

# CAPÍTULO 3

## Beneficio Ecológico del Café



# 3 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 <sup>13</sup>

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

<sup>13</sup> 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**,<sup>14</sup> 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.

---

<sup>14</sup> **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.

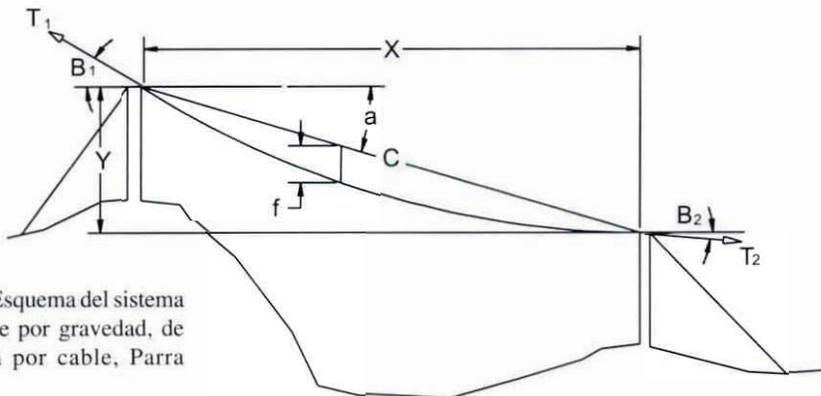
### 3.1.1.2. Transporte del café cereza por cable aéreo de gravedad

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 Cenicafé 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

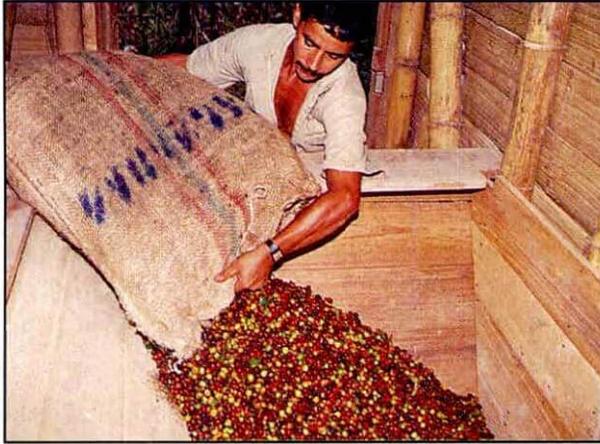
Para el mejor control de la operación global del beneficiadero, de la calidad de la materia prima y del café obtenido, y para poder calcular con propiedad el rendimiento (Capítulo 5) es muy importante pesar el café cereza previamente caracterizado, individualizando las medidas según los lotes de donde 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	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V
0,4	1,0	0,96	2,0	1,93	3,0	2,89	4,0	3,86	5,0	4,8	$2,0+(N-2)$	$0,96+(N-1)\times 0,965$
0,5	1,2	1,29	2,2	2,4	3,2	3,52	4,2	4,64	5,2	5,8	$2,2+(N-2)$	$1,29+(N-1)\times 1,115$
0,6	1,4	1,63	2,4	2,87	3,4	4,12	4,4	5,36	5,4	6,6	$2,4+(N-2)$	$1,63+(N-1)\times 1,245$
0,7	1,6	1,96	2,6	3,31	3,6	4,67	4,6	6,02	5,6	7,4	$2,6+(N-2)$	$1,96+(N-1)\times 1,355$
0,8	1,8	2,26	2,8	3,71	3,8	5,15	4,8	6,60	5,8	8,0	$2,8+(N-2)$	$2,26+(N-1)\times 1,455$
0,9	2,0	2,53	3,0	4,04	4,0	5,56	5,0	7,07	6,0	8,6	$3,0+(N-2)$	$2,53+(N-1)\times 1,515$
1,0	2,2	2,74	3,2	4,30	4,2	5,87	5,2	7,43	6,2	9,0	$3,2+(N-2)$	$2,74+(N-1)\times 1,565$
1,1	2,4	2,87	3,4	4,47	4,4	6,06	5,4	7,66	6,4	9,3	$3,4+(N-2)$	$2,87+(N-1)\times 1,595$
1,2	2,6	2,92	3,6	4,53	4,6	6,13	5,6	7,74	6,6	9,3	$3,6+(N-2)$	$2,92+(N-1)\times 1,605$

N = número de tolvas.

A = ancho de la tolva, (m).

L = largo de la tolva, (m).

V = volumen de la tolva, (m<sup>3</sup>).

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

N = número de tolvas.

A = ancho de la tolva, (m).

L = largo de la tolva, (m).

V = volumen de la tolva, (m<sup>3</sup>).

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 Cenicafe 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.**

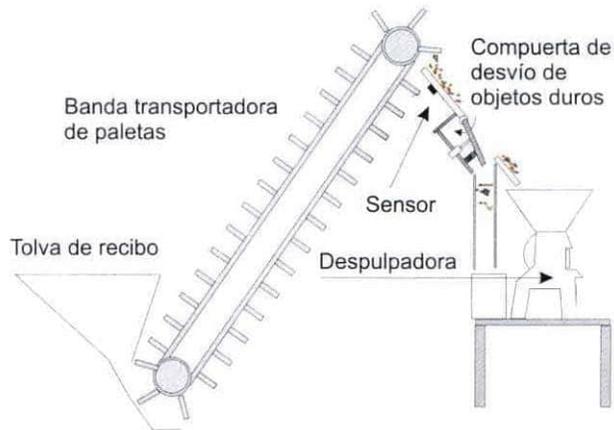
### 3.2. DESPULPADO DEL CAFÉ <sup>15</sup>

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.

---

<sup>15</sup> Preparado por Álvarez, G. J., y Oliveros, T. C. Ingeniería Agrícola, Cenicafe.

**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.



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

Estudios realizados en Cenicafé (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 cerezas en el espacio conformado por una placa fija (denominada pechero) y una superficie móvil que puede ser la camisa de un cilindro o el diente de un disco.



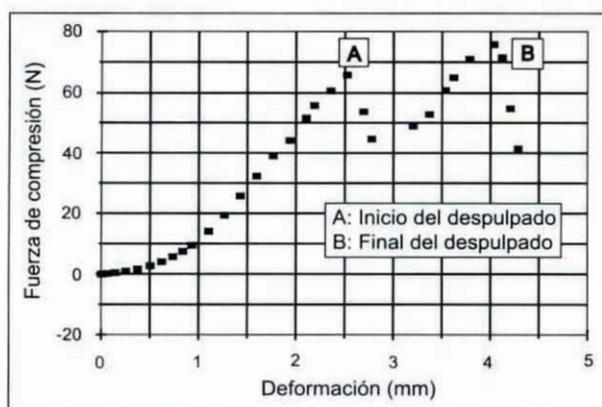
**Figura 15.** Despulpadoras de eje horizontal, operadas sin agua.

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.

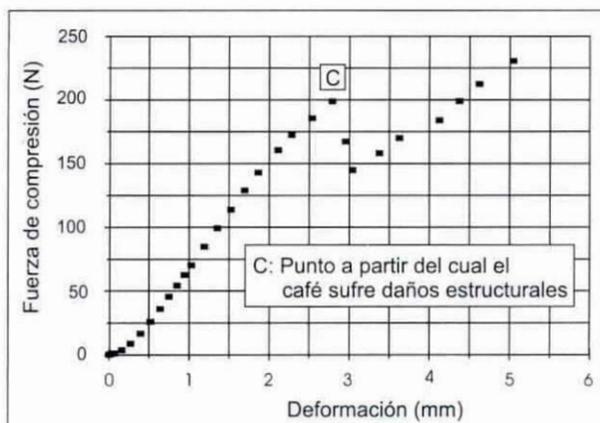
Las cerezas verdes son materiales mas rígidos que ofrecen gran resistencia al despulpado y consecuentemente, pueden no ser despulpadas y soportar cargas superiores a 200N, como se muestra en la Figura 17. Un alto porcentaje de estos materiales resulta con **daño mecánico** al pasar por la despulpadora. 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.



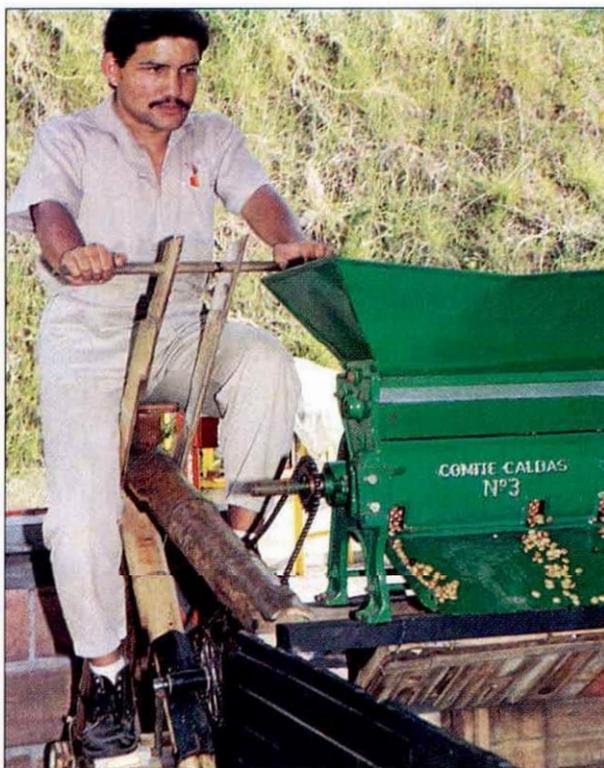
**Figura 16.** Comportamiento de una cereza madura de café sometida a compresión entre placas paralelas.

**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 desmucilagador 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 desmucilagador mecánico, se puede contabilizar la eliminación total del orden del 8% de la producción cafetera mediante la correcta utilización del módulo BECOLSUB.

### 3.5. CALIBRACIÓN DE LAS DESPULPADORAS DE LOS MÓDULOS BECOLSUB <sup>16</sup>

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).

