedad, decimal, base seca

e = base de los números naturales = 2,7183

Los valores de m , n y q para el rango 10-70°C y contenidos de humedad del 5 al 55%, base seca, fueron: $m = 0,01430$; $n = 0,87898$; $q = 1,06439$ (Figura 112). La ecuación es válida para los estudios de almacenamiento y secado a altas temperaturas.

Se estudió (106) el fenómeno de difusión de humedad que permite describir el movimiento del agua dentro del café, en lugar de solo manejar los valores promedios, como lo descrito por la ecuación < 13 >. Se utilizó exitosamente la ley de Fick (28) para correlacionar las tasas de secado de café. La ecuación de Fick < 15 > describe la humedad dentro del café pergamino:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{C}{r} \frac{\partial M}{\partial r}$$

< 15 >

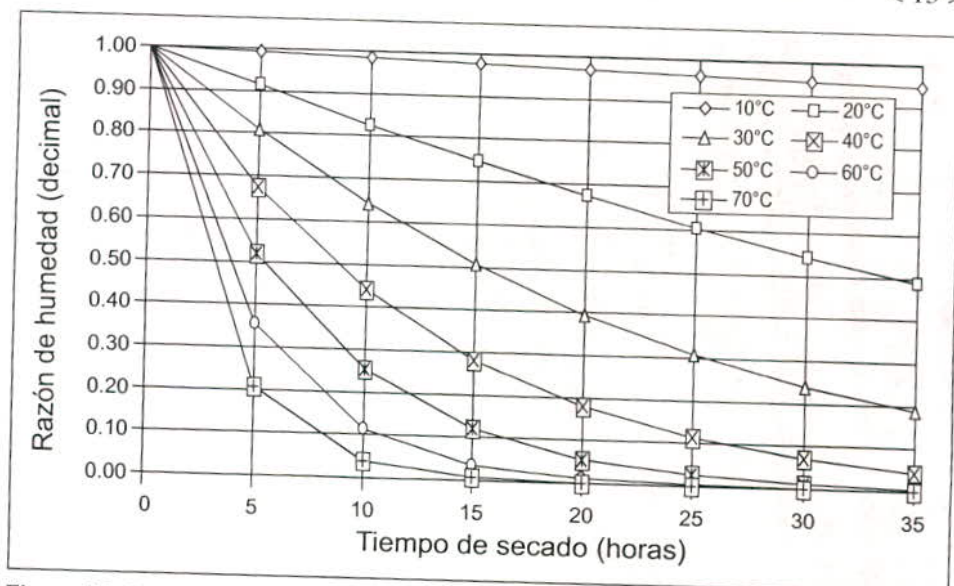


Figura 112. Curvas de capa delgada para secado y almacenamiento de café pergamino. $m = 0,01430$ $n = 0,87898$ $q = 1,06439$, calculada con la ecuación 14.

En donde:

- M = Contenido de humedad, b.s.
 t = Tiempo de secado, (s)
 D = Coeficiente de difusión, (m².s⁻¹)
 r = Coordenada espacial dentro de una esfera, (m).

El **coeficiente de difusión de humedad** de diferentes granos de café se determinó en función del contenido de humedad y de la temperatura del producto; los datos experimentales se obtuvieron de las mediciones del tiempo y del contenido de humedad del grano y del aire, y de la temperatura común del aire y del grano. La cámara experimental utilizada (175) para la toma de datos se construyó en los laboratorios de Cenicafé. El coeficiente de difusión se expresó en función solamente de la temperatura del grano cuando este presenta alto contenido de humedad; como resultado del estudio analítico se obtuvo el coeficiente de difusión de humedad (107).

Se encontró que, al igual que para otros granos, el coeficiente de difusión de humedad dentro del café pergamino depende del contenido de humedad promedio y de su temperatura.

El modelo obtenido, para el coeficiente de difusión de humedad del café pergamino, según ajuste tipo Arrhenius fue:

$$D = 4,158210^{-8} e^{(0,1346 \theta + 2,2055) \bar{M} - \frac{1.184}{\theta + 273,16}} \quad < 16 >$$

En donde:

- D = Difusión de humedad, (m².min⁻¹)
 $\bar{M}$ = Contenido de humedad media del grano, (decimal), b.s.
 θ = Temperatura del grano, (°C)

El coeficiente alcanza su mayor valor cuando la humedad y la temperatura del café son las más altas.

4.9.1.4. Área superficial

Al considerar el grano de café como una esfera, se obtuvo (107) un área específica de 779,8 m² / m³ para café pergamino, en el rango de humedad del 10% - 25,6% b.h.

En la validación de la metodología utilizada para calcular el área superficial del café pergamino, considerando su forma esférica, y mediante la medida del área del pergamino con el planímetro se observó coincidencia en un 50% con los datos experimentales.

4.9.1.5. Calor específico

La expresión encontrada para calcular el calor específico del café pergamino (107) es:

$$CS = 1,3556 + 5,7859 M$$

En donde:

CS = Calor específico del café, (kJ/kg-°K)
M = Contenido de humedad, (decimal), b.s.

4.9.1.6. Densidad aparente

Las densidades aparentes del café pergamino fueron determinadas para diferentes valores de contenidos de humedad (87, 116 y 175).

Se obtuvo una expresión para la densidad aparente del café pergamino como función de su contenido de humedad (106):

$$D_{ap} = 365,884 + 2,707 M$$

En donde:

D_{ap} = Densidad aparente del café pergamino, (kg/m³)
M = Contenido de humedad del café, (%) base seca

4.9.2. Simulación de Procesos Comerciales.

La simulación matemática para el secado y el enfriamiento del café pergamino almacenado ha sido aplicada con éxito en Cenicafé (106, 107, 125, 174). En esos trabajos se presenta la fundamentación físico-matemática de los modelos. En forma general, el trabajo realizado consistió en introducirles las propiedades físicas del café necesarias para construir los modelos de transferencia de calor y de masa basado en los mejores modelos existentes para otros granos.

A los modelos de Thompson (171) y de la Universidad Estadual de Michigan, MSU, (28), se les incorporaron las propiedades físicas del café pergamino obtenidas en los laboratorios de Cenicafé. Los resultados experimentales correspondientes a las experiencias de enfriamiento y de secado fueron comparados con las predicciones de los modelos.

4.9.2.1. Enfriamiento en silos.

La Figura 113 presenta una muy buena predicción de los datos experimentales de enfriamiento de café pergamino seco con las curvas simuladas (174), utilizando el

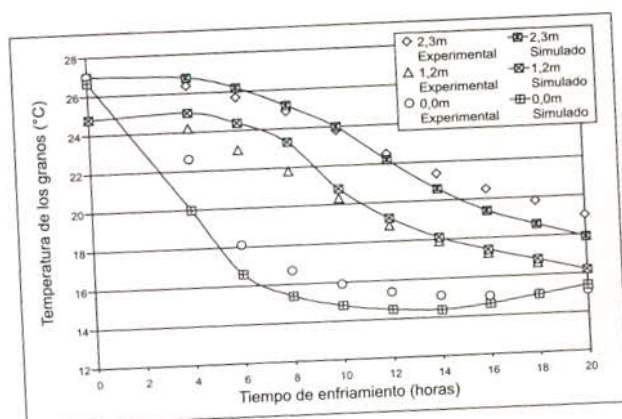


Figura 113. Comparación de datos experimentales y curvas simuladas de enfriamiento (modelo de Thompson) de café pergamino, colocados a granel, en silos. (175).

modelo de simulación de Thompson, correspondientes a tres alturas sobre el nivel del piso del silo de almacenamiento, 0m, 1,2m y 2,3m (Sección 2.3.).

Los silos se construyeron con dimensiones de 0,5 x 0,5 x 2,8m, geoméricamente similares a los de las baterías de 60 silos de ALMACAFE, en Bello, Antioquia, de 30m de altura; 6,5m de diámetro, para que los resultados pudieran predecir mejor el funcionamiento de la futura aireación nocturna en cada uno de éstos silos, como en efecto ocurrió posteriormente. Las experiencias de laboratorio se efectuaron variando la humedad del café pergamino entre 8 y 12,5% (b.h.); el rango de temperatura de enfriamiento utilizado estuvo entre 14°C y 22°C; el rango de la humedad relativa entre 65% y 100%; y el del flujo de aire entre 6 y 25m³/h. En particular, para el ensayo No. 6, cuyos resultados se indican en la Figura 113 (de 11 pruebas efectuadas) se experimentó con una temperatura de enfriamiento de 14,5°C; **humedad relativa de 97,7%**; caudal del aire de 18,7 m³/h; el volumen del aire utilizado dividido por el volumen del silo fue de 541,1; la temperatura de los granos disminuyó, en promedio desde 26,8°C a 17,4°C y el contenido de humedad del grano varió entre 12,2% (b.h.) a 12,0%, (b.h.), en un tiempo de 18 horas. El modelo de Thompson predijo con **muy buena precisión** los resultados experimentales. Con base a ésta información se procedió en ALMACAFE, a introducir el concepto de aireación nocturna y diurna por períodos de varios días, con valores de la humedad del aire en ocasiones superiores al 90% de humedad relativa, con muy buenos resultados comerciales (76).

4.9.2.2. Secado en capas estáticas

Los Modelos de simulación de secado de granos más utilizados son el Modelo de Thompson y el Modelo de la Universidad de Michigan (MSU). En Cenicafé se han utilizado los dos modelos para predecir el comportamiento del café durante el proceso de secado, en secadores estáticos (Silo secador CENICAFÉ) y en secadores de flujos concurrentes intermitentes (IFC) (106, 124, 125).

En la Figura 114 se presentan los resultados obtenidos experimentalmente y me-

Figura 113. Comparación de los experimentales y curvas simuladas de enfriamiento (modelo de Thompson) de café pergamino, colocados a granel, en silos (175).

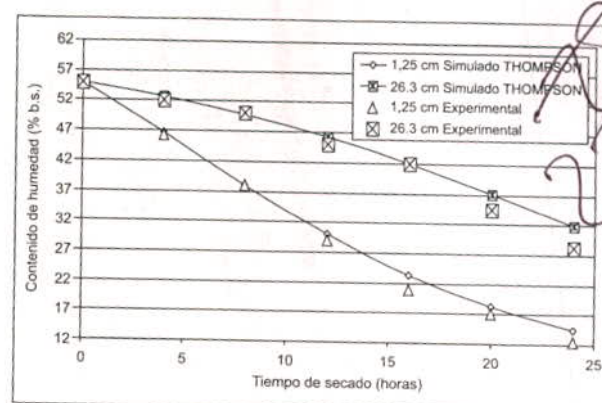
es alturas sobre el nivel de la solución 2.3.).

2,8m, geométricamente en Bello, Antioquia, de audieran predecir mejor uno de éstos silos, como laboratorio se efectuaron (●); el rango de temperatura de la humedad y 25m³/h. En particular, figura 113 (de 11 pruebas amiento de 14,5°C; humedad volumen del aire utilizada temperatura de los granos contenido de humedad del tiempo de 18 horas. El los resultados experimentales en CENICAFE, a introducir el en varios días, con valores de humedad relativa, con muy

izados son el Modelo de (●J). En Cenicafé se han o del café durante el proceso (NICAFÉ) y en secadores i).

xperimentalmente y me-

Figura 114. Comparación de datos experimentales y curvas simuladas de secado de café, colocados en capas estáticas a dos alturas diferentes.



dante el modelo de simulación de Thompson (125) para un silo secador CENICAFE (sin inversión del flujo de aire). En ella se observa que el modelo predice bien el proceso de secado en este tipo de secador, presentando un contenido de humedad mayor al experimental en 2% (b.h.), para un tiempo de secado de 24 horas. Durante el proceso, el café redujo su contenido de humedad promedio de 54,9% (b.h.) a 18% b.h., cuando se utilizó una capa de café de 0,33m y un caudal de aire de 23,5m³/min-m² a una temperatura de 45°C.

4.9.2.3. Secado en Secador Intermitente de Flujos Concurrentes

Se utilizaron las ecuaciones de las propiedades físicas del café para conformar el modelo de secado de la Universidad del Estado de Michigan (28). Se demostró la validez del modelo y se le utilizó (106) para hacer el diseño optimizado del secador CENICAFE – IFC. Después de la construcción y evaluación de 4 secadores, incluyendo 3 secadores de capacidad de 4ton, cada uno, de la Central de Beneficio de Anserma, se hizo la verificación de la exactitud de las predicciones.

La Figura 115 presenta los resultados obtenidos experimentalmente y mediante los modelos de simulación de Thompson (125) y MSU (105), para un secador de

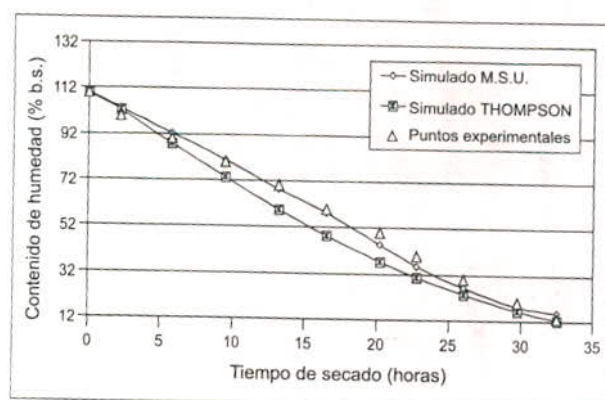


Figura 115. Comparación de datos experimentales con curvas de simulación de secado de café pergamino, en secador intermitente de flujos concurrentes, IFC, mediante dos modelos matemáticos (M.S.U. y de Thompson).

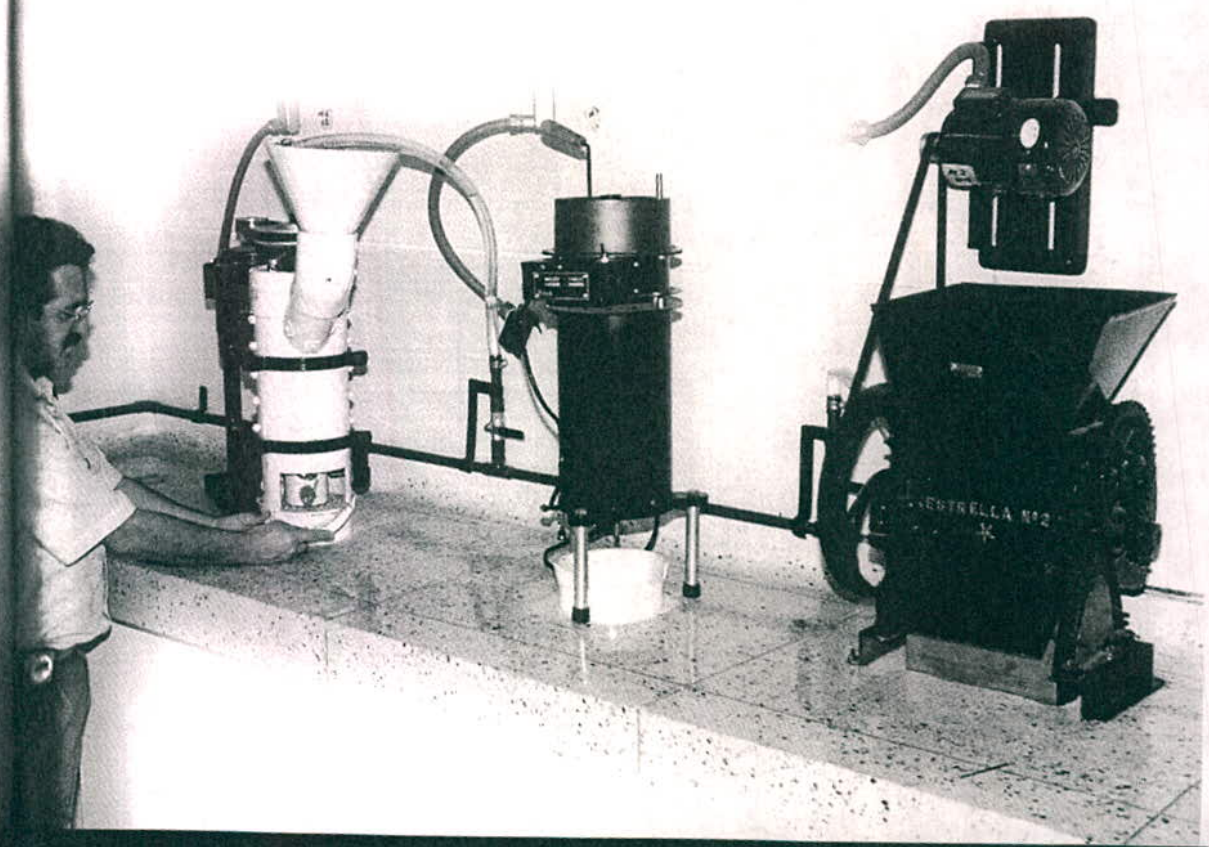
flujos concurrentes (IFC), con una altura de la columna de secado de 0,87m y sección transversal de 0,7m. x 0,7m. En ella se observa que los dos modelos de simulación utilizados, **predicen bien el proceso de secado** en este tipo de secador. El modelo de Thompson predice un contenido de humedad final del grano inferior al experimental en 0,5% (b.s.), mientras que el modelo M.S.U. predice un contenido de humedad final del grano superior al experimental en 2,8% (b.s.), para un tiempo de secado de 32,5 horas. Durante el proceso, el café redujo su contenido de humedad promedio de 52,4% en b.h. (110% en b.s.) a 10,3% en b.h. (11,5% en b.s.), cuando se utilizó un flujo de café de 20kg/min-m² y un caudal de aire de 48m³/min-m² a una temperatura de 87°C.

secado de 0,87m y
los dos modelos de
este tipo de secador.
nal del grano inferior
l. predice un conteni-
2,8% (b.s.), para un
dujo su contenido de
% en b.h. (11,5% en
un caudal de aire de

CAPÍTULO

Rendimiento del Café Cereza a Café Pergamino Seco

233



5

RENDIMIENTO DEL CAFÉ CEREZA A CAFÉ PERGAMINO SECO ⁴⁴

5.1. INTRODUCCIÓN

Se entiende como **rendimiento** de café cereza a café pergamino seco, la relación del peso de los frutos de café cereza tal como fueron cosechadas, sobre el peso del café pergamino seco expresado en forma de café tipo Federación (o en la base que se desee establecer), obtenido mediante el beneficio del café (Capítulo 1).

El rendimiento del café se puede definir también como la relación entre el peso de los frutos de café cereza tal como fueron cosechados o del café pergamino seco que el caficultor vende, sobre el peso del café almendra clasificado para la exportación y obtenido después de los proceso de beneficio y de trilla.

El rendimiento de café depende de varios factores como son: variedad, edad de la plantación, manejo del cultivo, régimen de lluvias, período de cosecha, contenido de humedad del café cereza, calidad de la recolección, métodos, demoras y fallas en el beneficio.

El efecto de las enfermedades y plagas perjudica el desarrollo normal de los frutos y el rendimiento del café disminuye. Para obtener buenos rendimientos la plantación debe disponer de suficiente reserva de nutrientes para el sostenimiento de la cosecha. Cleves (48) encontró disminución en los rendimientos en la cosecha 1967-68 debido a la baja nutrición de los árboles y a una mayor producción, ocasionándose un desbalance fisiológico que se traduce en granos inmaduros, pequeños y vanos.

La recolección es la primera etapa preparatoria para un buen beneficio del café; la calidad del café seco obtenido depende esencialmente de la calidad de la cereza recolectada. Una masa de café en cereza recién recolectada es un conjunto heterogéneo compuesto por café en diferentes estados de madurez. Porcentajes altos de café verde pueden ocasionar una disminución en peso del orden del 8 al 20%, con relación al café pergamino seco obtenido (67, 74).

En Colombia son comunes los rendimientos, con el beneficio convencional de café cereza a pergamino seco entre 4,7 y 5,3; y los rendimientos de café cereza a café en

⁴⁴ Preparado por Alvarez G., J.; y Roa M., G. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

almendra, en promedio, oscilan entre 5,8 y 6,5. En la Central de beneficio de Cenicafé (176), se registraron promedios de rendimiento entre 4,9 y 5,3.

El tiempo que tarda el proceso de beneficio del café influye en el rendimiento; Calle (30) encontró pérdidas de materia seca del grano al someter el café al proceso de fermentación. Boyce (26), pérdidas de 3,9%, Coste (54) del 2%, Barbosa (21) pérdidas de peso en promedio de 0,02% por hora de fermentación. Vásquez e Hidalgo (179) encontraron pérdidas de materia seca de 1,94% por fermentación natural; Carbonel y Vilanova (31), ganancias en peso al sustituir la fermentación por el método químico con soda cáustica.

Existe coincidencia entre los investigadores de que dichas pérdidas se deben al metabolismo normal del grano, o sea, a la utilización de los carbohidratos para la producción de calor y de dióxido de carbono, durante la respiración de los frutos.

Si los granos están bajo agua como se practica en nuestro país para disipar el calor del producto guardado, ocurren pérdidas adicionales por difusión en el agua de los sólidos constitutivos del café.

5.2. COMERCIALIZACIÓN DE CAFÉ EN CEREZA

El Grupo de Beneficio de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia consideró, teniendo en cuenta que en Colombia el beneficio del café se hace casi exclusivamente en las fincas, que debía estudiarse técnica y económicamente el beneficio del café en grandes centrales, para conocer la viabilidad de fomentar esta nueva opción en diferentes regiones del país, incluyendo los adelantos de la tecnología generada por Cenicafé.

El proyecto de la Central de Beneficio Ecológico de Anserma (151) se diseñó para comprar café en cereza a los caficultores y pagarles el valor correspondiente en café pergamino seco, con flujos de café cereza suficientes para garantizar su funcionamiento en condiciones de rentabilidad durante la mayoría del año.

En reunión específica para el estudio de las Centrales de Beneficio en Colombia, realizada en Anserma (151), se presentaron las ventajas potenciales derivadas de la adopción de esta alternativa (Sección 3.19.3.10).

5.3. COMERCIALIZACIÓN DE CAFÉ PERGAMINO LAVADO

Ha venido en aumento la comercialización del café húmedo o café lavado, mediante la cual, el caficultor vende a terceros su café después de despulpado, clasificado y lavado.

En principio, el método no debería presentar dificultades si se efectuaran los procesos de beneficio adecuadamente en el tiempo correcto y si se conociera con exactitud la humedad del café que se está comercializando, para que se calculara sobre

237

ntrol de beneficio de
re 4,9 y 5,3.

el rendimiento; Calle
r el café al proceso de
del 2%, Barbosa (21)
nentación. Vásquez e
14% por fermentación
uir la fermentación por

s pérdidas se deben al
s carbohidratos para la
piración de los frutos.
aís para disipar el calor
fusión en el agua de los

EZA

ros de Colombia consi-
se se hace casi exclusi-
micamente el beneficio
de fomentar esta nueva
plantos de la tecnología

ma (151) se diseñó para
alor correspondiente en
s para garantizar su fun-
oría del año.

Beneficio en Colombia,
tenciales derivadas de la

AMINO LAVADO

lo o café lavado, median-
despulpado, clasificado

si se efectuaran los proce-
i se conociera con exacti-
ra que se calculara sobre

esta base, el peso real del café pergamino seco que se va a obtener. No obstante, se han presentado muchas dificultades; el caficultor normalmente recibe un pago inadecuado y se han deteriorado grandes cantidades debido a las demoras excesivas, antes de que se de inicio al secado del café.

Un estudio realizado en Santa Rosa de Cabal en 1986, por parte del Comité de Cafeteros de Risaralda y la Subgerencia General Técnica de la Federación de Cafeteros indicó que las causas de deterioro de la calidad en taza detectadas en esa región, estaban relacionadas con el hecho de que el 63% esperaban para lavarlo más de dos días después de terminar el proceso de fermentación.

Es corriente en éste método de comercialización, que se le pague al caficultor el valor del café pergamino seco estimado según el café lavado considerado. El factor utilizado que impone el vendedor es que el **café pergamino seco pesa la mitad** que el café pergamino lavado. En la Tabla 52 se presentan los cálculos para determinar el resultado real de la comercialización del café lavado, asumiendo diferentes valores de humedad que el café posee en el momento de efectuarse la transacción.

Para los valores de humedad que el café normalmente debe poseer (52 y 48% de humedad, en base húmeda), el caficultor pierde si se asume que la mitad de su café lavado va a convertirse en café pergamino seco, entre el 8 y el 17% del peso de su café. Si el caficultor vende su café con un valor del 40%, o sea, seco de agua, pierde el 34,8% de su producto. De otro lado, si el café está más húmedo de lo normal, por ejemplo con 56%, el caficultor puede ganar el 1,1% en la transacción.

Los valores correspondientes a la primera fila (contenido de humedad del café durante la transacción) y la última fila (porcentaje del **valor que pierda, o gana**) se presentan en la Figura 116.

Además, como es práctica común indeseable que el caficultor guarde su café durante varios días, acumulándolo hasta una semana antes de venderlo, sus pérdidas aumentan considerablemente por el deterioro y por los sólidos que se consumen durante la respiración del grano.

Tabla 52. Pérdidas o ganancias por comercialización del café lavado*.

Humedad Inicial, b.h. %	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
Humedad final, b.h. (%)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Masa inicial producto (g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pago según mitad del peso (g)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Materia seca al inicio y al final (g)	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42
Masa agua final (g)	7,4	7,2	6,9	6,7	6,4	6,2	5,9	5,7	5,4	5,2
Masa final producto (g)	67,4	65,2	62,9	60,7	58,4	56,2	53,9	51,7	49,4	47,2
Relación masa final / masa pagada	1,35	1,30	1,26	1,21	1,17	1,12	1,08	1,03	0,99	0,94
Pérdida en venta (%)	34,8	30,3	25,8	21,3	16,9	12,4	7,9	3,4	-1,1	-5,6

* Se asume que el café pergamino seco es un 50% en peso del café lavado.

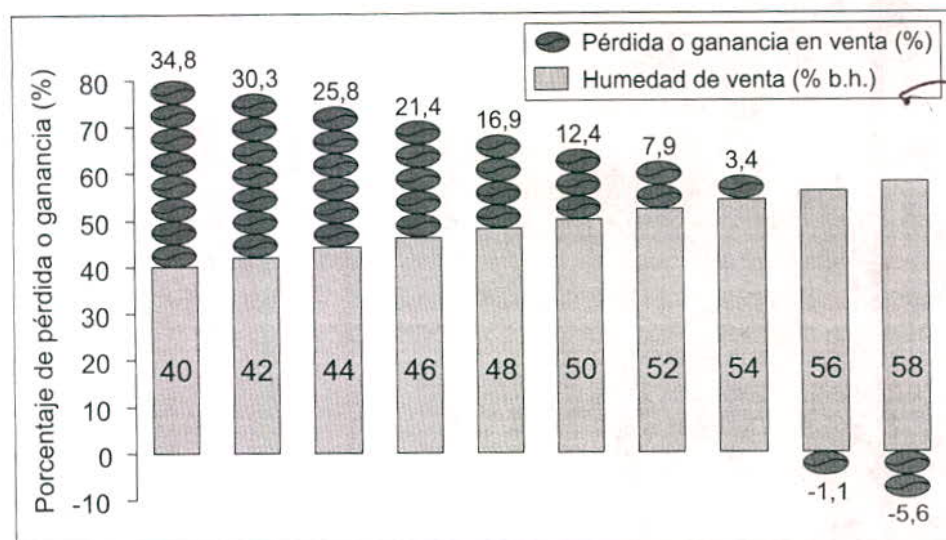


Figura 116. Pérdida o ganancia en la venta del café lavado, al recibir la mitad del peso como equivalente a café pergamino seco.

A pesar de que ocurren éstas pérdidas grandes para el caficultor, la mayor pérdida la tiene el país productor, porque mediante este proceso es común que el café no se seque antes de 48 horas de iniciada la fermentación, cuando la calidad de la bebida se empieza a deteriorar aceleradamente (93), obteniéndose café no apto para la exportación.

5.4. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PESO POR LA PERMANENCIA DEL CAFÉ HÚMEDO

El café es un fruto perecedero en el que ocurren después de la maduración completa y aún en el árbol, procesos fisiológicos de degradaciones escalonadas.

También en el proceso del beneficio del café se pueden ejecutar labores de larga duración, en donde el grano de café permanece bajo condiciones de humedad alta, causándose pérdidas finales de calidad y de peso.

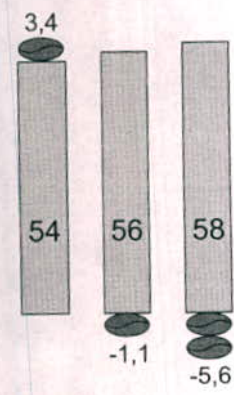
5.4.1. Revisión de literatura

Sivetz y Foote, citados por Vásquez e Hidalgo (179) afirman que las pérdidas de peso en el grano de café se deben al metabolismo normal y a la respiración, formándose productos volátiles, CO_2 , agua y el lavado de los sólidos. Además, pérdidas de peso de 1,94% en café que ha sido sometido a un tiempo de espera de 18 horas antes de iniciar su secado.

Vásquez y Montero (180) registran pérdidas de materia seca en peso de 0,56%, en café húmedo que ha sido demorado 12 horas para iniciar su secado.

238

anancia en venta (%)
e venta (% b.h.)



idad del peso como equiva-

iltor, la mayor pérdida
omún que el café no se
la calidad de la bebida
e no apto para la

E PESO
MEDO

la maduración comple-
escalonadas.

ecutar labores de larga
iones de humedad alta,

ian que las pérdidas de
la respiración, formán-
s. Además, pérdidas de
de espera de 18 horas

ca en peso de 0,56%, en
u secado.

Vásquez e Hidalgo (179) encontraron pérdidas de peso de 1,94% en café sometido a un tiempo de espera de 18 horas, antes de iniciar su secado.

Boyce (26), pérdidas de 3,9%, Coste (54) del 2% y Barbosa (21) pérdidas de peso de 0,02% por hora de fermentación,

Carbonel y Vilanoba (31) pérdidas de peso de hasta 19% durante la fermentación, (Tabla 53)

Varios autores, citados por Boyce (26), encontraron pérdidas de peso durante el proceso de fermentación, (Tabla 54).

5.4.2. Ensayos experimentales sobre pérdida de peso

En el año de 1990 se realizaron en Cenicafe (8) tres pruebas sobre la fermentación del café despulpado sin agua en condiciones ambientales y bajo condiciones de temperatura controlada a 30°C con el propósito de estudiar las variables que rigen el proceso como, la temperatura del grano, su pH, los sólidos solubles, las pérdidas de peso y el tiempo de fermentación. Así mismo, se estudió la influencia del ácido cítrico y del azúcar en el proceso de fermentación y la influencia de distintos recipientes y alturas de capas en función del tiempo, el porcentaje de fermentación y las temperaturas del grano y del ambiente.

Para cada una de las tres pruebas se tomaron muestras de café de 5kg provenientes de despulpado sin agua, distribuidas en bolsas plásticas para cada período de fermentación considerado: 0, 4, 8, 12, 16, 20 y 22 horas.

Tabla 53. Pérdidas de peso del café durante el proceso de fermentación según Carbonel y Vilanoba (32).

Tiempo de fermentación (horas)	Pérdida de peso (%)
20	1,7
24	2,0
28	5,6
44	9,0
12 - 60	2,5- 3,5

Tabla 54. Pérdidas de peso del café durante el proceso de fermentación según Boyce (27).

Autor	Pérdida de peso (%)
Jones and Baker	3,9
Banel	3,0
Welleman	3,0
Foote	2,8
Foote	5,6 (bajo agua)

Se observó el siguiente comportamiento con referencia al proceso de fermentación del mucílago: a las doce horas de iniciado el proceso la eficacia de solubilidad del mucílago es del 98% y está indicada por el buen lavado del grano. La ausencia de agua en el despulpado aceleró el proceso de fermentación pues a las primeras cuatro horas de iniciado se observó el 88% de solubilización del mucílago.

El tratamiento de fermentación natural mostró porcentajes de **pérdidas de materia seca** en el rango 0,23 y 0,46 durante las primeras 16 horas; a las 20 horas se registró una pérdida de 1,76%.

5.5. MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO CEREZA/PERGAMINO

5.5.1. Método CERPER

Se han utilizado tradicionalmente dos métodos en la comercialización del café cereza, para determinar el rendimiento: uno por vía húmeda y el otro por vía seca; el método de la vía húmeda es el más utilizado.

En el proceso por vía húmeda se toman 1.000g de una muestra del lote de cereza, se sumergen en agua para separar el material que flota del que se sedimenta. De los flotes se considera como café bueno el 50% de los frutos con apariencia normal, asumiendo que poseen una almendra sana y otra vana. El peso de los frutos verdes, secos y enfermos extraídos manualmente del material sedimentado, se suma al peso de la pasilla del material flotante para totalizar el porcentaje de pasilla. Con este valor y mediante una tabla desarrollada empíricamente, se encuentra el factor de conversión de café cereza a café pergamino seco.

5.5.1.1. El método CERPER original

La metodología CERPER (relación cereza / pergamino) (79) consiste en determinar dicha relación en muestras de lotes de café cereza sometidas a un beneficio rápido (aproximadamente media hora), basado en el despulpado sin agua, el desmucilaginado mecánico del café realizado en un desmucilaginador de laboratorio, y en la determinación del contenido de materia seca de la muestra de café lavado utilizando el determinador de humedad directo, CENICAFÉ MH-2 (Sección 4. 2.).

La determinación de las pasillas se realiza después de despulpar la muestra, separando los granos guayabas, mediacaras, verdes, y los flotes y espumas obtenidos en el lavado de la muestra de café. Se determina entonces el peso del café lavado y el contenido de pasillas de la muestra.

El procedimiento físico utilizado es el siguiente (Figura 117): Se despulpa la muestra de café cereza sin agua en una despulpadora de laboratorio de cilindro horizontal No. 1-1/2, calibrada adecuadamente para cumplir las normas ICONTEC (85) de

ceso de fermentación
cia de solubilidad del
grano. La ausencia de
i pues a las primeras
del mucílago.

pérdidas de materia
as; a las 20 horas se

PERGAMINO

alización del café cere-
el otro por vía seca; el

stra del lote de cereza,
ie se sedimenta. De los
on apariencia normal,
so los frutos verdes,
dimentado, se suma al
centaje de pasilla. Con
; se encuentra el factor

9) consiste en determi-
metidas a un beneficio
spulpado sin agua, el
ilaginador de laborato-
de la muestra de café
ICAFÉ MH-2 (Sección

ulpar la muestra, sepa-
es y espumas obtenidos
del café lavado y

7): Se despulpa la mues-
io de cilindro horizontal
mas ICONTEC (85) de

calidad del despulpado. El café en baba se tamiza en una zaranda plana de lámina troquelada con perforaciones oblongas de 7-8mm de ancho, para separar el café guayaba, el mediacara y el verde. La pasilla separada se pesa para determinar el porcentaje en la muestra.

El café lavado y sin espumas se escurre en un recipiente con malla durante un minuto; luego se pesa y se extraen dos muestras de 100g. Una muestra se utiliza para determinar el contenido de humedad utilizando el medidor de humedad CENI-CAFÉ MH-2. Con el peso del café lavado de la otra muestra y el contenido de humedad del mismo, se calcula el peso del café pergamino seco al 11% en base húmeda, para luego establecer su rendimiento, relacionando la muestra de cereza inicial y el café pergamino seco calculado al 11%.

En la Figura 118 se observan los **rendimientos** determinados utilizando el método CERPER, aquellos calculados por los métodos tradicionales comparados con el rendimiento real obtenido del beneficio del café, realizado tal como se efectúa comercialmente. La línea recta representa el comportamiento ideal, cuando el rendimiento estimado por la metodología es igual al rendimiento real encontrado al beneficiar el café comercialmente. Se demuestra que el método CERPER se ajusta más a la realidad.

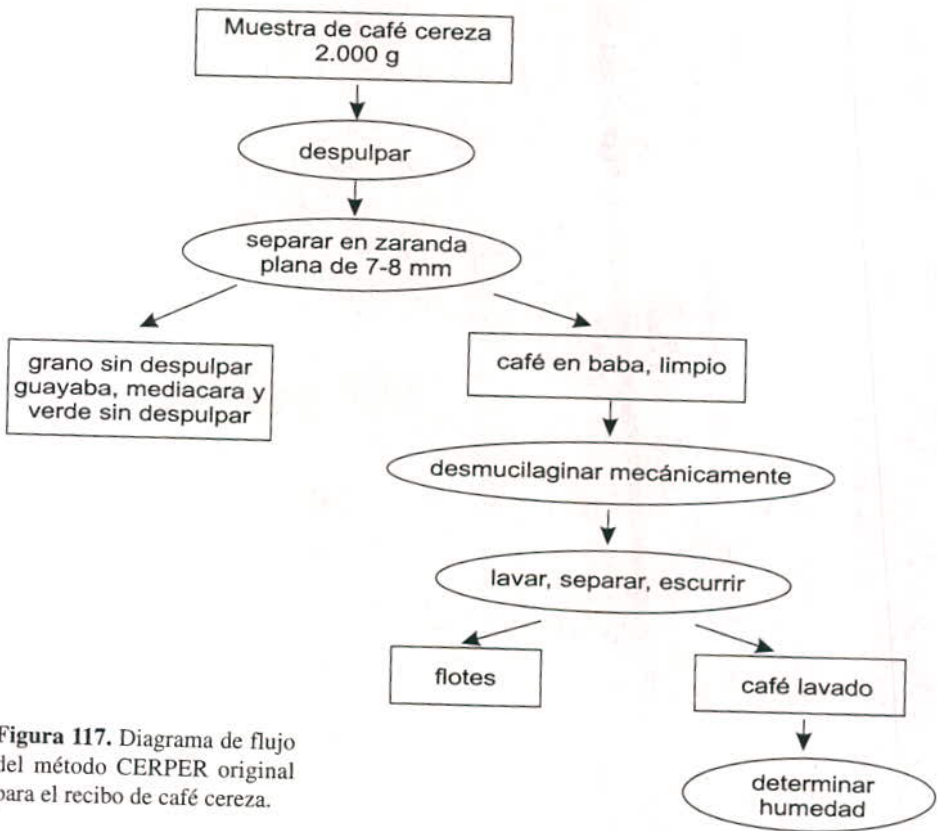


Figura 117. Diagrama de flujo del método CERPER original para el recibo de café cereza.

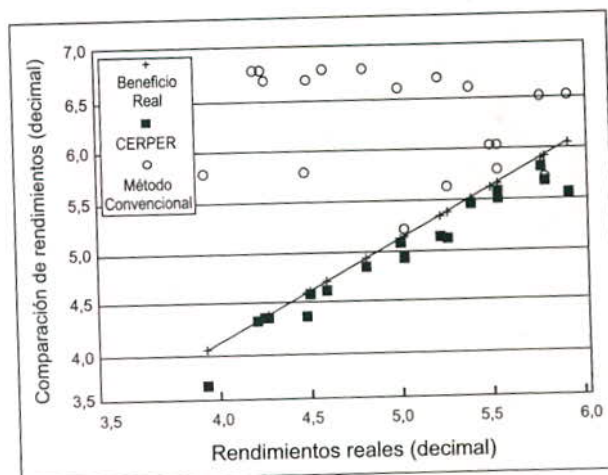


Figura 118. Valores de rendimientos determinados por los métodos de vía húmeda, vía seca y el método CERPER original, comparados con el rendimiento real.

5.5.1.2. Método CERPER modificado

La metodología CERPER fue modificada teniendo en cuenta las condiciones particulares del beneficio utilizado en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, que se efectúa en base a los desmucilaginosadores mecánicos y a la presencia de los granos brocados (no existentes cuando se desarrolló la metodología del CERPER original). Estas consideraciones modifican significativamente el porcentaje de las pasillas y por tanto, el rendimiento en la conversión. La principal modificación consistió en determinar las pasillas después del desmucilaginado y no después del despulpado, en consideración a que el desmucilaginado modifica la calidad física de los granos. Para esto se separaron de la muestra de café desmucilaginado las pasillas, conformadas por los granos mediacara, frutos pequeños maduros y verdes sin despulpar y granos resacos pequeños, que representan aproximadamente la mitad de los valores reportados por el método CERPER original (8). Así mismo, el método CERPER modificado se calibró para estimar los daños por infestación de la broca del café. El desarrollo de la metodología se efectuó directamente en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma (CBEA).

En el método CERPER modificado se despulpa la muestra sin agua (Figuras 119 y 120), con despulpadora de cilindro horizontal No 1-1/2, debidamente calibrada para que cumpla con las Norma ICONTEC (85) sobre calidad del despulpado. El café se somete a desmucilaginado y luego se separan las pasillas manualmente, luego se lava la muestra de café y se extraen los flotes y espumas que se agregan a las pasillas resultantes. Se pesa el café y se sacan dos muestras de café lavado y escurrido, para determinar su humedad, utilizando el MH-2 (medidor de humedad diseñado por Cenicafé).

Una vez obtenido el peso del café lavado y su contenido de humedad, se calcula el peso final del café pergamino seco al 11% en base húmeda y se establece el rendimiento del café pergamino seco Tipo Federación obtenido.

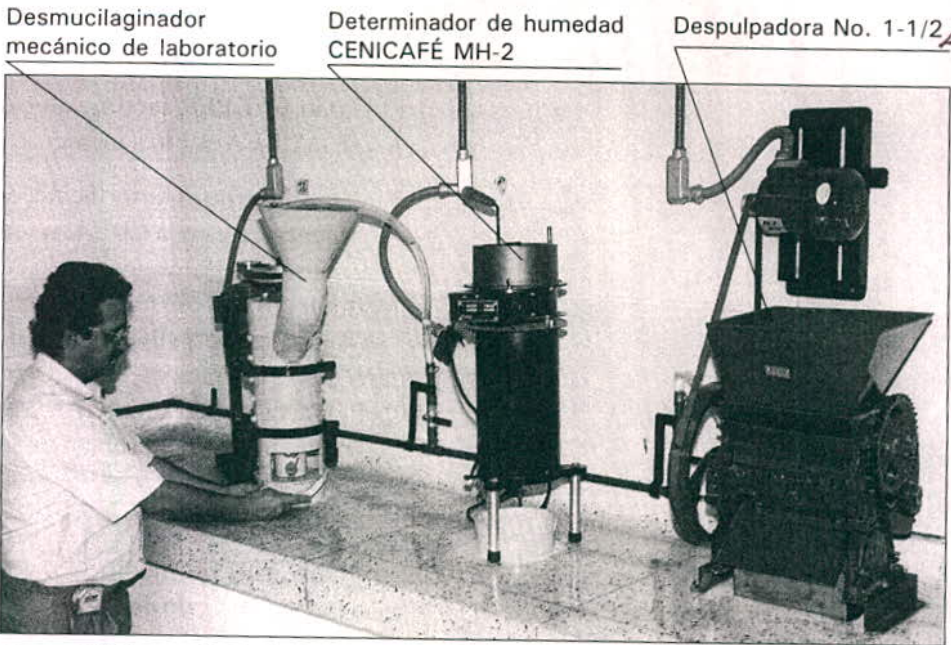


Figura 119. Desmucilaginador, Determinador de Humedad MH-2, Despulpadora. (Elementos del método CERPER modificado, Anserma, Caldas).

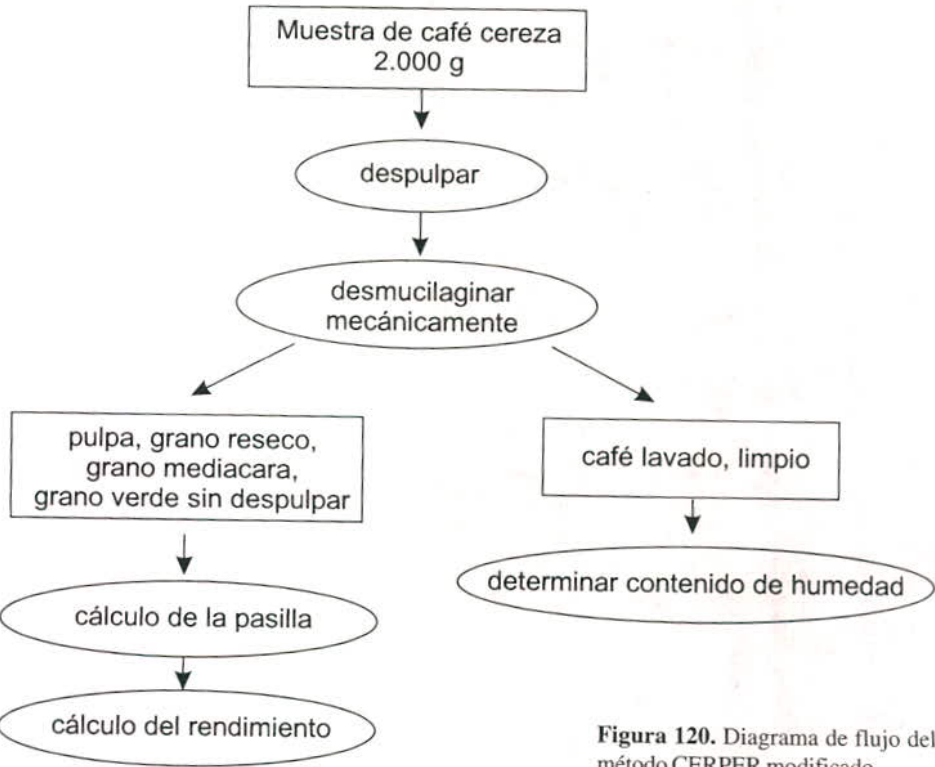


Figura 120. Diagrama de flujo del método CERPER modificado.

5.5.1.3. Método CERPER comercial en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma

Para confirmar la veracidad de predicción del método CERPER modificado se compararon los rendimientos de los cafés recibidos en la CBEA por tres métodos:

El método CERPER **modificado**, en la forma como fue descrito anteriormente; el **beneficio real**, tomando la muestra como se procesa realmente en la CBEA, o sea que el café desmucilaginado se seca mecánicamente hasta el 11% de contenido de humedad. Se mide su peso seco y se calcula el rendimiento real obtenido del café cereza procesado, al cual se le realiza el análisis de calidad en pergamino y almen-dra para llevarlo al peso seco de café pergamino Tipo Federación. El **método convencional**, vía **húmeda** utilizado por la Cooperativa, en el cual se determina el porcentaje de pasilla de la masa de café cereza total recibida, se calcula el factor de conversión según la tabla para recibo por vía húmeda y se obtiene el peso seco de café pergamino tipo Federación, encontrando el rendimiento de café respectivo.

Al observar los resultados en la Figura 121, los métodos CERPER modificado y el beneficio real, presentan una alta correlación que indica lo adecuado del método en la aplicación comercial. El 63,1% de las estimaciones están en el rango de rendimiento entre 4 - 5, el 26,3% en el rango de rendimiento entre 5-5,5 y solo un 10,5% en un rango de rendimiento mayor al 5,5, situación que dice de su bondad y aplicabilidad del método CERPER modificado en la CBEA.

Con relación al método de la vía húmeda se observa que el 63% de las estimaciones en el rendimiento se hallan en el rango de 5,5-6,5 y un porcentaje alto (36,8%) en un rango mayor a 6,5 lo cual indica que el método de la cooperativa estima por defecto la cantidad de café pergamino seco por parte del caficultor.

El pago que se le ofrece al caficultor sobre el café cereza que él entrega, se calcula según el café pergamino seco estimado; **una imprecisión al determinar el rendimiento** se refleja directamente de forma que por cada décima (punto decimal) en que difieran el rendimiento real y el rendimiento de compra estimado, se pierde o gana en promedio el 2,08% del café pergamino seco (79).

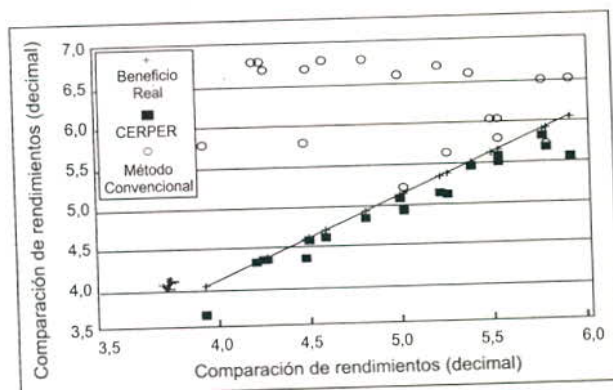


Figura 121. Comparación de rendimientos reales y estimados por dos métodos de cálculo evaluados en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma.

ER modificado se
por tres métodos:

o anteriormente; el
en la CBEA, o sea
% de contenido de
obtenido del café
orgamino y almen-
ación. El método
al se determina el
calcula el factor de
ne el peso seco de
café respectivo.

R modificado y el
ado del método en
el rango de rendi-
5 y solo un 10,5%
e de su bondad y

e las estimaciones
je alto (36,8%) en
rativa estima por
or.

ntrega, se calcula
erminar el rendi-
unto decimal) en
mado, se pierde o

21. Comparación de
tos reales y estimados
itodos de cálculo eva-
a Central de Beneficio
de Anserma.

CAPÍTULO

Lombricultura con Subproductos del Café



LOMBRICULTURA CON SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ 45, 46

La lombricultura consiste en el cultivo intensivo de la lombriz roja *Eisenia foetida* en residuos orgánicos (62), sistema con el cual se pueden manejar adecuadamente los subproductos del beneficio de café (pulpa y mucílago). En Cenicafé se han venido desarrollando investigaciones con el fin de evitar y controlar la contaminación ocasionada por estos subproductos.

Las recomendaciones prácticas que se presentan en ésta sección, sobre la construcción de la infraestructura, manejo de la pulpa, del mucílago y del lombricultivo, se obtuvieron principalmente de la experiencia de Cenicafé en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas, en trabajo comunitario con la Cooperativa de Caficultores de Anserma y dos firmas comerciales, BIOAGRO de Colombia, Risaralda y Lombricultura MI JARDÍN, Risaralda (59).

6.1. INFRAESTRUCTURA.

6.1.1. Área necesaria

La pulpa generada por una finca que produce 12,5 ton (1.000@) de café pergamino seco al año (aproximadamente 25ton de pulpa fresca), se puede manejar en un área efectiva de 25m² de lombricultivo, trabajando con una densidad de lombriz pura de 5kg/m². Es decir, se puede manejar alrededor de una tonelada de pulpa por metro cuadrado al año (44, 59).

6.1.2. Camas o lechos

Las camas o lechos (Figuras 122 y 125), donde se realiza el proceso de lombricultivo pueden ser fabricadas con esterilla, guadua o ladrillo. Se construyen de 1m de ancho y de longitud, según la disponibilidad del terreno; en general, se acostumbran módulos de 2 a 3m de largo. La altura de la cama más usual es de 40cm. El espacio entre camas puede ser de 50cm.

⁴⁵ Preparado por Dávila A., M. T. Química Industrial y Ramírez G., C.A. Ingeniería Agrícola. Cenicafé.

⁴⁶ Las recomendaciones para el establecimiento y operación del lombricultivo presentadas en este capítulo son el resultado de las evaluaciones científicas realizadas en la Central de Anserma (Sección 3.19.3.5.) (59).

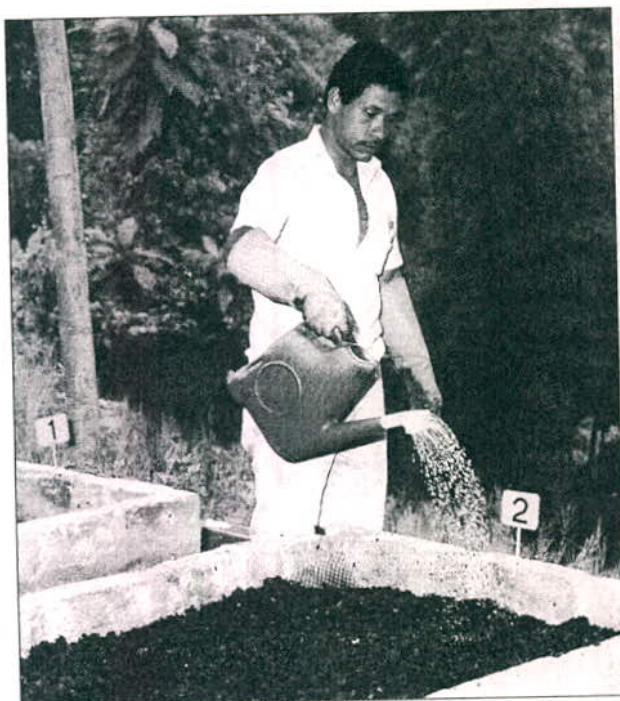


Figura 122. Lechos del lombricultivo irrigados con aguas residuales no controladas en el beneficio de café.

6.1.3. Pisos

En el interior de las camas se recomienda piso de cemento, tela plástica, esterilla o algún material que permita aislar el cultivo del suelo para evitar el ataque de posibles plagas (planarias, sanguijuelas y hormigas). El piso debe construirse con una pendiente entre el 2 y el 5% para evitar la inundación de la cama cuando se utiliza riego.

6.1.4. Techos

El techo es indispensable porque evita que las lluvias laven la pulpa y el mucílago, perdiéndose el control sobre la contaminación. Además, proporciona sombra y mejores condiciones para el trabajo de la lombriz. También facilita la manipulación de los materiales (pulpa, lombricompuesto y lombrices). Puede construirse en teja de cartón o de zinc, a una altura de 2,50 a 3m.

6.1.5. Cerramiento

Es conveniente cerrar la caseta con polisombra o malla para evitar la entrada de aves y otros depredadores de la lombriz.

6.1.6. Siembra de la lombriz

La velocidad de transformación de la pulpa depende de la cantidad de lombrices; cuando se desea un proceso rápido, se puede utilizar una densidad de lombrices

alta: alrededor de 5kg de lombriz pura/m² (63), que corresponde aproximadamente entre 20 y 25kg de lombriz mezclada con sustrato (conocida como lombriz comercial).

Debido a que la lombriz roja es un animal muy prolífico, no es conveniente empezar el lombricultivo con la cantidad total de lombriz necesaria; preferiblemente se aconseja multiplicarla en la propia finca. Para el caso de una finca de 12,5 ton (1.000@) se necesitarían en total 125kg de lombriz pura (aproximadamente 625kg de lombriz comercial). Si el lombricultivo se inicia con un **20% de la cantidad total de lombriz necesaria** (25kg de lombriz pura, es decir 125kg de lombriz comercial), en **dos años ya se puede tener el tamaño necesario de lombricultivo** para manejar toda la pulpa de la finca.

6.2. SISTEMA DE SIEMBRA

El lombricultivo se inicia depositando el pie de cría en las camas, asegurándose que esta capa inicial sea aproximadamente de 10 a 15cm; para completar esta altura se puede depositar en el fondo de la cama, pulpa descompuesta y luego colocar encima el pie de cría. Así se asegura que la lombriz roja disponga de un medio para refugiarse, si las condiciones del alimento no son adecuadas.

Para conocer la cantidad de lombriz pura inicial depositada, es conveniente hacer un **muestreo** (44) así: se pesa todo el sustrato con lombriz, se toman tres muestras de un kilogramo de cada cama, se colocan a la luz sobre un plástico hasta observar que las lombrices se concentran en el fondo; luego se pesan las lombrices de cada muestra y se calcula un promedio por kilogramo. Como se conoce el peso total del sustrato, se multiplica por este valor para conocer el peso inicial de lombriz pura. Después de realizada la siembra se continúa alimentando periódicamente.

6.3 MANEJO DEL LOMBRICULTIVO

6.3.1. Sustrato alimenticio

Se puede utilizar pulpa de café sola, obtenida por un beneficio tradicional o mezclada con mucílago; esta última proveniente de beneficiaderos que utilicen despulpado sin agua, desmucilaginado mecánico y mezcla de los dos subproductos por medio de un tornillo sinfín.

En lombricultivos alimentados con este último sustrato y remojados con agua de lavado de café, se han observado mayores incrementos en peso de lombrices, mayores tasas de consumo y mayores rendimientos en la conversión de pulpa en lombricompuesto que en aquellos alimentados con pulpa sola y remojados con agua limpia (43, 144).

2117

Debe tenerse precaución con el uso de sustratos contaminados, como la pulpa tratada con insecticidas químicos para el control de la broca del café; en este caso es necesario esperar por lo menos 15 días para llevarla al lombricultivo (58).

6.3.2. Almacenamiento temporal del sustrato.

Para mantener el lombricultivo con alimentación constante se debe tener una fosa cubierta (Figura 123) que permita la disponibilidad de pulpa en las épocas fuera de cosecha de café. La **capacidad de la fosa** depende de la distribución de la cosecha y del volumen de producción deseada. Para la máxima capacidad se debe almacenar toda la pulpa producida en la cosecha principal y se debe consumir completamente antes del inicio de la cosecha principal del año siguiente. El lombricultivo puede alimentarse con pulpa hasta de una semana, que no esté caliente, pero es más práctico utilizar la que tiene mayor tiempo de almacenamiento en la fosa.

6.3.3. Sistema de alimentación

Se utilizan capas delgadas de alimento (máximo 4 cm), para evitar el calentamiento de éste cuando se usa muy fresco y facilitar la aireación del cultivo, asegurar la transformación del material y mantener las lombrices alimentándose en la parte superior (62). Se ha observado que es posible estimular la reproducción utilizando el cambio de alimentación o la mezcla de pulpa con otros residuos disponibles en la finca, como estiércol de diferentes especies animales (vacuno, porcino, equino) o residuos de otros cultivos.

6.3.4. Frecuencia y cantidad de alimento

Se puede alimentar **una o dos veces por semana**, dependiendo de la densidad de lombrices y el tipo de alimento. En Cenicafé se acostumbra efectuar la alimentación con pulpa de café, una vez por semana. La cantidad de alimento está relacionada



Figura 123. Almacenamiento de pulpa mezclada con mucílago de café en la fosa cubierta, materia prima para el lombricultivo en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.

208

208

nados, como la pulpa del café; en este caso lombricultivo (58).

se debe tener una fosa en las épocas fuera de la cosecha para la disposición de la cosecha. La cantidad se debe almacenar y consumir completamente. El lombricultivo debe estar caliente, pero es importante el manejo en la fosa.

evitar el calentamiento del cultivo, asegurar la ventilación en la parte superior de la producción utilizando los materiales disponibles en la zona (como, porcino, equino) o

dependiendo de la densidad de la cama, se debe efectuar la alimentación. El manejo está relacionada

Figura 123. Almacenamiento de la pulpa mezclada con mucílago de café en la fosa cubierta, materia prima para el lombricultivo en la Central de Beneficio Ecológico Anserma, Caldas.

directamente con el consumo por parte de la lombriz; considerando que se han observado consumos equivalentes a la mitad del peso de lombrices por día (42), camas con 5kg de lombriz pura/m² se deben alimentar con una cantidad de 17 a 20kg de pulpa, aproximadamente. Es altamente recomendable llevar registros de la alimentación y del funcionamiento general del lombricultivo.

El alimento se prepara antes de llevarlo a las camas de lombrices, remojándolo si es necesario hasta que, estando totalmente humedecido, no drene. Esto corresponde aproximadamente a un rango de 80 a 85% de humedad. También se deben **remojarse** las camas para conservar esta humedad; este riego puede hacerse preferiblemente con aguas residuales del beneficio. Dependiendo de las condiciones ambientales y del espesor de la capa de sustrato con lombrices puede hacerse un riego de máximo 1L/m²-día, pero es preciso observar que no ocurra inundación (44) (Figura 122).

De acuerdo con estudios realizados, la contaminación total controlada en el proceso BECOLSUB con la utilización adecuada de la pulpa en lombricultivos, más la práctica de adicionarle mucílago concentrado a la pulpa y con los riegos de los lombricultivos con parte de las aguas de lavado, puede estimarse en un 92% (43, 144).

6.4. RECOLECCIÓN DE LOS PRODUCTOS

La separación de la lombriz (Figuras 124 y 125) y la cosecha del lombricompost (Figura 108) se puede hacer dos o tres veces al año, dependiendo de la velocidad de descomposición de la pulpa. Cuando el sustrato llega a la altura máxima de la cama se **suspende la alimentación** y el riego durante una semana, para obligar a las lombrices a consumir todo el material que no se ha transformado; a la semana siguiente se extiende una malla plástica sobre la cama y se alimenta de nuevo; una semana después se retira la malla con la capa superior donde ha subido la lombriz.



Figura 124. Lombrices en preparación para la recolección en el lombricultivo.

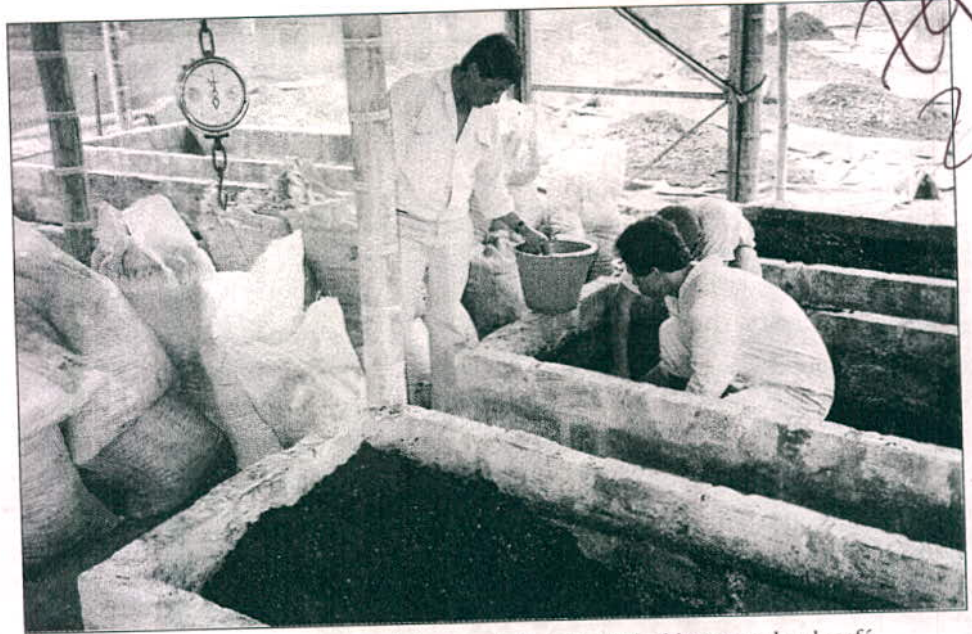


Figura 125. Recolección del abono orgánico, resultado del lombricultivo con pulpa de café.

Dependiendo de la cantidad de lombrices puede ser necesario repetir esta operación hasta tres veces (44).

6.4.1. Incremento de lombrices. Secado solar

Para conocer la cantidad de lombrices separadas, se realiza un muestreo en la misma forma como se indicó para conocer el peso inicial, cada vez que se retira la malla con sustrato y lombrices. Se puede entonces calcular el incremento en el peso de lombrices así: $(\text{peso final de lombrices} - \text{peso inicial de lombrices}) / \text{peso inicial}$ expresado en porcentaje (44).

Las lombrices separadas se utilizan para ampliar el cultivo, como pie de cría para nuevos lombricultivos o como fuente de proteína para alimentación animal (72, 148).

Al terminar la separación de las lombrices se procede a retirar el lombricompuesto de la parte inferior de la cama, el cual puede utilizarse con la humedad que se obtiene (alrededor del 80%) o rebajarle la humedad hasta máximo el 50%, con la cual usualmente se comercializa (44). Para esto se pueden utilizar secadores solares, como el tipo parabólico usado para secar café (Sección 4.6.2.), construido en guadua y plástico mediante estructuras mejoradas por Cenicafé (Figura 126).



con pulpa de café.

repetir esta operación

za un muestreo en la
da vez que se retira la
incremento en el peso
lombrices)/peso inicial

como pie de cría para
mentación animal (72,

ar el lombricompuesto
on la humedad que se
ráximo el 50%, con la
tilizar secadores sola-
2.), construido en
ale (Figura 126).



Figura 126. Secado del abono orgánico en un Secador Solar Parabólico.

6.4.2. Rendimiento en la producción de lombricompuesto

El rendimiento en la producción del lombricompuesto húmedo (aproximadamente el 80% de humedad), se puede calcular así: (Cantidad de lombricompuesto retirado - cantidad de lombricompuesto con el pie de cría)/cantidad de pulpa utilizada expresada en porcentaje (44).

En general, los rendimientos en la producción de lombricompuesto se ubican en el rango de 35 a 40% en base húmeda (42, 43, 44, 59). Para una finca de 12,5 ton (1.000@) de café pergamino seco al año (aproximadamente 25ton de pulpa/año), se puede tener una producción de unas 9 ton de lombricompuesto húmedo fresco al año.

El lombricompuesto obtenido se utiliza como abono en huertas, viveros, etc. (72). En Cenicafe se ha encontrado que la mezcla de una parte de lombricompuesto con tres partes de suelo es la más adecuada para la preparación de almácigos de café (162).

De acuerdo con estudios preliminares adelantados por expertos que evalúan económicamente el programa de beneficio ecológico del café, se ha demostrado la rentabilidad de incluir el sistema de lombricultura para el manejo de los subproductos (23) (Capítulo 7).

CAPÍTULO 7

Rentabilidad del Beneficio Ecológico

Características Económico-Financieras

Nombre	Valor	Unidades
AñosInvers	5	(Años)
CostoAgua	50	(\$)
CostoKWH	70	(\$/KWH)
CostoCont	20	(\$/kgCC)
CostoLOMB	50	(\$/KgLomb)
CostoMO	4.000	(\$/Jornal)
Depréciat	0,1	(decimal)
DTF	0,27	(decimal)

Nombre	Valor	Unidades
Intereses	0,3	(decimal)
PrecioCPS	31.025	(\$/@CPS)
PrecioLomb	1.000	(\$/@Lomb)
TasaAMOEM	0,15	(decimal)
TasaDesc	0,34	(decimal)
TasaMant	0,04	(decimal)
TasaSubs	0	(decimal)
VidaUtil	10	(Años)

Efectuar Analisis

Glosario

Ayuda

Salir

7 RENTABILIDAD DEL BENEFICIO ECOLÓGICO ⁴⁷

7.1. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA TECNOLOGÍA NO CONTAMINANTE

Los proyectos de descontaminación de las aguas en países en desarrollo en forma general, o no se realizan, o se ejecutan parcialmente y con muchas demoras. Los costos de los proyectos se consideran muy altos y el agente que contamina normalmente no acepta su compromiso de mantener inalterado el medio ambiente. Las leyes del estado, aunque existen, la mayoría de las veces o no se aplican o no se ejecutan con el rigor necesario.

La tecnología BECOLSUB hace innecesarias las labores de descontaminación de las aguas que se contaminaban por utilizar las técnicas tradicionales de beneficio, porque simplemente no se contaminan, o esto ocurre en menos del 10%, con relación a las tecnologías convencionales.

Es muy poco frecuente encontrar soluciones para mantener la calidad del medio ambiente sin efectuar grandes inversiones y menos común, que la solución a la contaminación genere utilidades, como las demostradas en este estudio.

En efecto, en la tecnología BECOLSUB, se hacen inversiones relativamente pequeñas y se obtienen ventajas adicionales por el valor que representa el lombricompuesto y la proteína animal de la lombriz, de gran uso real y potencial para muchas fincas, y lo que es más importante, porque se evitan pérdidas físicas de café del orden del 4,5%, pérdidas que tradicionalmente se han aceptado como un desperdicio necesario para obtener café pergamino de excelente calidad.

En particular, la adopción del beneficio no contaminante del café presenta un gran número de ventajas físicas, que pueden cuantificarse en ventajas económicas por las siguientes razones:

- Debido a la reducción del consumo de agua de 40 a aproximadamente 0,6L/kg de cps.

⁴⁷ Preparado por Roa M., G. Ingeniería Agrícola, CENICAFÉ.

- Por el mejoramiento de la calidad del agua para el consumo humano y el consumo animal.
- Por la eliminación de la necesidad de pagar multas al gobierno por la contaminación de las aguas.
- Por el valor del lombricompuesto obtenido con un sustrato enriquecido, y más abundante, que a su vez genera mayores rendimientos de lombricompuesto en menor tiempo. Así mismo, por la facilidad del manejo manual del lombricompuesto que pesa menos, no se aglomera, y no genera olores indeseables.
- Por la mayor durabilidad de las estructuras civiles para manejar la pulpa sin exceso de agua.
- Por la reducción de las pérdidas de materia seca que son del orden del 1,5% por evitar la respiración y la lixiviación en los tanques de fermentación y del 3% por la transformación de aproximadamente el 60% de los granos pasillas, (media cara y guayaba) a café Tipo Federación.
- Por la disminución de la mano de obra en el proceso global.
- Debido a la disminución de las obras de infraestructura necesarias para el beneficio.
- Por el carácter portátil del sistema.

7.2. GENERALIDADES SOBRE LAS EVALUACIONES ECONÓMICAS DE INVERSIONES

Una de las características de las Ingenierías, que las identifica claramente dentro de otras áreas de la actividad humana, es que los resultados de sus aplicaciones modifican el ambiente que los seres comparten.

Siempre existe un riesgo de que las obras de ingeniería que se realicen, a pesar de los análisis efectuados que les antecedieron, resulten en equivocaciones, porque el futuro no se puede predecir con exactitud. La **teoría de costos** permite considerar las posibles mejores alternativas tecnológicas, para tomar las decisiones apropiadas, disminuyendo al máximo los riesgos involucrados.

La evaluación económica de proyectos es muy general porque se puede aplicar a todos los conceptos de la vida real, en donde se invierte dinero. El concepto de la evaluación económica de la inversión es inherente a toda posibilidad de modificación del ambiente por parte de cualquier obra de ingeniería.

La **ingeniería económica** es una área de estudio técnico que colabora para que se tomen las mejores decisiones y se define como: "el estudio del conjunto de conceptos y técnicas cuantitativas de análisis, útiles para la evaluación y com-

paración económica de alternativas relativas a sistemas, productos, servicios, recursos, inversiones, equipos, etc., para lograr decisiones que seleccionen la mejor o mejores posibilidades entre las que se tienen en consideración”.

El tema no es solamente estudiado por los ingenieros, sino por economistas, contadores, banqueros, financieros, administradores, inversionistas, etc. El nombre de Ingeniería Económica, como se ha definido también se conoce como los nombres de **matemáticas financieras, ingeniería de proyectos, análisis de inversiones, evaluación financiera de proyectos, evaluación socioeconómica de proyectos, estudios de factibilidad, planes de negocio**, según el área de conocimiento de donde provengan los estudios.

De las varias propuestas tecnológicas que los ingenieros presenten solo son posibles, aquellas consideradas **económicamente viables**. Además, deben cumplir con otros compromisos de carácter social o de conveniencia política, para que finalmente sean ejecutadas.

Cuando no se efectúan con buen juicio los análisis económicos de las inversiones y se construyen las obras, o se modifican o sustituyen los equipos de alguna empresa, después de algún tiempo, normalmente se demuestra con los resultados reales funestos, el real resultado económico de la decisión tomada.

Así como el ingeniero utiliza los conceptos matemáticos para el diseño, cálculo de las obras y de los equipos, es muy conveniente que el propio ingeniero utilice las mismas herramientas matemáticas para efectuar el análisis económico correspondiente para indagar sobre la factibilidad económica de su propuesta. En general, las matemáticas necesarias para efectuar estos cálculos generales son mucho más sencillas que las que normalmente utiliza para los cálculos afines a su profesión.

No obstante, aunque los cálculos de la factibilidad económica son, en forma general, muy sencillos, no lo es así la **conceptualización del análisis económico** de la inversión, que puede incluir supuestos y simplificaciones económicas muy particulares, con relación a las variables que intervienen en el análisis. Solo los buenos especialistas, basados en las teorías económicas y en su experiencia pueden estudiar y definir algunos casos particulares. En particular, en el planteamiento económico no se permite que se ignoren algunas variables claves, de mucha importancia, que pueden ser determinantes en el éxito de la decisión.

De otro lado, la obra en consideración puede incluir otros aspectos que no son de estricto origen tecnológico o económico, como las variables financieras (posibilidad y costo de la consecución de los recursos necesarios), las ecológicas, las comerciales, las legales, y otras de aún más difícil cuantificación, como las humanas, sociales y políticas.

En el caso de la tecnología BECOLSUB, si se recoge la opinión de especialistas en el análisis económico de inversiones ambientales (23), de los directivos de la Fede-

ración de Cafeteros de Colombia, especialistas agrícolas, instituciones científicas⁴⁸, instituciones comerciales⁴⁹, extensionistas y fabricantes, se concluye de manera preliminar que no existen variables o consideraciones que puedan demostrar desventajas determinantes en la modificación de la tecnología convencional del beneficio por medio de la tecnología BECOLSUB.

Los resultados de los análisis económicos, aunque sean bien planeados, bien desarrollados y bien ejecutados **no pueden ser mejores que la información que les sirvió de base**, y de los supuestos que se establecieron como verdaderos. El análisis económico, como cualquier modelo matemático, aunque perfecto pero ejecutado con base a informaciones incorrectas o con suposiciones inválidas, dará necesariamente resultados incorrectos.

Muchos son los parámetros y variables que influyen en la evaluación de los costos en el beneficio del café. Tradicionalmente se ha dificultado la evaluación de estos costos por la muy poca precisión que se tiene sobre la conceptualización de ellos y porque no se han efectuado los suficientes estudios. Es por tanto importante que antes de que se efectúe un análisis de la factibilidad de la tecnología BECOLSUB se le compare con evaluaciones económicas realistas del sistema de beneficio tradicional.

Los análisis económicos se pueden simplificar, cuando los procesos incluyen algunas tecnologías comunes y es entonces posible eliminar las formulaciones que corresponden a estas características. Este es el caso de la comparación de las tecnologías del beneficio convencional y BECOLSUB, en las cuales las variables como el secado de los granos, el transporte del café al beneficiadero y aún, el transporte del café cereza y del café lavado dentro del beneficiadero, son operaciones comunes. Se deben considerar entonces solo los procesos del beneficio que evidencian diferencias reales.

El proceso metodológico de la evaluación económica debe empezar por la caracterización de la situación en análisis; sólo cuando se tiene claridad completa sobre los escenarios técnico y económico adecuados, se pueden definir las necesidades de información, elaborar los modelos con los supuestos requeridos, definir el tipo de criterio decisorio y, finalmente, escoger la herramienta de ejecución específica que mejor se adapte a la situación de análisis.

⁴⁸ El Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología «Francisco José de Caldas» – COLCIENCIAS, en 1996 premió y catalogó como «Grupo de Excelencia en Investigación» al Programa de Postcosecha de Cenicafé, por el desarrollo de la tecnología BECOLSUB.