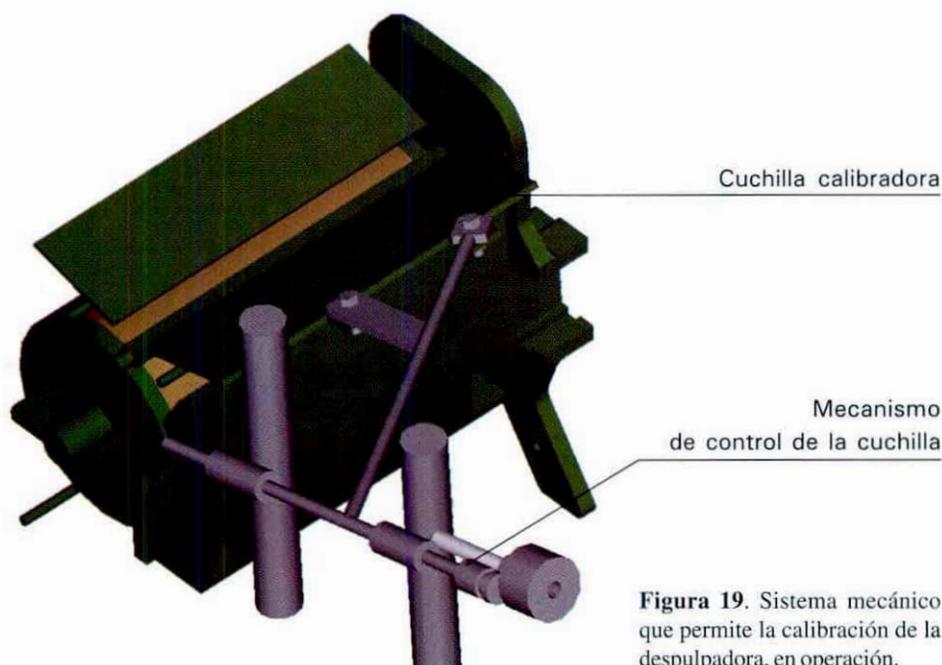
En el proceso de calibración de una despulpadora de cilindro horizontal se realizan las siguientes actividades:

- 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-

<sup>16</sup> Preparado por Oliveros, T. C. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.



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

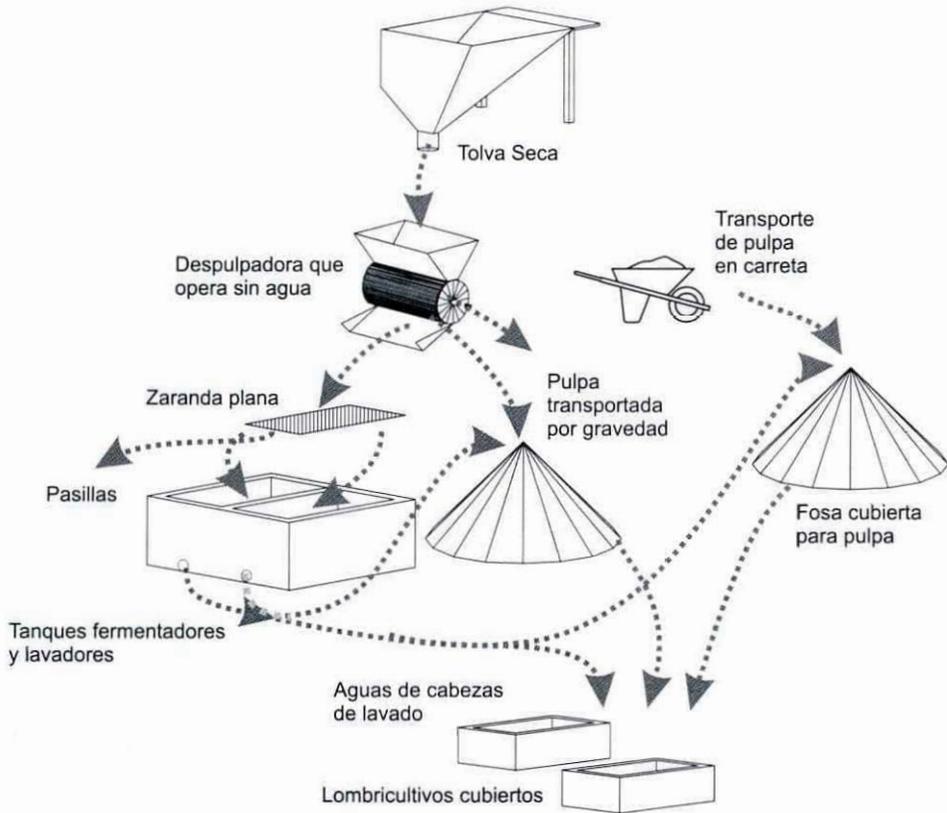
lando la entrada de café a la zona de despulpado. El mecanismo posee una contratuerca para fijar el punto de calibración que se desee en la máquina.

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 <sup>17</sup>

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.

<sup>17</sup> Preparado por Álvarez, H. J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.



**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.

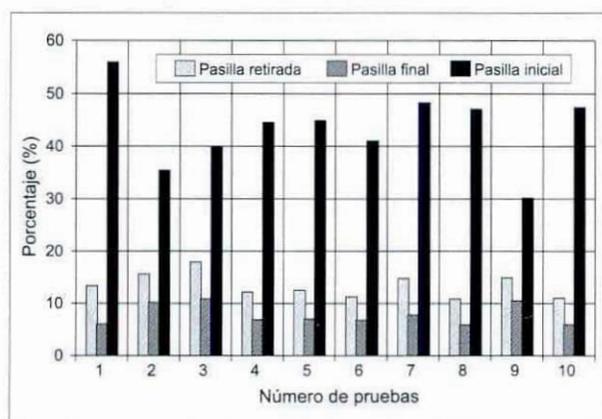
**Tabla 14.** Porcentaje de pasillas de café retiradas en la zaranda plana ubicada después de la despulpadora.

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
<b>Promedio</b>	<b>13,2</b>	<b>7,6</b>	<b>43,3</b>

En la Tabla 15, Álvarez (11) presenta los resultados de la evaluación de la calidad física del café procesado en un beneficiadero construido en Cenicafé 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.

**Tabla 15.** Calidad física del café procesado en el beneficiadero para el pequeño caficultor de Cenicafé (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.

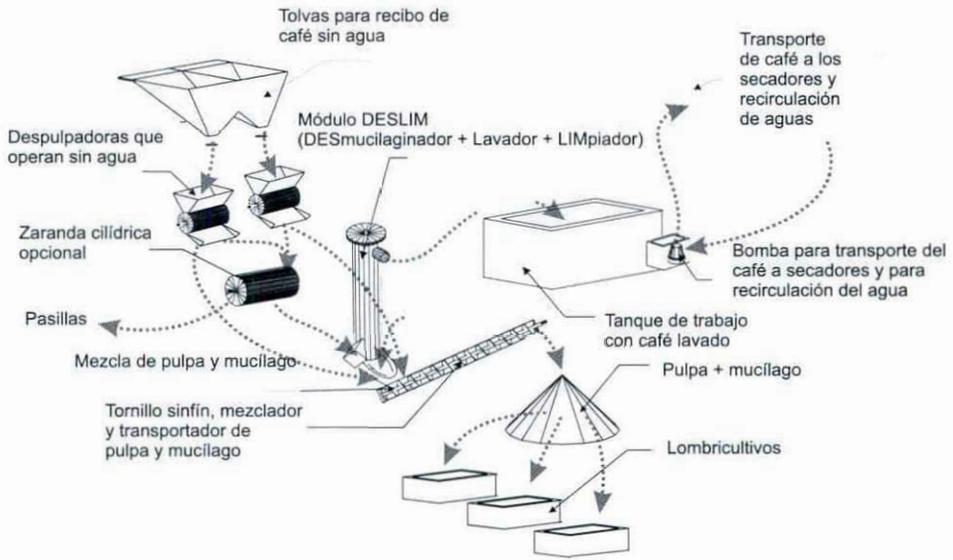
P = Granos Pelados.

I = Impurezas.

granos de mejor calidad de los granos inferiores, de la pulpa y de materiales extraños 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).

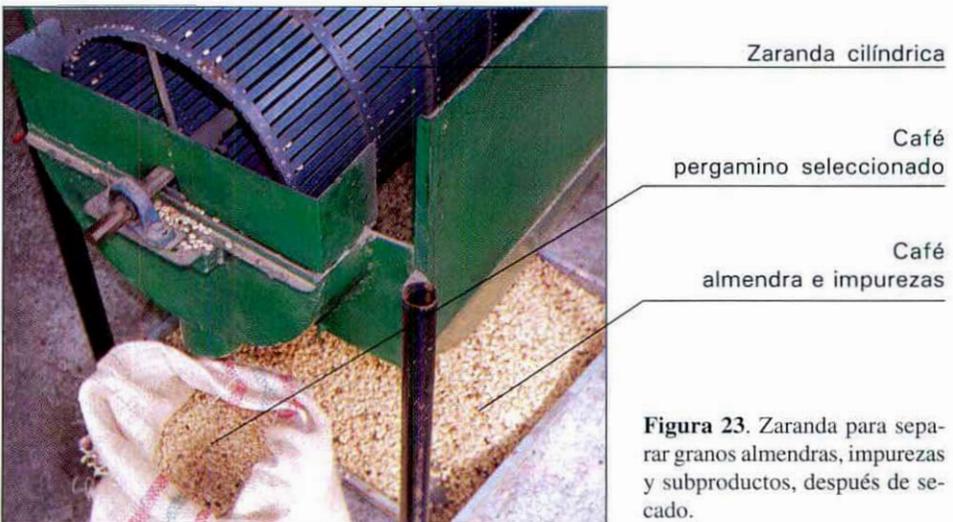
La recomendación de Cenicafé de **no utilizar agua** en la clasificación de los diferentes estados del café y en particular, la eliminación del uso de canales de correteo y semisumergidos, induce en primera instancia a utilizar zarandas clasificadoras eficientes que funcionen sin agua, principalmente 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 pequeñas.



**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 Concurrentes) (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



Zaranda plana

Tanque tina

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

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.

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. Cenicafé 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 <sup>18</sup>

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.

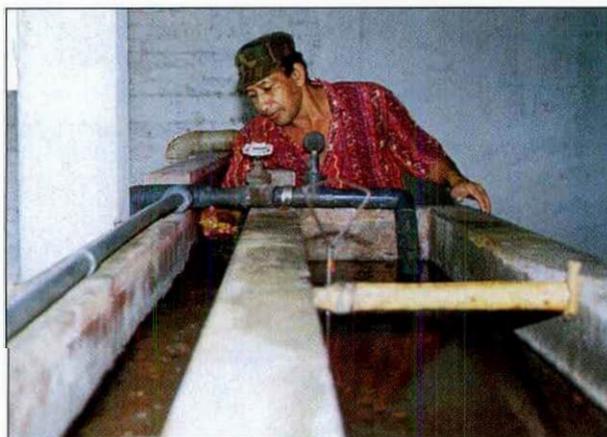
<sup>18</sup> Preparado por Sanz U., J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.



**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



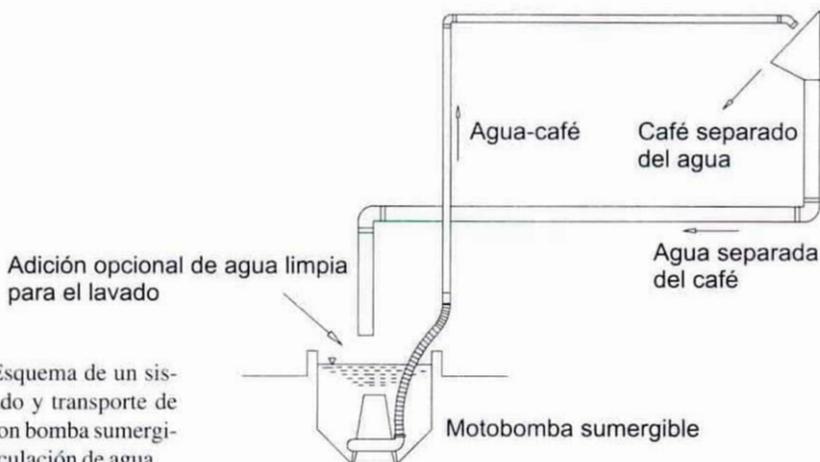
**Figura 28.** Canal semisumergido utilizado para el lavado y clasificación tradicional del café pergamino.

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  $0,3\text{m}^3$ . 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 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 >

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

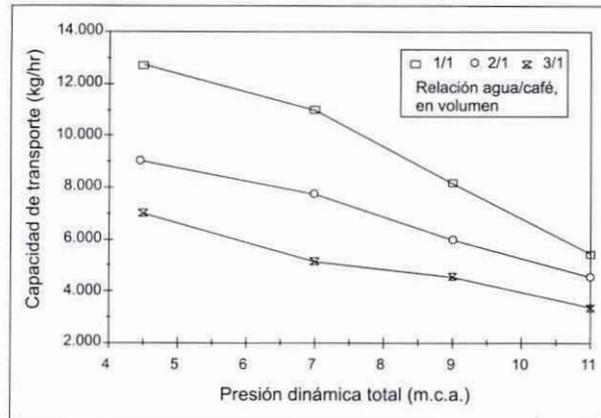
En donde:

- $(h_f)_h$  = 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).

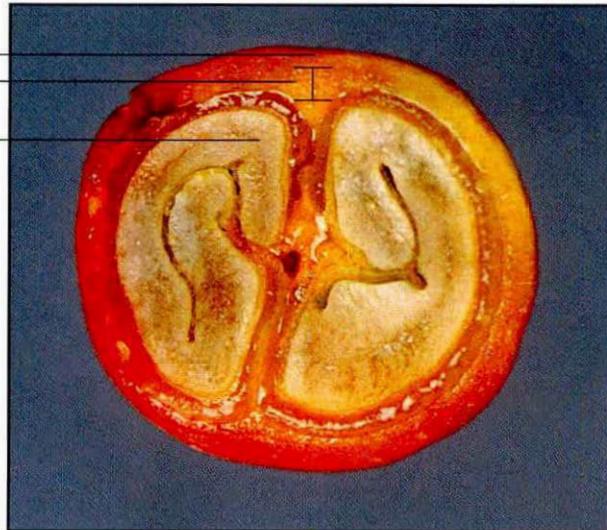
**Figura 30.** Curvas características de la bomba sumergible marca IHM modelo HWH 10-21-3 de 1 hp, al transportar café lavado.



### 3.10. DESMUCILAGINADO MECÁNICO, LAVADO Y LIMPIEZA DEL CAFÉ. EQUIPO DESLIM<sup>19</sup>

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 cereza<sup>20</sup>. 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.

<sup>19</sup> Preparado por Oliveros T., C. E. y Sanz U., J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

<sup>20</sup> 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 control<sup>21</sup> 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 desmucilagador** tipo DESLIM (Sección 3.10.5.), equipo desmucilagador-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 desmucilagador 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

<sup>21</sup> 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.

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).

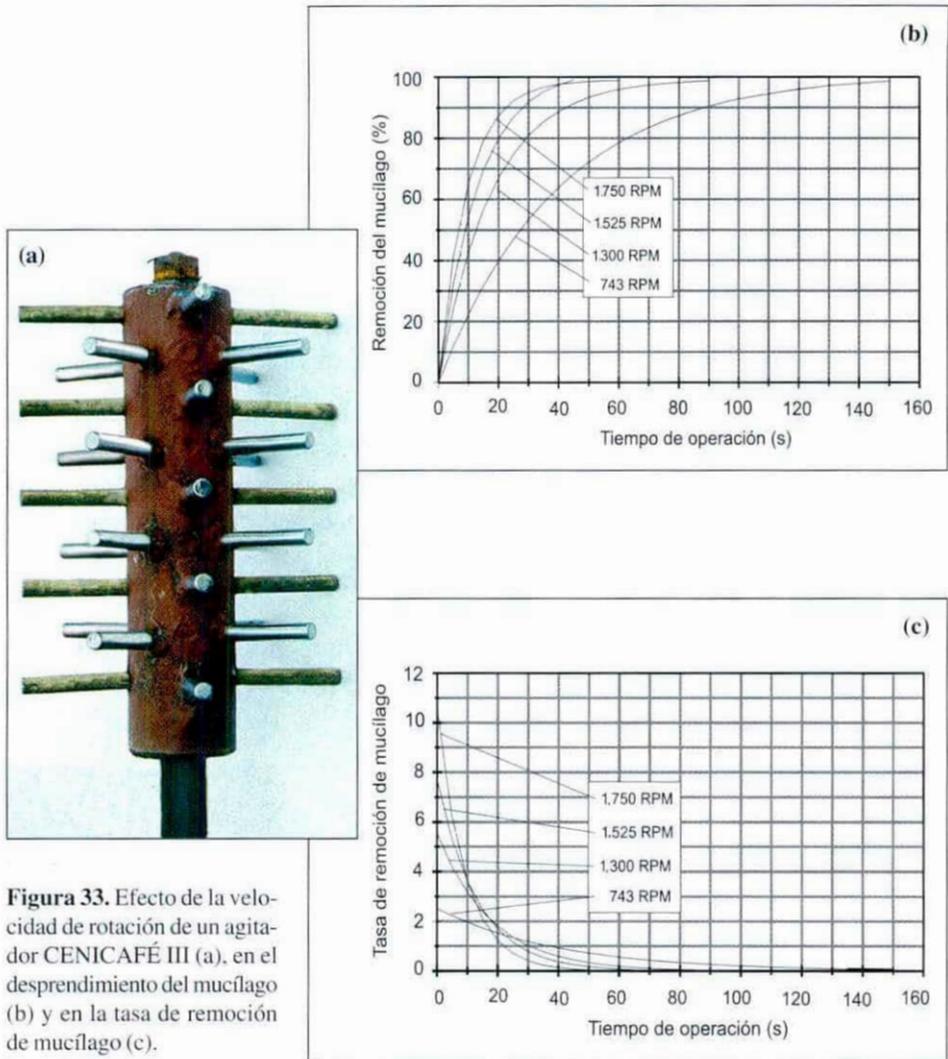
Sin embargo, cuando la velocidad de rotación es muy alta (más de 1.500 rpm, según evaluación con el rotor CENICAFÉ III) los granos tienden a alinearse con la

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).



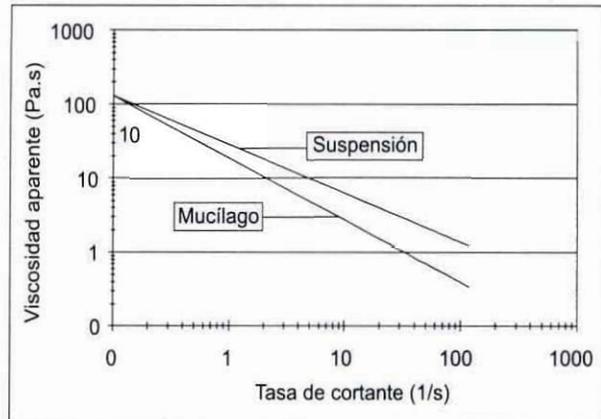
**Figura 33.** Efecto de la velocidad de rotación de un agitador CENICAFÉ III (a), en el desprendimiento del mucilago (b) y en la tasa de remoción de mucilago (c).

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.

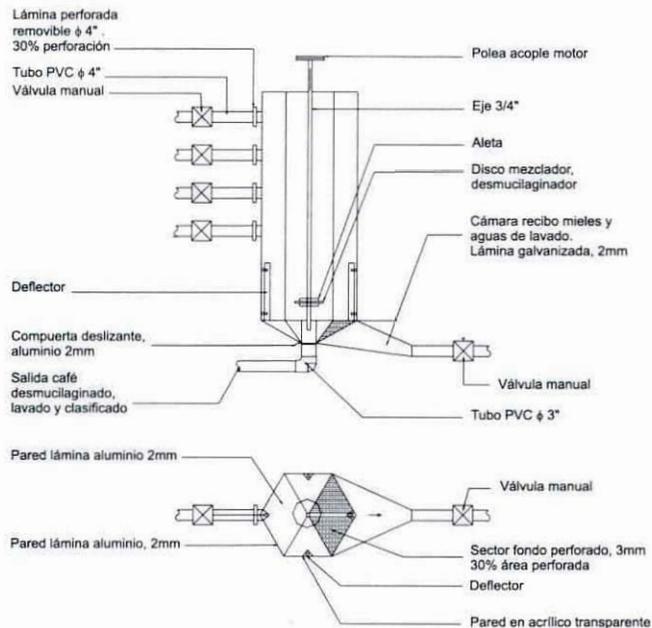
El proceso de desmucilaginado se ve afectado principalmente por : el diámetro del rotor, la velocidad de rotación, el tipo de rotor y la **viscosidad de la suspensión** (Figura 34), (la cual a su vez depende de la velocidad de rotación, de la cantidad de agua utilizada por unidad de producto y de la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

**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 (**DESM**ucilaginator, **LA**vador, **CLA**sificador) (Figura 35).