⁴⁹ El Banco de Occidente concedió el Primer Premio, dentro de la especialidad de Categoría Empresarial, del CONCURSO «PLANETA AZUL» al Programa de Postcosecha de Cenicafé, por el desarrollo de la tecnología BECOLSUB, en 1997.

7.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR DEL PROGRAMA DE BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ

Con la finalidad de cuantificar económica y financieramente el **Programa de Incentivos para Transformación a Beneficiaderos Ecológicos** (69), creado por la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en Octubre de 1994 (para fomentar la tecnología desarrollada por Cenicafé), se contrató con la Universidad de los Andes el estudio, a través del Programa de Magister en Economía del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Durante la evaluación de la fase inicial del programa, 1994–1995, el equipo de UNIANDES entrevistó a 370 caficultores en todos los Comités de Cafeteros del país, la mitad de ellos adoptantes de la nueva tecnología; entrevistó a los directores técnicos de dichos Comités, a los ingenieros de beneficio y extensionistas.

Se desarrolló por parte del grupo de UNIANDES un programa de software de análisis económico y financiero denominado “**Calculador de Costos y Beneficios del Beneficio Ecológico**”.

Después de haber evaluado el programa numerosas veces, con la colaboración y participación de los representantes de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, relacionados con el programa de Beneficio Ecológico, el equipo de UNIANDES concluyó que la inversión era rentable para la mayoría de los cafeteros. En el estudio se encontró que la inversión se podría pagar en uno, dos o tres años, y que el modelo BECOLSUB que contiene la tecnología optimizada, el cual sólo se implantó al final de esta primera etapa en 1995, debería ser la tecnología básica adoptada por el caficultor (23).

El programa de computador generado incluyó los datos básicos para establecer los costos comparativos del beneficio convencional y del beneficio con el módulo BECOLSUB, de acuerdo a los datos físicos y de costos suministrados por Cenicafé, y los costos de inversión para la remodelación de los beneficiaderos suministrados por la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

El programa incluye formulaciones de costos y de finanzas para calcular las utilidades marginales o adicionales, por incluir ganancias introducidas por el beneficio ecológico originadas en mayor venta de café, mayor producción de abono orgánico, ahorro de agua, las cuales se descuentan al valor presente durante los años de la inversión.

7.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA MEDIANTE SOFTWARE DESARROLLADO EN CENICAFÉ. PROGRAMA ANEFSUB

El objetivo principal de desarrollar el programa ANEFSUB en Cenicafé, que inicialmente se fundamenta en los datos de laboratorio y en muy limitadas mediciones

reales al nivel de finca, es el de establecer una base de desarrollo que deberá ser aumentada, cada año, con nuevos conocimientos obtenidos con la ayuda de los expertos en el área económica y nutrido de datos reales de operaciones comerciales, para finalmente poder dar las respuestas de la forma más cercana a la realidad de cualquier cafetero, mediante las simulaciones matemáticas obtenidas.

En particular, se deberán obtener y validar datos experimentales obtenidos en fincas de diferentes tamaños, desde el caficultor que utiliza el módulo BECOLSUB 100 hasta el gran empresario que utiliza varios módulos BECOLSUB 3000, en las diferentes regiones productoras del país, que anteriormente utilizaban el beneficio convencional y pasaron a adoptar la tecnología BECOLSUB.

Un proceso de evaluación comparativa de una inversión de modernización, como es el de implantar la tecnología BECOLSUB, analizada económica y financieramente mediante el programa "ANEFSUB", incluye las siguientes etapas:

- Caracterización de las ventajas de la nueva tecnología.
- Establecimiento de los supuestos válidos para analizar las diferentes alternativas.
- Obtención de las informaciones técnicas, de costos, ecológicas, comerciales, legales, sociales y políticas, pertinentes.
- Definición del criterio decisorio; las evaluaciones económicas comparativas en la que se contempla una nueva alternativa se deben siempre efectuar con base en modelos que se construyen sobre un criterio decisorio.
- Desarrollo y evaluación del análisis mediante la creación del modelo matemático correspondiente.
- Discusión de los resultados.
- Desarrollo de estudios de simulación matemática y de análisis de sensibilidad.
- Toma de las decisiones correspondientes.

A continuación se amplía cada una de las etapas enumeradas:

Las ventajas en general de la tecnología BECOLSUB, en forma cualitativa se han presentado a lo largo de este trabajo y se enumeran en diferentes secciones de esta obra (3.10.7., 3.19.3.11. y 7.1.). Se ha aceptado de antemano que la tecnología BECOLSUB presenta ventajas técnicas, económicas, ambientales, sociales, comerciales y de política general.

Las ventajas técnicas, económicas y ambientales se han aceptado de antemano, en forma cualitativa por las presentaciones anteriores; se trata ahora de efectuar los análisis cuantitativos.

La principal **ventaja social** se desprende del hecho de que se libera parcialmente la mano de obra por la simplificación del proceso de beneficio en la época más crítica

de la producción de café, en la cual coinciden el beneficio y la cosecha. Esta última, la actividad de mayor demanda de mano de obra. El caficultor podrá, por tanto, disponer de más tiempo para realizar estas operaciones de manera más humana y más eficientemente y dispondrá también de mayor tiempo para realizar más oportunamente y en la mejor manera, la comercialización de su producto.

La principal **ventaja comercial** de la adopción de la tecnología BECOLSUB consiste en que por reducirse el volumen de los equipos necesarios, hasta una cuarta parte del valor tradicional, y ser construidos por la industria metalmecánica no especializada, ha sido posible que los fabricantes construyan equipos compactos, de volúmenes manejables, incluyendo modelos portátiles, que pueden ser remolcados cómodamente en las topografías montañosas. El montaje de estos equipos, que no requiere de infraestructura sofisticada en ferroconcreto, facilita enormemente la comercialización de la tecnología.

La principal **ventaja política** de la nueva tecnología BECOLSUB consiste en que a Colombia se le podrá continuar conociendo como el **país líder en la conservación del medio ambiente cafetero**. En efecto, desde el inicio de la creación de Cenicafé, hace 60 años, el principal tema de investigación fue la **conservación de los suelos de la zona cafetera** (156).

Hoy se premia a los países e instituciones que logran desarrollar tecnologías no contaminantes. También se castiga a los que perturban el medio ambiente. Con la tecnología BECOLSUB, Colombia continúa enseñando al mundo cafetero como eliminar las principales causas del deterioro ambiental. Compañías multinacionales, que representan a los países compradores ya han comenzado a premiar a Colombia financiando equipos BECOLSUB para eliminar la contaminación en la región de Pijao, departamento del Quindío. También se constituyó en premio y distinción la asistencia de 25 técnicos extranjeros a un **Curso sobre Beneficio Ecológico del Café**, dictado por el Programa de Post-Cosecha de Cenicafé, en Octubre de 1995. La firma multinacional Jacobs de Alemania, decidió donar 100 equipos BECOLSUB para descontaminar la cuenca del río Paez, Quindío, en 1997 - 1998.

Cenicafé optó por desarrollar un modelo propio para el **ANálisis Económico-Financiero** del módulo **BECOLSUB**, programa **ANEFSub** para el estudio de la rentabilidad de las inversiones necesarias para la transformación de los beneficiaderos convencionales a la tecnología BECOLSUB, por no tener en su momento acceso al programa original, de carácter privado y, principalmente, para poder utilizarlo en forma amplia en sus programas de investigación aplicada (6, 10, 145), con las ventajas de un software de programación moderno (Microsoft VISUAL BASIC 6.0, sistema operacional WINDOWS 98).

El modelo de Cenicafé se basa en el modelo original de la Universidad de los Andes, del cual se obtuvo la concepción metodológica y los supuestos económicos iniciales. La selección de los modelos económicos, el desarrollo de los algoritmos y

la programación, no obstante, fue realizada completamente por Cenicafé, utilizando los principios fundamentales de la teoría económica del análisis de inversiones (2, 78, 178).

El modelo se inició con base en los resultados técnicos de las evaluaciones del beneficio del café cereza para transformarlo en café lavado, realizadas bajo la dirección de los propios investigadores de Cenicafé, en experiencias conducidas en los laboratorios o en fincas seleccionadas. El desarrollo del programa tiene un carácter dinámico que se está modificando a medida que se generan datos de campo reales en fincas de caficultores, y según los diferentes programas de origen de los dineros (propios, subsidiados o financiados), a los cuales tenga acceso el caficultor.

El programa está escrito en forma general, amplia y de muy fácil modificación, de forma que facilita los estudios de factibilidad económica en todos los posibles rangos de las principales variables de interés. Se puede entonces obtener aproximaciones a cada uno de los casos específicos de cada caficultor.

Se considera que éste es el inicio de un gran esfuerzo que deberá compartirse entre los investigadores, generadores de la tecnología, los diferentes organismos que considerarán la opción de adoptar o recomendar la sustitución de equipos tradicionales del beneficio del café, y los caficultores.

7.4.1. Supuestos en el análisis económico de la inversión

Se presentan los siguientes supuestos como válidos para analizar económicamente las dos alternativas: continuar con el beneficio convencional o adoptar la tecnología BECOLSUB.

La inversión necesaria para colocar en funcionamiento la tecnología BECOLSUB es básicamente una **inversión de reemplazo** (178), por la cual algunos equipos convencionales de beneficio se sustituyen debido a que han llegado a ser tecnológicamente obsoletos y la posibilidad de modificarlos se considera inadecuada.

Las inversiones son de carácter de modernización, porque la sustitución de los equipos tradicionales por el módulo BECOLSUB se hace en consideración a que el último efectúa un trabajo superior, obteniéndose ventajas en productividad, disminución de costos, mejoramiento de calidad, disminución de la contaminación, etc.

En el caso de adoptar la tecnología BECOLSUB, se supone que se adopta el sistema de mezcla de mucílago con pulpa y la producción comercial de lombricompuesto.

Existen otras posibilidades fuera de las dos contempladas, como por ejemplo, continuar con el beneficio convencional y producir comercialmente el lombricultivo a partir de la pulpa sin el mucílago. El análisis económico de esta posibilidad podrá ser efectuado en el futuro modificando el programa ANEFSUB, sin ninguna dificultad.

Con éstas premisas la evaluación económica se hará comparando dos alternativas que producen **diferentes servicios**, que es el caso más general y frecuente en los análisis de inversiones o proyectos de la vida real. En los casos de evaluaciones de alternativas que producen diferentes servicios, tanto los ingresos como los egresos de la empresa deben ser tenidos en cuenta, a diferencia del caso en que las alternativas producen igual servicio, en el que se puede hacer un análisis correcto simplificado teniendo en cuenta solamente los egresos.

Las dos alternativas de beneficio en consideración son **mutuamente excluyentes**, o sea que no tiene sentido operar los dos procesos simultáneamente en la misma finca o empresa. Si se opta por la inversión del beneficio ecológico, el sistema convencional debe desaparecer.

Varias son las razones para este planteamiento; la primera es que si se procesa alguna parte sin el concepto ecológico, todo el beneficiadero se debe considerar como no ecológico y se desvirtúa el principal objetivo de la inversión. En segundo lugar, operar dos sistemas de beneficio implica tener y mantener dos infraestructuras diferentes, de diferentes tiempos de operación y más operarios para el proceso. En tercer lugar, al transformar un beneficiadero convencional en beneficiadero ecológico, lo más sensato es utilizar parte de los equipos como la despulpadora, los motores, y una parte de la obra civil para reducir los costos de inversión.

Se considera que los equipos de las dos alternativas de beneficio tienen la **misma vida útil**, por la similitud de sus materiales, de su construcción y de la infraestructura general en donde están ubicados. En las fincas cafeteras es tradición que las máquinas tengan una vida útil superior a los 15 años, debido a lo robusto de su construcción y a que las piezas desgastables se sustituyen periódicamente. Los costos de mantenimiento serán mayores para la alternativa ecológica por tener mayor número de equipos mecánicos.

7.4.2. Criterio decisorio

Por tratarse de dos alternativas que producen diferentes servicios, el criterio decisorio que nos permitirá indagar sobre cuál de las alternativas es la más ventajosa es el de **maximizar los valores netos** (178), que se explica con más detalle en las siguientes secciones.

En general los criterios decisorios económicos, y en este caso particular, el objetivo de maximizar los valores netos, operan sobre la siguiente igualdad, base de la factibilidad de cualquier inversión, y que se plantea para cada una de las alternativas de beneficio:

$$\text{Ingresos} = \text{Egresos Producción de Café} + \text{Egresos Beneficio} + \text{Excedentes} < 19 >$$

Los ingresos, para este caso, los constituyen los pagos que el caficultor recibe por la venta del café pergamino seco y del lombricompuesto; los egresos son todos los

gastos necesarios para la producción del café cereza y los necesarios para tener en plena operación el beneficiadero. En la Sección 7.4.5. se enumeran cada uno de los egresos, clasificados según su categoría económica.

Los excedentes deben existir para que el negocio sea económicamente factible y representan los intereses sobre el capital no amortizado que ha sido invertido en el negocio, más un dinero de ganancia adicional. Los excedentes deben ser computados con una tasa mínima (**tasa mínima de retorno**) que el inversionista determina, con base en los valores corrientes de los intereses comerciales y de sus pretensiones económicas. Si los excedentes corresponden a una tasa superior a la tasa mínima de retorno, la inversión será aún más rentable. Si los excedentes corresponden a una tasa inferior a la tasa mínima de retorno, más le hubiera convenido al caficultor colocar su dinero en otro negocio.

Al aplicar la ecuación < 19 >, para cada una de los dos sistemas de beneficio (convencional y BECOLSUB) y al establecer las diferencias de las expresiones, el término de egresos para la producción del café cereza se elimina por ser idéntico para los dos casos y la ecuación de análisis se reduce a considerar:

$$\text{Ingresos1} - \text{Ingresos2} = (\text{Egresos Beneficio 1} - \text{Egresos Beneficio2}) + (\text{Excedentes1} - \text{Excedentes2}) \quad < 20 >$$

Ecuación que compara los ingresos de las dos tecnologías de beneficio en un período dado de análisis. Si la diferencia de la expresión de la izquierda es positiva la alternativa económica 1 será la más rentable; el algoritmo determina que la tecnología BECOLSUB produce mayor cantidad de café Tipo Federación, dependiendo de las características de los sistemas, que pueden ser modificadas por el usuario.

En la diferencia de los egresos de los dos tipos de beneficio (primera diferencia del lado derecho de la ecuación) se incluyen todos los gastos, o costos, que deben ser considerados y que son de tipo fijo y variable.

Los gastos fijos y variables, considerados en el programa ANEFSUB se presentan en las Figuras 127, 128 y 129 (Sección 7.4.5.)

Las variables ingresos, egresos y excedentes en el beneficio corresponden a los valores acumulados en un período de análisis, que puede ser semestral, anual o de varios años, según el objetivo del análisis que se desea. Un período de análisis de 5 años es considerado conveniente en consideración a las inversiones iniciales de importancia que se hacen en el primer año de la adaptación de la tecnología BECOLSUB. Puede también el tiempo ser una variable del estudio, como por ejemplo, para averiguar en cuantos años se logra pagar la totalidad de la inversión, o los años en que se paga 2 o 3 veces la misma inversión (Figuras 134, 135 y 136).

7.4.3. Valor del dinero en el tiempo

Al evaluar la ecuación $< 20 >$ es necesario tener en cuenta que las variables toman lugar en todo el período de análisis considerado que por lo general, es de uno o varios años y en el cual el valor del dinero varía, por lo que no se puede usar un valor constante.

En efecto, el valor de cierta cantidad de dinero hoy es diferente al valor de la misma cantidad en el pasado o en el futuro, por básicamente tres razones :

- Por el concepto propio del **interés**, que representa directamente el cambio del valor del dinero en el tiempo, o sea, que el interés es un alquiler que se paga por el uso del dinero, para el que lo recibe prestado, o la tasa de retorno, desde el punto de vista del que lo presta.
- Internamente en el país, por la **inflación** (que tiene en nuestros países modificaciones cada mes).
- Por la **devaluación**, un factor externo que determina las variaciones relativas del valor de nuestra moneda con relación al de las monedas extranjeras fuertes, que también están cambiando, pero normalmente a tasas menores que las nuestras.

Las tres fuentes de variación del valor del dinero en el tiempo normalmente se reúnen por un solo término general, denominado **interés corriente**. Si uno se coloca dentro del punto de vista del inversionista, él desea recuperar el dinero que presta al menos con un interés corriente igual, pero ojalá superior a la tasa mínima de retorno, que es el punto crítico para la aceptación o rechazo de la viabilidad económica de un proyecto.

Para un análisis adecuado, que incluya las variaciones del dinero con relación al tiempo, se deben utilizar las relaciones matemáticas de equivalencia del valor del dinero en el tiempo, que son básicamente tres ecuaciones muy sencillas, y se incluyen en todos los libros de ingeniería económica (2, 78, 178).

7.4.4. Valor presente neto. Relación beneficio/costo

Como se mencionó anteriormente, el criterio decisorio adoptado para éste análisis de factibilidad económica es el del **valor presente neto máximo**.

El término **presente** se refiere a que los resultados de los análisis de la evaluación económica que van a ocurrir en los años venideros, se deben referir a la base de tiempo 0 o sea, en el momento que se hace el análisis. Todo valor del dinero futuro deberá ser transformado matemáticamente mediante las relaciones de equivalencia a la base de tiempo 0, o sea al **valor presente**.

Los análisis podrían referirse a las otras dos bases de referencia, a valores futuros o a valores de anualidades. Cuando se transforma el dinero a la base futura, por ejemplo, al final del período que se va a efectuar el análisis, todos los movimientos

de flujo de caja (ingresos y egresos a lo largo del período del análisis) deben transformarse matemáticamente a la misma base futura. La base de valor de actualidad implica que los valores presentes y los valores futuros se transforman matemáticamente a un valor equivalente de ingreso o egreso igual durante los (n) períodos o años de que consta el análisis.

El término **neto** se refiere a que se hace el análisis de evaluación no sobre los ingresos y egresos individualmente sino sobre la diferencia, o sea sobre los ingresos menos egresos.

Un proyecto **económicamente factible** según el criterio del valor presente neto indica entonces que la inversión permite recuperar completamente todos los egresos, ofrecer una rentabilidad igual a la tasa de retorno mínima y dejar un excedente que representa la ganancia neta de la inversión.

Finalmente, por la alta rentabilidad de la inversión en la tecnología BECOLSUB, se consideró adecuado (para fines de presentación principalmente) la adopción de la variable **relación Beneficio / Costo**, calculada como la relación de las diferencias acumuladas de los ingresos y los egresos totales, originados por las dos tecnologías de beneficio en consideración, en el período completo del análisis y con base en los valores presentes.

7.4.5. Utilización del programa ANEFSUB

No se incluyen en éste trabajo los algoritmos que contienen las ecuaciones utilizadas por tratarse de ecuaciones básicas de dominio común de análisis económico y financieros, y porque las funciones de costos particulares de la tecnología BECOLSUB están siendo actualmente ampliadas y mejoradas, a medida que se continúen las investigaciones programadas en Cenicafé.

En la Figura 127 se incluyen las informaciones básicas que caracterizan al **beneficiadero tradicional y al beneficiadero ecológico**. Todos los valores indicados en las casillas blancas pueden ser modificados por el usuario del programa; las unidades de las variables se indican a la derecha.

A la derecha del cuadro se encuentran cuatro botones. El botón extremo superior, Efectuar Análisis, le permite al usuario ejecutar el programa con los valores de entrada de la ventana Características del Beneficiadero y con los valores de entrada de las otras ventanas, que se presentan a continuación. El segundo botón, Glosario, le permite al usuario encontrar cada una de las definiciones de las variables de que consta el programa; el siguiente botón, hacia abajo, Ayuda, le permite al usuario obtener una descripción general y de operación del programa. Oprimiendo el botón final, Salir, el usuario puede abandonar ésta ventana sin ejecutar el programa. Las variables que corresponden a esta ventana son las siguientes:

análisis) deben trans-
le valor de anualidad
sforman matemática-
nte los (n) períodos o

luación no sobre los
sea sobre los ingresos

el valor presente neto
ente todos los egresos,
ejar un excedente que

logía BECOLSUB, se
nte) la adopción de la
ción de las diferencias
por las dos tecnologías
álisis y con base en los

las ecuaciones utiliza-
e análisis económico y
la tecnología BECOL-
edida que se continúen

caracterizan al benefi-
os valores indicados en
el programa; las unida-

otón extremo superior,
ama con los valores de
n los valores de entrada
gundo botón, Glosario,
s de las variables de que
e permite al usuario
na. Oprimiendo el botón
ecutar el programa. Las
es:

Características del Beneficiadero

Nombre	Valor	Unidades	Nombre	Valor	Unidades
AguaConv	40	(Litros / kgCPS)	KGpARR	12,5	(Kg / Arroba)
AguaBec	3	(Litros / KgCPS)	KWpHP	1	(KW / HP)
CCpCPS	5	(decimal)	LitpM3	1000	(Litros / M3)
DíaspAño	40	(Días / Año)	LombpCPS	0,45	(Decimal)
DíaPico	0,025	(decimal)	ProdCPS	5.000	(@ CPS)
HoraspDíam	5	(Horas/Año)	RedPerd	0,03	(decimal)
HoraspJor	8	(Horas/Día)			

Efectuar
Análisis

Glosario

Ayuda

Salir

Figura 127. Características básicas aplicables a los beneficiaderos tradicional y BECOLSUB.

- **AguaConv y AguaBec.** Consumo unitario del agua con la tecnología convencional y con la tecnología BECOLSUB.
- **CCpCPS.** Relación del café cereza al café pergamino seco.
- **CostoCont.** Valor unitario que se debe pagar por beneficiar sin el concepto ecológico; se calcula con base en las reglamentaciones del gobierno colombiano, a través del Ministerio del Medio Ambiente (103, 104).
- **DíaspAño.** Días por año trabajados en el beneficiadero.
- **DíaPico.** Valor de la producción diaria máxima en el año, expresada en %.
- **HoraspJor.** Horas por trabajadas por jornal.
- **KGpARR.** Relación numérica del número de kilogramos por cada arroba.
- **KWpHP.** Relación numérica del número de kilovatios por cada caballo de fuerza.
- **LitpM3.** Relación numérica del número de litros contenidos en un metro cúbico.
- **LombpCPS.** Relación del lombricompuesto por unidad de café pergamino seco obtenido.
- **ProdCPS.** Producción anual de café pergamino seco.
- **RedPerd.** Reducción de pérdidas físicas utilizando la tecnología BECOLSUB, en relación con el beneficio convencional.

En la Figura 128 se incluye información que **caracteriza a los tres módulos BECOLSUB iniciales**, que se construyen comercialmente, de 600, 1.000 y de 3.000kg de café cereza por hora; todos los valores de las casillas blancas pueden ser modifi-

Nombre	Valor	Unidades
CapBEC0600	600	(KgCC/hora)
CapBEC1000	1.000	(KgCC/hora)
CapBEC3000	3.000	(KgCC/hora)
HpBEC0600	1	(Hp)
HpBEC1000	3	(Hp)
HpBEC3000	6,6	(Hp)

Figura 128. Características de los módulos BECOLSUB.

cados por el usuario del programa. Las unidades de las variables se indican a la derecha. Los botones de la derecha tienen la misma función de la anotada en la Figura 127.

Cada una de las variables representa las siguientes cantidades:

- **CapBEC0600, CapBEC1000, CapBEC3000.** Capacidades de procesamiento de los tres primeros modelos comerciales BECOLSUB.
- **HpBEC0600, HpBEC1000, HpBEC3000.** Potencias eléctricas de los motores de cada módulo comercial BECOLSUB.
- **CostoBEC0600, CostoBEC1000, CostoBEC3000.** Costos aproximados, en pesos colombianos, de cada uno de los modelos comerciales BECOLSUB.

De la misma forma que en la ventana anterior, a la derecha existen cuatro botones cuyas funciones son exactamente iguales a las descritas para la Figura 127.

En la Figura 129 se incluye la información que caracteriza las principales **variables económico-financieras** que deben considerarse para la evaluación; todos los valores indicados en las casillas blancas pueden ser modificados por el usuario del programa. Las unidades de las variables se indican a la derecha.

Las principales características económico-financieras consideradas en el estudio son:

- **AñosInvers.** Número de años de estudio para la inversión.
- **CostoAgua.** Costo unitario, por metro cúbico, del agua.
- **CostoKWH.** Costo unitario, por kilovatio-hora, de la energía eléctrica.
- **CostoLOMB.** Costo unitario, por kg, para la producción del lombricultivo.
- **CostoMO.** Costo unitario, por jornal, de la mano de obra.
- **Depreciac.** Valor de la tasa de depreciación de los equipos, calculada utilizando el método de depreciación lineal.

Características Económico-Financieras

Nombre	Valor	Unidades	Nombre	Valor	Unidades
AñosInvers	5	(Años)	Intereses	0,3	(decimal)
CostoAgua	50	(\$)	PrecioCPS	31.025	(\$/@CPS)
CostoKWH	70	(\$/KWH)	PrecioLomb	1.000	(\$/@Lomb)
CostoCont	20	(\$/kgCC)	TasaAMOEM	0,15	(decimal)
CostoLomb	50	(\$/KgLomb)	TasaDesc	0,34	(decimal)
CostoMO	4.000	(\$/Jornal)	TasaMant	0,04	(decimal)
Depreciac	0,1	(decimal)	TasaSubs	0	(decimal)
DTE	0,27	(decimal)	VidaUtil	10	(Años)

Electuar
Análisis

Glosario

Ayuda

Salir

Figura 129. Características económico-financieras relacionadas con los módulos BECOLSUB.

- **DTE.** Valor actual de los intereses causados según el índice de Depósitos a Término Fijo, utilizado como referencia de la tasa de interés.
- **Intereses.** Tasas actuales de los intereses comerciales.
- **PrecioCPS.** Precio unitario de la venta del café (por arroba de café pergamino seco).
- **PrecioLomb.** Precio unitario de venta del lombricompuesto (por arroba).
- **TasaAMOEM.** Tasa de aumento anual de los costos de la mano de obra y de mantenimiento.
- **TasaDesc.** Tasa de descuento que se aplicada para transformar flujos de caja futuros a valores presentes.
- **TasaMant.** Tasa de mantenimiento de los equipos.
- **TasaSubs.** Tasa de subsidio de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia que promociona la modernización o sustitución de los equipos financiando un porcentaje de los costos totales.
- **VidaUtil.** Vida útil promedio de los equipos.

De la misma forma que en las ventanas anteriores, a la derecha de la ventana existen cuatro botones, cuyas funciones son exactamente iguales a las descritas para la Figura 127.

En la Figura 130, Variables de respuesta, se incluye los resultados técnicos y económicos correspondientes a las informaciones incluidas en las tres ventanas de datos de entrada, descritas anteriormente. Las variables respuesta son:

- **CapBEC.** Capacidad del módulo BECOLSUB, calculada con base en los valores de la producción de la finca, el valor del día pico, el valor de conversión café cereza a café pergamino seco y las características de producción de los módulos BECOLSUB.
- **CostoBEC.** Costo del módulo BECOLSUB; valor total de la inversión en el módulo BECOLSUB, incluyendo los equipos y las modificaciones en la infraestructura del beneficiadero.
- **Inversión.** Valor pagado por el caficultor que es igual al CostoBEC menos el valor subsidiado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Si los valores **CostoBEC** e **Inversión** fuesen iguales, el valor del subsidio es nulo.
- **UtiMargAP.** Utilidad marginal o adicional por la disminución de las pérdidas físicas convencionales que ocurren en el beneficio tradicional.

Variables de Respuesta

Nombre	Valor	Unidades
CapBEC	600	(KgCC/Hr)
CostoBEC	\$11.207.392	(\$)
HoraspDía	2,6	(Horas/día)
Inversión	\$11.207.392	(\$)
UtiMargAP	\$7.309.513	(\$)
UtiMargAgua	\$261.360	(\$)
UtiMargCont	\$2.599.473	(\$)
UtiMargLomb	\$6.624.070	(\$)
UtiTotalVPN	\$16.794.416	(\$)
Ben / Costo	1,5	(Decimal)

Carac BEN

Carac BEC

Carac EF

Resumen Datos
Entrada y
Respuesta

Hoja Electrónica

Ben/Costo VS
Variables

Leer del Disco

Grabar en Disco

Instrucciones

Glosario

Por Defecto

Terminar

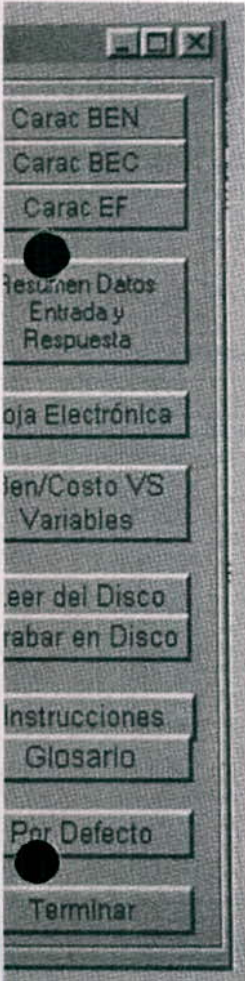
Figura 130. Variables de respuesta correspondientes a cálculos físicos y económicos.

con base en los valo-
or de conversión café
cción de los módulos

de la inversión en el
aciones en la infraes-

CostoBEC menos el
de Colombia. Si los
subsidio es nulo.

ción de las pérdidas
ial.



onómicos.

- **UtiMargAgua.** Utilidad marginal o adicional por el ahorro del agua; es igual al valor del ahorro de agua multiplicado por su costo unitario.
- **UtiMargCont.** Utilidad marginal o adicional por evitar tener que pagar al gobierno los costos de contaminar el agua utilizada en el beneficio convencional.
- **UtiMargLomb.** Utilidad marginal o adicional por la producción del lombricultivo.
- **UtiTotalVPN.** Utilidad total, obtenida de la suma de las utilidades marginales o adicionales, expresada según el criterio decisorio del Valor Presente Neto.
- **Ben/Costo.** Relación de beneficios totales sobre los costos totales expresados en valores presentes netos.

En la Figura 130, a la derecha, se incluyen 12 botones, que al oprimirlos ofrecen diferentes opciones de modificar los datos de entrada, efectuar cálculos adicionales, obtener respuestas en formatos especiales, o en gráficos, grabar los resultados en el disco de su computador, obtener ayudas o terminar sus indagaciones. La función de cada botón se explica a continuación:

CaracBEN, abre la ventana Características de los Beneficiaderos (Figura 127).

CaracBEC, abre la ventana Características de los módulos BECOLSUB (Figura 128).

CaracEF, abre la ventana Características Económico-financieras (Figura 129).

Resumen Datos Entrada y Respuesta (Figura 131), en donde se presentan, en

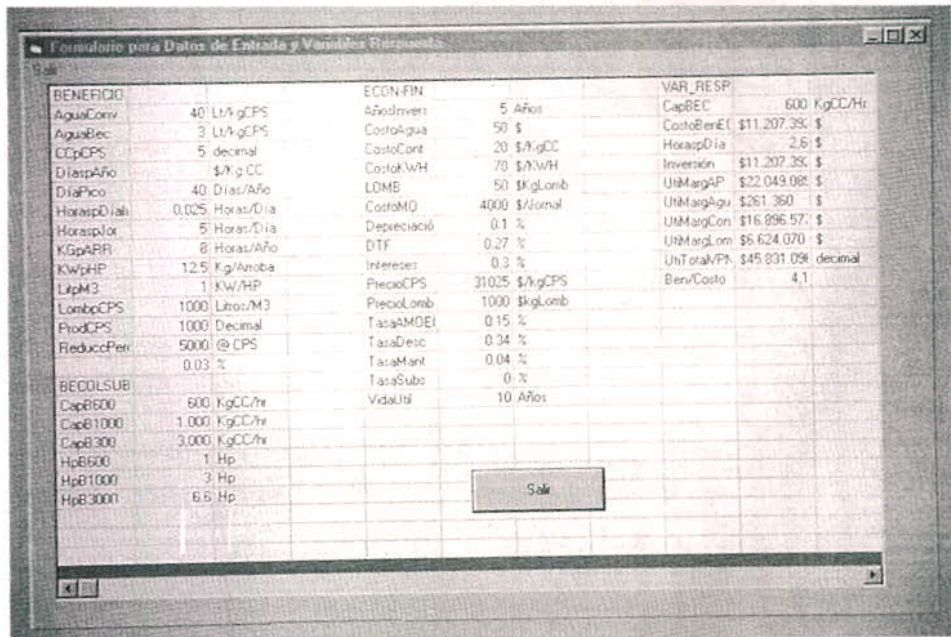


Figura 131. Resumen de los datos de entrada y de respuesta del programa ANEFSUB.

una hoja electrónica producida autónomamente por el propio programa de computación, el resumen de los datos de entrada y de respuesta correspondiente a la información de las ventanas presentadas en las figuras anteriores.

La hoja electrónica descrita presenta particularmente la ventaja de que se puede copiar integralmente o las celdas seleccionadas con el indicador digital, en el portafolio del programa Windows 95 ó 98 y después pegarse o transportarse a cualquier programa que trabaje bajo el mismo ambiente de computación.

Hoja Electrónica. Al pulsar el botón Hoja Electrónica se presenta otra hoja electrónica, igualmente originada autónomamente por el mismo programa, y que inicialmente está vacía. Al margen izquierdo de la ventana se permite indicar el rango deseado de análisis de las variables: **Pérdidas ahorradas y Pagos contaminación** que en el presente momento son las dos variables económicas que más ventajas presentan en el análisis del beneficio ecológico; al pulsar el botón **Calcular**, se obtienen las relaciones de los ingresos sobre los egresos, (Beneficio/Costo) expresados en forma de valores presentes netos para cada una de las combinaciones de las variables de estudio. En la Figura 132 se indican los valores de 3 a 7 % como pérdidas ahorradas y de 30 a 120 pesos por kg de café cereza mal beneficiado. En las celdas de la hoja electrónica aparecen los valores de las razones de beneficio/costo correspondientes.

Si se pulsa el botón **Graficar** se abre otra ventana que contiene los mismos resultados de la hoja electrónica, pero en la forma de gráfico de barras, (Figura 133) que el programa crea automáticamente. Los valores de las celdas pueden señalarse y co-

	3 %Pérd	4 %Pérd	5 %Pérd	6 %Pérd	7 %Pérd
30 \$/kg	1,6	1,9	2,3	2,6	2,9
50 \$/kg	1,8	2,2	2,5	2,8	3,2
70 \$/kg	2,1	2,4	2,7	3,1	3,4
90 \$/kg	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6
110 \$/kg	2,5	2,9	3,2	3,5	3,9
130 \$/kg	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1

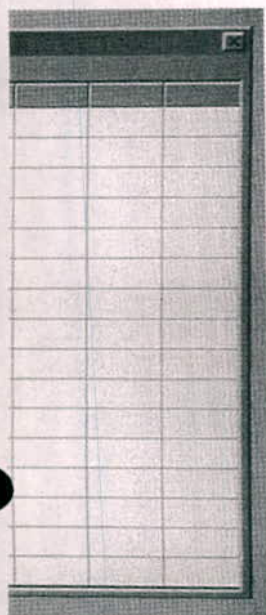
Figura 132. Resultados de la relación beneficio/costo vs. pérdidas físicas y pago por contaminación.

programa de compu-
correspondiente a la
res.

itaja de que se puede
or digital, en el porta-
sportarse a cualquier
n.

esenta otra hoja elec-
ograma, y que inicial-
mite indicar el rango
agos contaminación
cas que más ventajas
el botón **Calcular**, se
eficio/Costo) expresa-
combinaciones de la
res de 3 a 7 % como
a mal beneficiado. En
razones de beneficio/

de los mismos resulta-
as, (Figura 133) que el
ueden señalarse y co-



y pago por contaminación.

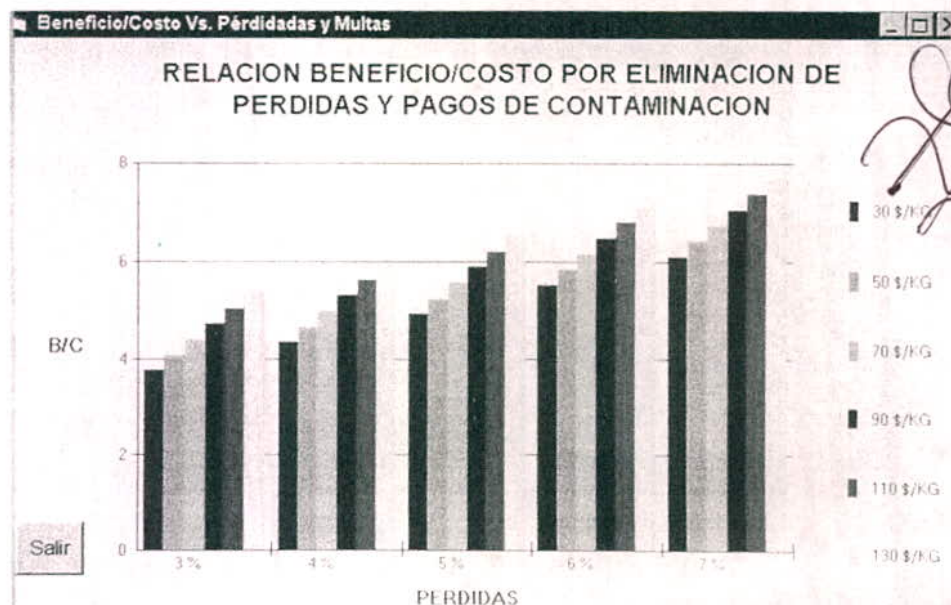


Figura 133. Gráfico de la relación beneficio/costo, ajustada teniendo en cuenta la eliminación de las pérdidas físicas y los pagos por contaminación.

piarse, utilizando el botón inferior – izquierdo para almacenarlos temporalmente en el portafolio del sistema operacional y trasladarlos, o copiarlos, a cualquier otro programa, que corra bajo el ambiente de Windows 95 ó 98. Adicionalmente e inmediatamente se obtiene el gráfico de barras, queda copiado en el portafolio del programa y puede también trasladarse a cualquier otro programa, como por ejemplo, a un procesador de texto para hacer un informe.