**Figura 35.** Diagrama del primer prototipo desmucilaginator, 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 10mm de espesor con cuatro perforaciones de 50mm de diámetro cada una. En cada cara del disco se encontraban colocadas en cruz, cuatro paletas de aluminio de 50mm de longitud. La altura total del agitador era 40mm; éste se encontraba en el centro de una cámara de sección hexagonal de 250mm de lado. La relación diámetro de rotor/diámetro del tanque (considerando un círculo inscrito de 500mm de diámetro) era 0,36. La altura total de la cámara era 1.320mm.

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 desmucilaginador Pinhalense<sup>22</sup> (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 desmucilaginado se construyó un prototipo denominado CENICAFÉ-B-I (Figura 36).

**Tabla 17.** Parámetros obtenidos en la evaluación del desempeño del desmucilaginador 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).

<sup>22</sup> El equipo consta de un rotor, similar al utilizado en extrusores de alimentos, el cual gira en el interior de una carcaza construida en lámina con perforaciones oblongas. El desmucilaginado ocurre debido a la acción de esfuerzos cortantes aplicados en el espacio libre entre el rotor y la carcaza. Se utiliza agua a presión para mantener limpia la cara interior de la carcaza y para retirar de la máquina el café desmucilaginado. El equipo utilizado tiene capacidad para 900kg/h de café despulpado y es accionado por un motor de 7,46kW (10 hp).



**Figura 36.** Desmucilagador por agitación con rotor tipo CENICAFÉ-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 desmucilaginosos 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	

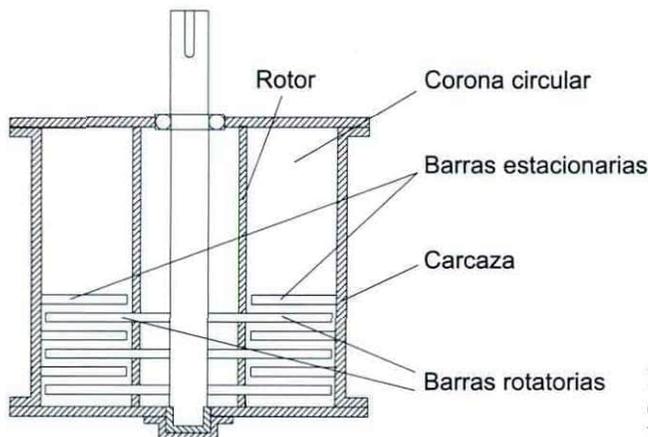
\* Valor alto (>2,0%) no reportado.

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 **desmucilagador de flujo descendente con lavado ascendente**, que operaba en **forma continua**, denominado CENICAFÉ-C-I. Básicamente la modi-



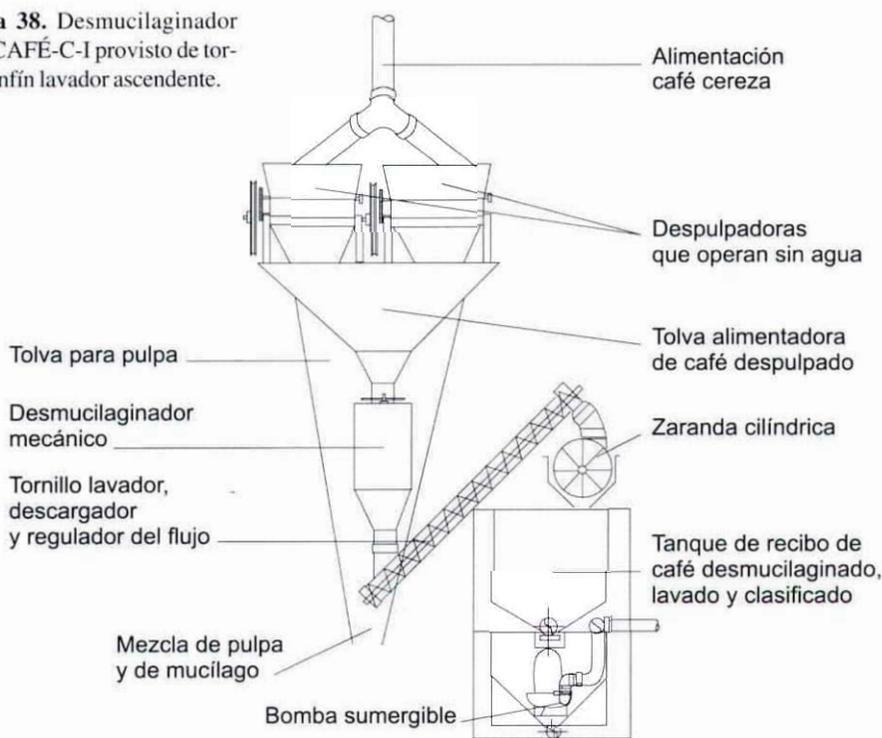
**Figura 37.** Esquema del desmucilagador de barras, CENICAFÉ-B-II.

ficación consistió en la adición de un tornillo sinfín<sup>23</sup> colocado en la tolva de descarga del desmucilagador (Figura 38), el cual permitió controlar el tiempo de residencia del café en el desmucilagador y retirar el mucílago desprendido (lavador). La mejor operación del sistema desmucilagador-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 desmucilagado 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 desmucilagado (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 desmucilagador 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.** Desmucilagador CENICAFÉ-C-I provisto de tornillo sinfín lavador ascendente.



<sup>23</sup> 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 desmucilaginosos 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 café<sup>24</sup>, 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 desmucilaginoso se colocó horizontalmente un dispositivo con el cual se lograba dar el tiempo de residencia en el desmucilaginoso, 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 desmucilaginosos CENICAFÉ-C-I, CENICAFÉ-C-II y COLMECANO.

En términos generales, el mejor desempeño se obtuvo con el desmucilaginoso COLMECANO y con base en estos resultados se construyó el módulo DESMULAC<sup>25</sup> (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 desmucilaginoso-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 lombricomposteo.

<sup>24</sup> 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).

<sup>25</sup> 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.

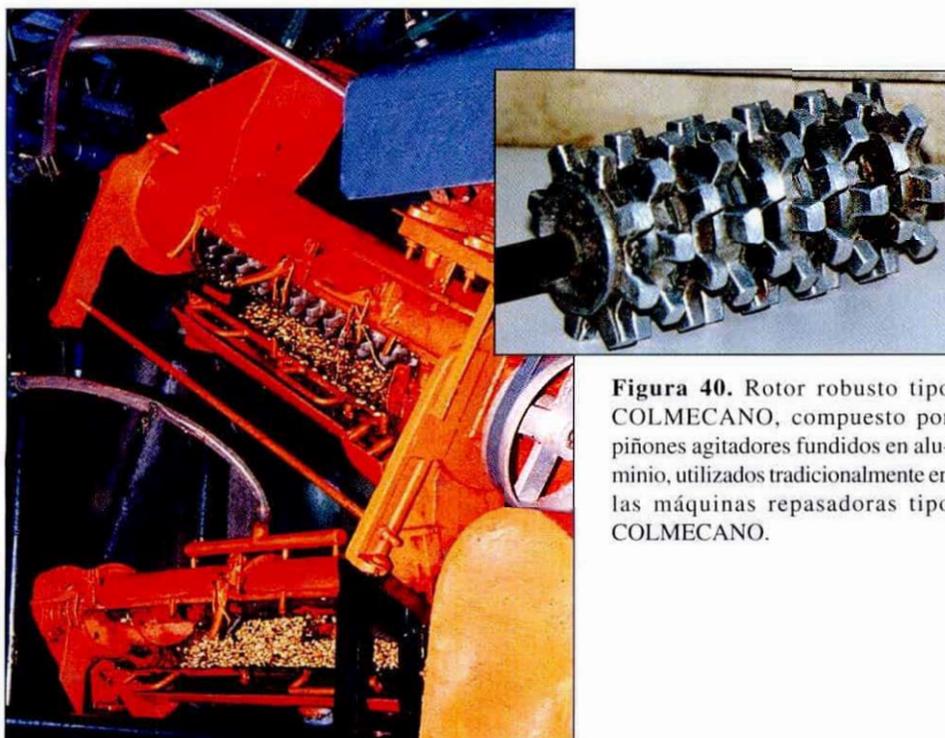


Figura 39. Desmucilagador CENICAFÉ-C-II.

Figura 40. Rotor robusto tipo COLMECANO, compuesto por piñones agitadores fundidos en aluminio, utilizados tradicionalmente en las máquinas repasadoras tipo COLMECANO.

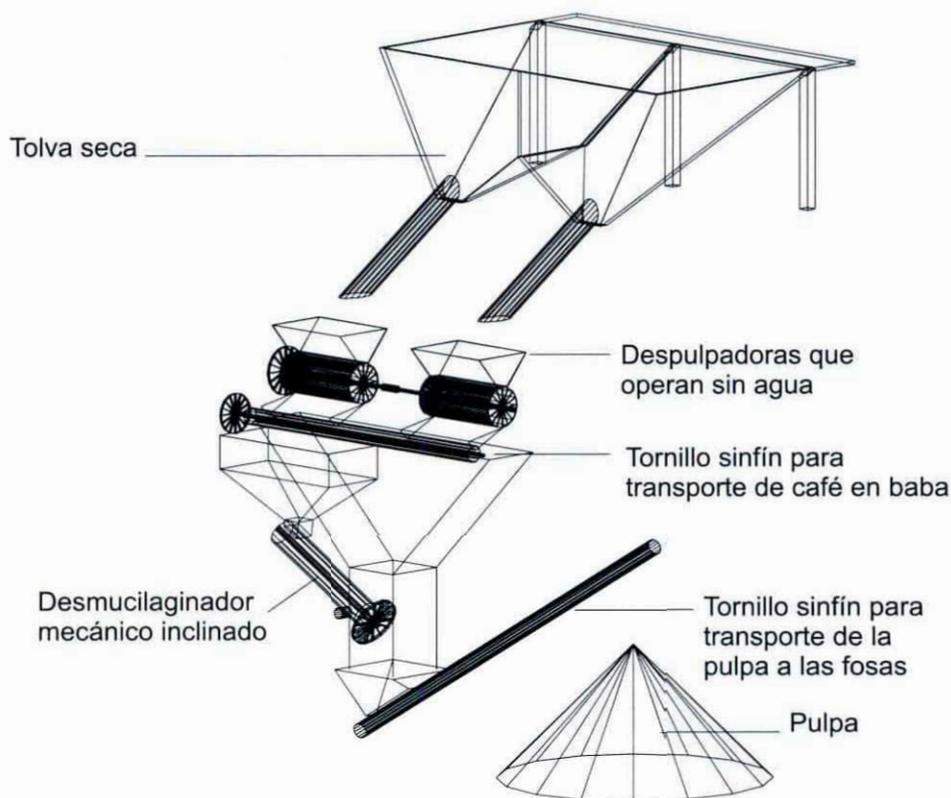
### 3.10.4. La tecnología DESLIM

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 desmucilagador 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 desmucilagadores mecánicos.

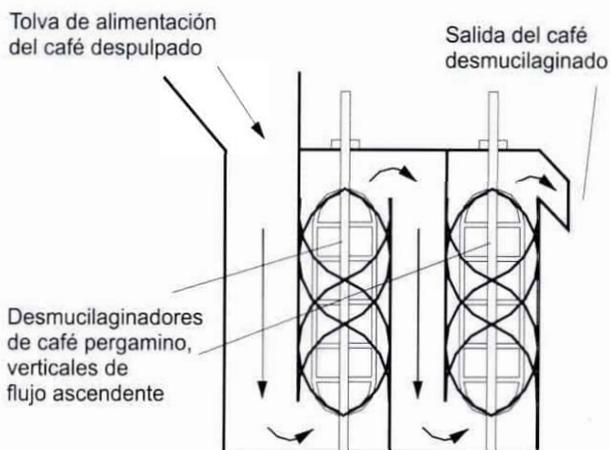
Característica	CENICAFÉ-C-I	CENICAFÉ-C-II	COLMECANO
Potencia (W/Kg café baba/h)	2,90	2,51	2,08
Consumo de agua (L/kg de café seco)	1,00	---	2,75
Daño mecánico, (%)	1,19	2,70	1,04



**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 desmucilagado; 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 desmucilagador 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



**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.).

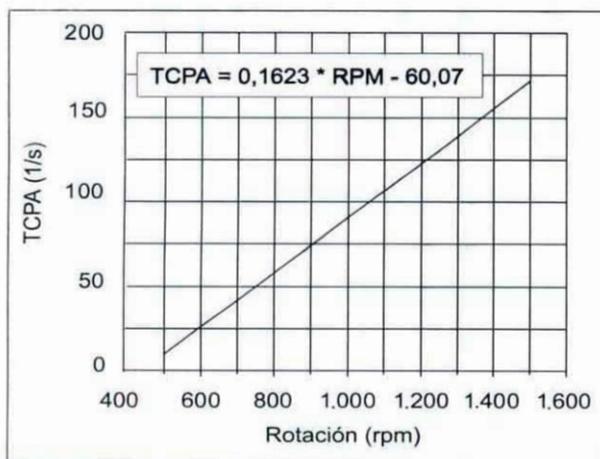
En estudios realizados por Oliveros (115) se determinaron dos parámetros importantes para el escalamiento de la tecnología DESLIM: la **tasa promedia cortante aplicada** por el rotor y el requerimiento de potencia. En la selección de los rotores de los desmucilagadores se utiliza el concepto de Tasa 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.

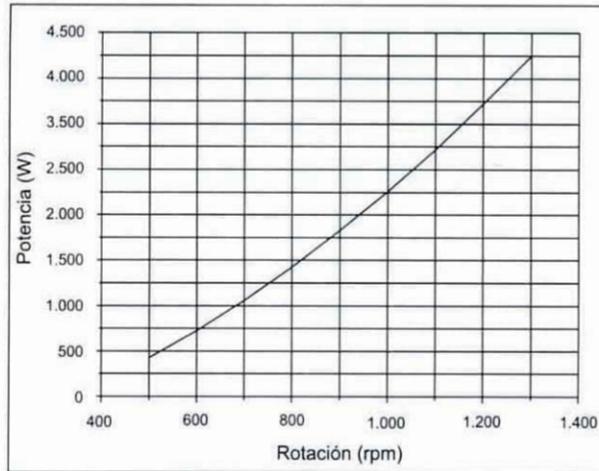
En la Figura 44 se presenta la **curva de potencia** para el rotor del desmucilaginator DESLIM 3000; el rotor consta de 25 agitadores tipo COLMECANO de 13,5cm. de diámetro externo y 9,0cm de diámetro interno; la carcaza tiene 22,0cm de diámetro y el espacio libre entre la carcaza y el diámetro exterior 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.

**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 desmucilagador es principalmente tangencial<sup>26</sup>, 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 Cenicafé, 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).

<sup>26</sup> En un equipo DESLIM operando a 900 rpm, la máxima velocidad tangencial de una partícula localizada en el borde del alabe, es  $6,36\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  mientras que la velocidad axial, generada por el tornillo sinfín, es  $0,0133\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . 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 desmucilaginado y de lavado, respectivamente, dentro de la máquina. Para conseguir un desempeño óptimo respecto al consumo de agua y calidad de desmucilaginado, 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.

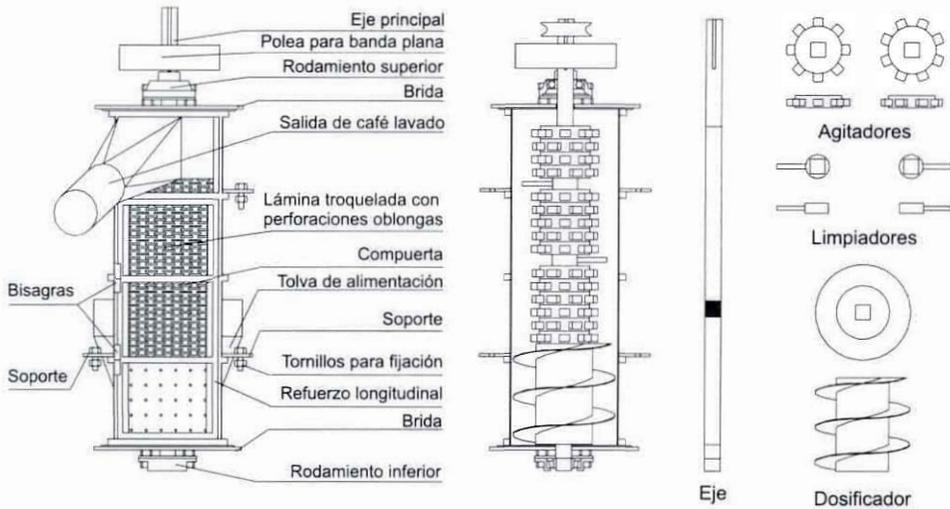
Para evitar las obstrucciones de la malla perforada de la carcaza se dispone de **limpiadores**, que consisten en cilindros unidos rígidamente a una varilla.

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 desmucilaginado 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 desmucilaginado, 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 desmucilaginar 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 desmucilaginados y lavados.

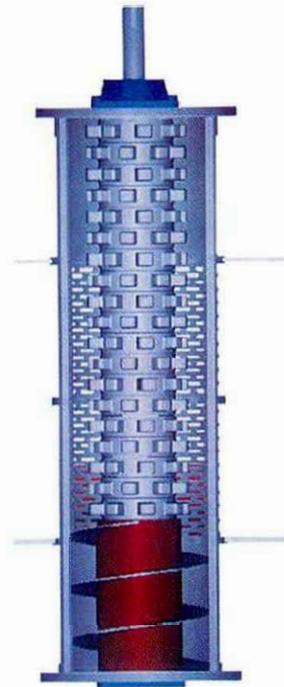
Para la operación del módulo BECOLSUB (desmucilaginador, despulpadora y tornillo sinfín) se utiliza un motor de 0,74kW (1,0 hp). Para accionar el desmucilaginador se requieren 0,44kW (0,6 hp). Otras dimensiones de importancia de este módulo y de los siguientes se presentan en la Tabla 23.

### 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 desmucilaginador 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 construidos 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 (¾") 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



**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, carcasa 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 carcasa. 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 (desmucilagador, 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 desmucilagador.

### 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
Separacion 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 desmucilagador (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 desmucilagador (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.

### 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.

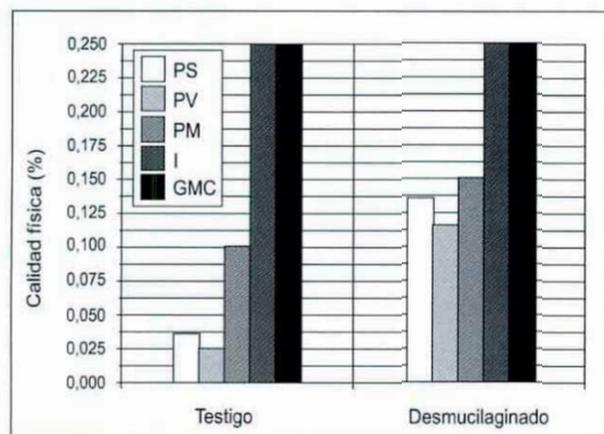


**Figura 49.** Modelo DESLIM 3000 con despulpadora de doble disco y capacidad de 2.500kg café cereza/hora.

### 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  $3,68\text{ W/}$  ( $\text{kg}$  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  $10\text{cm}$  y los flotes se retiran



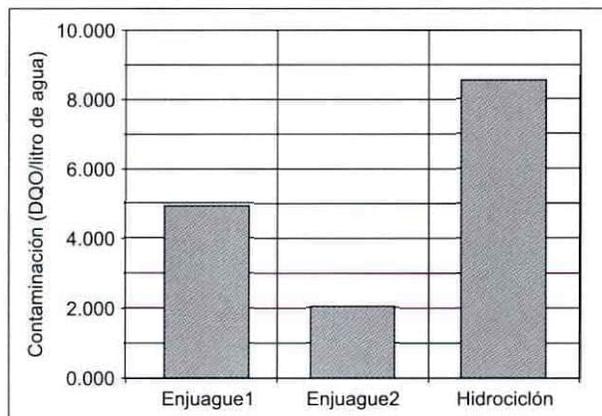
**Figura 50.** Calidad física del café obtenido (PS = pergamino seco; GMC = grano mediacara; PV = pergamino verde; I = impurezas; PM = pergamino monstruo), con el equipo DESLIM 600.