El siguiente botón hacia abajo, (Figura 130), Ben/Costo vs Variables, abre una nueva ventana, de Simulación para Retornos Deseados (Figura 134) en donde se señala la **variable de interés** de estudio, como se indica en la Figura 135, e inmediatamente se indica un valor predeterminado, que puede ser escogido, de **Relación Beneficio/Costo deseada**. Al apretar el botón **Calcular** se inicia un proceso de búsqueda automático del valor de la variable deseada mediante el algoritmo

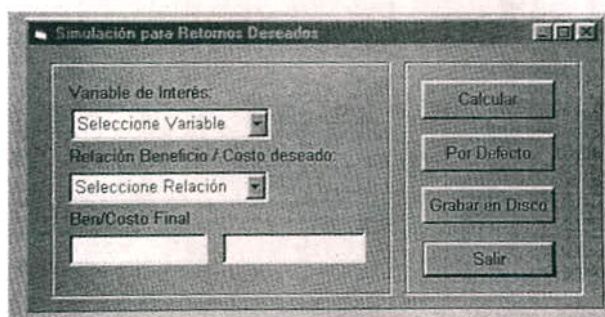


Figura 134. Selección de la variable de estudio y de la relación beneficio/costo deseada.

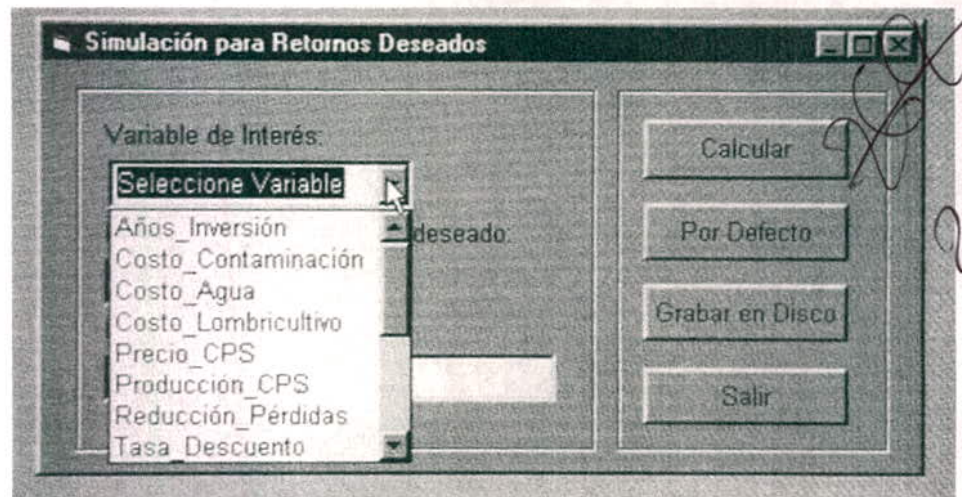


Figura 135. Selección de la variable de estudio.

iterativo, para solución de ecuaciones por el método de la "Regula Falsi" (32) hasta obtener el valor Ben/Costo indicado, como se indica en la Figura 136.

Debe tenerse presente que todos los resultados enunciados se calculan para los valores que el usuario indicó en las ventanas de las Figuras 127, 128 y 130. Cualquier modificación de alguno de estos datos, originará diferentes resultados.

El botón **Por Defecto** de las Figuras 130, y 135 permite borrar todas las alteraciones que el usuario haya efectuado a las variables independientes, después de haber iniciado la sesión de simulación, y son reemplazadas por los valores por defecto, de inicio del programa, que solo tienen el interés de iniciar el programa indicando resultados, los cuales pueden no tener ningún sentido real para el usuario.

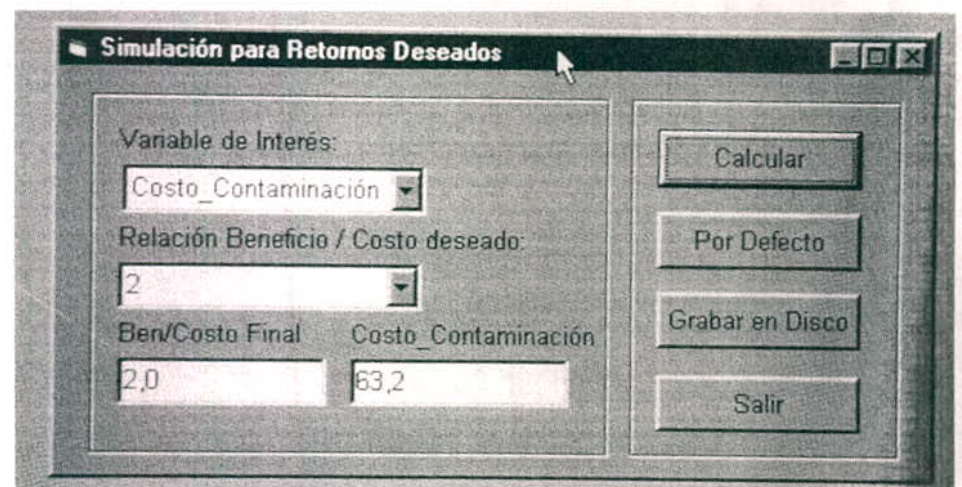
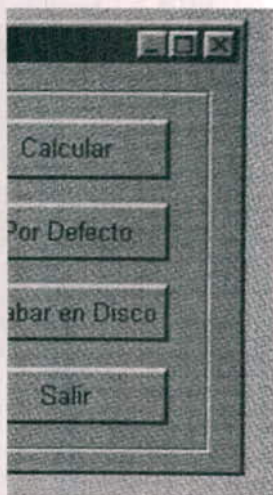


Figura 136. Resultado del valor de la variable de estudio.



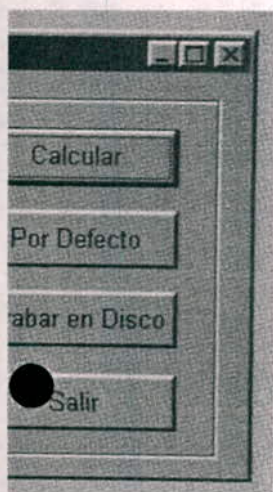
Finalmente, existen en la Figura 130 dos botones adicionales, **Leer del Disco** y **Grabar en Disco**, que le permiten al usuario leer ó grabar los datos de entrada y de respuesta en el disco duro de su computador, en el subdirectorio, que seleccione, para lo cual el programa le ayuda a localizarlo mediante la misma tecnología de grabar en directorios y subdirectorios del sistema operacional Windows 95 ó 98. Esta opción es de la mayor importancia como herramienta de análisis para cuantificar monetariamente las ventajas de la tecnología BECOLSUB.

En general, los resultados obtenidos mediante algunos estudios preliminares utilizando el programa aquí presentado indican que las ventajas económicas de la tecnología BECOLSUB, hacen que se pague de 1 a 3 años la inversión efectuada para la sustitución de la tecnología.

la "Regula Falsi" (32) en la Figura 136.

os se calculan para los s 127, 128 y 130. Cual- e resultados.

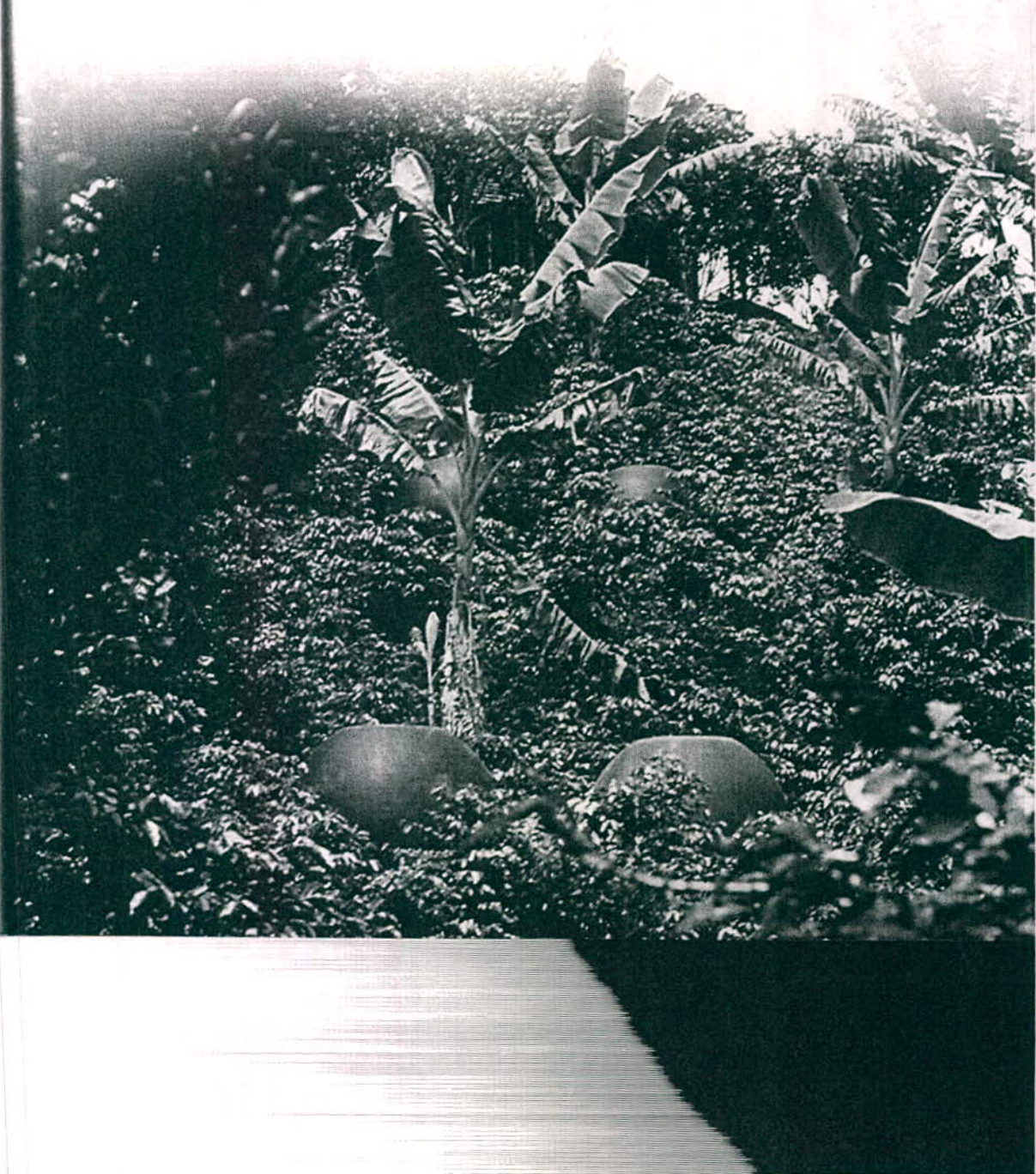
errar todas las alteracio- entes, después de haber valores por defecto, de el programa indicando ara el usuario.



CAPÍTULO

8

Tratamiento Anaeróbico
de Aguas Residuales



8 TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE AGUAS RESIDUALES ⁵⁰

Como se indicó en la Sección 1.2. Cenicafé en 1983 estableció dos líneas de investigación simultáneas para dar respuesta al problema de la contaminación por causa de las aguas residuales de beneficio húmedo del café, como se practica tradicionalmente en Colombia; la primera consistió en cuestionar y proponer alternativas para todas las etapas de beneficio que ocasionan la contaminación iniciando los trabajos de diseño y evaluación del desmucilagador, lavador, limpiador, DESMULACLA (14, 150), lo que resultó en la nueva tecnología BECOLSUB presentada en las secciones anteriores de este libro. La segunda consistió en tratar las aguas contaminadas por medio de bioreactores anaeróbicos en donde bacterias metanogénicas se encargan de minimizar la carga orgánica contaminante. Se presentan en ésta sección avances de esta tecnología.

8.1. SISTEMA MODULAR DE TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE AGUAS RESIDUALES DE BENEFICIO DEL CAFÉ - SMTA ⁵¹

Desde el mes de Noviembre de 1984 Cenicafé intensificó los estudios de descontaminación de aguas residuales del proceso de beneficio húmedo de café, a través del proyecto de biodigestión anaeróbica llevado a cabo entre la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y la firma T. Wiles and Associates del Reino Unido (40), la cual prestó su asesoría hasta el año de 1989.

Toda la información generada durante este último estudio, ha permitido llegar a proponer un **Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico SMTA** (Figuras 137 y 138), el cual es el prototipo propuesto y evaluado actualmente por Cenicafé como planta de tratamiento de aguas residuales de lavado del café, cuyo aporte contaminante corresponde a la cuarta parte de la contaminación que generan los subproductos del proceso de beneficio húmedo de café (195, 196).

⁵⁰ Preparado por Zambrano, F. D. y Rodríguez V, N. Química Industrial, Cenicafé.

⁵¹ Para obtener los más avanzados datos sobre este tema se recomienda revisar el documento recién publicado (Septiembre, 1999) sobre **Tratamiento de Aguas Residuales del Lavado del Café** (197).



Figura 137. Reactores hidrolítico y metanogénico del sistema de descontaminación de aguas residuales del lavado del café (194).

A partir de 1995 un SMTA consta de una unidad de 8.000L fabricada en plastilona que hace las veces de tanque de almacenamiento y reactor hidrolítico y de una unidad de 2.000L ó reactor anaeróbico (189), que permiten la depuración del agua contaminada a expensas de microorganismos anaeróbicos que consumen la contaminación presente en el agua residual. Un SMTA contempla la separación de fases hidrolítica acidogénica de la fase metanogénica, la cual combina las tecnologías de flujo ascendente, manto de lodos UASB y filtro anaeróbico UAF (194).

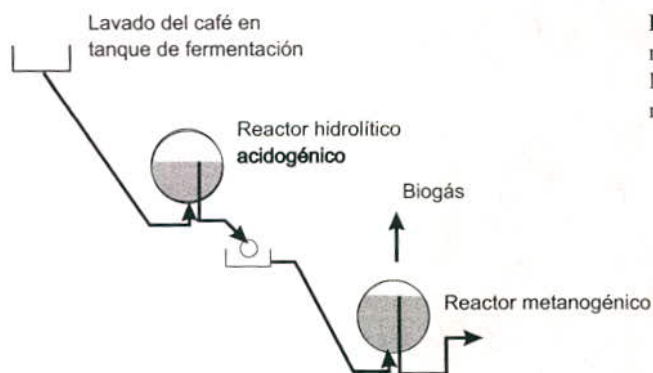


Figura 138. Esquema del sistema de tratamiento de aguas de lavado del café, por medio de reactores metanogénicos.

Tabla 55. Caracterización de la borra del café procedente de la Fábrica de Café Liofilizado, Chinchiná, utilizada para preparar el manto de lodos anaeróbicos.

Parámetro	Unidad	Valor	Método
Humedad	(% b.h.)	77,7	105 C, 16 h.
Nitrógeno Total	(% b.s.)	1,7	Kjeldah
Cenizas	(% b.s.)	0,2	575 C, 2 h.
Fósforo	(% b.s.)	0,06	Colorimétrico.
Potasio	(% b.s.)	0,07	EAA
Calcio	(% b.s.)	0,03	EAA
Magnesio	(% b.s.)	0,01	EAA
Hierro	(ppm)	101	EAA
Manganeso	(ppm)	7	EAA
Zinc	(ppm)	8	EAA
Cobre	(ppm)	30	EAA
Boro	(ppm)	7	Colorimétrico
Níquel	(ppm)	<0,7	ICP
Sólidos Volátiles	(% b.s.)	99,8	575 C, 2 h.
Sólidos Suspendidos	(% b.s.)	97,0	GF/C: 1.2um 105 C, 16 h
Sólidos Suspendidos Volátiles	(% b.s.)	96,8	2g, 600 C, 3h
DQO	(g O ₂ /g borra seca)	1,3	Dicromato
pH	(Lodo al 6% en peso)	3,6	pH Metrohm
Titulación al pH 7.5	(mg NaOH/g borra seca)	2,3	
Grasa	(% b.s.)	26,0	No reportado
Fibra	(% b.s.)	48,0	No reportado

Para preparar el manto de lodos UASB se utiliza borra de café, subproducto de la Fábrica de Café Liofilizado ubicada en el municipio de Chinchiná; en la Tabla 55 se presentan las características de la borra de café, subproducto de la extracción del café soluble.

El filtro anaeróbico UAF está conformado por anillos de polietileno reciclado de baja densidad (0,925g/cc), de 4 cm de longitud, área específica de contacto de 171m²/m³ de reactor, conformando un medio empacado con una porosidad del 78%.

En la actualidad el SMTA instalado en Cenicafé funciona con los residuos de lavado de café procedentes del beneficio para el pequeño caficultor donde el consumo máximo de agua es de 5L/kg cps y donde además se han adoptado el despulpado y transporte de pulpa sin agua y el lavado del café en los tanques de fermentación tradicional adaptados a **Tanques tina**, utilizando para ello cuatro enjuagues de la masa lo que permite tener dicho consumo de agua y alcanzar concentraciones de los residuos superiores a 25,000ppm de DQO (187). En los SMTA se requiere neutralizar las aguas residuales y balancear químicamente el lodo que contiene los

microorganismos sólo durante el arranque. Después de estas etapas preliminares todo el proceso de descontaminación lo efectúan los microorganismos.

Los primeros modelos de SMTA instalados por Cenicafe en fincas aledañas al municipio de Chinchiná, Caldas (Figura 137), se probaron con éxito tratando en el día pico hasta 20kg de Demanda Química de Oxígeno (DQO), contenidos en un volumen máximo de 700L de agua residual de lavado, los cuales se originan durante el lavado del café procedente de 750kg de café en cereza. Dicha cantidad de café producida en el día pico equivale al 2% de la cosecha anual estimada para una finca cuya producción sea de 7,8 ton (625@) cps/año, lo cual se da en un poco más del 80% de los cafetales colombianos con áreas menores a 5 hectáreas, asumiendo cafetales tecnificados (189).

En 1994 las eficiencias alcanzadas por los SMTA de la zona de Chinchiná, alcanzaron en promedio una remoción del 92,3 % de la contaminación expresada como DQO (60), equivalente en términos de DBO5 y superior a la exigida por la Legislación Colombiana en el Decreto 1594 de 1984 (102) (Tabla 56).

Durante este mismo año el primer modelo de SMTA instalado en Cenicafe mostró una remoción promedio de 88,5 %. Una evaluación realizada durante una prueba de esfuerzo, simulando 47 días pico continuos y lavando diariamente el café procedente de 600kg de café en cereza, mostró una remoción neta del 90,7% de la contaminación, lo que corresponde a aplicar una carga de 8,2kgDQO/m³.día (130). La Tabla 57 muestra la caracterización efectuada a las corrientes líquidas del SMTA durante esta prueba de esfuerzo.

El mayor inconveniente que se tuvo en los primeros modelos de los SMTA para evitar las sobrecargas que originaban las fallas, fue el sobredimensionamiento que presentan los tanques fermentadores tradicionales, lo cual permite retener una mayor cantidad de café en baba para fermentar y originar volúmenes de agua superiores a los previstos para tratar diariamente en estos sistemas. A lo anterior se sumó el descuido por parte de los usuarios que no mantienen limpias las tuberías y lavan las máquinas de aspersión dentro de los tanques de fermentación, contenido tóxico que va luego a los SMTA ocasionándoles temporalmente un funcionamiento deficiente.

Tabla 56. SMTA prototipos instalados en finca y promedios de remoción de DQO estimadas. 1994.

FINCA	NETA	ESTIMADA*
Buenos Aires	89,9 %	99,2%
Fundación Manuel Mejía	91,6 %	98,1%
La Magnolia	95,3 %	97,9 %
Promedio	92,3 %	98,4 %

* Calculada a partir de la DQO de las aguas residuales de lavado en tanque-tina: 27.400 ppm

28

etapas preliminares
mismos.

1 fincas aledañas al
on éxito tratando en
)), contenidos en un
s se originan durante
cha cantidad de café
imada para una finca
en un poco más del
ctáreas, asumiendo

Chinchiná, alcanza-
ción expresada como
cigida por la Legisla-
i).

en Cenicafé mostró
a durante una prueba
amente el café proce-
del 90,7% de la
gDQO/m³.día (130).
es líquidas del SMTA

os de los SMTA para
mensionamiento que
permite retener una
volúmenes de agua
stemas. A lo anterior
n limpias las tuberías
rmentación, conteni-
almente un funciona-

de remoción de DQO

ESTIMADA*
99,2%
98,1%
97,9 %
98,4 %

tanque-tina: 27.400 ppm

Tabla 57. Características de las corrientes líquidas del SMTA Cenicafé durante pruebas de esfuerzo

Parámetro	AFLUENTE	EFLUENTE
Temperatura	23°C	28°C
PH	3,9	7,3
DQO	31.320 ppm	2.910 ppm
Sólidos Totales	23.110 ppm	3.540 ppm
Sólidos Suspendidos	12.300 ppm	1.070 ppm
NTk	661 ppm	328 ppm
Fósforo	59 ppm	14 ppm
Ácidos Grasos Volátiles		6,3 meq/L
Alcalinidad		1.920 ppm

Es común la práctica de utilizar el efluente de reactores anaeróbicos en riego de cultivos con el fin de incorporar al suelo su materia orgánica estable y el nitrógeno y fósforo que se encuentran en forma disponible para las plantas, lo que permite ayudar a la fertilización del suelo (60). Esta aplicación se está dando en algunos de los sitios donde se encuentran los SMTA instalados. Se ha cuestionado el efecto incrementándose la erosión con esta práctica, dada la topografía pendiente de la zona cafetera. Para dar una idea de cuál sería tal efecto, se hacen los cálculos de riego para el día pico sobre 5ha de cafetal, utilizando los 700L efluentes del SMTA; basta mencionar que tal cantidad de líquido equivaldría a una precipitación lluviosa de 0,013mm, equivalente entre 150 y 385 veces menos que la tasa de evapotranspiración dentro del cafetal, la cual se estima para las condiciones de Chinchiná, entre 5 y 2mm en días soleados y sombreados, respectivamente.

La **prueba de esfuerzo** realizada en el SMTA de Cenicafé, llevó a plantear una estrategia que permite ampliar la cobertura de tratamiento manteniendo los mismos costos, en fincas con producciones de 18 ton (1.438@) de cps año, al brindarse la posibilidad de almacenar mas volumen de agua residual en la primera unidad, utilizando materiales de construcción más económicos y dosificación posterior. En septiembre de 1995 en los SMTA se utilizó una estrategia de operación y manejo por distribución de cosecha que condujo al dimensionamiento óptimo de los reactores hidrolítico-acidogénico y metanogénico del sistema, tendientes a reducir los costos asociados a la instalación y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Esta estrategia contemplaba el dimensionamiento de las unidades que conforman el sistema, teniendo en cuenta la factibilidad de almacenar (a bajo costo) el agua residual para luego diferir su tratamiento. De acuerdo con lo anterior este mismo año la inversión para construir un SMTA se redujo a 40 US\$/ton (0,50 \$US/@) cps.

En Septiembre de 1993 la inversión para construir un SMTA era de 128 US\$/ton (1,6 \$US/@) cps, que incluía entre otros, reformas a los beneficiaderos para despulpar sin agua y redondear los tanques para lavar, Impuesto al Valor Agregado IVA, mano de obra, transporte de los tanques esféricos hasta la finca, 5 % de imprevistos y

60m de manguera de polietileno para conducción del ARL. A la luz de las observaciones llevadas a cabo durante la operación de los SMTA, se estima que se puede reducir su costo reemplazando y optimizando el funcionamiento de algunas partes que lo constituyen, como es el caso del primer tanque esférico ó reactor hidrolítico, recubrimientos y líneas de conducción en general.

Los principios que rigen el funcionamiento de un SMTA, entre ellos el incremento de temperatura en la segunda unidad utilizando la energía solar, se cumplen si el consumo específico de agua para beneficio de café es menor ó igual a 5L por kilogramo de cps. Un beneficiadero tradicional donde se consumen entre 40 y 50L/kg cps, para despulpar/transportar pulpa y lavar/clasificar el café, necesitaría 30 volúmenes más para poner en funcionamiento su planta de tratamiento. Otro beneficiadero donde se consuman, sólo para el lavado del café entre 20 y 25L/kg cps, necesitaría 15 volúmenes más para efectuar su tratamiento.

8.2. PRODUCCIÓN DE LODO METANOGÉNICO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ POR BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

En el tratamiento de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café mediante biodigestión anaeróbica utilizando reactores híbridos UAF/UASB, se hace necesario ejecutar 3 etapas: la maduración del lodo, el arranque y la operación.

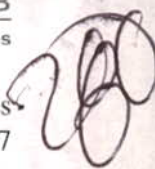
8.2.1. Maduración del lodo

Éste debe ser la fuente y el soporte de las bacterias metanogénicas que cumplen un importante papel en la digestión anaeróbica, pues son las encargadas de la etapa final del proceso, en donde la mayor parte de la materia orgánica presente en el sustrato se convierte en CO_2 y CH_4 .

8.2.2. Arranque

Una vez maduro, el lodo metanogénico se carga en el reactor que es alimentado con las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café a una concentración de 300ppm de DQO, neutralizadas con NaOH hasta pH 7,5 y a una temperatura de 36°C y con recirculación del efluente durante aproximadamente un mes. Bajo estas mismas condiciones, pero ya sin recirculación, se continua operando el reactor durante dos meses, aproximadamente, con el fin de llevarlo a régimen estacionario. Cuando el reactor se opera a temperatura ambiente el período de arranque es mayor aproximadamente en 6 meses.

En la práctica se considera que se ha alcanzado dicho régimen cuando una simple regresión lineal demuestra que los parámetros del proceso no muestran dependen-



a la luz de las observa-
e estima que se puede
ento de algunas partes
o ó reactor hidrolítico,

re ellos el incremento
olar, se cumplen si el
nor ó igual a 5L por
sumen entre 40 y 50L/
el café, necesitaría 30
de tratamiento. Otro
afé entre 20 y 25L/kg
nto.

O PARA DUALES DEL CAFÉ

fi ● húmedo del café
s UAF/UASB, se hace
que y la operación.

nicas que cumplen un
ncargadas de la etapa
gánica presente en el

tor que es alimentado
el café a una concen-
pH 7,5 y a una tempe-
ximadamente un mes.
continúa operando el
e ● a régimen esta-
el período de arranque

en cuando una simple
o muestran dependen-

cia con el tiempo, o más sencillamente, si el cultivo se ha mantenido en condiciones constantes de temperatura y alimentación en un período comprendido entre 2 y 7 veces el tiempo de retención hidráulica (88).

8.2.3. Operación

Una vez terminada la etapa de arranque y estabilización del reactor se realiza el tratamiento propiamente dicho, utilizando las aguas residuales del beneficio del café sin neutralizar.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante digestión anaeróbica puede requerir de varios meses; el arranque está directamente relacionado con la madurez del lodo utilizado como inóculo, es decir, la cantidad de biomasa activa inoculada y del tipo de sustrato.

El UASB es un modelo de reactor caracterizado por que las aguas residuales ingresan por el fondo del reactor y ascienden. La velocidad de salida del líquido crea una selección constante para los microorganismos que pueden adherirse y formar los gránulos; éstos pueden tener varios milímetros de diámetro y acumularse en el reactor en gran cantidad (81).

Los gránulos usualmente presentan una apariencia bien definida; la configuración granular tiene varias ventajas de ingeniería: los microorganismos están empacados densamente, no hay pérdida de espacio en el soporte inerte, el gránulo esférico provee el máximo radio de espacio para los microorganismos y muestran excelentes propiedades de sedimentación por su gran tamaño (81).

El crecimiento de los gránulos en un sistema de tratamiento de aguas residuales biodegradables con un alto contenido de carbohidratos incluye una amplia variedad de morfotipos bacterianos que aseguran la conversión sucesiva del sustrato primario a productos terminados como CH_4 y CO_2 . Recientemente se han hecho observaciones que convergen a defender la organización estructural de la población microbiana en el gránulo (81).

Debido a la importancia de tener gránulos de buen tamaño dentro del reactor híbrido diseñado por Cenicafé, en la zona UASB, se quiere tener un reactor, de acuerdo con la denominación de la biotecnología, del tipo de células inmovilizadas debido a su efectividad en el tratamiento de las aguas residuales. En este caso la borra de café hace de soporte poroso y el estiércol de cerdo o vacuno de inóculo bacteriano.

Para la ejecución de la primera etapa, se generó y estandarizó una metodología para la producción del lodo anaeróbico a partir de la borra de café, para madurar rápida y económicamente el lodo, pilar fundamental para el éxito de un tratamiento anaeróbico de aguas residuales.

Para la producción del lodo metanogénico se utilizó borra de café fresca que ha demostrado ser un excelente soporte para la biomasa, con una granulometría superior a los 2mm por presentar una excelente sedimentabilidad, de acuerdo con los

ensayos de laboratorio realizados por Isaza (86) y a una concentración de 100g de sólidos totales/litro de reactor de acuerdo con las recomendaciones dadas por Zambrano (189).

La borra se inoculó con fuentes de bacterias metanogénicas que fueran fáciles de encontrar en la zona cafetera y para ello se utilizaron estiércol de cerdo y de vacuno (diluidos con agua a una concentración 1:1), con una concentración de 1,5% de SSV, en b.s. Se agregó agua residual del lavado del café hasta una DQO final de 4500 ppm y se neutralizó con hidróxido de sodio.

De igual manera se realizaron estudios con y sin adición de nutrimentos, para evaluar el efecto de la adición de fuentes de nitrógeno, fósforo y azufre sobre el tiempo de maduración del lodo.

Como fuente de nitrógeno se escogió la úrea, como fuente de fósforo el fosfato diamónico (DAP) y como fuente de azufre el sulfato de amonio, por ser abonos de fácil consecución en las fincas cafeteras, además de tener unos costos similares. La úrea se agregó a razón de 163mg/kg de borra seca, el DAP se agregó a razón de 963mg/kg de borra seca y el sulfato de amonio se agregó a razón de 934mg/kg de borra seca.

El estudio para evaluar el efecto de la temperatura sobre el tiempo de maduración del lodo se realizó a temperatura ambiente y a 36°C. Al analizar la información sobre producción de biogás acumulado y metano acumulado, se pudo inferir que:

Los tratamientos a 36°C mostraron siempre mayor producción de biogás y de metano que sus análogos a temperatura ambiente.

En cuanto a la borra inoculada con estiércol de vacuno, es evidente la importancia de adicionarle nutrimentos, tanto a temperatura ambiente como a 36°C, la cual se refleja en la producción de biogás acumulado. Un comportamiento similar se presenta en la producción de metano.

En el caso de la borra inoculada con estiércol de cerdo no se observan diferencias, después del día 30 para los tratamientos a 36°C, en cuanto a la producción de biogás, en los tratamientos con y sin nutrimentos.

La mayor **producción de biogás** acumulado al día 75 se presentó para el tratamiento borra + estiércol de vacuno + nutrientes, a 36°C con 3.149ml. Al realizar la comparación con los otros tratamientos se puede apreciar que los tratamientos que tenían como inoculo estiércol de cerdo a 36°C, le siguen en producción con aproximadamente 2.000ml, es decir, el 64%.

De igual forma, la mayor producción de metano húmedo medio, acumulado al día 75 se presentó para el tratamiento borra + estiércol de vacuno + nutrimentos, a 36°C con 2.523ml, y una eficiencia de producción de metano del 93,1%. Al realizar la comparación de eficiencias como metano seco producido bajo condiciones nor-

entración de 100g de
ndaciones dadas por

que fueran fáciles de
de cerdo y de vacuno
entración de 1,5% de
sta una DQO final de

utrimientos, para eva-
zufre sobre el tiempo

de fósforo el fosfato
io, por ser abonos de
s costos similares. La
se agregó a razón de
azón de 934mg/kg de

empo de maduración
alior la información
, se pudo inferir que:
cción de biogás y de

idente la importancia
mo a 36°C, la cual se
miento similar se pre-

observan diferencias,
o a la producción de

presentó para el trata-
3.149ml. Al realizar la
e los tratamientos que
roducción con aproxi-

edio, acumulado al día
uno + nutrientes, a
del 93,1%. Al realizar
bajo condiciones nor-

males con los otros tratamientos, se puede apreciar que los tratamientos que tenían como inóculo estiércol de cerdo a 36°C le siguen en producción con aproximadamente el 61,8% para el que tenía nutrientes y 51,81% para el que no tenía nutrientes.

A los 25 días, los tratamientos inoculados con estiércol de cerdo, de vacuno y con nutrientes a 36°C presentaron prueba de combustión positiva. A los 30 días, los tratamientos inoculados con estiércol de cerdo y de vacuno y con nutrientes a temperatura ambiente, presentaron prueba de combustión positiva.

Del presente estudio se concluye:

- Se comprueba que la borra de café fresca, por sus propiedades físicas, es un excelente soporte para microorganismos anaeróbicos.
- La temperatura tiene una gran influencia sobre la actividad metanogénica.
- La utilización de inóculos metanogénicos favorece el tiempo de maduración de la borra de café.
- En términos generales, la adición de fuentes de nitrógeno, fósforo y azufre, disponibles en los fertilizantes utilizados en el cultivo del café tiene un efecto positivo en el incremento de la actividad metanogénica del lodo.
- El estiércol de cerdo se muestra como el mejor inóculo metanogénico y no precisa la adición de nutrientes, pues el comportamiento de los tratamientos que tenían este inóculo fue muy similar en cuanto a la producción de biogás y de metano, con y sin nutrientes. Por el contrario, se podría presentar alguna inhibición en la actividad metanogénica al utilizar los nutrientes, como pudo ser el caso del tratamiento que tenía nutrientes e inóculo de cerdo a temperatura ambiente.
- El estiércol de vacuno exhibe un buen comportamiento cuando recibe suplementación con nutrientes, tanto a temperatura ambiente como a 36°C.
- En términos de eficiencia de producción de metano, el mejor tratamiento es aquel en el que se utiliza estiércol de vacuno, suplementado con nutrientes y a 36°C.
- Hay una tendencia bien definida hacia la presencia de correlación entre la producción de metano y el contenido de Na^+ . Tanto para los tratamientos a 36°C como a temperatura ambiente, la mayor producción de metano húmedo se presentó para aquellos tratamientos cuya concentración de Na^+ fue menor.



283

CAPÍTULO

Bibliografía





BIBLIOGRAFÍA

1. AGUDELO G., D. Estudio de señales electrónicas para reconocimiento de objetos duros. Chinchiná, Cenicafé-Universidad Nacional, 1999. 39 p. (Experimento ING-0410).
2. AHUJA, N. H.; WALSH, A. M. Ingeniería de costos y administración de proyectos, Mexico, Ediciones Alfaomega, 1989. 373 p.
3. ALVAREZ G., J. Despulpado del café sin agua. Chinchiná, Cenicafé, 1991. 6p. (Avances Técnicos Cenicafé No 164).
4. ALVAREZ G., J. Despulpadora de café accionada a pedal. Chinchiná, Cenicafé, 1991. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé No 168).
5. ALVAREZ H., J.R. Separador agua – pulpa de café. Chinchiná, Cenicafé, 1990. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé No 155).
6. ALVAREZ G., J. Evaluación técnica de módulos BECOLSUB al nivel de caficultores. Chinchiná, Cenicafé, 1997. 78 p. (Proyecto de Investigación ING-1112).
7. ALVAREZ G., J. Informe anual. *In*: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. Octubre 93 - Septiembre 1994. Chinchiná, Cenicafé, 1994. p. 1-37.
8. ALVAREZ G., J. Informe anual. *In*: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. Octubre 94 - Septiembre 1995. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 14 p.
9. ALVAREZ H., J.R. Diseño de un beneficiadero para pequeño caficultor. *In*: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. Octubre 93-Septiembre 94. Chinchiná, Cenicafé, 1994. p. 5-8.
10. ALVAREZ H., J. R. Evaluación y validación de la tecnología del beneficio ecológico y manejo de subproductos BECOLSUB, en 11 subestaciones de Cenicafé. Chinchiná, Cenicafé, 1997. 38 p. (Proyecto de Investigación ING-1113).