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 DQO<sup>27</sup>/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

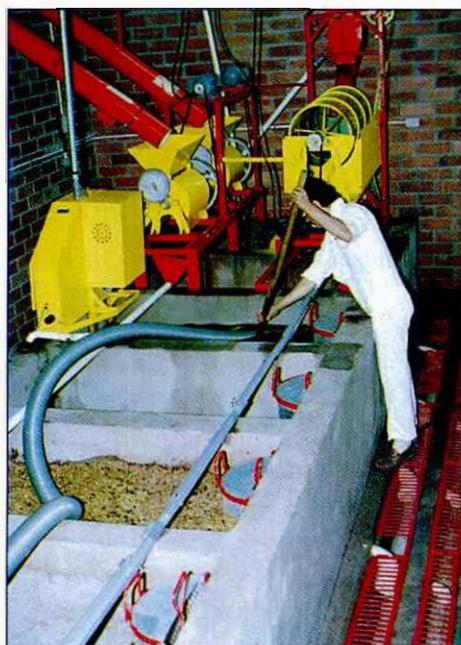


**Figura 51.** Contaminación generada por la utilización del agua posterior al proceso de desmucilaginado en equipos DESLIM, para la eliminación de los flotes e impurezas.

<sup>27</sup> 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.

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 <sup>28</sup>

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 =  $\theta$ .

<sup>28</sup> Preparado por Aristizábal, I. D. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

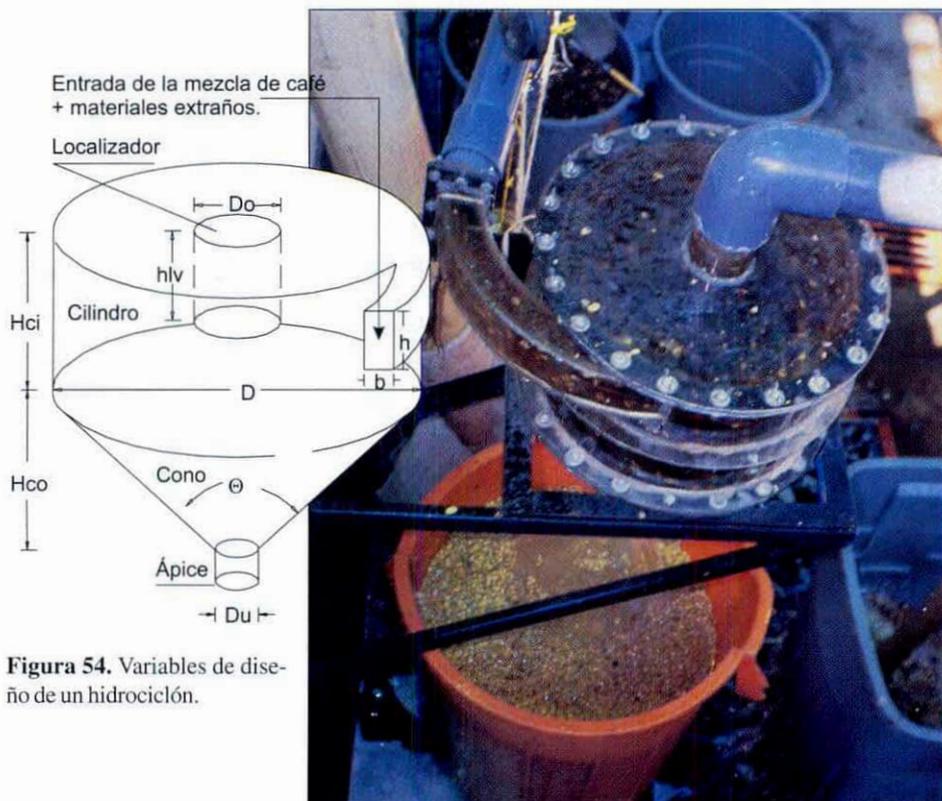


Figura 54. Variables de diseño de un hidrociclón.

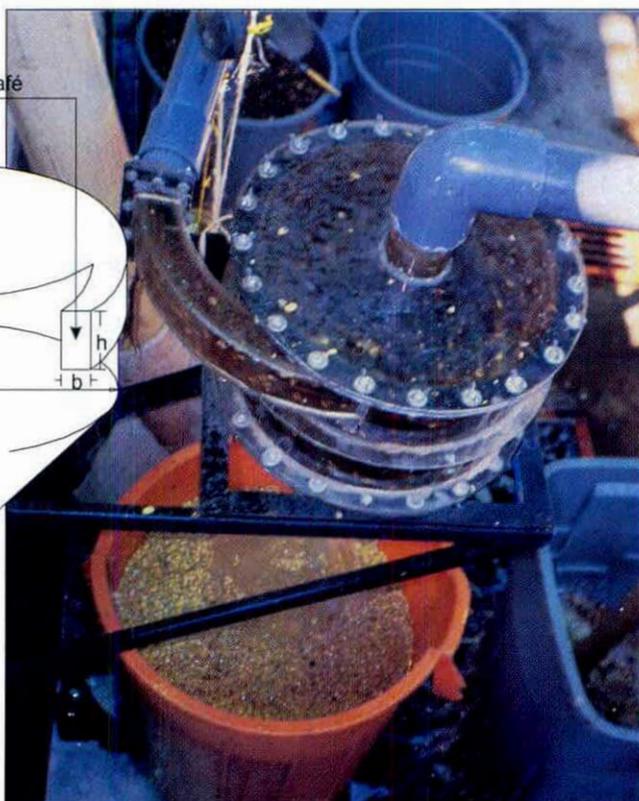


Figura 55. Hidrociclón en operación clasificando café pergamino en Cenicafé.

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	$\theta$ °
35,0	5,17	3,83	6,30	12,0	21,0	21,0	81,0

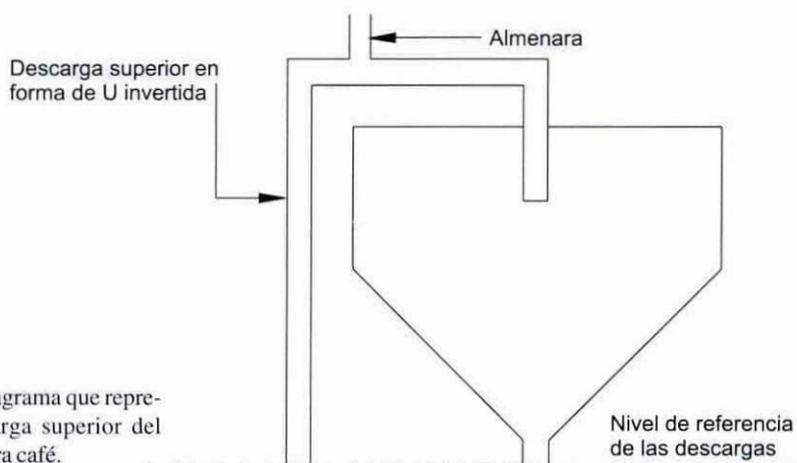
\* Diámetro equivalente a las dimensiones h y b.

**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	$\theta$ °
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  $\theta$ : 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  $\theta$  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.

### 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).

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 Cenicafé 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 Cenicafé.

- 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

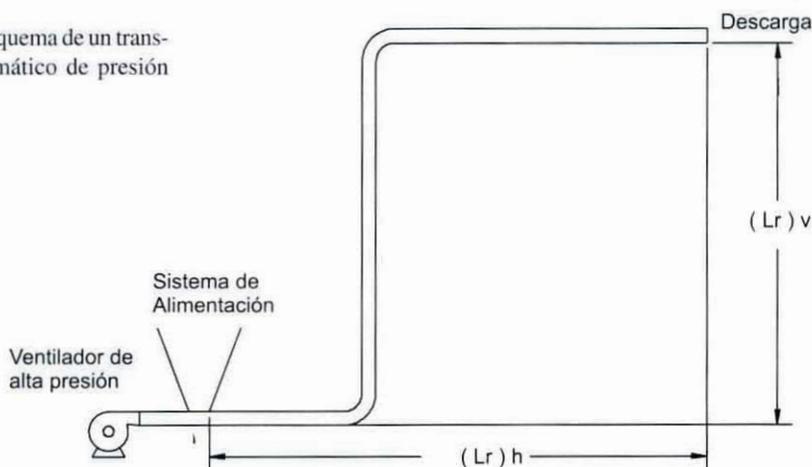
neumático de café pergamino y de pulpa fresca en un sistema de presión positiva utilizando tuberías de PVC de presión, de 107,7mm (4") y 160mm (6") de diámetro. En la Figura 58 se puede observar el esquema de un transportador neumático de presión positiva como el que fue utilizado.

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.

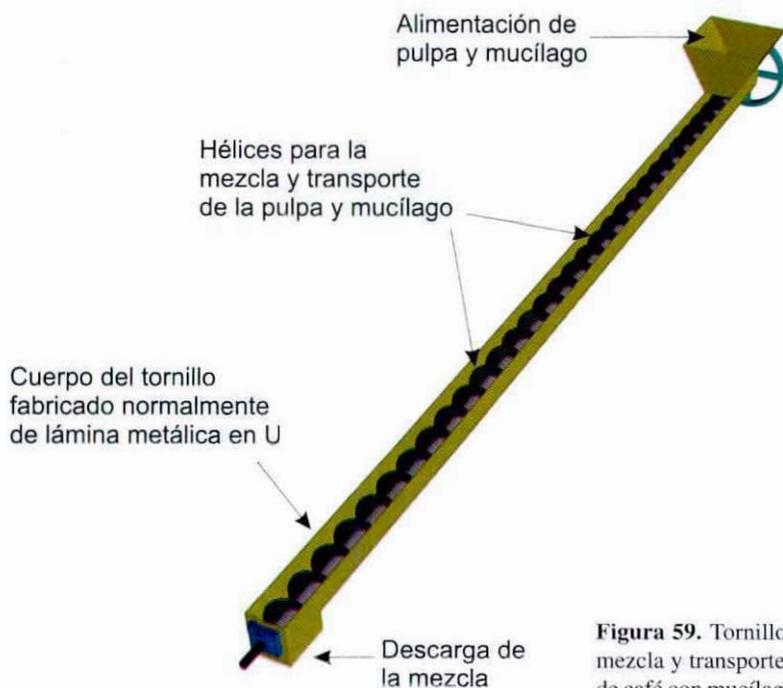
Producto	Velocidades mínimas (m/s)			
	Tubería: 160 mm		Tubería: 107,7 mm	
	Transporte horizontal	Transporte vertical	Transporte horizontal	Transporte vertical
Café pergamino recién lavado	17,95	19,74	11,89	13,17
Café pergamino seco de agua	17,06	19,25	11,56	12,83
Café pergamino seco	15,35	17,01	11,09	10,91
Pulpa fresca	15,62	14,43	14,04	11,21

### 3.13. TRANSPORTE Y MEZCLA DE LA PULPA CON TORNILLO SINFÍN <sup>29</sup>

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 deposite. 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.