11. ALVAREZ H., J.R. Informe anual. *In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ*. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. Octubre 95 - Septiembre 1996. Chinchiná, Cenicafé, 1996. p. 2-5
 12. ALVAREZ G., J.; GONZALEZ R., F.O.; ALVAREZ H., J.R.; FERNANDEZ, A.; LOPEZ A., R.; ROA M., G. Secado solar rotativo para café. Chinchiná, Cenicafé, 1989. 8 p. (Avances Técnicos Cenicafé No 144).
 13. ALVAREZ H., J. R.; MEJIA G., F. Manejo de quemadores eléctricos para secado de café. Chinchiná, Cenicafé, 1981. 19 p. (Boletín Técnico Cenicafé No. 7).
 14. ALVAREZ H., J. R.; ROA M., G. Diseño, construcción y evaluación de un equipo para el desmucilaginado, lavado y clasificado del café despulpado. Chinchiná, Cenicafé, 1984. 23 p. (Proyecto INAGA-46).
 15. AMERINE, M.; PANGBORN, R. M.; ROESSLER, E.B. Principles of sensory evaluation of food. New York, Academic Press, 1973. 602 p.
 16. AMORIM, H.V.; CRUZ, A.R.; ANGELO, A.J.; DIAZ, R.M.; MELO, M.; TEIXEIRA, A.A.; GUTIERREZ, L.E.; ORY, R.L. Biochemical physical and organoleptical changes during raw coffee quality deterioration. *In: Colloque Scientifique International sur le Café*, 8. Abidjan, Novembre 28 - Decembre 3, 1977. París, ASIC, 1977. p. 183-186.
 17. AMORIM, H.V.; MALAVOLTA, E.; TEIXEIRA, A.A.; CRUZ, V.F.; MELO, M.; GUERCIO, M.A.; FOSSA, E.; BREVIGLIERI, O.; FERRARI, S.E.; SILVA, D.M. Relationship between some organic compounds of the brazilian green coffee with the quality of the beverage. *In: Colloque International sur la Chimie des Cafés Verts, Torrefiés et leurs Derivés*, 6. Bogotá, 4-9 juin, 1973. París, ASIC, 1973. p. 113-127.
 18. ARANDA, E. El vermicompostaje: Una nueva alternativa para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. *In: Seminario Internacional sobre Biotecnología en Agroindustria Cafetera*, 2. Manizales, 4 - 7 de noviembre de 1991. Resúmenes. 10 p.
 19. ARISTIZÁBAL T., I. D. Diseño, construcción y evaluación de un hidrociclón para lavar y clasificar café fermentado. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1995. 220 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
 20. AUTODESK. Mechanical Desktop 2.0. Estados Unidos, Autodesk, 1998. (Programa en CD).
 21. BARBOSA, L. F.; PARREIRA, P.; ICUNO, H.; LOURENCO, S.; GOMES, F.P.; CAMPOS, H. Influencia do tempo de secagem sobre o rendimento do café despulpado. Sao Paulo, Secretaria de Agricultura, Departamento de Produção Vegetal, 1963. 27 p.
- BAUMEISTER, T.; AVALLONE, E.; BAUMEISTER III, T. MARKS Manual del ingeniero mecánico. 8. ed. México, Mc Graw Hill, 1984. 3 Vols.

DE INVESTIGACIONES DE LA DISCIPLINA DE CHINCHINÁ, Cenicafé, 1996.

RIVERO, A.; LOPEZ, A. Chinchiná, Cenicafé, 1989.

eléctricos para secado mecánico Cenicafé No. 7).

evaluación de un equipo de despulpado. Chinchiná, Cenicafé, 1989.

Principles of sensory evaluation. 602 p.

MELO, M.; TEIXEIRA, M. Physical and organoleptical evaluation. Colloque Scientifique Decembre 3, 1977. Paris, ASIC.

RUIZ, V.F.; MELO, M.; RIVERA, S.E.; SILVA, D.M. e Brazilian green coffee evaluation sur la Chimie des produits, 1973. Paris, ASIC.

para la transformación Internacional sobre Bio-energía, 4 - 7 de noviembre de 1989.

de un hidrociclón para la Universidad Nacional de Colombia, 1989.

, Autodesk, 1998. (Pro-gram).

D. GOMES, F.P.; CAMARGO, J. Mejoramiento de café des-cribido de Producao de Café, 1989.

F. MARKS Manual del in-vestigador. 3 Vols. 1984.

23. BLACK A., T. Evaluación al Programa de Beneficio Ecológico del Café. Informe Final. Santafé de Bogotá, Universidad de los Andes. Programa de Magister en Economía del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1966. 176 p.
24. BORLAND. Quattro Pro for Windows. User's Guide. Version 5.0. Scotts Valley, Borland International, 1991.
25. BOUSO J., L. Equipos de separación sólido-líquido. Alimentación, Equipos y Tecnología 4(3):89-94.1985.
26. BOYCE, D. S. Processing yield from parchment coffee demucilaged mechanically and by natural fermentation. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 46 (4): 334-341.1982.
27. BOYCE, D.S. The absorption of water by washed parchment coffee when stored under water. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 45 (3): 191-192. 1961.
28. BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying cereal grains. Westport, The AVI Publishing, 1974. 265 p.
29. BUITRAGO B., O.; ALVAREZ G., J.; OSPINA M., J. E.; ROA M., G. Implementación del secado mecánico de café en carros secadores. Ingeniería e Investigación No. 25: 3-9. 1991.
30. CALLE V., H. Algunos métodos de desmucilaginado y sus efectos sobre el café pergamino. Cenicafé 16: 3 - 11. 1965.
31. CARBONEL, R.; VILANOVA, T. Beneficiado rápido y eficiente del café mediante el uso de soda cáustica. Santa Tecla, Ministerio de Ganadería. Centro Nacional de Agronomía, 1952. 142 p.
32. CARNAHAN, B.; LUTHER, H. A.; WILKES, J. O. Applied numerical methods. New York, John Wiley & Sons, 1969. 604 p.
33. CASE, E M. Fermentación en la producción de café. Revista del Instituto de la Defensa del Café de Costa Rica 2(13):462-467. 1935.
34. CASTILLO Z., J. Mejoramiento genético del café en Colombia. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 50 años de Cenicafé 1938-1958 Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé, 1990. p. 46-53.
35. CASTLE, T. New language for cupping coffee. Tea & Coffee Trade Journal 158 (4): 18-22. 1986.
36. CASTRO Q., G. Estudio comparativo del lavado y clasificación del café fermentado en canalón y canal semisumergido. Informe Final. Chinchiná, Cenicafé, 1987. 85p.
37. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Cenicafé. Análisis de la encuesta sobre beneficio y calidades de café. Chinchiná, Cenicafé, 1984. 160 p.

208

38. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Anuario Meteorológico 1994. Chinchiná, Cenicafe, 1979. 457 p.
39. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafe, 1995. 131p.
40. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Cenicafe. Biodigestión anaeróbica de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. Chinchiná, Cenicafe, 1992. 92 p. (Proyecto QIN 01-00).
41. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Fundamentos del beneficio húmedo del café. Chinchiná, Cenicafe, 1991. 236p.
42. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial. Octubre 1991 - Septiembre 1992. Chinchiná, Cenicafe, 1992. s.p.
43. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial. Octubre 1993 - Septiembre 1994. Chinchiná, Cenicafe, 1994. s.p.
44. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial. Octubre 1994 - Septiembre 1995. Chinchiná, Cenicafe, 1995. p.v.
45. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Cenicafe. Manual del beneficio del café. Chinchiná, Cenicafe, 1991. 236 p.
46. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Tecnología del cultivo del café. Manizales, Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, Cenicafe, 1987. 404 p.
47. CLARKE, R. J.; MACRAE, R. Coffee. Vol. 1. Chemistry. Essex, Elsevier Applied Science Publishers, 1985. 306 p.
48. CLEVES, R. Rendimiento de beneficiado de café. San José, Oficina del Café, 1968. 24p. (Proyecto I cosecha 1967/68).
49. CLIFFORD, M.N.; WILSON, K.C. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. Londres, Croom Helm, 1985. 457p.
50. COMITE DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE ANTIOQUIA. El beneficio del café. Medellín, Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia, 1991. 213 p.
51. CONSULTORÍAS AGROPECUARIAS E.A.T. Estudio sobre pérdidas en el beneficio del café en el Departamento de Caldas. Manizales, Comité de Cafeteros de Caldas, 1995. 265 p.
52. CORREA P., A. Evaluación del secado del café *Coffea arabica* en un secador intermitente de flujos concurrentes. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1987. 258 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).

FÉ. Cenicafé. Anuario
' p.

É. Cenicafé. Beneficio

E. Cenicafé. Biodiges-
: beneficio húmedo del
√ 01-00).

É. Cenicafé. Fundamen-
té, 1991. 236p.

Cenicafé. Informe anual
l. Octubre 1991 - Sep-

Cenicafé. Informe anual
l. Octubre 1993 - Sep-

. Cenicafé. Informe anual
il. Octubre 1994 - Sep-

F. Cenicafé. Manual del
l.

É. Cenicafé. Tecnología
tal de Cafeteros de Cal-

Essex, Elsevier Applied

, Oficina del Café, 1968.

chemistry and production
. 457p.

IOQUIA. El beneficio del
os de Antioquia, 1991.

obre pérdidas en el bene-
Comité de Cafete-

rabica en un secador in-
rsidad Nacional de Co-

53. COSTE, R. Caféiers et cafés. Paris, G. P. Maisonneuve et Larose, 1989. 373 p.
54. COSTE, R. El café. Barcelona, Blume, 1969. 285 p.
55. CRUZ G., M. C. Almacenamiento de café pergamino seco a granel, utilizando aireación mecánica controlada. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1991. 170 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
56. CHALARCA, J. El café en la vida de Colombia. Bogotá, FEDERACAFÉ, 1987. 171 p.
57. DAGET, N. Vocabulario de los términos organolépticos utilizados en la degustación del café. Lausanne, Laboratorio de Metrología Sensorial. Departamento de Investigación y Desarrollo Nestlé, 1980. 13 p.
58. DÁVILA A., M.T.; POSADA F., F.J. Evaluación de CL50 de insecticidas en lombriz de tierra alimentada con pulpa de café. In: Congreso "Socolen", 20. Cali, 13 - 16 de julio de 1993. Resúmenes. Cali, SOCOLEN, 1993. p. 110.
59. DÁVILA A., M.T.; RAMÍREZ, G., C.A. Informe de actividades en lombricultivos instalados en la Central de Beneficio Ecológico de Anserma. Chinchiná, Cenicafé, 1996. 57 p.
60. DEMUYNCK, M.; NYNS; NAVEAU, H. Agricultural uses of digested effluents. Louvain, University of Louvain, s.f. s.p.
61. DÍAZ O. A. Transporte hidráulico de café en sus diferentes estados y de la pulpa, en un canal abierto. Cali, Universidad del Valle, 1987. 76 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
62. EDWARDS, C.A. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. In: EDWARDS, C. A.; NEUHAUSER, E. F. (eds.) Earth worms in waste and environmental management. The Hague, SPB Academic Publishing, 1988. p. 21-31.
63. ESCOBAR C., J.C.; BETANCOURTH, A. Lombriz roja de California. Agroobjetivos No 4: 18-19. 1990.
64. ESTEVES R., J. P.; REYES J., V. R. Secador por deshumidificación de aire e inversión de flujo, diseño y evaluación. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 1990. 255 p. (Tesis: Ingeniería Mecánica).
65. FAIRES, V. M. Diseño de elementos de máquinas. 4. ed. México, Editorial. Pomaire, 1996. 330 p.
66. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Defectos del café y su clasificación. Bogotá, FEDERACAFÉ, s.f. (Afiche).
67. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del cafetero colombiano. 4. ed. Bogotá, FEDERACAFÉ, 1979. 209 p.

68. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Norma de calidades de café. Santafé de Bogotá, FEDERACAFÉ, 1988. 4 p.
69. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Programa de incentivos para transformación a beneficiaderos ecológicos. Santafé de Bogotá, FEDERACAFE, 1994. 11 p.
70. FERNANDEZ Q., A. Estudio de almacenamiento de semilla de café variedad Colombia. Chinchiná, Cenicafe, 1988. 70 p. (Informe final de la investigación realizada en desarrollo del año sabático).
71. FERNANDEZ Q., A., VELEZ, P., C. Estimación de propiedades térmicas del café. Cali, Universidad del Valle – Cenicafe, 1995. 35 p.
72. FERRUZZI, C. Manual de lombricultura. Madrid, Mundiprensa, 1987. 137 p.
73. FOURNEY, G.; TCHANA, E.; GUYOY, B.; VINCENT, J.C. Etude d'une démulagination rapide du café Arábica par trois substances enzymatiques. *In: Colloque Scientifique Internationale sur le Café*, 13. Paipa, 21-25 aout, 1989. Paris, ASIC, 1989. p. 331-341.
74. FREIRE, A. C. F.; MIGUEL, A. E. Rendimiento e qualidade do café colhido nos diversos estagios de maturacao, em Varginha-MG. *In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, 12. Caxambu, 28-31 de outubro, 1985. Rio de Janeiro, IBC -GERCA, 1985. p. 176-179.
75. FUKUNAGA, E. T. A new mechanical coffee demucilaging machine. Hawaii, Agricultural Experiment Station, 1957. 18 p. (Bulletin No. 115)
76. GÓMEZ M., R. Aireación nocturna en el silo 16. Bello, ALMACAFE, 1990. 3 p. (Memorando RADT 18866).
77. GONZÁLEZ R., F. O. Estudios comparativos de secadores solares por convección natural para café pergamino. Cali, Universidad del Valle, 1988. 192 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
78. GRANT, L. E.; IRESON, W. G.; LEAVENWORTH, S. R. Principles of engineering economy. New York, John Wiley & Sons, 1990. 591 p.
79. GUERRERO A., J. D. Determinación rápida de la calidad del café cereza. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1992. 80p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
80. GUERRERO A., J. D. Evaluación preliminar de medidores MH-2 DIES. Chinchiná, Cenicafe, 1992. 8p.
81. GUIOT, S.; PAUSS, A.; COSTERTON, J. Structured model of the anaerobic granule consortium. *In: International Symposium on Anaerobic Digestion*. Sao Paulo, 12-16 May, 1991. Paper preprints 1-10.
82. HALL, C. W. Drying farm crops. Reynoldsburg, Agricultural Consulting Associates, 1957. 336 p.

MBIA. Norma de cali-
88. 4 p.

MBIA. Programa de in-
gicos. Santafé de Bo-

la de café variedad Co-
nal de la investigación

lades térmicas del café.

rensa, 1987. 137 p.

NT, J.C. Etude d'une
stances enzymatiques.
Paipa, 21-25 aout, 1989.

de do café colhido nos
n: Congresso Brasileiro
o, 1985. Rio de Janeiro,

ging machine. Hawaii,
in No. 115)

LMACAFE, 1990. 3 p.

solares por convección
Valle, 1988. 192 p. (Te-

principles of engineering
p.

del café cereza. Mede-
(Tesis: Ingeniería Agrí-

s MH-2 DIES. Chinchí-

de anaerobic granule
ic Digestion. Sao Paulo,

al Consulting Associates,

83. HALL, A. S.; HALOWENCO, A. R. ; LAUGHLIN, H. G. Diseño de elementos de máquinas. México, Editorial Mc Graw Hill, 1971. 170 p. (Serie Schaum).
84. ILLY, A.; VIANI, R. Espresso Coffee: The chemistry of quality. Londres, Academic Press Limited, 1995. 253 p.
85. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. ICONTEC. Requisitos que deben cumplir las despulpadoras de café de cilindro horizontal. Bogotá, Icontec, 1981. 2p. (Norma Colombiana Cenicafe-ICONTEC No 2090).
86. ISAZA H., J.D. Granulometría y test de sedimentabilidad de la borra fresca. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1993-1994. Chinchiná, Cenicafe, 1994. s.p. (Mecanografiado).
87. JARAMILLO G.,B. Propiedades físicas del café pergamino *Coffea arabica*. Santafé de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1989. 45p. (Tesis: MS Departamento de Física).
88. LEQUERICA, J. L.; FLORS, A.; MADARRO, A.; VALLES, S. Producción de CH₄ por fermentación anaerobia. II. Cinética del proceso. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 20(3): 327-346. 1980.
89. LINGLE, T. R. Desarrollo del café de especialidades-gourmet, orgánico y otros. San Salvador , Asociación de Cafés Especiales de Estados Unidos de América, 1995. 17 p.
90. LINGLE, T. R. The coffee cupper's handbook. A systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. Washington, Coffee Development Group, 1986. 32 p.
91. LONDOÑO R., G.E.; PEREZ G., J.E. Hidrociclones: alternativa en la separación sólido-líquido. Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana, 1988. 253 p.
92. LOPEZ P., H. Diseño, construcción y evaluación mecánica de un secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino. Cali, Universidad Autónoma de Occidente, 1985. 220 p. (Tesis: Ingeniería Mecánica).
93. LOPEZ, C.I.; BAUTISTA,E.; MORENO, E.; DENTAN,E. Factors related to the formation of "overfermented coffee beans" during the wet processing method and storage of coffee. In: Colloque Scientifique Internationale sur le Café, 13. Paipa, 21-25 aout, 1989. Paris, ASIC, 1989. p. 373 - 384.
94. LOPEZ, J.; OSPINA J. Ecuación de capa delgada para el café pergamino. Chinchiná, Cenicafe, 1990. 183 p. (Informe de año sabático).
95. MARQUEZ G., S.M. Canal semisumergido para la clasificación del café cereza y pergamino húmedo. Informe científico. Chinchiná, Cenicafe, 1988. 32 p.
96. MARTINEZ T., D. G. Aprovechamiento de la energía calórica no utilizada en las estufas campesinas para el secado mecánico de café. Chinchiná, Cenicafe, 1999. 120 p. (Proyecto de Investigación ING-0816).

97. MENCHU, J.F. La determinación de la calidad del café. Guatemala, Asociación Nacional del Café. Subgerencia de Asuntos Agrícolas, 1971. 51 p. (Boletín No 8).
98. MENCHU, J.F. La eliminación mecánica del mucílago del café. Boletín de Promecafé No 46: 8-10. 1990.
99. MENCHU, J. F. Manual de beneficiado del café. Guatemala, Asociación Nacional del Café, s.f. 119p.
100. MENCHU, J.F. Manual práctico de beneficios de café. Guatemala, Asociación Nacional de Café. Subgerencia de Asuntos Agrícolas, 1973. 96 p. (Boletín No 13).
101. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y COMERCIO DE COLOMBIA. Proceso para la transformación del café cereza a café pergamino lavado que incluye el despulpado sin agua, el desmucilaginado, lavado y limpiado del café pergamino y la mezcla del mucílago con la pulpa, mediante la utilización de despulpadora, desmucilaginador y tornillo sinfín. A favor de Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Santafé de Bogotá, Noviembre de 1995. (Patente No 95031744).
102. MINISTERIO DE SALUD. Decreto número 1594 de 1984. Santafé de Bogotá. Ministerio de Salud, 1984. 48p.
103. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Fijación de las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Resolución Número 0273. Santafé de Bogotá, Abril 1 de 1997. 2p.
104. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Reglamentación de las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas. Decreto Número 901. Santafé de Bogotá, Abril 1 de 1997. 9p.
105. MONTENEGRO C., J. Y. Secador eléctrico estático para café, de baja capacidad, inversión de flujo y recirculación de aire. Santafé de Bogotá, Universidad Nacional, 1992. 160 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
106. MONTOYA, E.C. Optimización operacional del secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial, 1989. 161 p. (Tesis: Investigación de Operaciones).
107. MONTOYA, E.C.; OLIVEROS T., C.E.; ROA M., G. Optimización operacional del secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino. Cenicafé 41(1):19-33. 1990.
108. MORENO R., G.; CASTILLO Z., J. La variedad Colombia. Una variedad con resistencia a la roya (*Hemileia vastratix* Berk. y Br.). Chinchiná, Cenicafé, 1984. 25 p. (Boletín Técnico No. 9).

Guatemala, Asociación
s, 1971. 51 p. (Boletín

5. Boletín de Promecafé

la, Asociación Nacio-

Guatemala, Asociación
s, 1973. 96 p. (Boletín

MBIA. Proceso para la
do que incluye el des-
do del café pergamino
ización de despulpadora,
ación Nacional de Ca-
de 1995. (Patente No

34. Santafé de Bogotá.

t...as mínimas de las
parámetros Demanda
s Totales (SST). Reso-
1997. 2p.

n de las tasas retributi-
como receptor de los
éstas. Decreto Número

café, de baja capacidad,
e Bogotá, Universidad

ermitente de flujos con-
tecnológica de Pereira.
: Investigación de Ope-

ización operacional del
café pergamino. Cenicafe

a. Una variedad con re-
nchiná, Cenicafe, 1984.

109. MORENO R., G.; MORENO G., E.; CADENA G., G. Características del grano y de la bebida de la variedad Colombia de *C. arabica*, evaluadas por paneles de diferentes países. Chinchiná, Cenicafe, 1995. 5 p.
110. OLIVEROS T., C.E. Desmucilaginado mecánico del café. Chinchiná, Cenicafe, 1989. 15 p.
111. OLIVEROS T., C. E. Secador de café IFC. Chinchiná, Cenicafe, 1989. 18 p.
112. OLIVEROS T., C.E., Desmucilaginado mecánico del café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, Cenicafe. Informe Anual de labores de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. 1988-1989. Chinchiná, Cenicafe, 1989. 15 p.
113. OLIVEROS T., C. E., Rheological properties of mucilage and mucilage-coffee beans suspensions. Journal of Food Process Engineering 19(3): 331-342. 1996.
114. OLIVEROS T., C. E.; ALVAREZ G., J.; ALVAREZ M., F.; RAMÍREZ G., C. A.; ÁLVAREZ H. J. R. El BECOLSUB 100: beneficio ecológico para pequeños productores. Chinchiná, Cenicafe, 1999. 4 p. (Avances Técnicos Cenicafe No 261).
115. OLIVEROS T., C. E.; ALVAREZ M., F.; MONTOYA R., E. C. Metodología para el escalamiento de agitadores mecánicos utilizados en procesos con fluidos no-Newtonianos. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín 50(1): 31-54. 1997.
116. OLIVEROS T., C. E.; ROA M., G. Coeficientes de fricción, ángulos de reposo y densidades aparentes de café *Coffea arabica*, variedad Caturra. Cenicafe 36(1): 22-38. 1985.
117. OLIVEROS T., C. E.; ROA M., G. El desmucilaginado mecánico del café. Chinchiná, Cenicafe, 1995. 8 p. (Avances Técnicos Cenicafe No 216).
118. OLIVEROS T., C.E.; ROA M., G. Instrucciones para utilizar el medidor de humedad para café pergamino Cenicafe - 1. Chinchiná, Cenicafe. Disciplina de Ingeniería Agrícola, 1989. 13 p. (Documento interno).
119. OLIVEROS T., C. E.; ROA M., G. Pérdidas de presión por el paso del aire a través del café pergamino, variedad Caturra, dispuesto a granel. Cenicafe 37(1): 23-37. 1986.
120. OLIVEROS T., C.E.; ROA M., G.; ALVAREZ G., J. Medidor rústico de humedad para café pergamino. Cenicafe 40(2): 40-53. 1989.
121. OLIVEROS T., C. E.; SANZ U., J.R.; RAMIREZ G., C.A.; ALVAREZ H., J.R.; ROA M., G.; ALVAREZ G., J. Desmucilaginosos mecánicos de café. Chinchiná, Cenicafe, 1995. 4 p. (Avances Técnicos Cenicafe No. 217).
122. OROZCO C., F. J. Descripción de especies y variedades de café. Chinchiná, Cenicafe, 1986. 29 p. (Boletín Técnico No. 11).

123. OSPINA M., J. E. Evaluación del prototipo modificado, intermitente de flujos concurrentes. Chinchiná, Cenicafé, 1990. 69 p. (Informe de labores de año sabático).
124. OSPINA M., J. E. Silo secador Cenicafé. Chinchiná, Cenicafé, 1990. 57 p. (Informe de labores de año sabático).
125. PARRA, C. A. Informe anual. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 1998 - 1999. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 20 p.
126. PARRA R., H. Transporte de café cereza por cable aéreo de gravedad. Santafé de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1989. 141 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
127. PASCUAS L., R T. Estudio de la retención en pulpa del efluente líquido-sólido resultante del beneficio ecológico del café. Neiva, Universidad Surcolombiana, 1996. 92 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
128. PATIÑO T., A. Evaluación de cafeductos. Chinchiná, Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia-Cenicafé, 1990. 64 p.
129. PATIÑO V., F. Diseño y construcción de un transportador mecánico de café cereza por cable aéreo. Cali, Universidad del Valle, 1992. 326 p. (Tesis: Ingeniería Mecánica).
130. PAVCO. Manual Técnico. Tuberías y Accesorios Sanitaria PVC. 15 p.
131. POISSON, J. Aspects chimiques et biologiques de la composition du café vert. In: Colloque Scientifique International sur le Café, 8. Abidjan, Novembre 28- Decembre 3, 1977. París, ASIC, 1977. p. 33-58.
132. POPOV, E P. Introducción a la mecánica de sólidos. México, Editorial Limusa, 1976. 652 p.
133. PUERTA Q., G.I. El beneficio y la calidad del café. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 45 p.
134. PUERTA Q., G.I. Ensayos de conservación de café cereza y su influencia en la calidad de la bebida. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1994-1995. Chinchiná, Cenicafé, 1995. p.v.
135. PUERTA Q., G.I. Escala para la evaluación de la calidad de la bebida de café verde *Coffea arabica* L., procesado por vía húmeda. Cenicafé 47 (4): 231-234. 1996.
136. PUERTA Q., G.I. Estado actual de las investigaciones en Cenicafé sobre el defecto sabor fenólico en el café colombiano. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 84 p.

137. PUERTA Q., G.I. Evaluación de varias preparaciones de enzimas pectolíticas de la empresa Coldanzimas en el proceso de fermentación del beneficio húmedo de café. Informe final. Chinchiná, Cenicafé, 1994. 108 p.
138. PUERTA Q., G.I. Evaluaciones de calidad del café colombiano procesado por vía seca. Cenicafé 47 (2): 85-90. 1996.
139. PUERTA Q., G.I. Calidad de las variedades de café *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia. Cenicafé 49 (4): 265-278. 1998
140. PUERTA Q., G.I. La evaluación sensorial del café. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 9 p.
141. PUERTA Q., G.I. Reconocimiento del deterioro en la calidad física y de la bebida del café por mercadeo de pergamino húmedo. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial. 1992-1993. Chinchiná, Cenicafé, 1993. 149 p.
142. PUERTA Q., G.I.; PEREZ L., C.M.; GONZALEZ M., M.J. Factores que influyen en la aparición del defecto fenólico en el café colombiano. Chinchiná, Cenicafé, 1996. 10 p.
143. PUERTA Q., G.I.; QUICENO O. A.L.; ZULUAGA V., J. La calidad del café verde: Composición, proceso y análisis. Chinchiná, Cenicafé, 1988. 251 p.
144. RAMIREZ G., C.A. Evaluación económica y ecológica del módulo "DESMULAC" con respecto al proceso tradicional de café por vía húmeda. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 1993-1994. Chinchiná, Cenicafé, 1994. 11 p.
145. RAMIREZ G., C.A. Evaluación técnica y económica de módulos BECOLSUB 600 y 1000 Móviles, para el beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé. 1997. 51 p. (Proyecto de Investigación ING-1114).
146. RAMIREZ G., C.A.; ALVAREZ G., J. El secador solar parabólico. Chinchiná, Cenicafé, 1996. 13 p.
147. REYMOND, D. Utilisation de critères analytiques pour definir la qualité du café boisson. In: Colloque Scientifique International sur le Café, 10. Salvador, 11-14 de octubre de 1982. París, ASIC, 1982. p. 159-175.
148. RINCÓN S., O. La lombriz de tierra. Revista ESSO Agrícola 35 (1): 18 - 23. 1988.
149. RIOS A., S. Caracterización química del mucílago del café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFÉ, Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial. 1995-1996. Chinchiná, Cenicafé, 1996. 43 p.

150. ROA M., G. Desmucilaginado, lavado y clasificado del café, módulo DESMULACLA. Programa de investigación sobre Beneficio del Café procesado vía húmeda. Chinchiná, Cenicafe, 1984. 8 p.
151. ROA M., G. Diseño, construcción y evaluación de una central para el beneficio ecológico de café. Chinchiná, Cenicafe, 1992. 75 p.
152. ROA M., G. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. 1990-1991. Chinchiná, Cenicafe, 1991. p.v.
153. ROA M., G. Natural drying of cassava. East Lansing, Michigan State University, 1974. 234 p. (Tesis: Ph.D.).
154. ROA M., G.; MACEDO, I.C. Grain drying in stationary bins with solar heated air. *Solar Energy* 18: 445-449. 1976.
155. ROA M., G.; TREJOS R., R.; CRUZ G., M. Conservación del café pergamino y trillado durante su almacenamiento y transporte. Chinchiná, Cenicafe – ALMACAFE, 1992. 92 p.
156. RODRIGUEZ G., A. Campaña de defensa y restauración de suelos. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, Cenicafe. Conferencias Conmemorativas. 50 años de Cenicafe, 1938-1988. Chinchiná, Cenicafe, 1990. p. 9-14.
157. RODRIGUEZ, N. Maduración de lodo de borra para reactores anaeróbicos. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1993-1994. Chinchiná, Cenicafe, 1994. 40 p. (Mecanografiado).
158. RODRIGUEZ, N. Maduración de lodo de borra para reactores anaeróbicos. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1994-1995. Chinchiná, Cenicafe, 1995. 105 p. (Mecanografiado).
159. RODRIGUEZ, N. Metanogénesis de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. Chinchiná, Cenicafe, 1994. 51 p. (Experimento QIN 0203) (Mecanografiado).
160. ROSSI, S.J.; ROA M., G. Aplicacao de métodos de análise numérica e regrecao nao linear para estimacao de condutividade térmica e difusividade térmica para cereais. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 6. Sorocaba, S.P., 1976.
161. ROSSI, S.J.; ROA M., G. Secagem e armazenamento de produtos agropecuarios com uso de energía solar e ar natural. São Paulo, Academia de Ciencias do Estado de São Paulo, 1980. 295 p. (Aciesp n° 22).
162. SALAZAR A., J. N. La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almácigos de café. Chinchiná, Cenicafe, 1992. 2p. (Avances Técnicos Cenicafe No 178).

163. SALAZAR M., C.A. Clasificación hidráulica de café mediante un hidrociclón. Medellín, Universidad Nacional. Facultad de Minas, 1996. 294 p. (Tesis: Magister en Recursos Hidráulicos).
164. SANZ U., J.R. Desarrollo de un desmucilaginator mecánico para café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 1993. Chinchiná, Cenicafé, 1994. 17 p.
165. SIERRA G., F. Evaluación de la pérdida de calidad de la semilla de café, variedad Caturra durante su beneficio. Cali, Universidad del Valle, 1988. 155 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
166. SIERRA G., F.; FERNANDEZ Q., A.; ROA M., G.; ARCILA P., J. Evaluación de la pérdida de calidad de la semilla de café durante su beneficio. Cenicafé 41 (3): 69-79. 1990.
167. SIVETZ, M.; DESROSIER, N.W. Coffee technology. Westport, Avi Publishing Company, 1979. 716 p.
168. STIRLING, H. G. Further experiments on the factors affecting quality in stored arabica coffee. Kenya Coffee 40 (466):28-35. 1975.
169. TARGHETTA A., L.; LOPEZ R., A. Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica. Tomo 2. Madrid, Editorial Blume, 1970. s.p.
170. TEIXEIRA, A.; AZEVEDO, A.M.G. DE ; SEELSCHOPP, J.; STEIN, N.; GORF, R. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 10. Pocos de Caldas, Agosto 29-Setembro 1, 1983. Anais. Sao Paulo, IBC-GERCA, 1983. 249-254.
171. THOMPSON, T.L ; PEART, R. M.; FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying new model. Transactions of the ASAE 11(4): 582-86. 1968.
172. TORRES A.,S.E. Clasificación de café pergamino en canal de correteo y en máquina de aire-zaranda. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1990. 80 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
173. TREJOS R., R.A.; ROA M., G. Determinación de la humedad relativa de equilibrio y del calor latente de vaporización del café pergamino y trillado. Chinchiná, Cenicafé, 1986. 170 p.
174. TREJOS R., R.; ROA M., G., LOPEZ Z., J. CRUZ, M. Implementación del modelo de Thompson para la simulación del enfriamiento y secado del café pergamino. Chinchiná, Cenicafé, 1991. 37 p.
175. TREJOS R., R.; ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E. Humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde. Cenicafé 40(1):5-15. 1989.
176. VALENCIA M., A. Cosecha y recibo de café en el beneficiadero. Chinchiná, Cenicafé, 1976. 8 p.

177. VALENZUELA T., R. Transporte neumático del café pergamino y la pulpa fresca de café. Neiva, Universidad Surcolombiana, 1989. 78 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola).
178. VARELA V., R. Evaluación económica de inversiones. Santafé de Bogotá. Grupo Editorial Norma, 1989. 512 p.
179. VASQUEZ M., R.; HIDALGO U., G. Influencia del desmucilaginado mecánico del café y de diferentes períodos de espera al secado sobre la calidad. *Noticiero del Café* 6 (64): 3-4. 1991.
180. VASQUEZ M., R.; MONTERO H. M. Pérdida de sólidos del endospermo del café durante el beneficio. *In: Simposio sobre Caficultura Latinoamericana*, 14. Ciudad de Panamá, Mayo 20-24, 1991. Tegucigalpa, IICA-PROMECAFÉ, 1994. p. 543 - 547.
181. VELASQUEZ, H., J.; ALVAREZ, G. J. Rastrillo revolovedor para el secado solar del café pergamino. Chinchiná, Cenicafé, 1991. 4 p. (Avances Técnicos Cenicafé No. 193).
182. VILLABONA G., S. Estudio de la clasificación del café brocado en el canal de correteo. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 45p.
183. WILBAUX, R. El beneficio del café. Roma, FAO, 1960. 232 p. (Boletín no oficial de trabajo).
184. WILBAUX, R. Les caféiers au Congo Belge. Technologie du café Arabica et Robusta. Bruxelles, Ministère des Colonies. Direction de l'Agriculture des Forests et de l'Elevage, 1956. 213 p.
185. WRINGLER, G. Coffee. New York, Longman Scientific & Technical, 1988. 639 p.
186. ZAMBRANO F., D. A. Experimentos realizados en el laboratorio de biodigestión: Biodigestión anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café. *In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ*. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial. Chinchiná, Cenicafé, 1988. 23 p.
187. ZAMBRANO F., D. A. Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchiná, Cenicafé, 1993. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé No. 197).
188. ZAMBRANO F., D. A. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química industrial. Octubre 1988-Septiembre 1989. Chinchiná, Cenicafé, 1989. 22 p.
189. ZAMBRANO F., D. A. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1992-1993. Chinchiná, Cenicafé, 1993. 36 p. (Mecanografiado).
190. ZAMBRANO F., D. A. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1993-1994. Chinchiná, Cenicafé, 1994. 71 p. (Mecanografiado).

191. ZAMBRANO F., D. A. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química industrial 1994-1995. Chinchiná, Cenicafe, 1995. 83 p. (Mecanografiado).
192. ZAMBRANO F., D. A. Lavado del café en los tanques de fermentación. Cenicafe 45(3): 106-118. 1994.
193. ZAMBRANO F., D. A. Prueba exploratoria de maduración de borra semidescompuesta para producción de lodo metanogénico. Chinchiná, Cenicafe, 1989. 22 p.
194. ZAMBRANO F., D. A., ISAZA, H. J. D., RODRIGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Chinchiná, Cenicafe, 1999. 26 p. (Boletín Técnico Cenicafe No. 20).
195. ZAMBRANO F., D. A., ZULUAGA V., J. Contribución al estudio de los residuos del proceso de beneficio húmedo de café. In: REUNIÓN del Grupo de Proceso y Control de Calidad de Café. Bucaramanga, 1989. sp.
196. ZAMBRANO F., D. A.; ZULUAGA V., J. Balance de materia en un proceso de beneficio húmedo del café. Cenicafe 44(2): 45-55. 1993.
197. ZAPATA, J. Dispositivo electrónico para control de temperatura por termopares. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. Informe Anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 1989-1990. Chinchiná, Cenicafe, 1990. 19 p.
198. ZULUAGA V., J. Los factores que determinan la calidad del café verde. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafe. 50 años de Cenicafe 1938-1958. Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafe, 1990. p. 167-183.
199. ZULUAGA V., J.; ZAMBRANO F., D. A. Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. Chinchiná, Cenicafe, 1993. 4 p. (Avances Técnicos Cenicafe No. 187).

APENDICE - A

Tabla 58. Densidades y equivalencias aproximadas de peso entre los diferentes estados del café, de la pulpa y del cisco.

Densidad		Estados del Café, Pulpa y Cisco								
kg/m ³		CC	CB	CL	CSA	CPS	CA	PF	PM	C
600	CC	1,0	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,04
800	CB	1,7	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,7	0,8	0,07
650	CL	2,4	1,5	1,0	0,8	0,5	0,4	1,0	1,2	0,10
520	CSA	3,1	1,9	1,3	1,0	0,7	0,6	1,2	1,5	0,13
380	CPS	4,5	2,7	1,9	1,5	1,0	0,8	1,8	2,2	0,19
680	CA	5,6	3,3	2,3	1,8	0,2	1,0	2,2	2,7	0,23
270	PF	2,5	1,5	1,0	0,8	0,6	0,5	1,0	1,2	0,11
420	PM	2,1	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	0,8	1,0	0,09
370	C	23,8	14,3	9,8	7,7	5,3	4,3	9,5	11,4	1,00

CC = Café Cereza.

CB = Café en Baba.

CL = Café Lavado.

CSA = Café Seco de Agua.

CPS = Café Pergamino Seco.

CA = Café en Almendra o Café Verde.

PF = Pulpa Fresca.

PM = Pulpa Mojada.

APENDICE - B

DESCRIPCION Y ORIGEN DE LOS PRINCIPALES
TÉRMINOS ORGANOLÉPTICOS Y SABORES DEL CAFÉ ⁵⁴

Los siguientes son los principales sabores que pueden encontrarse en una bebida de café. La descripción corresponde en su mayoría a la que hace el departamento de Investigación del Laboratorio de Metrología Sensorial de la Nestlé (Suiza) (57).

ACEITOSO

Se llama así a un café con sabor a aceite frito, debido a una torrefacción extremada, café algo viejo, que presenta un sabor a grasa, pero no rancio.

ACIDEZ

Es una cualidad propia de los cafés arábica beneficiados por una vía húmeda. Es un sabor que se aprecia por el sentido del gusto en la parte lateral de la lengua. Es el sabor y aroma característico de ciertos ácidos como el cítrico, láctico, clorogénico, o de frutas cítricas como el limón o la naranja. Es una de las características más apreciadas en el café colombiano.

Característica normal de los cafés Arábica, especialmente de aquellos cultivados a gran altitud, algunos de ellos se buscan debido a este sabor tan particular como el café de Kenia, su intensidad se modifica por el grado de torrefacción y no parece poder expresarse objetivamente midiendo el pH. A veces un exceso de acidez puede ser un defecto para cafés normalmente neutros como el "Robusta".

Los expertos distinguen tres clases de acidez:

- Deseable natural: ácido.
- Indeseable natural: ácido, agrio, vinoso.
- Indeseable: desarrollada durante el proceso, acompañada de astringencia. Sensación picante y ligeramente astringente.

ACRE

Sensación a la vez amarga y astringente, rasposa y desagradable que se encuentra especialmente en ciertos cafés Robusta de mala calidad, está relacionada con la presencia de muchos granos defectuosos como granos negros.

Se le denomina también sensación áspera.

AGUADO

Se refiere a la falta de cuerpo o consistencia de un café. Es el caso extremo de una bebida "ligera" que ha sido preparada con demasiada agua, es poco concentrada y poco "tostada".

⁵⁴ Capítulo tomado de DAGET, N. (57); AMERINE et al (15) y Puerta *et al* (143).

ES DEL CAFÉ ⁵⁴

se en una bebida de café.
Departamento de Investiga-
za) (57).

torrefacción extremada,

a vía húmeda. Es un sa-
la lengua. Es el sabor y
, clorogénico, o de fru-
ticas más apreciadas en

uellos cultivados a gran
ticular como el café de
no parece poder expre-
uede ser un defecto

astringencia. Sensación

e que se encuentra espe-
ionada con la presencia

el caso extremo de una
oco concentrada y poco

Puerta *et al* (143).

AGRIO

Se desarrolla normalmente si persisten las condiciones que originan el sabor a "fruta" y "vinoso". Se origina por falta de control en la recolección y beneficio del café.

AMARGOR

Característica generalmente normal en los cafés, debida a su constitución química, afectada por su grado de torrefacción y por la manera de preparar la bebida. Esta característica es deseable hasta cierto grado. Las cafés Robusta son más amargos que los Arábica.

APAGADO

Un café se llama apagado cuando el conjunto de las características organolépticas da una impresión de redondez, pero le falta carácter. Se parece al sabor "insípido": falta del sabor característico del café, es equivalente a una taza débil.

AROMA

Es la primera cualidad que el catador percibe en la bebida del café al oler la muestra. Está compuesto por sustancias volátiles como aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres etc.

Su intensidad, cualidad y tipo indican la calidad del café, condiciones de cultivo y beneficio. El tipo de aroma puede ser: tostado, dulce, leguminoso, terroso, químico etc.

AROMATICO

Café que manifiesta plenamente el aroma característico de su naturaleza y de su origen.

ASTRINGENTE

En medicina califica a ciertos cuerpos que provocan una contracción o crispación de los tejidos. El término se ha extendido a todos los efectos de los polifenoles.

Los ácidos provocan la astringencia.

Para los cafés, la astringencia se asimila a la acidez indeseable. Se relaciona con la mayor o menor presencia de café pintón o verde.

Aparece regularmente en los cafés bajos, sobre todo en los producidos en zonas donde llueve durante la cosecha y por tal razón, se recolectan antes de su completa maduración.

Este sabor va desde una marcada astringencia hasta un suave sabor a paja o grama, que se hace cada vez menos perceptible a medida que se beneficia mejor el café y se gana en altura.

CEBOLLA

Es causado por falta de control en el proceso de fermentación; sobrefermentación o cuando la fermentación de los azúcares del mucílago no fué completa o fué dispareja.

El proceso da origen a la formación de ácido propiónico que es la causa del sabor a cebolla.

Aparece también en los café almacenados húmedos.

CONTAMINACIONES

El café bien preparado y seco, es susceptible de adquirir con mucha facilidad sabores y olores extraños, si las condiciones durante el almacenamiento no son las adecuadas. Entre las contaminaciones más comunes se tienen:

- **SACO**

Es una característica de los cafés almacenados durante mucho tiempo en sacos.

Un sabor extraño que puede presentarse en infusiones de café preparadas con cafés poco tostados.

- **CAUCHO**

Sabor particular que recuerda el olor que despiden los neumáticos de los vehículos al calentarse por el frotamiento contra la calzada.

- **HUMO**

El humo es un aroma y sabor parásitos, adquiridos a menudo por malas condiciones de preparación o de almacenamiento del producto. La característica puede depender también de condiciones inadecuadas durante la torrefacción.

- **LEÑOSO (de madera)**

Recuerda el olor de la madera seca. Puede deberse a la presencia de muchos granos defectuosos (blanqueados, esponjosos, secos), cuya torrefacción no puede desarrollar las características aromáticas, o a la utilización de un café demasiado viejo que ha perdido sus principios aromáticos y sólo conserva el soporte leñoso.

- **PAPEL**

Sabor característico de ciertos cafés que han sido empacados en bolsas de papel o de infusiones que son preparadas utilizando un filtro de papel de mala calidad.

- **QUIMICOS**

Característica detectable al percibir el aroma. Puede tener su origen durante el almacenamiento con fungicidas o cerca a otros reactivos químicos; o debido a una contaminación del café durante el cultivo o beneficio.

CUERPO

Esta cualidad organoléptica del café está asociada a los sólidos solubles presentes en la bebida de café. El catador lo percibe en la lengua como una mayor o menor concentración que se denomina "cuerpo completo o lleno" o "cuerpo delgado o ligero", respectivamente.

DURO

Café que sorprende al paladar por una sensación no táctil, sino mixta. Cuando el amargor y la acidez de un café no están envueltos por la redondez del cuerpo. Es un café mal equilibrado y al límite puede ponerse acre.

ENVEJECIDO

Es un café que ha perdido todas o parte de sus características organolépticas típicas, pero aún es mejor que un café viejo.

Este defecto es el resultado natural del envejecimiento del grano, aunque esté bien procesado. Se acentúa más en climas húmedos y cálidos. Si el almacenamiento se realiza bajo condiciones de 20 °C de temperatura y 65% de humedad, el defecto aparece más lentamente.

FRUTA

El sabor recuerda al de la piña madura. Se desarrolla por sobrefermentación o mal lavado del café o por mezcla de café recién despulpado con granos dejados en el tanque de fermentación de cosechas anteriores.

FUERTE

Que tiene cuerpo, un fuerte sabor y olor característicos. Se origina por mezclas de café y exceso de torrefacción.

HEDIONDO ("STINKER")

Los granos hediondos se desarrollan por malas condiciones de cosecha o de beneficio, que originan durante la torrefacción un olor a podrido y fermentado. La presencia de algunos granos hediondos en la bebida, la hace desagradable e imbebible.

IMPRESIÓN GLOBAL

Se refiere a la calificación general y clasificación de una bebida de café según su calidad. Por la impresión global se acepta o rechaza la calidad de un café. Está relacionada con todas las propiedades percibidas con el sentido del olfato (aromas) y gusto (cuerpo, amargo y acidez).

MOHOSO

Este defecto es el resultado del almacenamiento de café a medio secar. El grado de mohosidad depende de las condiciones de temperatura y humedad del sitio de almacenamiento, así como del tiempo durante el cual se almacene.

También aparece como un sabor a cosecha vieja muy marcada, en café que se decoloró (blanqueó) muy rápidamente, por haber sido dejado con más del 12% de humedad.

La característica de moho también depende de las condiciones de cosecha, beneficio y limpieza de los equipos utilizados.

RIO

Este es un defecto grave pero afortunadamente raro en los cafés lavados. Proviene del fruto reventado y caído al suelo a causa de la lluvia y que allí se sobrefermenta y enmohece. Generalmente son daños individuales los que causan la mala calidad de la taza, aún cuando en algunas ocasiones ha aparecido el sabor en forma suave, diluido en toda la muestra por causas no determinadas.

SABOR

El sabor predominante en una bebida de café es el resultado de la intensidad y grado en

que se presenten el aroma, el cuerpo, la acidez y el amargor del café. El sabor puede ser propio, equilibrado, o definirse como "verde", "contaminado", "sucio", fermento.

SOBREFERMENTADO

Este defecto se puede presentar en diferentes grados y todos se deben a malas prácticas en el proceso de fermentación y beneficio.

Puede originarse en los tanques de fermentación, en las casetas de los patios, en las tolvas de los secadores o en los propios secadores.

En los tanques se debe a la descomposición del mucílago; durante el proceso de secado se debe a la acción enzimática anormal bajo condiciones permanentes y óptimas de temperatura para acelerar su actividad.

Entre los grados de sobrefermentación se tienen: fruta, cebolla, agrio y típico (cuando el tiempo de la sobrefermentación es demasiado largo, se presenta el olor a vinagre penetrante y si se alarga en presencia de natas y pulpa de café, puede aparecer el sabor a "queso").

SUCIO

Es un defecto que puede tener diferentes causas: cosecha antes de la madurez del fruto, principios de fermentación en frutos que han sido amontonados, mal lavado, mal secado, o reabsorción de humedad del grano por malas condiciones durante el almacenamiento.

TERROSO

Este sabor se puede considerar como "sucio" muy marcado y desagradable aunque predomina el sabor bien definido a tierra húmeda.

Es un sabor común en los cafés naturales y lavados (beneficio seco).

Se percibe un sabor y olor a tierra recién removida, especialmente en cafés de baja calidad. Se debe a malas condiciones de preparación, secado sobre tierra (en vez de cemento), Es un sabor propio en algunos tipos de café debido a su origen.

VERDE

Es un sabor característico de bebidas preparadas con grano inmaduro. Se presenta en café recién cosechado y beneficiado, o de principio de cosecha.

VIEJO

Es un café que ha sido tostado y se ha almacenado durante demasiado tiempo. El café cambia de aroma y adquiere una característica muy desagradable.

VINOSO

El origen de este defecto está en la cosecha de café sobremaduro, el retraso entre la recolección y el despulpado del fruto. También se origina por sobrefermentación o por lavado incompleto del café.

Mientras más se retrase el despulpado, el sabor "vinoso" originalmente dulzón y agradable se hace cada vez más agrio hasta constituir un defecto completo.

205
205

café. El sabor puede
,"sucio", fermento.

deben a malas prácti-

de los patios, en las

te el proceso de seca-
nantes y óptimas de

agrio y típico (cuando
nta el olor a vinagre
uede aparecer el sabor

le la madurez del fru-
nal lavado, mal secado,
nte el almacenamien-

agradable aunque pre-

co).

te en cafés de baja ca-
e tierra (en vez de ce-
rigen.

aduro. Se presenta en

asiado tiempo. El café

ro, el retraso entre la
fermentación o por

lmente dulzón y agra-
pleto.

OTRAS CARACTERISTICAS

Existen otros sabores que dependiendo de su intensidad pueden constituir o no, defec-
tos.

DULZON

Característica asociada a una sensación adulcerada, ligeramente azucarada.

EQUILIBRADO, REDONDO, LLENO O COMPLETO

Es un café que contiene todas las características de sabor sin que ninguna sea especial-
mente aparente.

FRANCO

Es un café que no presenta aroma desagradable.

FRESCO

Es una característica positiva que se aplica a un café recién cosechado y tostado, cuyo
aroma se destaca particularmente.

LODO

Caracteriza a una infusión que contiene gran cantidad de partículas en suspensión y un
cuerpo desagradable.

NEUTRO

Que no presenta características predominantes, principalmente indeseables. Es un café
que no es aromático, aunque esto no constituye un defecto muy marcado.

TOSTADO

Es una característica de intensidad relativa que depende de las componentes naturales
del café, cuyo aroma cambia con el grado de tostación.

APENDICE - C

Fabricantes de la tecnología BECOLSUB autorizadas por la federación nacional de cafeteros de Colombia (Lista actualizada a septiembre de 1999).

AGROPIJAO

Att. ANGEL JIMENEZ ROJAS
Cl. 13 # 5-79
Tel. 54 4343
Pijao, Quindío
Nit. 94251815 - 4

INGESEC CIA. LTDA.

Att. NELSON MOYA MOYA
Cra. 61A # 27-15 Sur
Apartado Aéreo 34136
Tel. 414 5957 - 414 5960
Nit. 800.049.968 - 8

INDUSTRIAS FIMAR

Att. JAIME RUEDA BALAGUERA
Cl. 23 # 17-14
Tel. 24 4572 - 24 2716
San Gil, Santander
Nit. 5.741.644

JOSE HECTOR QUINTERO T.

Att. JOSE HECTOR QUINTERO T.
Cra. 27C # 17B-03
Tel. 64 5883
Santa Rosa de Cabal
Nit. 15.902.796

INDUSTRIAS ELECTROMECÁNICAS Y ECOLÓGICAS DE CARTAGO

Att. MARTIN EMILIO MESA VELEZ
Cl. 1a # 3-123
Cartago, Valle
Nit. 70.810. 170

J.M.ESTRADA

Att. JORGE EDUARDO ESTRADA M.
Cra. 50 # 40-05
Tel. 279 0194 - 279 0023
Medellín
Nit. 890.900.174-4

INDUSTRIAS INDUMETH

Att. BENEDICTO CUELLAR
Cl 9 # 31A-44 Res. Tel. 70 0584
Taller Tel. 70 05 22
Neiva
Nit. 813002962-9

METÁLICAS BOLIVAR.

Att. EDGAR JULIO VELASQUEZ
CÁRDENAS
Cl. 50 # 38-84 Entrada principal
Tel. 8413038
Ciudad Bolívar, Antioquia
Nit. 70.412.476

INDUSTRIAS METALÚRGICAS LA MACARENA - J.GALLO

Att. MARCO AURELIO GIRALDO
Zona Industrial La Macarena
Bodega # 12
Tel. 330 5565 - 332 5322
Dosquebradas
Nit. 891401635-0

METALÚRGICAS APOLO

Att. CARLOS EDUARDO
SALDARRIAGA
Cra. 13 # 63-04
Tel. 094 - 261 9085
Medellín

INGEMÁQUINAS

Att. JAIRO RUEDA CARDENAS
Cra. 19A2 # 8-42
Urbanización Las Gaviotas
Tel. 0955 - 733556
Valledupar.

PENAGOS HERMANOS Y CIA. LTDA.

Att. HERNANDO RODRIGUEZ
ARENAS
Cl. 28 # 20-80
Tel. 630 1600
Bucaramanga, Santander
Nit. 890200686-1

la federación nacional
e 1999).

DA.
YA MOYA
5 Sur
4136
14 5960
3 - 8

UINTERO T.
OR QUINTERO T.
33

abal

ARDO ESTRADA M.

279 0023

1-4

R.
O VELASQUEZ

entrada principal

Antioquia

APOLO
UARDOS
GA

085

ANOS Y CIA. LTDA.
RODRIGUEZ

nder

**SOCIEDAD TÉCNICA LTDA.
"SOTEC"**

Att. CARLOS ALBERTO URIBE
Carretera al Magdalena, Kilómetro 9
Tel. 874 5691 - 874 7480
Fax 874 7590
Manizales
Nit. 890803937-1

**TALLER AGROINDUSTRIAL EL
CAFETERO ECOLÓGICO**

Att. JULIO HERMES NOVOA
MONTAÑEZ
Avenida 8 # 16-79
Barrio El Páramo
Tel. 71 22 64
Cúcuta
Nit. 63351589-0

TALLER AGROMETÁLICAS GALLEGOS

Att. CARLOS MARIO GALLEGOS
Cra. 10 # 8-20
Tel. 52 84 86
Belén de Umbría, Risaralda
Nit. 9.762.596-1

TALLER BECOL

Att. FREDY HERNAN PATIÑO T.
Cra. 3a. # 7A-01, Barrio Panorama
Tel. 850 7768
Chinchiná, Caldas
Nit. 75.144.921

TALLER BÚFALO

Att. DARIO ECHEVERRY GARCES
Avenida 30 de Agosto # 27 - 51
Tel. 336 1069
Nit. 1355745
Pereira, Risaralda

TALLER CALDAS

Att. JORGE ALVARO BEDOYA C.
Cra. 6 # 12 - 49
Tel. 850 7125
Chinchiná
Nit.000015898211

TALLER CITARA

Att. ROGELIO HORACIO ORTIZ
RINCON
Cl. 49 # 44-204
Tel. 8411102
Bolívar, Antioquia
Nit. 74.005.621

TALLER IND.DESCAFÉ

Att. ALONSO PATIÑO OROZCO
Cra. 5 Bis # 14 A-52
Tel. 850 7482
Chinchiná
Nit. 75143762-0

TALLER INDUSILOS

Att. JOSE LONDOÑO V.
Cra. 17 # 9-43
Verdúm, Etapa II
Tel. 50 42 45
Chinchiná, Caldas
Nit. 4.413.333

TALLER INDUSTRIAL RUÍZ

Att. MANUEL BENITEZ GRANADA
Cra. 50 # 50-24
Tel. 69 65 52
Sevilla, Valle
Nit. 2.646.548

TALLER URIEL OSPINA VÁSQUEZ

Att. URIEL OSPINA
Cra. 5a. # 12-44
Tels. 8400347 - 8502163
Chinchiná, Caldas
Nit. 15.906.021

3003



UNA PUBLICACIÓN DE CENICAFE

ANEXO 2

25/09

DESIGN AND COMPARATIVE EVALUATION OF
THREE-LAYER COFFEE DRYER MACHINE

A THESIS SUBMITTED TO GRADUATE DIVISION OF THE
UNIVERSITY OF HAWAII IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER IN

BIOSYSTEMS ENGINEERING

MAY 2003

By

Arturo Correa-Piedrahita

Thesis Committee:

Loren Gautz

H. C. Bittenbender

Marcel Tsang

200
310

SIGNATURE PAGE FOR THESIS

We certify that we have read this thesis and that, in our opinion, it is
satisfactory in scope and quality as a thesis for the degree of Master of
Biosystems Engineering.

THESIS COMMITTEE

Chairperson

202
3/11

Acknowledgments

I wish to thank the members of my thesis committee, Dr. Loren Gautz, Dr. Bittenbender, and Dr. Marcel Tsang, for their continued support as I worked toward the completion of this thesis. These thanks apply especially to Dr. Gautz, for his advice and his agreeing to grant me my laboratory assistantship, and lastly for supplying me with all the instrumentation that was necessary to accomplish this thesis.

Special thanks also go to Mr. Tommy Greenwell and all his family and team at Greenwell Farms, where I conducted the entire rotary and sun dryers evaluations. This thesis would not have been possible without Mr. Greenwell's financial and technical support.

Also, I would like to thank Mr. Marin Artukovich, and his team at Koa Coffee Plantation, for giving me the opportunity to install and evaluate the Three-layer coffee dryer, and because he believed in this new technology, even though at the time the higher efficiency of this technology had not yet been proven.

Thanks to thank Mr. Mark Meisner from the University of Hawai'i's Experimental and Extension Farm in Kona, because he permitted me to use his oven and scale.

I would like to give thanks to Colombian Coffee Growers Federation, for their technical information and their financial support. Special thanks to Dr. Gonzalo Roa for his advice and for motivating me to continue my studies.

Thanks too to Eng. Engineer Jorge Estrada and his staff of JM Estrada, a Colombian machinery company, for building the proto-type of the three-layer coffee dryer, and for their continued support through the changes necessary to achieve the actual performance.

Lastly, special thanks to my wife Lilliana Lema, for her continued support, for her invaluable help, and for sharing her lovely life with me during the time it took me to finish this study.

312

Abstract

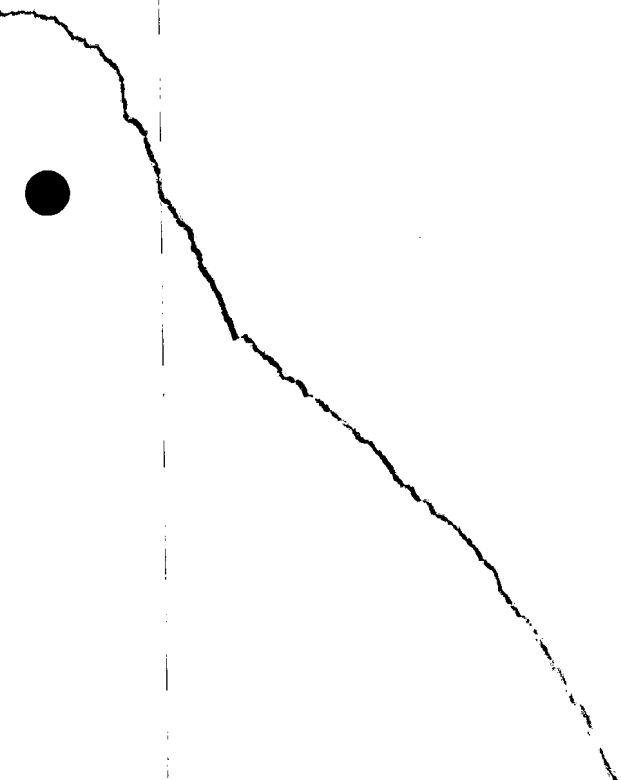
Drying is an important process step that prevents coffee from being attacked by bacteria and fungus that deteriorate quality. After coffee has been dried correctly, that is, dried to minimum of 12 %; it can be stored safely with minimum risk of spoilage and quality deterioration.

The method this study employed to evaluate differences in coffee drying was to compare coffee processed with a newly developed Tree-Layer Coffee Dryer, against coffee processed using Rotary Driers and Sun-Drying Processes. All the dryers were evaluated by measuring the uniformity on final moisture content and mechanical performance.

The conclusion of this study is that, compared to sun-drying and mechanical rotary dryers, the new three-layer coffee drier yields virtually identical uniformity in final moisture content, yet it is achieved through a lower cost. This study also concluded that diesel is the most economical fuel to be used in the operation of mechanical dryers. Also, this study concludes that the sun-drying technique is the most expensive system to dry coffee at Kona for two reasons: 1) sun-drying coffee is inherently a manual-labor intensive process; 2) the cost of manual labor in Kona is high. Lastly, this study's focus on sun dryers also shows that higher final moisture uniformity can be attained by the incorporation of a three-times-per-day, "Cenicafé" raking technique, which will be discussed later.

Actually, we are building these coffee dryers at plenty farms, not only with concrete deposit but also made 100 % by metal sheet.

3B



3/19

Table of Contents

Abstract..... iv

List of Tables ix

List of Figures..... xii

List of Abbreviations xvii

Chapter 1: Introduction 19

1.1 Importance..... 19

1.2 Justification 2

1.3 Objectives: 4

1.3.1 General objective 4

1.3.2 Specific Objectives 4

1.4 Coffee Drying 5

1.5 Equilibrium Moisture Content 11

Chapter 2: Methods 14

2.1 Localization 14

2.2 Rotary Dryers..... 14

2.3 Sun Dryers 17

2.4 Definition of variable 17

Chapter 3: Design of Three-Layer Coffee Dryer Machine 20

3.1 Area design 20

3.2 Hopper Design 22

3.3 Dimensions and parts 23

3.4 Blower calculation..... 25

325

3.5 Burner Selection.....	32
3.6 Final Characteristics.....	33
Chapter 4: Dimensions and Capacities of the Dryers.....	34
4.1 Experimental Method.....	34
4.2 Results	35
4.3 Conclusions.....	44
Chapter 5: Coffee Moisture Content vs. Time	46
5.1 Experimental Method.....	46
5.2 Results	48
5.3 Conclusions.....	59
Chapter 6: Air Temperature and Relative Humidity.....	62
6.1 Experimental Method.....	62
6.2 Results	63
6.3 Conclusions.....	92
Chapter 7: Coffee Temperature	95
7.1 Experimental Method.....	95
7.2 Results	96
7.3 Conclusions.....	102
Chapter 8: Cost Analysis.....	104
8.1 Experimental Method.....	105
8.2 Results	105
8.3 Conclusions.....	118
Chapter 9: Air Flow and Efficiencies.....	122

15
376

9.1 Experimental Method..... 122

9.2 Results 124

9.3 Conclusions..... 128

Chapter 10: Conclusions and Recommendations 129

Appendix A: Tables of Moisture Content vs. Time 133

Appendix B: Bulk Density Calculations 164

Appendix C: Psychrometric Properties of the air in SI Units 165

Appendix D: Electrical Motors Properties and Electricity Consumption..... 187

References..... 194

Handwritten signature and initials in the top right corner.

List of Tables

<u>Table</u>	<u>Page</u>
Table 4.1 Dimensions and Capacity of Rotary Big and Small (Exp. 2) Dryer.....	36
Table 4.2 Dimensions and Capacity of Rotary Small (Exp.3) and Diesel Dryer	37
Table 4.3 Dimensions and Capacity for Hosidana and Sun decks during experimentation	38
Table 4.4 Dimensions and Capacity for Hosidana and Sun decks during them full capacity	39
Table 4.5 Dimensions and Capacities of Three-layer coffee dryer	40
Table 4.6 Dynamic Capacities of the Dryers per hour and per day	41
Table 4.7 Maximum Dynamic Capacities of the Dryers per day	43
Table 5.1 Coefficient of variation, Final average moisture content, specific flow rate and drying temperature for dryers	58
Table 7.1 Coffee Temperature vs. Time. Big Dryer	97
Table 7.2 Coffee Temperature vs. Time. Small Dryer 2	97
Table 7.3 Coffee Temperature vs. Time. Small Dryer 3	98
Table 7.4 Coffee Temperature vs. Time. Diesel Dryer.....	98
Table 7.5 Coffee Temperature vs. Time. Vertical Dryer 13	99
Table 7.8 Coffee Temperature vs. Time. Vertical Dryer 14.....	99
Table 7.9 Coffee Temperature vs. Time. Vertical Dryer 15	100
Table 8.1 Mechanical Dryers Total Fixed Cost	106
Table 8.2 Sun Dryers Total Fixed Cost	106
Table 8.3 Total Fixed Cost All Dryers.....	107
Table 8.4 Fuel and electricity Variable Cost	109
Table 8.5 Labor Variable Cost.....	109
Table 8.6 Variable Medium Cost Calculations.....	110
Table 8.7 Variable Medium Cost.....	111
Table 8.8 Total Annual Cost.....	112
Table 8.9 Total Medium Cost	113
Table 8.10 Minimum Total Medium Cost	118
Table 9.1 Rotary Dryers Air Flow Calculations	125

Table 9.2	Three-layer coffee dryer Air Flow Calculations.....	126
Table 9.3	Interchanger and/or Burner Thermal Efficiency and Drying Efficiency	127
Table A1	Moisture Content vs. Time Big Dryer. Exp. 1	133
Table A2	Moisture Content vs. Time Small Dryer Exp. 2 Right Side	134
Table A3	Moisture Content vs. Time Small Dryer Exp. 2. Left side	135
Table A4	Moisture Content vs. Time Small Dryer Exp. 3. Right Side	136
Table A5	Moisture Content vs. Time Small Dryer Exp. 3. Left Side.....	137
Table A6	Moisture Content vs. Time. Diesel Dryer Exp. 4. Left Side.....	138
Table A7	Moisture Content vs. Time. Diesel Dryer Exp. 4. Right Side	139
Table A8	Moisture Content vs. Time. Hosidana-Traditional Rake. Exp. 5.....	140
Table A9	Moisture Content vs. Time. Hosidana- Cenicafe Rake. Exp 6	141
Table A10	Moisture Content vs. Time. Sun Deck Traditional Rake.....	142
Table A11	Moisture Content vs. Time. Sun Deck Cenicafe Rake.	142
	One year old Plastic Exp 8.....	142
Table A12	Moisture Content vs. Time. Sun Deck Traditional Rake.....	143
	Three years old Plastic. Exp 9.....	143
Table A13	Moisture Content vs. Time. Sun Deck . Cenicafe Rake.	144
	Three years old Plastic. Exp 10.....	144
Table A14	Moisture Content vs. Time. Sun Deck . Traditional Rake.....	145
	New Plastic. Exp 11	145
Table A15	Moisture Content vs. Time. Sun Deck . Cenicafe Rake.	145
	New Plastic. Exp 12.....	145
Table A16	Moisture Content vs. Time. Coffee Three-layer coffee dryer. Exp 13	146
Table A17	Moisture Content vs. Time. Coffee Three-layer coffee dryer. Exp 14	151
Table A18	Moisture Content vs. Time. Coffee Three-layer coffee dryer. Exp 15	156
Table B1	Bulk Density for Cherry, washed and dried coffee.....	164
Table C1	Psychrometric Properties of the air. Big Dryer	165
Table C2	Psychrometric Properties of the air. Small Dryer Exp. 2	166
Table C3	Psychrometric Properties of the air. Small Dryer Exp. 3	167
Table C4	Psychrometric Properties of the air. Diesel Dryer	168
Table C5	Psychrometric Properties of the air. Three-layer coffee dryer. Exp 15	171
Table D1	Electrical Motors Properties and Electricity Consumption. Big Dryer	187

25/3/19

Table D2 Electrical Motors Properties and Electricity Consumption. Small Dryer Exp. 2	188
Table D3 Electrical Motors Properties and Electricity Consumption. Small Dryer Exp. 3	189
Table D4 Electrical Motors Properties and Electricity Consumption. Diesel Dryer	190
Table D5 Electrical Motors Properties and Electricity Consumption. Three-layer coffee dryer. Exp13.....	191
Table D6 Electrical Motors Properties and Electricity Consumption. Three-layer coffee dryer. Exp. 14.....	192
Table D7 Electrical Motors Properties and Electricity Consumption. Three-layer coffee dryer. Exp. 15.....	193

220
230

List of Figures

<u>Figure</u>	<u>Page</u>
Figure 1.1 Skeletonized Psychometric chart. Lower and others (1994), pg 42.....	7
Figure 1.2 Air heating. From Lower and others (1994), pg 46.....	8
Figure 1.3 Drying or air humidifying. From Lower and others (1994), pg 47	9
Figure 1.4 Equilibrium Moisture Content for parchment coffee- air temperature °C.....	12
Figure 1.5 Equilibrium Moisture Content for parchment coffee- air temperature °F	13
Figure 2.1 Rotary Dryer 3,600 dried lb, Propane Burner and Unloading by gravity.	15
Named Big Dryer	15
Figure 2.2 Small Dryer, 1,000 dried lb and its propane burner and blower.	16
Figure 2.3 Diesel Dryer, 1,600 dried lb and its propane burner and Interchanger	16
Figure 2.4 Hosidana, Concrete sun deck , traditional and Cenicafé rake	18
Figure 3.1 Previous coffee three-layer coffee dryers. Building by Colombian Companies:	22
“Premac” and “JM Estrada”	22
Figure 3.2 Three-layer coffee dryer Dimensions	24
Figure 3.3 Three-layer coffee dryer Parts	25
Figure 3.4 Three-layer coffee dryer, blower, gear-motor and propane heater.....	26
Figure 3.5 Pneumatic piston and paddle to move coffee between layers	25
Figure 3.6 Correction factors for static pressure by air temperature and farm	27
elevation. From Chicago Blowers Manual.	27
Figure 3.7 Relationship between duct size, flow rate, velocity and static	28
pressure drop. From ASHRAE Handbook (1989).....	28
Figure 3.8 Blowers and its direction of rotation and discharge	29
Figure 3.9 Blower wheel with backward inclined blades. From Chicago Co	31
Figure 3.10 Airfoil Blower Performance characteristics. From Chicago Co	31
Figure 4.1 Dynamic Capacity of the Dryers	42
Figure 4.2 Daily Capacity of the Dryers.....	42
Figure 4.3 Maximum Daily Capacity of the Dryers	44
Figure 5.1 Moisture Content vs. Time Big Dryer with Regression Analysis. Exp. 1.....	48
Figure 5.2 Moisture Content vs. Time Small Dryer with Regression Analysis.	49

Right Side. Exp. 2.....	49
Figure 5.3 Moisture Content vs. Time. Small Dryer Regression Analysis.....	49
Figure 5.4 Moisture Content vs. Time Small Dryer with Regression Analysis. Right....	49
Side. Exp. 3.....	49
Figure 5.5 Moisture Content vs. Time Small Dryer with Regression Analysis.	50
Left Side. Exp. 3	50
Figure 5.6 Moisture Content vs. Time Diesel Dryer with Regression Analysis.....	50
Both Sides. Exp. 4.....	50
Figure 5.7 Moisture Content vs. Time. Hoshidan. With Regression Analysis.	51
Both rakes. Exp. 5 and 6	51
Figure 5.8 Moisture Content vs. Time. Sun Deck. One year old Plastic.....	51
With Regression Analysis. Both rakes. Exp. 7 and 8	51
Figure 5.9 Moisture Content vs. Time. Sun Deck. Three years old Plastic.....	52
With Regression Analysis. Both rakes. Exp. 9 and 10	52
Figure 5.10 Moisture Content vs. Time. Sun Deck. New Plastic.	52
With Regression Analysis. Both rakes. Exp. 11 and 12	52
Figure 5.11 Moisture Content vs. Total Time. Coffee Three-layer coffee dryer. Exp. 13	53
.....	53
Figure 5.12 Moisture Content vs. Total Time. Coffee Three-layer coffee dryer. Exp. 14	54
.....	54
Figure 5.13 Moisture Content vs. Total Time. Coffee Three-layer coffee dryer. Exp.15	55
.....	55
Figure 5.14 Moisture Content vs. Net Time. Coffee Three-layer coffee dryer Exp.13...	56
Figure 5.15 Moisture Content vs. Net Time. Coffee Three-layer coffee dryer. Exp. 14.	57
Figure 5.16 Moisture Content vs. Net Time. Coffee Three-layer coffee dryer. Exp. 15	57
Figure 5.17 Moisture Content vs. Net Time. Coffee Three-layer coffee dryer.	58
Three Batches Comparison Exp. 13,14 and 15.....	58
Figure 5.18 Coefficient of Variation in final moisture content	59
Figure 6.1 Air Temperatures. Big Dryer.....	64
Figure 6.2 Relative Humidity. Big Dryer	64
Figure 6.3 Air Temperatures. Small Dryer. Exp. 2.....	64
Figure 6.4 Relative Humidity. Small Dryer. Exp. 2	65
Figure 6.5 Air Temperatures. Small Dryer. Exp. 3.....	65

Figure 6.6 Relative Humidity. Small Dryer. Exp. 3	66
Figure 6.7 Air Temperatures. Diesel Dyer.....	67
Figure 6.8 Relative Humidity. Diesel Dryer.....	67
Figure 6.9 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/14/01	68
Figure 6.10 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/15/01	68
Figure 6.11 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/16/01	69
Figure 6.12 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/17/01	70
Figure 6.13 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/18/01	70
Figure 6.14 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/19/01	71
Figure 6.15 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/20/01	71
Figure 6.16 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/21/01	72
Figure 6.17 Air Temperature and Relative Humidity. Sun Drying. 12/22/01	72
Figure 6.18 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	73
12-03-02, Exp. 15	73
Figure 6.19 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-03-02, Exp. 15	74
Figure 6.20 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-03-02, Exp. 15	74
Figure 6.21 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	74
Figure 6.22 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-04-02, Exp. 15	75
Figure 6.23 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-04-02, Exp. 15	75
Figure 6.24 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	76
Figure 6.25 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-05-02, Exp. 15	77
Figure 6.26 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-05-02, Exp. 15	77
Figure 6.27 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	78
Figure 6.28 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-06-02, Exp. 15	79
Figure 6.29 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-06-02, Exp. 15	79
Figure 6.30 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	80
Figure 6.31 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-07-02, Exp. 15	80
Figure 6.32 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-07-02, Exp. 15	81

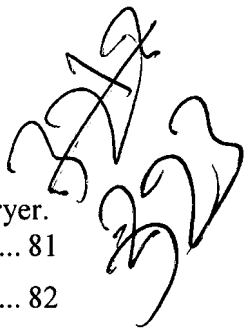


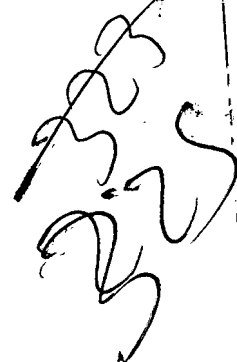
Figure 6.33 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	81
Figure 6.34 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-08-02, Exp. 15	82
Figure 6.35 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-08-02, Exp. 15	82
Figure 6.36 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-09-02, Exp. 15	83
Figure 6.37 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-09-02, Exp. 15	84
Figure 6.38 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	84
Figure 6.39 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-10-02, Exp. 15	85
Figure 6.40 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-10-02, Exp. 15	85
Figure 6.41 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	86
12-11-02, Exp. 15	86
Figure 6.42 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-11-02, Exp. 15	87
Figure 6.43 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-11-02, Exp. 15	87
Figure 6.44 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	87
12-12-02, Exp. 15	87
Figure 6.45 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-12-02, Exp. 15	88
Figure 6.46 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-12-02, Exp	88
Figure 6.47 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	89
12-13-02, Exp. 15	89
Figure 6.48 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-13-02, Exp. 15	89
Figure 6.49 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-13-02, Exp.15	90
Figure 6.50 Temperature and Relative Humidity. Ambient Air. Three-layer coffee dryer.	90
12-14-02, Exp. 15	91
Figure 6.51 Temperature . Three-layer coffee dryer..12-14-02, Exp. 15	91
Figure 6.52 Relative Humidity. Three-layer coffee dryer.12-14-02, Exp.15	91
Figure 7.1 Coffee Temperature vs. Time. All mechanical Dryers.....	101
Figure 7.2 Coffee Temperature vs. Time. Treatments on Three-layer coffee dryer.....	101
Figure 8.1 Total Fixed Cost	108
Figure 8.2 Variable Medium Cost	114

2300
324

Figure 8.3 Variable Medium on details: Cost by fuel, electricity and labor..... 115

Figure 8.4 Total Annual Cost..... 116

Figure 8.5 Total Medium Cost..... 117

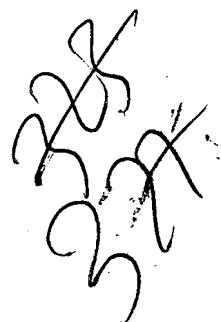


List of Abbreviations

<u>Abbreviation</u>	<u>Page</u>
A	Area of three-layer coffee dryer (m ²)
aT	Ambient air temperature (°C)
CP	Consumed electric power (Watts or hp)
Ca	Specific air heat, (kJ/kg - °C)
CV	Coefficient in variation in final moisture content (%)
D	Wet coffee bulk density (kg/m ³)
δ	Air density (kg/m ³),
DC	Dryer dynamic capacity (kg/h)
DD	Dried coffee bulk density (kg/m ³)
DT	Drying time (h)
DM	Dry matter weight (g)
dT	Drying air temperature (°C)
ΔP	Static pressure on three-layer coffee dryer (mm of column of water)
E	Interchanger efficiency (%)
EMC	Equilibrium moisture content (%)
FC	Burner fuel capacity (gal/h)
FCW	Final Coffee Weight (kg)
FMC	Final moisture content (%)
FW	Final Weight of a coffee batch on three-layer coffee dryer (kg)
h_{fg}	Coffee latent of vaporization (kJ/kg)

2026

HV	Fuel caloric or heating value (kJ/gal)
HVD	Hooper volume of coffee dryer (m ³)
IMC	Initial Moisture Content (%)
IW	Initial coffee weight (kg)
L	Length of duct section (m)
M	Coffee mass on three-layer coffee dryer (kg)
MCwb	Coffee moisture content (%)
MV	Minimum volume of hopper on three-layer coffee dryer (m ³)
N	Number of data (#)
η	Mechanical efficiency (%)
P	Electric power of motor (kW)
Pd	Static pressure drop (mm of column of water)
Q	Air flow rate (m ³ /min)
SC	Static capacity on three-layer coffee dryer (Ton)
SP	Total pressure drop on three-layer coffee dryer (mm of column of water)
SQ	Specific Flow rate (m ³ /min)
SW	sample's weight (g)
T	Total coffee thickness of on three-layer coffee dryer (m)
t	Coffee thickness of a batch, on three-layer coffee dryer (m)
TAC	Total annual cost (\$/year)
TFC	Total Fixed Cost (\$/year)
TMC	Total Medium Cost (\$/kg)
v	Air specific volume (m ³ /kg)



VMC	Variable Medium Cost (\$/kg)
wb	Wet base, on final moisture content
Wo	Outlet humidity ratio (kg water/kg dried air)
Wi	Inlet humidity ratio (kg water/kg dried air)
WW	Water weight (g)
X	Coffee mass processed per year (kg)
Y	Average of initial or final moisture content (%)
y	Data of initial or final moisture content (%)

Chapter 1: Introduction

1.1 Importance

Kona coffee is regarded as special coffee throughout the world, as its high price clearly shows. Its high price can be justified for the following reasons: This 100% *Arabica* species and *Tipica* variety coffee is cultivated on optimal soil and climate conditions, giving it its special character; it receives adequate cultivation (irrigation, fertilization, pruning, pest-control...); its production is limited by the paucity of the area in which this coffee can be grown; and lastly, because this coffee is picked only by hand, it means that only fully grown, ripe cherries are used, which in turn means that a high quality product is employ from the start.