<sup>29</sup> Preparado por Sanz U., J. R. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

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

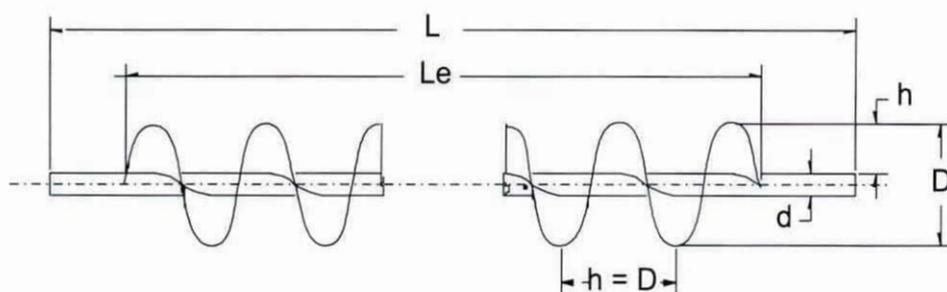
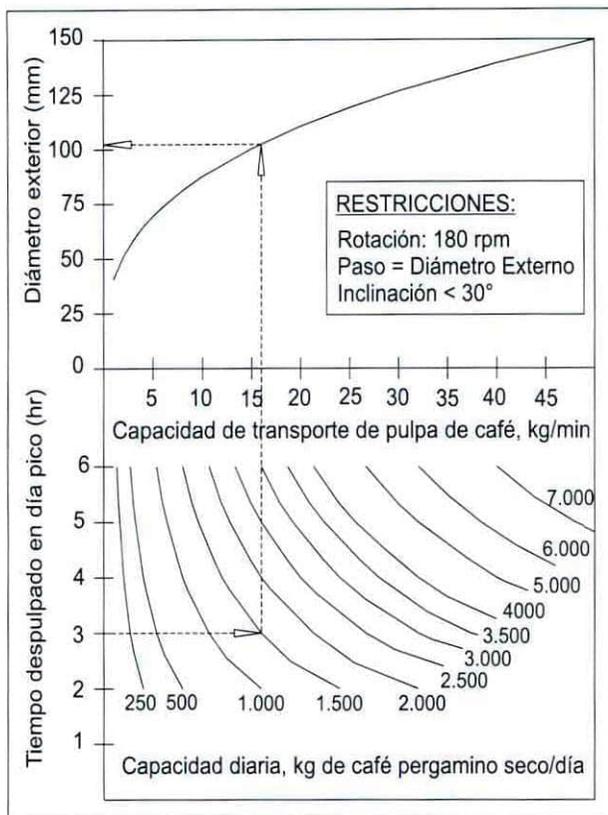


Figura 60. Dimensiones principales del rotor del transportador de un tornillo sinfín.



**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 ( $D_n$ ) en pulgadas, haciendo la conversión por medio de la Tabla 28. La dimensión se debe aproximar el valor al número entero superior<sup>30</sup>.

Si el tiempo utilizado para desulpar 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 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).

<sup>30</sup> 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.

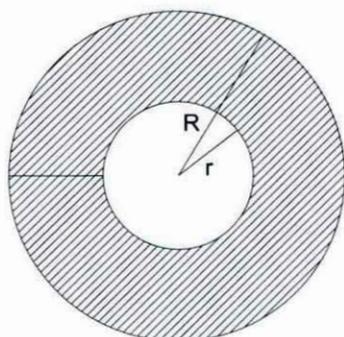
Cuando las longitudes de los transportadores de tornillo sinfín superan los valores indicados en la Tabla 28, se deben utilizar apoyos intermedios. El diseño de estos apoyos debe ser cuidadoso, debido a que una reducción en el área transversal se puede constituir en una reducción de la capacidad y un 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  $D_n$  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.

$D_n$ 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 <sup>31</sup>

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 desmucilagador 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 desmucilagador.



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.

<sup>31</sup> 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 desmucilagado, lavado y limpieza del café pergamino y la mezcla del mucílago con la pulpa, mediante la utilización de despulpadora, desmucilagador y tornillo sinfín".



**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 desmucilagador mecánico (870 rpm), se hace por medio de una transmisión con banda plana<sup>32</sup>. Se aprovecha la baja velocidad de giro del eje del desmucilagador mecánico para mover la despulpadora y el tornillo sinfín.

Como los ejes del desmucilagador 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 circular<sup>33</sup>.

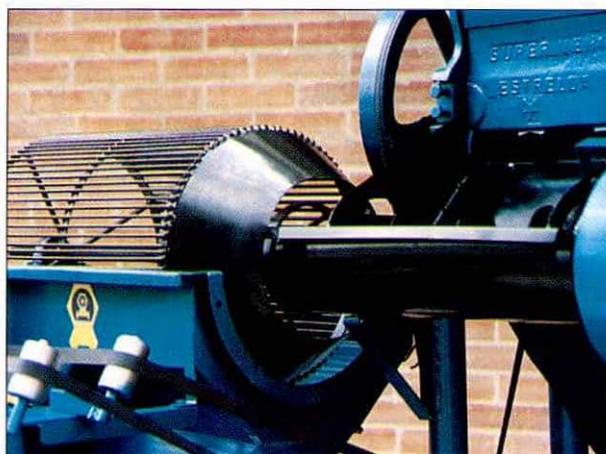
Los cambios de dirección que se presentan en las bandas de sección circular, se realizan por medio de poleas auxiliares (poleas locas) apoyadas en doble rodamiento para disminuir al mínimo las pérdidas por fricción.

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

<sup>32</sup> 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.

<sup>33</sup> 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.

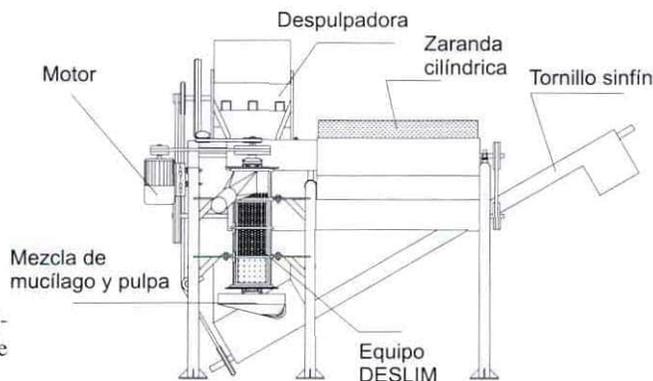


**Figura 65.** Módulo BECOLSUB, con zaranda cilíndrica para clasificación del café despulpado.

despulpados, como granos guayaba, verdes y en general, elementos mayores que la abertura entre varillas (Figuras 65 y 66).

### 3.15. MÓDULO BECOLSUB MÓVIL <sup>34</sup>

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.

<sup>34</sup> Preparado por Ramírez G., C. A. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

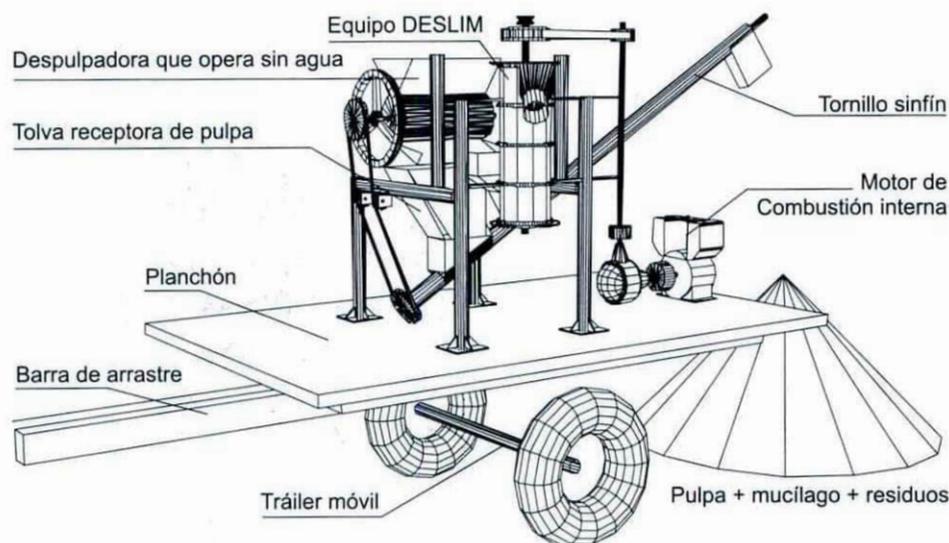


Figura 67. Esquema del Módulo BECOLSUB 600 móvil.

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 3m<sup>3</sup>. 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.



Figura 68. Módulo BECOLSUB 600 móvil, remolcado por un vehículo campero.

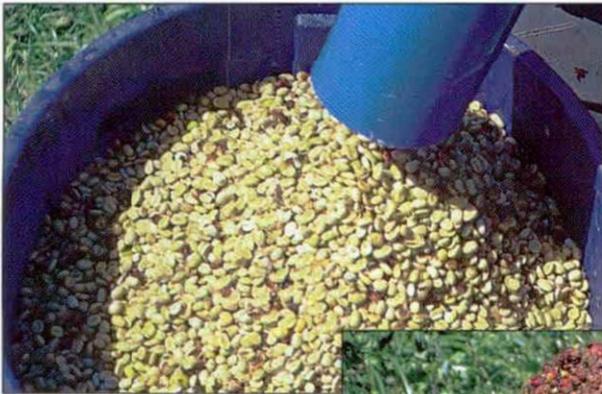


Figura 69. Café de muy alta calidad obtenido con el BECOLSUB móvil.