However, starting off with high quality coffee cherries is only the beginning. This handpicked cherry coffee is highly perishable, which makes the subsequent processes highly important. Limit myself to the drying process that this is the topic of this thesis.

Drying of parchment coffee in the world is the longest, the most complex, and the most costly of all coffee processing operations at the farm level. Frequently, the drying process also causes a deterioration of the product quality due to delay of the operation, the presence of bad atmospheric conditions, technical deficiencies of the mechanical dryers and human errors while conducting the process.

When coffee is dried by sun the process has higher costs, because these systems use more hours of labor than mechanical drying. On the other hand, to dry coffee by sun permits the coffee to be attacked by fungus, which create aflatoxins (Discovered in 1962, were several carcinogenic toxics that are produced especially by a fungus (esp. *Aspergillus flavus*) in stored agricultural crops and in slowly dried of crops. The coffee must be dried very quickly in order to avoid spoilage. The mechanical drying of coffee is faster and cheaper than by sun.

1.2 Justification

Parchment coffee drying is a complicated process in comparison with the drying of other commercial grains. First, its initial moisture content is very high (54%, wet basis or 117%, dry basis), the final moisture content is similar to the other grains (11%, wet basis or 12.4% dry basis). To obtain one tonne of dry product it is necessary to evaporate 934 kg of water from the washed coffee, approximately 9 times higher than the amount of water needed to evaporate from rice harvested at 20% moisture content, wet basis, to obtain 1 tonne of rice at 11 %. Second, the moisture migration from the grain to the air is retarded by the presence, at low moisture content, of an air barrier between the kernel and the parchment. It usually takes from six to ten times more time to dry parchment coffee than cereal grains.

220
309

Sun drying of coffee has been practiced in the world since the beginning of coffee production. Today this system is still the most popular, especially for small producers. Kona coffee producers dry their coffee by sun, when the farms with production is below 4500 kg of parchment coffee per year. Larger production forces farmers to use mechanical type of dryers because of the very large surface area that would be needed to practice the sun-drying method.

Kinch (1967) notices that the coffee production in the Kona area of Hawai'i has been an important part of the Hawaiian economy for many years. Drying parchment coffee is only one of the steps in the farm processing of coffee. Kinch (1967) and the National Federation of Coffee Growers of Colombia (1995), both confirm that it is generally recognized that the drying operation is the most critical of all operations from coffee production, in terms of producing a top quality product. Recent studies made for Bittenbender and Easton (2000) conclude that on small coffee farms in Kona, "drying is often done on platforms called *hoshidanas*, by sun-drying. In Kona, it takes from four to six days to completely dry coffee beans when sunny weather prevails. If the weather is cloudy, it takes much longer. The thickness of the layer of beans on the drying area also affects drying time. A layer 1-1/2 inches deep should be turned three to four times a day

On the better sunny day, the radiant energy has intensity, on the surface in Hawai'i, equal to $1.04 \text{ kJ sec}^{-1} \text{ m}^{-2}$. In 8 hours of sun (a day) we will have available $29,952 \text{ kJ m}^{-2}$, with this energy we can evaporate 12.2 kg of water, which is equivalent to dry 13 kg of dry parchment coffee per square meter (28.6 pounds of coffee per square meter). For this calculation, vaporization latent heat of the coffee was taken as $2,462 \text{ kJ kg}^{-1}$ of evaporated water. But, the 13 kg of coffee/ m^2 is more likely to take 3 to 6 days, with

good weather, but in many cases, to dry coffee by sun takes between 6 to 10 days. The actual time is much longer than the simple calculation, because every day is not a sunny day (the harvest of coffee is in rainy season), and the solar energy use is no more than 7 to 13% efficient. The low efficiency is explained because the radiation is picked up only by the surface of the coffee and because the parchment coffee is not a good solar collector. For all these reasons the coffee is most efficiently and economically dried by machine.

1.3 Objectives:

1.3.1 General objective

To design and to evaluate a three-layer coffee dryer of coffee, that it will be compared with three rotary dryers and sun dryers (Hosidana and plastic covert sun decks), currently used at Kona region of Hawai'i.

1.3.2 Specific Objectives

- ◆ To design a dryer of coffee using physical parameters of coffee found by National Federation of Coffee Growers of Colombia, Roa et. al.(1999).
- ◆ To evaluate the air flow of dryer, finding:
 - Temperature of drying air, Dried bulb, (°C, °F),
 - Relative humidity of air, (%),
 - Flow of the air, (m³/min),
- ◆ To evaluate the beans, finding:
 - The variation of moisture content of coffee in time.
 - The coefficient of variation of final moisture content of coffee. (%),

- 
- The maximum temperature of beans with time ($^{\circ}\text{C}$ vs. h),
 - Minimum average total costs (\$/ dried coffee kg),
 - ♦ To evaluate the equipment, finding:
 - The thermal efficiency of the heater (%),
 - Time to move coffee between layers, (h),
 - The drying efficiency (kJ/ kg of evaporated water),
 - The total annual costs (\$/year), and total medium cost (\$/kg),
 - Static capacity (kg/dryer), and Dynamic capacity (kg/h or kg/ year).

1.4 Coffee Drying

Cherry coffee is harvested at moisture content that is too high for safe storage (80%). The parchment coffee finishes at 54 to 56 % moisture content, after coffee is pulped and removal of the mucilage. Immediate treatment of the fresh coffee is essential to prevent quality deterioration due to mold development. Post-harvest treatments are available to ensure short- and long- term preservation of grains, including sealed storage, chemical treatment, chilling, and drying. Wet parchment coffee normally is dried, reducing its moisture content to 12 % wb, because coffee must be prepared for a second process. The second process, roasting, yields the final product ready to prepare the coffee beverage.

Moist air is the medium used to dry coffee beans. The air is a mixture of dry air and water vapor. Goff quoted by Brooker and others (1999) define the dry air as a gaseous mixture with a molecular weight of 28.966 and a mole fraction composition of 0.2095 oxygen, 0.7809 nitrogen, 0.0093 argon, and 0.0003 carbon dioxide. In addition moist air contains a varying amount of water vapor. The weight fraction of water vapor in the air

used for grain drying is always less than one tenth; the presence of water vapor molecules has a profound effect on the drying process. The important variables to define the moist air are:

- Dry-bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$) is the temperature of moist air indicated by an ordinary thermometer.
- Wet-bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$) is the temperature of moist air indicated by a thermometer whose bulb is covered with a wet wick. (The airflow passing over the wick should have a velocity of at least 4.6 m/s. If wet-bulb and dry-bulb temperatures are equal the air is saturated with 100% relative humidity).
- Vapor pressure (kPa) is the pressure contribution of the water vapor in the air, and Saturation vapor pressure (kPa) is the vapor pressure when the air is saturated with water.
- Relative Humidity (%) is the ratio of the vapor pressure to the saturated vapor pressure air, at same temperature and atmospheric pressure.
- Humidity ratio, absolute humidity or specific humidity (kg water/kg dry air), is the mass of the water vapor in the moist air per unit mass of the dry air.
- Enthalpy (kJ/kg dry air) is the total heat content (sensible plus latent) in the air per unit mass of dry air.
- Specific Volume (m^3/kg) of moist air is defined as the volume per unit of dry air. The specific density (kg/m^3) of moist air is equal to the reciprocal of its specific volume.

Psychrometric properties of moist air are used to build a graphic named psychrometric chart. (Figure 1.1)

Psychrometric processes include heating, cooling, humidifying or dehumidifying air-vapor mixtures. Heating and humidifying are important in the operation of coffee dryers and must be understood in analyzing the performance of different drying systems. In heating any change in temperature is assumed to occur without a change in moisture content, hence, the air will maintain a constant humidity ratio.

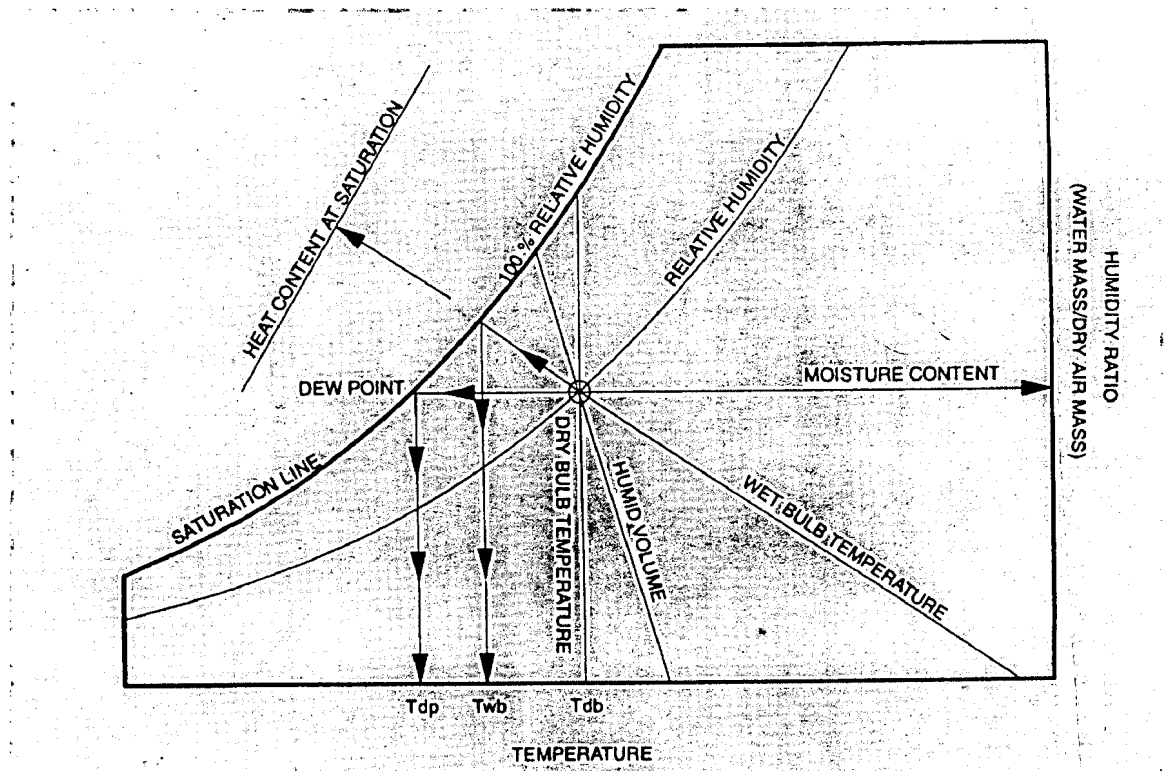


Figure 1.1 Skeletonized Psychrometric chart. Lower and others (1994), pg 42.

Therefore, the final and initial air conditions will be on the same horizontal line (constant humidity ratio). During mechanical drying a fuel (wood, coal, diesel or propane) is burned to increase air temperature from its ambient

temperature to a pre-chosen air drying temperature. Figure 4.2 shows the air heating process. During this heating process the relative humidity decreases and the air is prepared to receive moisture from the wet product.

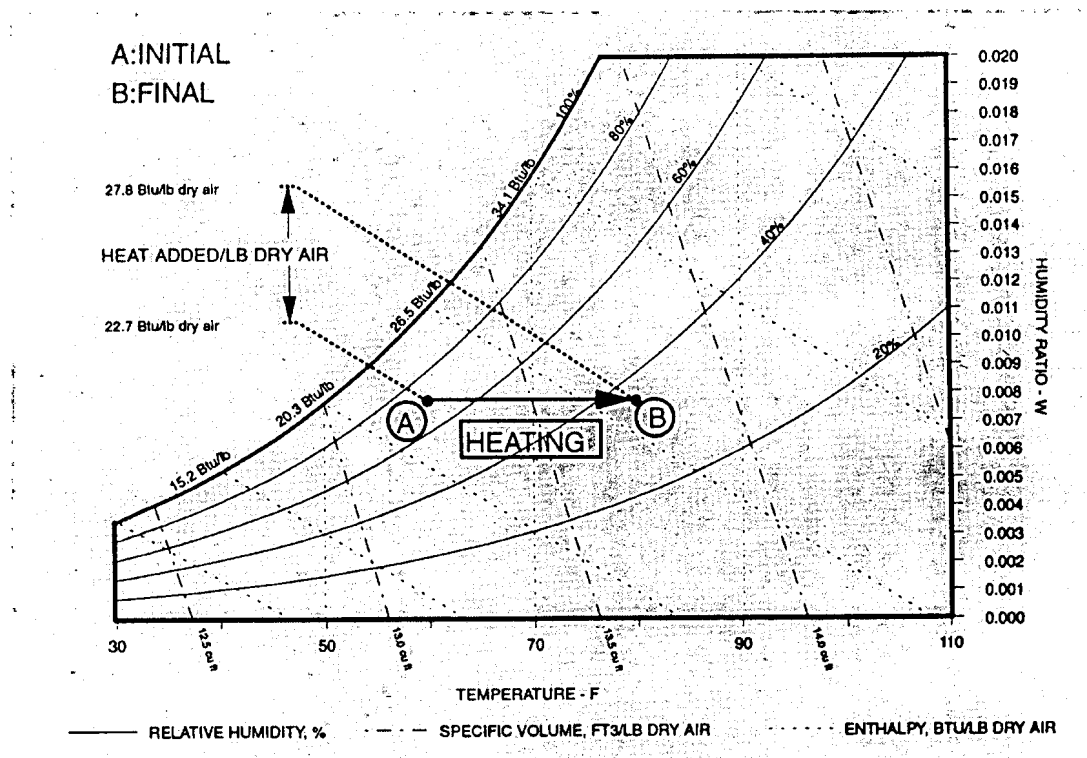
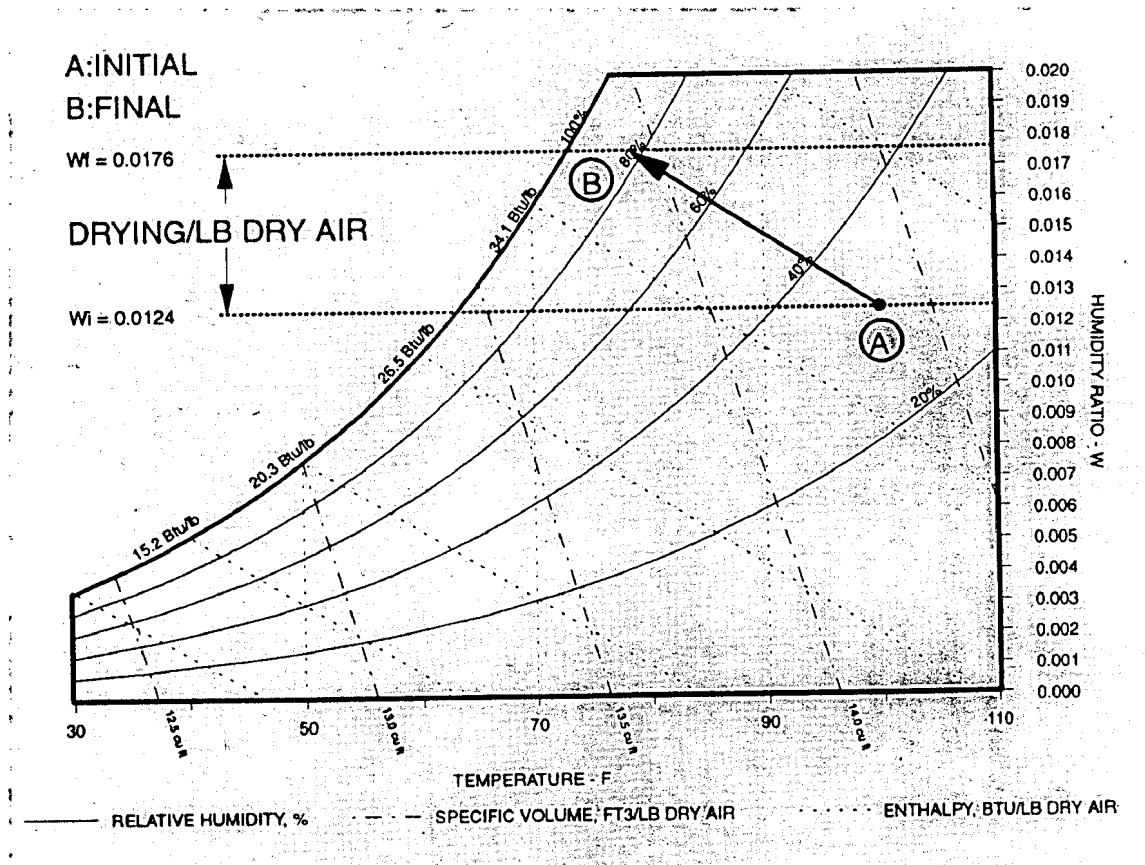


Figure 1.2 Air heating. From Lower and others (1994), pg 46

After the air goes into the mechanical dryer the drying process occurs and the moisture that is evaporated from the wet coffee moves to the air, and the humidifying process occurs. The drying of a mass of grain can be considered an adiabatic process. As the air passes through the wet grain mass, a large part of the sensible heat of the air is transformed into latent heat as a result of the increasing amount of water held in the air as vapor. During the adiabatic drying process, there is a decrease in the dry bulb temperature, together with an increase in the humidity

ratio and relative humidity, and the vapor pressure. The enthalpy and the wet-bulb temperature remain practically constant during the adiabatic process. (Figure 4.3).



DC = Dryer dynamic capacity (kg/h),

IMC = Initial Moisture content (%)

FMC = Final moisture content (%)

Q = Air flow rate, (m³/min),

ν = Air Specific volume (m³/ kg dried air) = inverse of density.

Wo = Outlet Humidity ratio (kg water/ kg dried air),

Wi = Inlet Humidity ratio (kg water/ kg dried air),

According with Brooker, Bakker-Arkema, and Hall, C. (1992), because during the coffee drying process, the heat that lost the air is gained by the coffee bean, transferring the sensible heat to the latent heat, the simplified heat balance equation for the drying process can be written as follows:

$$\frac{Q * 60}{\nu} * Ca * (dT - aT) * DT = h_{fg} (DM)(IMC - EMC)$$

Where:

Q = Air flow rate (m³/min),

ν = Air Specific volume (m³/kg),

Ca = Specific air heat, (kJ/kg - °C),

dT = Drying air temperature (°C)

aT = Ambient air temperature (°C)

DT = Drying Time (h),

h_{fg} = Coffee Latent heat of vaporization (kJ/kg),

DM = Coffee Dried Matter (kg),

IMC = Initial Moisture Content of coffee (decimal), and,

EMC = Equilibrium Moisture Content of coffee (decimal)

Where coffee latent heat of vaporization (kJ/kg evaporated water) is defined by:

$$hfg = 2,503 - 2.386(dT - 273.16) \quad \text{For } 273.16^\circ\text{K} \leq dT (\text{K}) \leq 338.72^\circ\text{K}$$

The EMC is a function of air temperature and relative humidity and this variable will be calculated using the Figure 1.4, discussed on next section.

1.5 Equilibrium Moisture Content

The relative humidity and temperature of the exiting air depend on the moisture content of the grain being dried and its equilibrium moisture properties. Each grain displays a characteristic water vapor pressure at certain temperature and moisture content. The vapor pressure of a bean at the various moisture contents and temperatures determines whether it will desorb (lose) or adsorb (gain) moisture when exposed to moist air. If the vapor pressure on the bean is larger than the vapor pressure of the air, the bean will be drying, until the vapor pressure of the water in the grain kernel is equal to the water vapor pressure of its surrounding air, that moisture content is the equilibrium moisture content. Because of the practical importance of the equilibrium moisture content in the drying of grains, curves of equilibrium moisture content have been determined experimentally for many grain species. Roa and Trejos (1992) determined the appropriated equation for “Caturra” variety coffee, with this equation the author calculated and drew the equilibrium moisture content parchment coffee graphs, versus air temperature and relative humidity. See Figures 1.4 and 1.5.

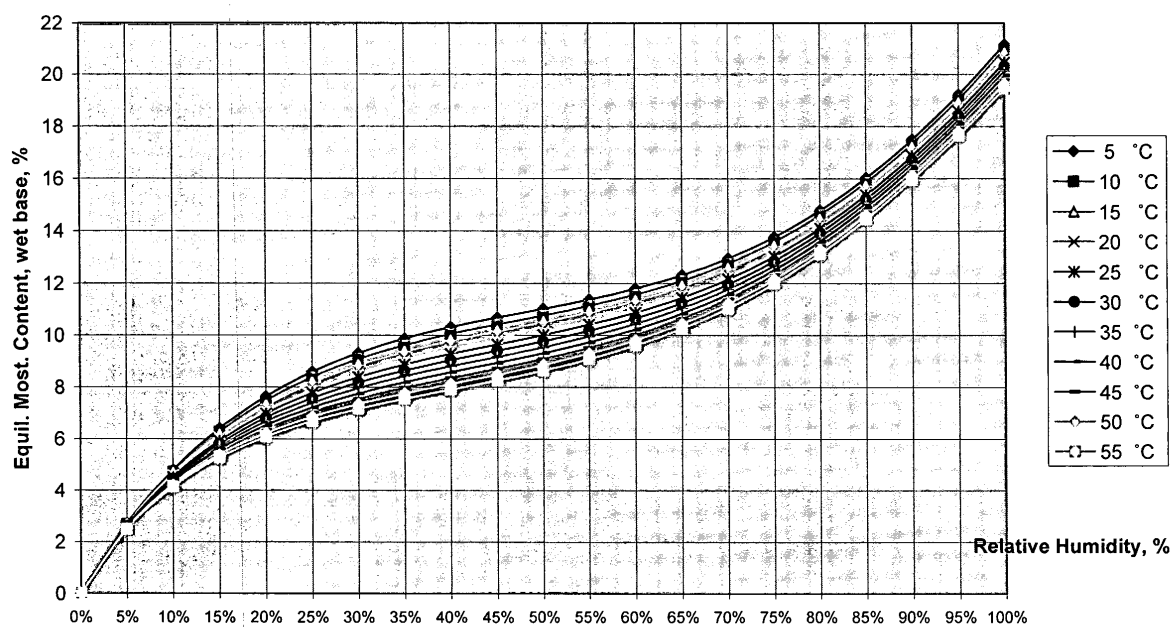


Figure 1.4 Equilibrium Moisture Content for parchment coffee- air temperature °C

Handwritten signature/initials

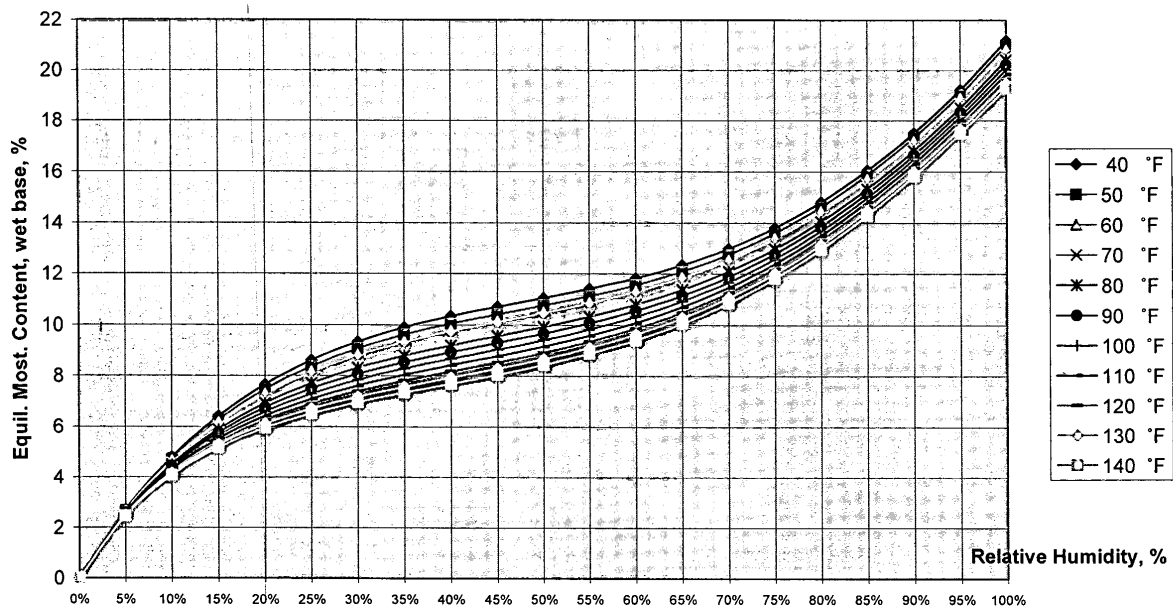


Figure 1.5 Equilibrium Moisture Content for parchment coffee- air temperature °F

Handwritten signature and date: 3/3/20

Chapter 2: Methods

230
340

2.1 Localization

The data for this study were taken in Kona, Big Island, Hawai'i, on two farms: Greenwell Farms Co., in the Kealahou area, and Koa Coffee Plantation, in the Captain Cook area. All experimentation was conducted at these two aforementioned farms, except for the coffee moisture content measurement, which was conducted at Biosystems Engineering (Mānoa) and the Experiment Station Farm (Kona), both of which are part of the University of Hawai'i at Mānoa.

Both of said farms process only 100 % *Arabica* species, and Guatemala *Típica* Coffee, both of which were used in all experiments discussed here.

All the information regarding the three-layer coffee dryer can be found on chapter 3. Its unique design and performance was evaluated by comparing this dryer with the most commonly used systems employed in the Kona coffee area. Therefore, experiments were conducted on three different rotary dryers and on two sun dryers systems.

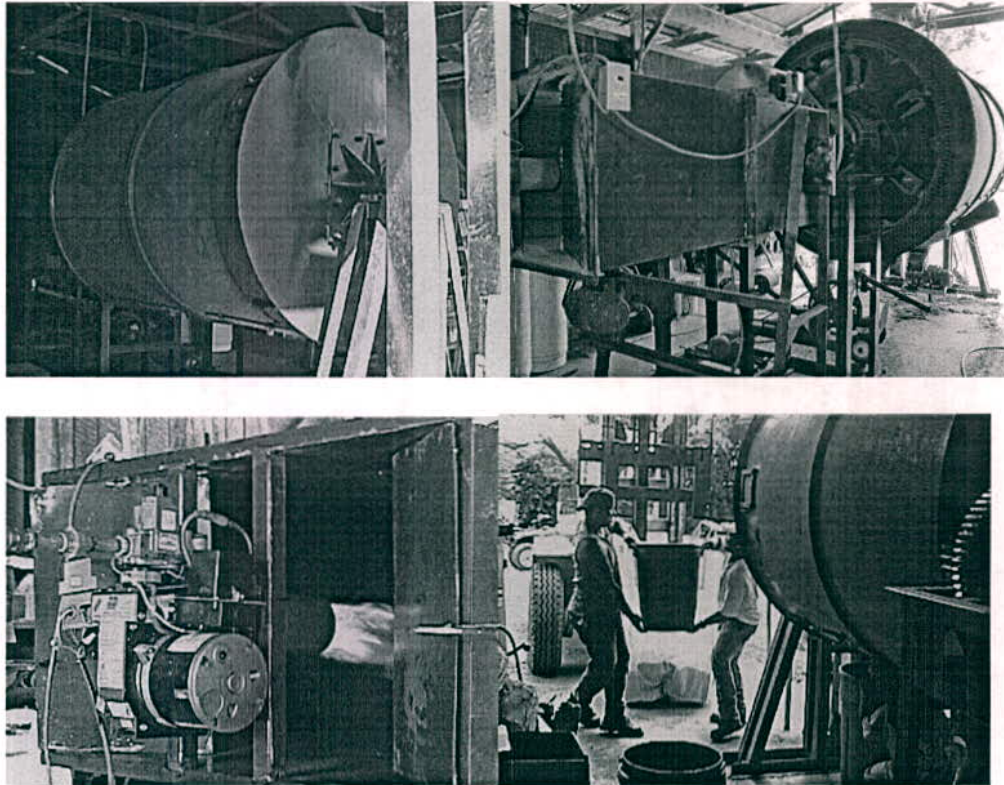
2.2 Rotary Dryers

The three rotary dryers, at Greenwell Farms Co., were evaluated using a 50°C average drying air temperature as well as under all other pre-existing conditions and techniques.

One rotary dryer has the maximum capacity of 3,600 dried coffee lb (built by Brazilian Company D'Andrea). This dryer shall be referred to henceforth as "big dryer" because it has largest capacity of all the other evaluated dryers. This big drier features a

230x
341

bucket feeder system, a centrifugal blower, and a propane burner. It uses gravity unloading, which is done onto buckets that are handled manually (See Figure 2.1). References to this dryer and its compared performance will be made throughout this document.



**Figure 2.1 Rotary Dryer 3,600 dried lb, Propane Burner and Unloading by gravity.
Named Big Dryer**

Next, a 1,000 dried coffee lb capacity rotary dryer is described: This second rotary dryer was built by Ecosystems, a Guatemalan factory. This rotary dryer uses a centrifugal blower and propane heater. Henceforth this will be referred to as "small dryer." Because this dryer has been installed directly beneath a solar drying deck, its loading can be done

240
342

easily, using gravity's own force. Unloading is likewise done using gravity, directly onto a wood hopper. See Figure 2.2 where details of this mechanical dryer are shown.

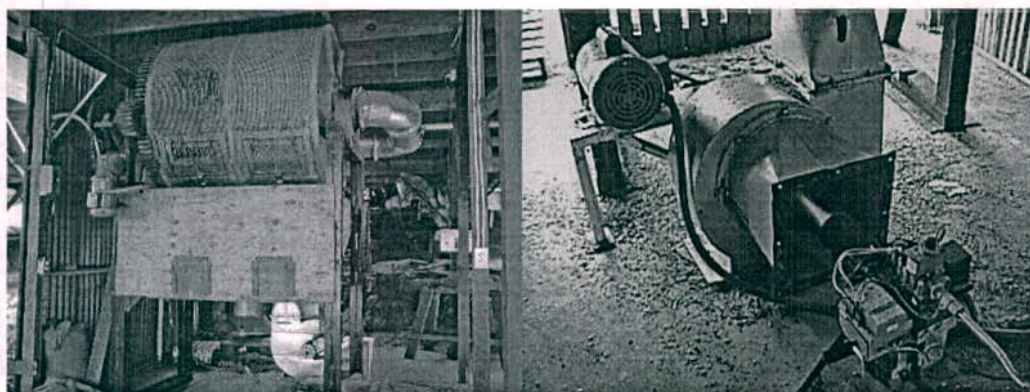


Figure 2.2 Small Dryer, 1,000 dried lb and its propane burner and blower.

Finally, a third rotary dryer was evaluated, this one using diesel instead of propane. This last dryer is also a rotary one, and it has a mass capacity of 1,600 dried lb. Also, similar to the small dryer, this third dryer is also located under a sun drying deck; and its unloading too is also gravity-based onto a wood hopper. See Figure 2.3.



Figure 2.3 Diesel Dryer, 1,600 dried lb and its propane burner and Interchanger

2.3 Sun Dryers

Also, at Greenwell Farms Co. both the “Hosidana” and a concrete sun drying deck systems were evaluated (a sun drying deck has a permanent, polyethylene roof, while a Hosidana has a non-transparent sliding roof used to protect coffee from rain and during the night). Of the eight treatments were conducted in this comparative study, six treatments were done using sun drying decks, and two using Hoshidanas. The treatments on sun drying decks were done using different age plastic covers: two had a one-year-old plastic cover; another two had a three-year-old plastic cover, and the remaining two had a brand-new plastic cover. Furthermore, each one of the treatments conducted was carried out twice: the first treatment using a conventional method, and the second treatment using a special rake system to turn over the coffee beans. Note: This rake system was developed by the Colombian Coffee Growers Federation, and will be referred henceforth as the Cenicafé system (Roa et al 2000). See Figure 2.4.

2.4 Definition of variable

The way in which the performance of these different dryers was studied was by evaluating the mechanical performance of the dryers themselves, the coffee beans during and after processing, and the air’s temperature and relative humidity.

For the dryers, their different dimensions and well as other variables, such as their static (kg or lb) and dynamic capacitates (kg/h or lb/h) were evaluated. Next, all manner of consumptions was noted: Labor (h), fuel (gal/h and gal/kg or lb), and electricity (kW*h and kW*h/kg or lb). Using this data, a cost analysis was developed. Finally the thermal efficiency of the unit, its burner-interchanger-ducts (%), and the drying efficiency (kJ/ water kg or lb) were calculated as well.

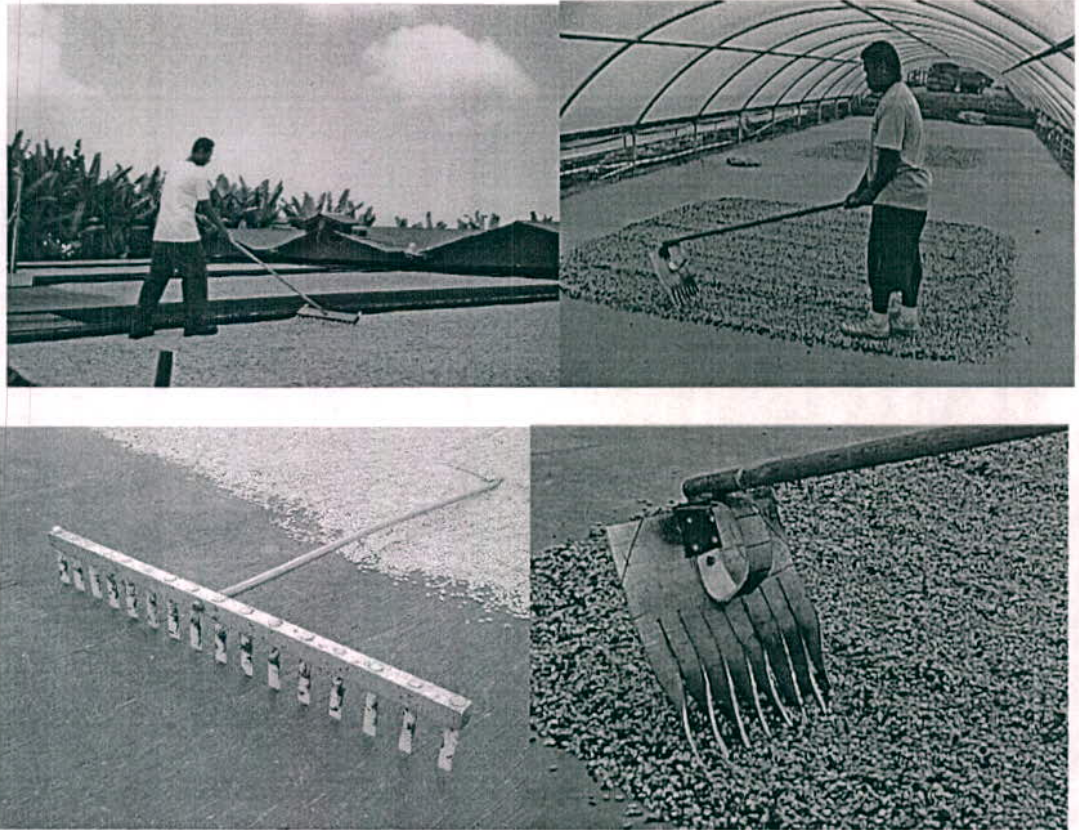


Figure 2.4 Hosidana, Concrete sun deck , traditional and Cenicafé rake

Regarding the analysis of coffee beans, variations in moisture content (%) and temperature ($^{\circ}\text{C}$ or $^{\circ}\text{F}$) versus the amount of time spend being dried were measured.

Regarding the analysis of air, what was measured were its temperature ($^{\circ}\text{C}$ or $^{\circ}\text{F}$) and its relative humidity (%) at different points within the dryer, such as the ambient air, drying air (or inlet air), and exhausts air (or outlet air). Using these data and exact elevation of the coffee farm (m or ft over the sea level), atmospheric pressure and the following psychrometric proprieties were calculated: Absolute moisture or humidity ratio (water g/ dried air g), enthalpy (J/g) , specific volume (m^3/kg), density (kg/m^3) Also measured were the static pressure of the air (column of cm H_2O or in H_2O) and its

velocity (m/min), from which air flow rate (m^3/min) and specific air flow rate (m^3/min -dried coffee Ton or ft^3/min -dried lb) were determined.

Further explanation of the methodologies employed in the measuring and calculation of these variables are presented in greater detail in the chapters that follow.

Chapter 3: Design of Three-Layer Coffee Dryer Machine

27/3/16

A good design needs to satisfy five fundamental conditions: functionality, fault tolerance, economy, aesthetics, and ecology. Any design is a balance of these conditions. Functionality is how close the design results in the desired process or product. It may also refer to the ergonomics (the match of the design to the user). Fault tolerance has two topics, the design should not fail and, if does fail, the failure creates minimal inconveniences. Fault tolerance produces low maintenance costs. On the other hand, good design needs to be economical. The combined costs (fixed and operating) must be less than the revenue or benefits generated by the use of the design. Aesthetics is important in a design. In Hawai'i, tourism has a very important role for coffee growers. It is important that buyers and tourists have a pleasant experience when visiting coffee mills or when merely passing by. Finally, pollution control is fundamental for any project and initial steps in the design can control it.

3.1 Area design

Data:

- Total capacity 625 dried lb at 12 % (284.1 dried kg).
- Total capacity 1,187.5 wet lb at 52 % (539.8 wet kg coffee)

Conversion factor dried to wet 1.9 according with Roa et. al.(1999), reported for *Caturra* Variety coffee.

- Number of layers: Three.

- Total capacity per layer: 208.3 dried lb (94.68 dried kg). And 395.8 lb wet coffee (179.9 kg wet coffee at 52 %). Named "M"
- Thickness of coffee layer: 0.15 m. Named "t"
- Theoretic bulk density for washed coffee, 52 % wet base moisture content: 650 kg/m³, (40.5 lb/ft³), reported for Caturra Variety coffee by Roa et. al (1999).

Calculations:

- Using next equation the area (m²,A) and diameter(d, m) of the cylindrical dryer was calculated:

$$A = \frac{M}{t * D} = \frac{179.9kg}{0.15m * 650kg / m^3} = 1.8451m^2$$

and the

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 1.845 m^2}{3.1415}} = 1.5327 m$$

Then the dryer diameter will be 1.5327m = 60.3 inches.

The dryer was built with 5 ft (60 inches) diameter, with a finally area of 19.63 ft² or 1.8241 m².

On previous researches, Velez and Rivera (1997), Varona and Florez (1998) and Correa (1998), all the authors found that the principal limitation of three-layer coffee dryers was the labor expended to unloading the three-layer coffee dryer. See Figure 3.1 where is possible to detail that the third coffee level is on the bottom really close to the floor, coming impossible to unloading directly the coffee bag. A unique on mechanical

348

dryers' double conic hopper was designed and calculated to unloading the coffee layers by gravity.

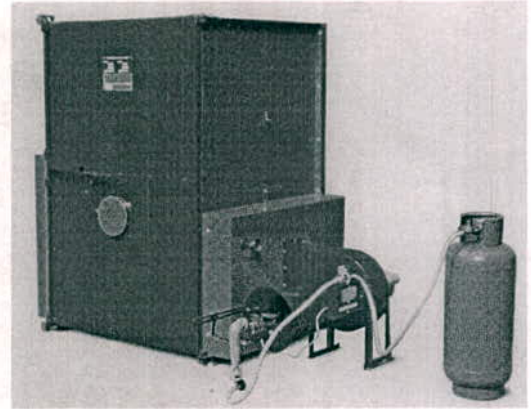
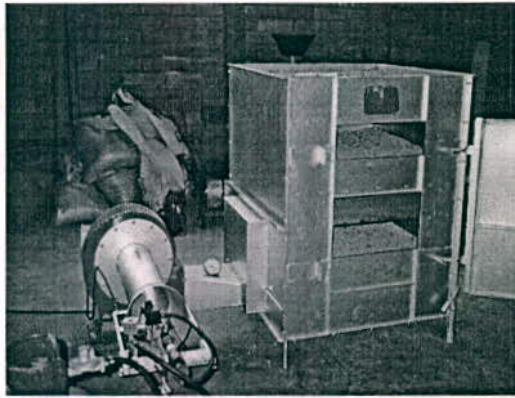


Figure 3.1 Previous coffee three-layer coffee dryers. Building by Colombian Companies: "Premac" and "JM Estrada"

3.2 Hopper Design

- Final weight of dried coffee: 208.3 dried lb (94.68 dried kg). Named FW.
- Theoretic bulk density for dried coffee, 12 % wet base moisture content: 380 kg/m^3 , (23.67 lb/ft^3), reported for Caturra Variety coffee by Roa et. al. (1999).
Named DD.
- Angle where the coffee, at 12% moisture, moves by gravity on metal surface:
 29.2° . Roa et. al. (1999).

Then the minimum volume (MV) of the conic hopper will be:

$$MV = \frac{FW}{DD} = \frac{94.68kg}{380kg/m^3} = 0.249m^3$$

Thus was selected a conic hopper, with 45° and base diameter of 5 ft (60 inches, 1.52m) and high of 2.5 ft (30 inches, .76m). The hopper volume (HVD) was:

$$HVD = \frac{A * \theta / 2}{3} = \frac{1.8241m^2 * 0.76m}{3} = 0.46m^3$$

This calculated volume 0.46 m³ is bigger than the minimum require 0.25 m³, then the hopper was built with this dimensions.

3.3 Dimensions and parts

All the dryer dimensions and parts for three-layer coffee dryer are presented in this part. In Figure 3.1 are presented the principal dimensions of the dryer, on Figure 3.2 the principal parts, on Figures 3.3 and 3.4 pictures of these parts. The door on the mesh can open by pneumatic pistons. Figure 3.5 shows the pneumatic piston and paddle to move coffee between layers. The final constructed angle for the hopper was 50°.

35

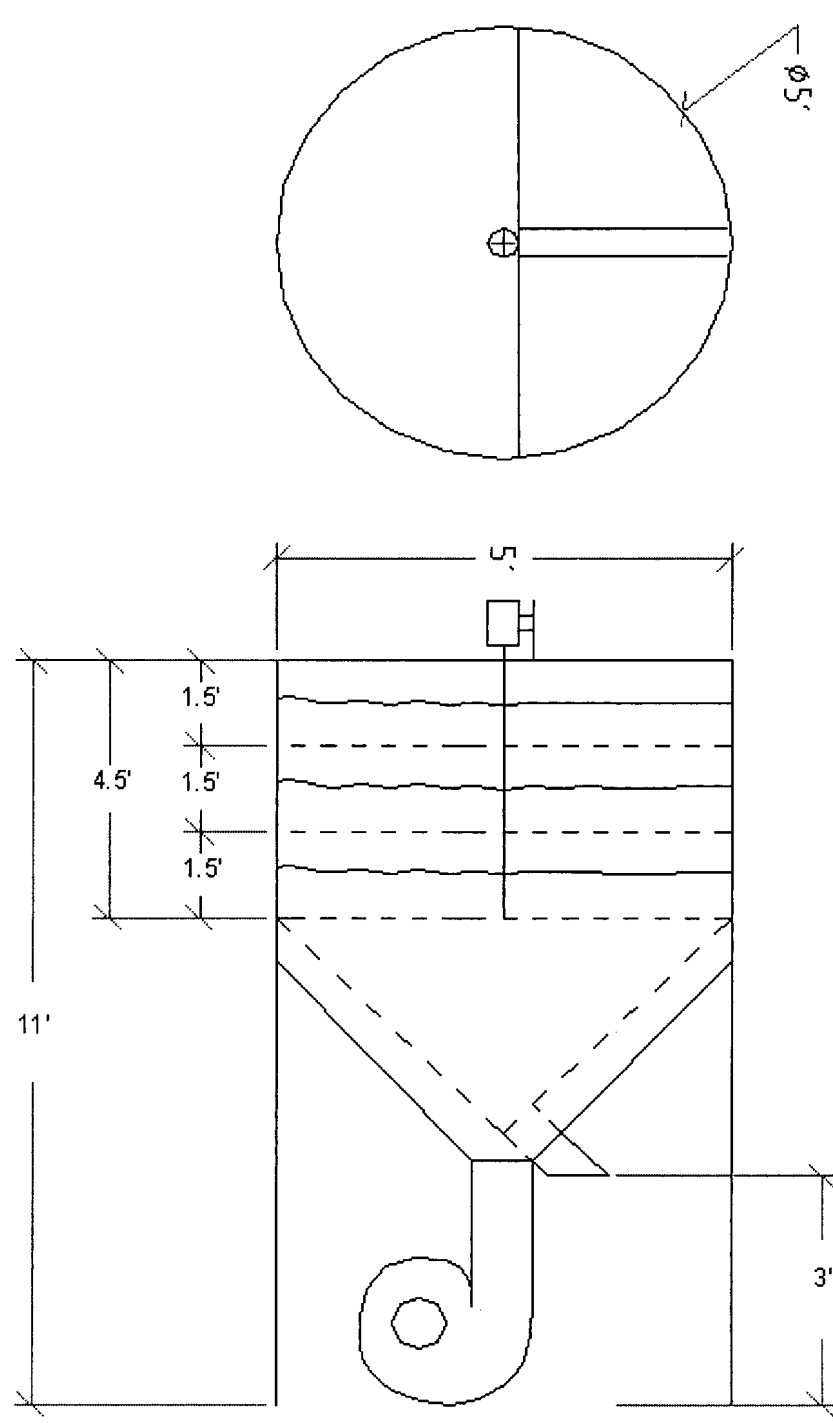


Figure 3.2 Three-layer coffee dryer Dimensions

25/11/20

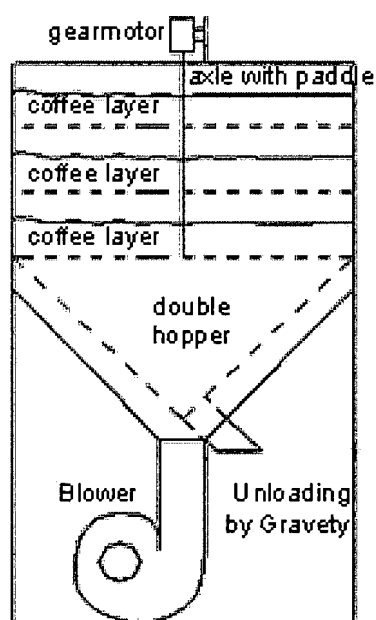
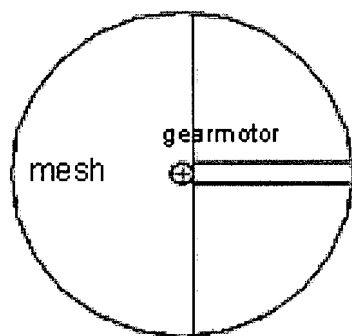
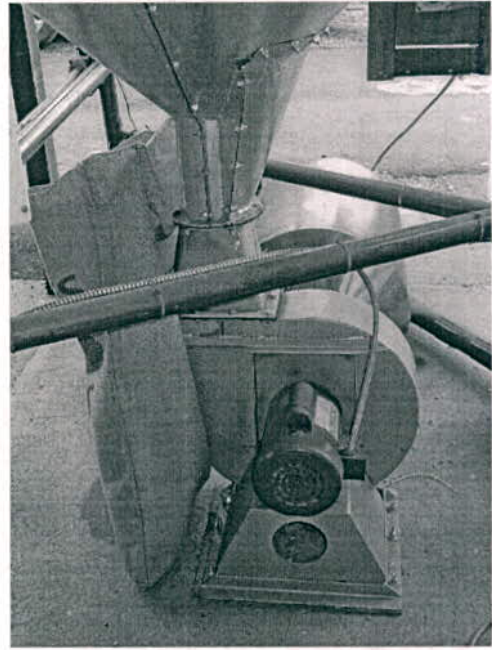
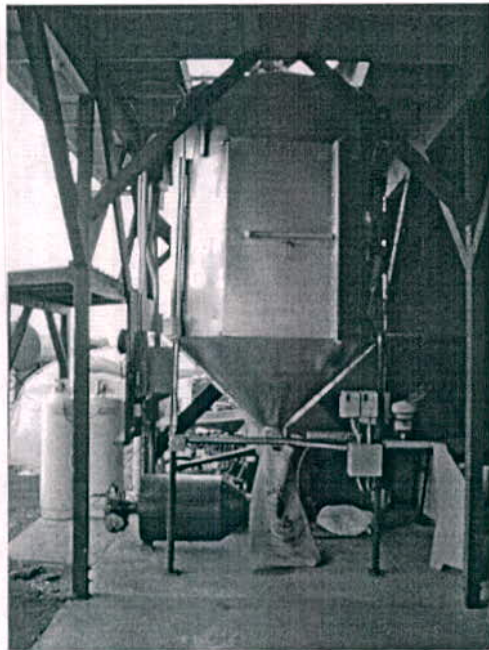


Figure 3.3 Three-layer coffee dryer Parts



252

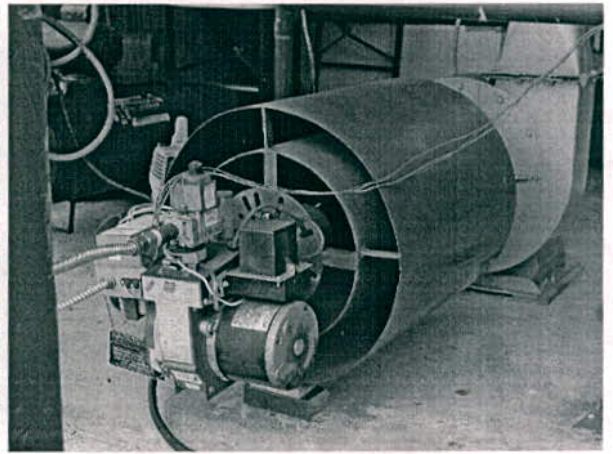
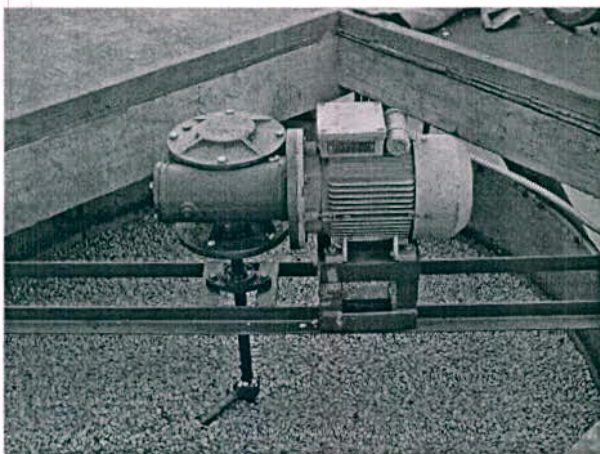
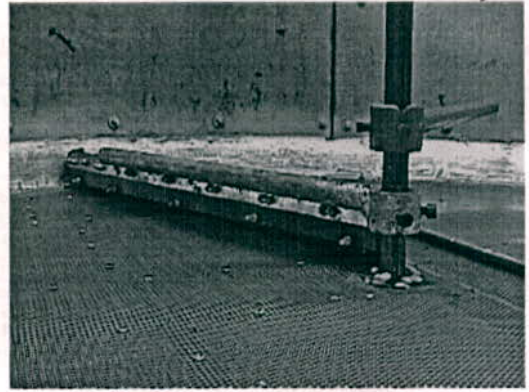
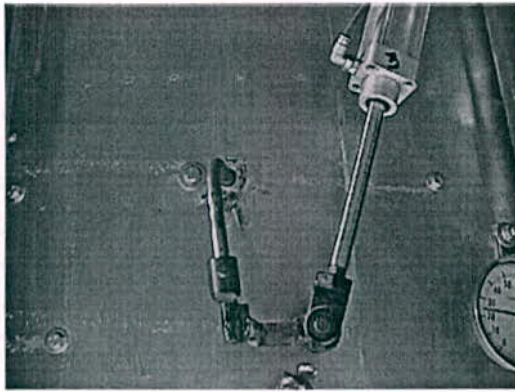


Figure 3.4 Three-Layer coffee dryer, blower, gear-motor and propane heater



Handwritten signature or initials in the top right corner of the page.

Figure 3.5 Pneumatic piston and paddle to move coffee between layers

3.4 Blower calculation

According with Correa (1992) the blower is the “heart” of a mechanical dryer, it must be calculated for every dryer. When a selection of a blower is done five characteristics must be determine: A specific flow rate (SQ, $\text{m}^3/\text{min-dried Ton}$ or $\text{ft}^3/\text{min-dried lb}$), total static coffee capacity (dried kg or Ton), static pressure (SP, column of cm H_2O or inches H_2O), electric power consumption and sound power level (dBA). To find the total static pressure is fundamental to know the farm altitude to use the blower (m or ft) and drying air temperature ($^{\circ}\text{C}$ or $^{\circ}\text{F}$). On the other hand, previous to buy a dryer, is required to have two more data: Discharge position and rotation direction.

Data:

- Specific flow rate (SQ) used was: $100 \text{ m}^3/\text{min-dried Ton}$ ($3531 \text{ ft}^3/\text{min-Ton} = 3531 \text{ CFM/Ton} = 1.6 \text{ CFM/ dried lb}$). Roa et al (1999) recommended $66 \text{ m}^3/\text{min-dried Ton}$. This study was conducted at only two Three-layer coffee dryers. Studies conducted by Correa (1992) and (1998) at three-layer coffee dryers recommended $100 \text{ m}^3/\text{min-dried Ton}$, and reported than more air per unit of dried

mass of coffee improve the uniformity in final moisture content and reduce the drying time. The key is to have totally wet coffee on top of the vertical dryer all time, to avoid low drying efficiencies (kJ/ water kg), which means less energy to evaporate water from coffee.

- Total static capacity 284.1 dried kg (0.284 Ton)

The air flow rate, (Q, m³/min or ft³/min) can find like:

$$Q = SQ * SC = (100 \text{ m}^3/\text{min} - \text{dried Ton}) * 0.284 \text{ Ton} = 28.4 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$Q = 28.4 \text{ m}^3/\text{min} = 1,003 \text{ CFM}$$

- With air flow rate, and Roa and Trejos (1992) equation (1986): the static pressure was calculated:

$$\Delta P = T * \left[\frac{\frac{Q}{A}}{9.523 - 0.0476 * MC_{wb}} \right]^{1.4793}$$

Where:

ΔP = Static pressure through the coffee layers on the dryer , cm H₂O

T = Total thickness of coffee = 3*0.15 m = 0.45m

MC_{wb} = Coffee Moisture Content, %

Q = Air flow rate, = 28.4 m³/min.

A = Cross dryer area = 1.8241 m².

Using these data, the ΔP is equal to = 1.4335 column of cm H₂O.

And correction by drying air temperature and Altitude must be done. The drying air temperature used was maximum 140°F (60°C) and the selected maximum elevation to

install the dryer was 3,000 ft (914 m) has 2,700 ft elevation. Using next Figure 3.6, the corrected value of 1.26, was selected.

AIR TEMP. °F	ALTITUDE (FEET)										
	0'	500'	1000'	1500'	2000'	2500'	3000'	3500'	4000'	4500'	5000'
0	.87	.88	.90	.92	.93	.95	.97	.99	1.00	1.02	1.04
40	.94	.96	.98	1.00	1.01	1.03	1.05	1.07	1.09	1.11	1.13
70	1.00	1.02	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20
80	1.02	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.22
100	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.22	1.25	1.27
120	1.09	1.11	1.13	1.16	1.18	1.20	1.22	1.24	1.27	1.29	1.31
140	1.13	1.15	1.17	1.20	1.22	1.24	1.26	1.29	1.31	1.34	1.36
160	1.17	1.19	1.21	1.24	1.26	1.28	1.31	1.33	1.35	1.38	1.41
180	1.21	1.23	1.25	1.28	1.30	1.32	1.35	1.37	1.40	1.42	1.45
200	1.25	1.27	1.29	1.32	1.34	1.36	1.39	1.42	1.44	1.47	1.50
250	1.34	1.36	1.39	1.41	1.44	1.47	1.49	1.52	1.55	1.58	1.61
300	1.43	1.46	1.49	1.51	1.54	1.57	1.60	1.63	1.66	1.69	1.72

Figure 3.6 Correction factors for static pressure by air temperature and farm elevation. From Chicago Blowers Manual.

The corrected Static Pressure is = 1.26 * 1.4345 cm H₂O = 1.81 cm H₂O.

That Static ΔP is the static pressure drop by the air only to cross the three coffee layers. There are a bigger static pressure drop produced by the friction between the air moving through a duct and the internal surface of the duct. Static pressure drop in a duct reduces the pressure of the air as the air moves along the duct. The design static pressure drop is the pressure drop per unit length of duct for a given size of duct at a given air flow rate. The result is multiplied by the design static pressure drop. The duct section pressure drop is found by applying the formula:

$$Pd = pd * \frac{L}{100}$$

Where:

Pd = Static pressure drop, (inches of water column, WC)

L= length of duct section (ft).

System pressure drop is the total static drop in a forced-air distribution system. Total static pressure drop in a distribution system is the sum of the static pressure drop through all duct sections, fittings, transitions (expansions and reductions), and accessories as filters or coils, which add resistance to air flow in the distribution system. Static pressure drop through a fitting or transition is calculated with table or equivalent length.

At the design of this dryer, is the propane air heater, the double cylinder to burn the propane, the reduction on the blower, the connector from the outlet blower to the Hooper, with a duct and reduction and the hopper, which is a expansion. Using the tables reported by ASHRAE Handbook (1989), and the dimensions of transitions the estimated equivalent lengths was 19 ft (L) pipe with 6 inches diameter.

Using the Figure 3.7 permits calculate the design static pressure drop, (pd, inch WC).

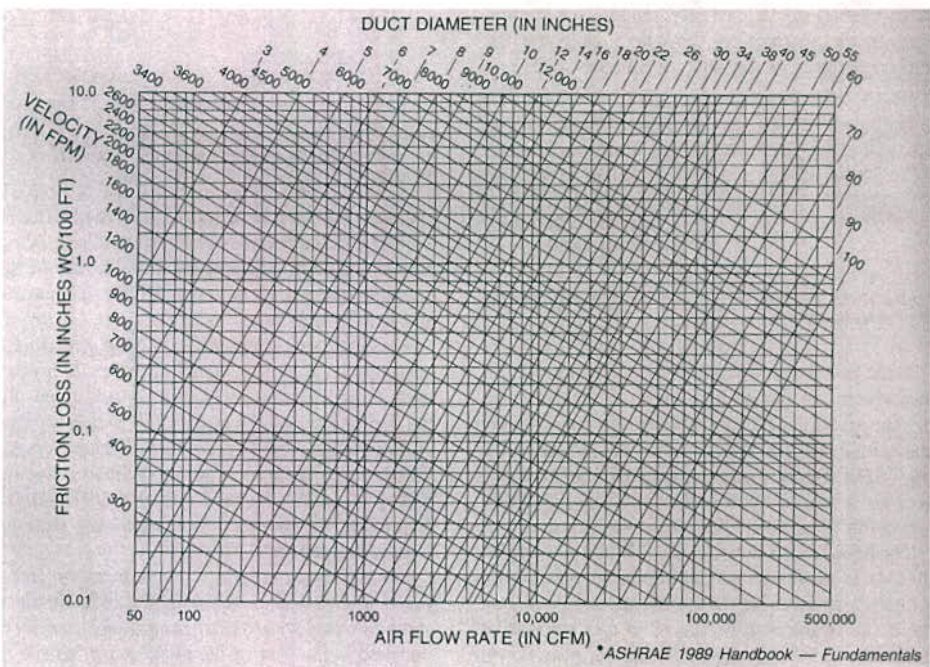


Figure 3.7 Relationship between duct size, flow rate, velocity and static pressure drop. From ASHRAE Handbook (1989).

For air flow rate of 1000 CFM, 6 inches duct $d_p = 7.2$ inches water column.

$$Pd = 7.2 \text{ in WC} * \frac{19 \text{ ft}}{100 \text{ ft}} = 1.37 \text{ in WC}$$

The Total System Pressure Drop is static pressure loss by coffee layers plus static pressure loss by friction. Then

$$\text{Total SP} = 1.37 \text{ in WC} + 1.81 \text{ cm WC} * (1 \text{ in} / 2.54 \text{ cm}) = 2.08 \text{ in WC}$$

The blower was selected with 2 inches WC static pressure.

In order to know the direction of rotation and discharge the Figure 3.8 was used. It is determined when the blower is viewed from the drive side. The selected blower was up blast discharge and clockwise rotation.

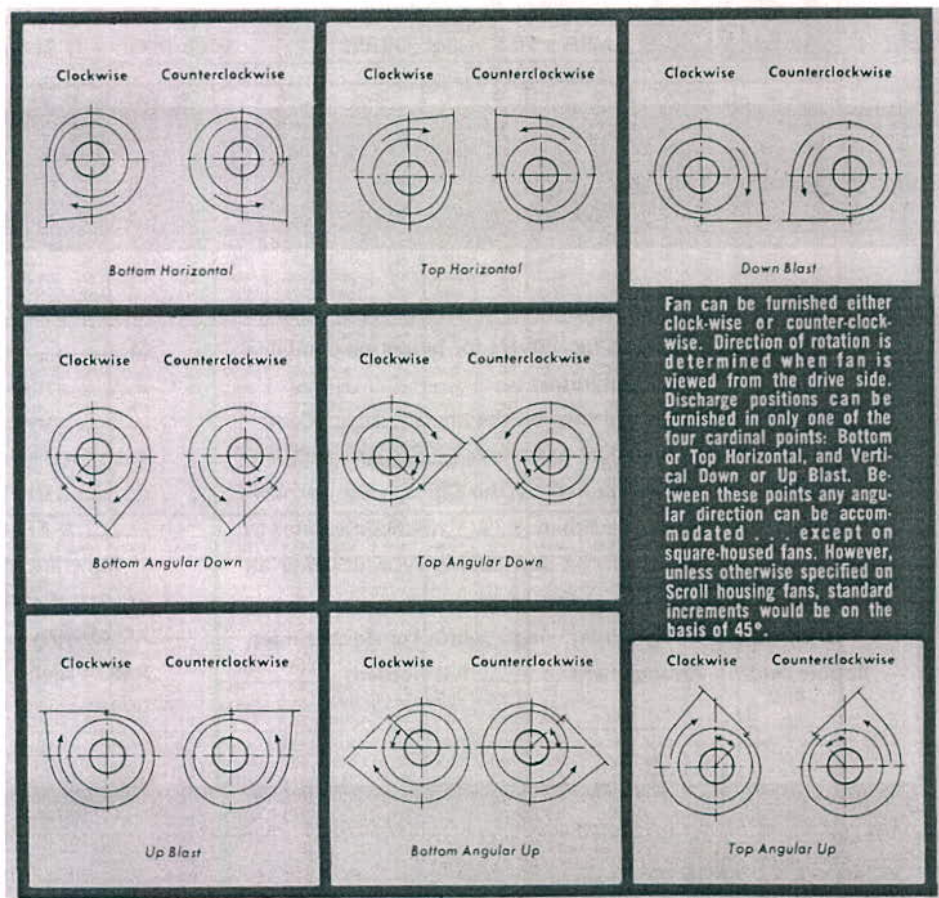


Figure 3.8 Blowers and its direction of rotation and discharge. Chicago Co (2000)

Handwritten signature or initials in the top right corner.

The electric power (P, hp) can be calculated by:

$$P = \frac{Q * SP}{6356 * \eta}$$

Selecting Airfoil Centrifugal blower, with backward inclined blades, Figure 3.4.4 guaranty use less horse-power than other design, because it's aerodynamic characteristics. See Figure 3.10, from the η can estimated in not less than 60%. Thus

$$P = \frac{1003CFM * 2in}{6356 * 0.60} = 0.526hp$$

Using recommended correction of 1.13, by minimum drying air temperature (120°F) and minimum farm elevation (1000 ft), from Figure 3.4.1, real consumed power (CP) will be.

$$CP = P / 1.13 = 0.526hp / 1.13 = 0.466hp$$

And finally using the minimum electrical motor efficiency of 60%, working from 20% to 80% of its air flow rate, see Figure 3.4.5, the corrected power (FCP) will be:

$$FCP = CP / 0.60 = 0.466 / 0.60 = 0.776hp$$

Then, a 1 hp electrical motor was selected, 220 volts and 1725 rpm, with service factor equal to 1.0. The blower was selected with direct drive to avoid the mechanical loss efficiency by pulley-belts coupling. See Figure 3.9.



Figure 3.9 Blower wheel with backward inclined blades. From Chicago Co (2000)

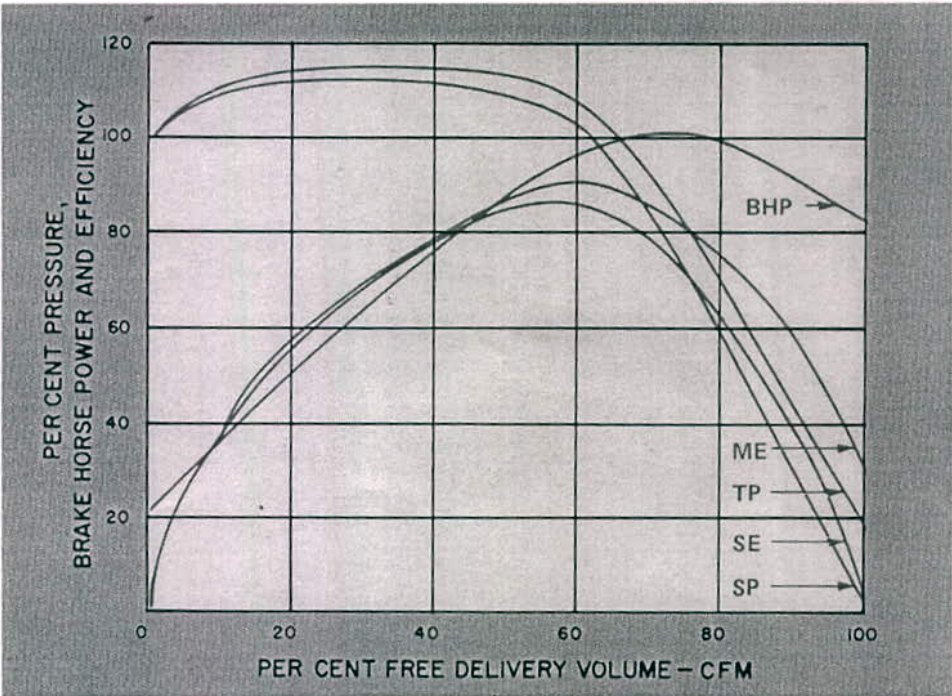


Figure 3.10 Airfoil Blower Performance characteristics. From Chicago Co (2000)

240
250
260

3.5 Burner Selection

A propane Burner was selected, to know its required capacity the next equation was used

$$FC = \frac{Q * Ca * \delta * (dT - aT) * 60}{E * EV}$$

Where:

FC = Required burner fuel capacity, (gal/h),

Q = Air flow rate = 28.4 m³/min,

Ca = Specific air heat, kJ/kg-°C = 1.007 kJ/kg-°C, at 37.5°C (average)

δ = Air density, (kg/m³) = 1.09286 kg/m³, for average air temperature=37.5°C and average air relative humidity of 42.5% and minimum elevation = 1,000 ft.

dT= Drying air temperature, (°C),= Minimum 15°C (59°F)

aT = Ambient air temperature, (°C)=maximum 60°C (140°F)

E = The united burner, interchanger, ducts thermal efficiency, %, and

CV = Caloric or heating value of fuel (kJ/gal)= For LPG = 100% propane= 83,580

BTU/gal = 88,181.6 kJ/gal.

60 is a conversion factor between h and min.

$$FC = \frac{28.4m^3 / min * 1.007kJ / kg - ^\circ C * 1.09286m^3 / min * (60^\circ C - 15^\circ C) * 60 min / h}{0.60 * 88,161.6kJ / gal} = 1.6 gal / h$$

Then the propane burner must have a capacity of 1.6 gal/h or 141,059 kJ/gal = 148,825

BTU/h. (using its heating value of 88,161.6 kJ/gal). A propane burner brand Wayne,

model HSG 200 was selected, with capacity from 60,000 to 200,000 BTU/h, from Scott Fetzer Company (2001).

3.6 Final Characteristics

The Vertical Dryer is vertical dryer, building in galvanized sheets, with aerodynamic blower. All the meshes are made in stainless steel. The blower has a motor of 1 hp, 1 phase to 220 volts and 1725 rpm. The dryer has an axel with blades, which permits the movement between trays. It has a gear-motor of 1.5 hp, 1 phase to 220 volts and 1725 rpm motor. The gear motor is necessary because its axel is moving to 11 rpm. The dryer has a safety burner of Liquid Petroleum Gas, brand Wayne, and model Blue Angel plus HSG200. It has electronic starting and security solenoid valve, which stop the heater if there not electrical fluid. Also the dryer has five timers, which govern the two motors (blower and burner) and three doors. The doors are moving by pneumatic systems, governed by automatic system control, made by Siemens of Colombia, model standard LOGO with display. The compressor has a motor of 1 hp, 1 phase to 220 volts and 1725 rpm. The reduction of hand labor by the automation will give to the dryer an enormous versatility. It dryer has a gravity unloading.

360
362



RECIBO DE CAJA

No. 13 - 0032076

Bogotá D.C., Abril 05 de 2013 - 16:26:32

RECIBIDO DE : OLARTE MOURE & ASOCIADOS NI 830.122.870

RE

*** Soporte del Pago ***

TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR PAGO
RECIBO DE CA	999999999	25278	13/03/2013		50.000.00
RECIBO DE CA	999999999	25287	13/03/2013		320.000.00

*** Conceptos Pagados ***

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	Vr.UNDITARIO	Vr.CONCEPTO
1	50005-01-04 PRESENTACION DE OBSERVACIONES A SOLICITUDES	1632 OPOSICION NUEVA CRACION / PRESENTACION	325.000.00	325.000.00
				\$325.000.00

SON: **TRESCIENTOS VEINTICINCO MIL PESOS MONEDA CORRIENTE**

Responsable: 
Recibo de Caja Aplicado al Expediente No. _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 12-014343- -00007-0000

Fecha: 2013-04-05 16:46:17 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 3 MODELO Eve: 1 REGDEPOSITO
Act. 400 OPOSIOBSERVTER Folios: 360

Sede Centro: Carrera 13 No. 27 - 00 Pisos 3,4,5 y 10 Bogotá, D.C.- Colombia

Web: www.sic.gov.co e-mail: info@sic.gov.co Conmutador: (571) 5870000 Fax: (571) 5870284 Línea: 018000-910165 Call Center: (571) 6513240

Abril 5 de 2013 - 16:26:33