Figura 70. Pulpa mezclada con mucílago, que debe utilizarse preferiblemente como sustrato en un lombricultivo cubierto.

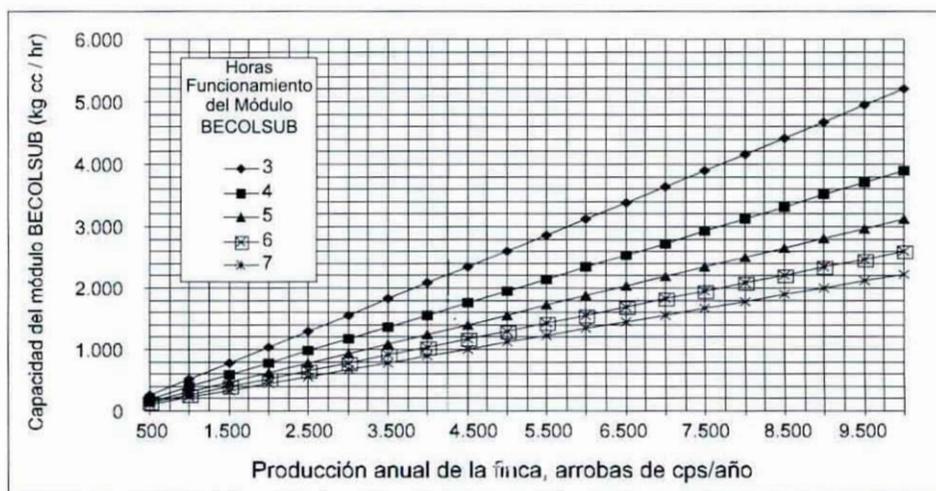
### 3.16. SELECCIÓN DE UN MÓDULO BECOLSUB

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.

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 @ (arobas)	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 BECOLSUB <sup>35</sup>

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 desmucilaginado mecánico. La tecnología BECOLSUB, desarrollada en Cenicafé, permite una reducción notoria en el consumo específico de agua (< 1,0L/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.

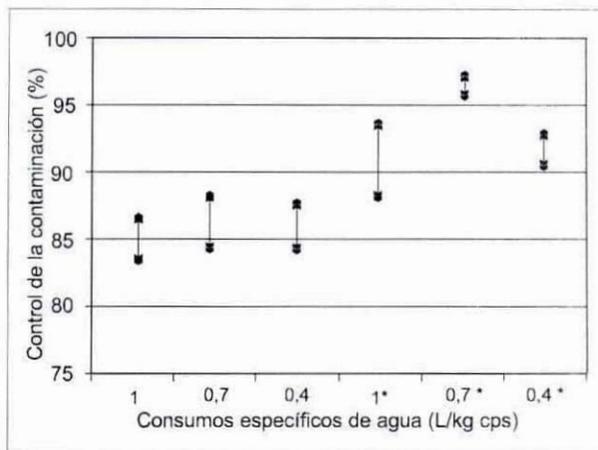
El cisco agregado contribuye a reducir la contaminación debido a que absorbe parte del mucílago (35,2 %, en peso) y mejora la capacidad de filtración del lecho (el nivel de sólidos totales presentes en los líquidos drenados en los tratamientos con cisco es el más bajo).

Se hizo la caracterización reológica de las suspensiones obtenidas en los tratamientos utilizando viscosimetría 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

---

<sup>35</sup> Preparado por Pascuas L., R.T. Becaría de COLCIENCIAS, Ingeniería Agrícola, Cenicafé.



**Figura 72.** Comparación de porcentajes de control total de contaminación, con adición de cisco de café al mucílago (valores indicados 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 tratamientos 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 más 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 tratamiento 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 <sup>36</sup>

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

<sup>36</sup> Preparado Ramírez G., C. A. Ingeniería Agrícola, Cenicafé.

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 desmucilaginado 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	$\bar{X}$	$\bar{X}$						
	1	2	3	4	5	6	7%	g	%
	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.

**Tabla 34.** Caracterización del café desmucilaginado (Muestra de 100 g).

Parámetros	Prueba	—	—						
	1	2	3	4	5	6	7%	X	X
	g	g	g	g	g	g	g	g	%
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 desmucilaginada 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	Norma Café tipo Federación	—						
	1	2	3	4	5	6	7%		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.

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 últimas 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 sinfin 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.

**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) <sup>37</sup>

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

<sup>37</sup> Preparado por Roa M., G. y Álvarez G., J. Ingeniería Agrícola, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia

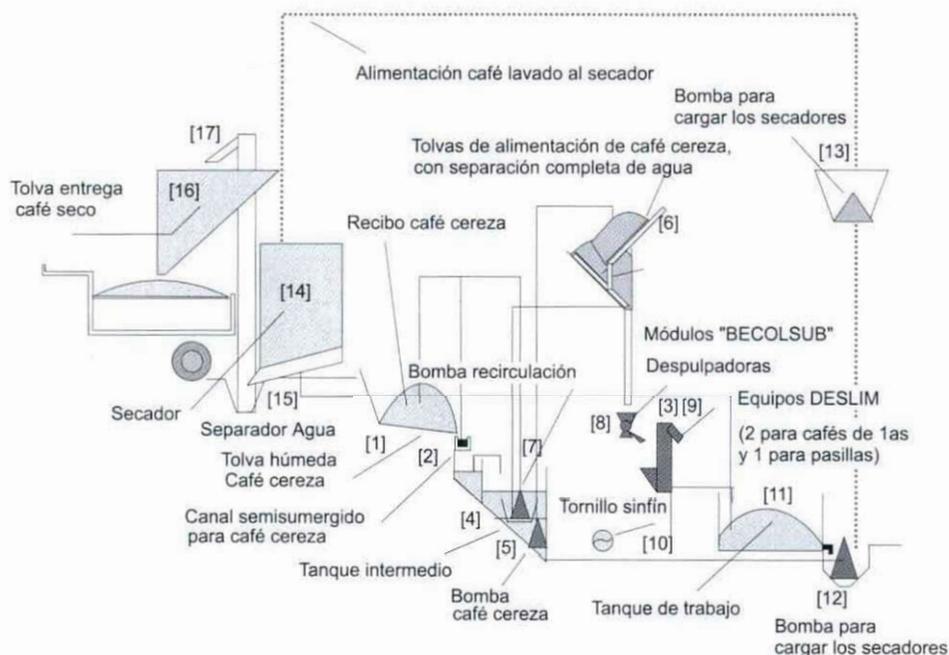


Figura 74. Esquema de la Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.

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

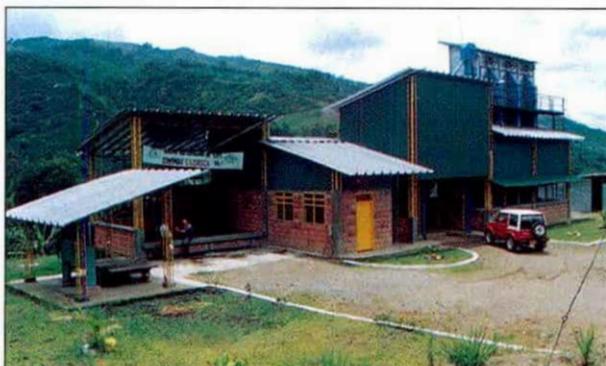


Figura 75. Central de Beneficio Ecológico de Anserma, Caldas.

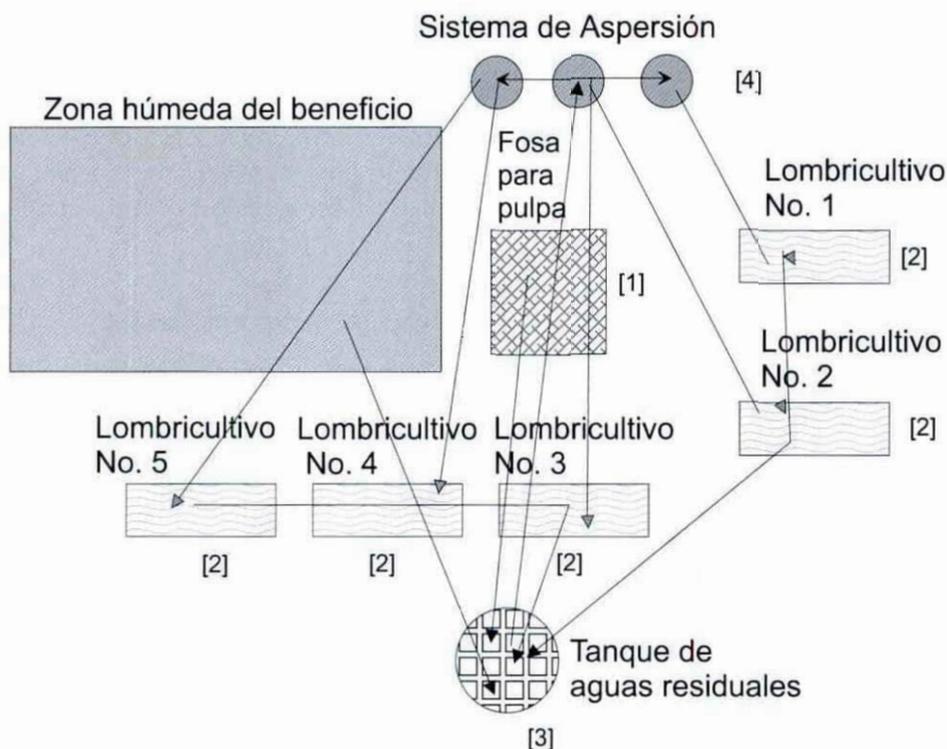
clasificación de materiales leves, como los granos de café severamente brocados. El método hidráulico permite además la separación de objetos pesados como piedras y tornillos, que podrían arruinar frecuentemente las camisas de las despulpadoras y que significan hasta la fecha un problema serio. Hasta 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 transporte<sup>38</sup> 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 desmucilaginosos 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].

<sup>38</sup> 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 m<sup>3</sup>, 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.

### 3.19.2. Manejo de la pulpa, del mucílago y de la lombriz

La pulpa mezclada con el mucílago se transporta mediante el tornillo sinfín 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 m<sup>3</sup> [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.

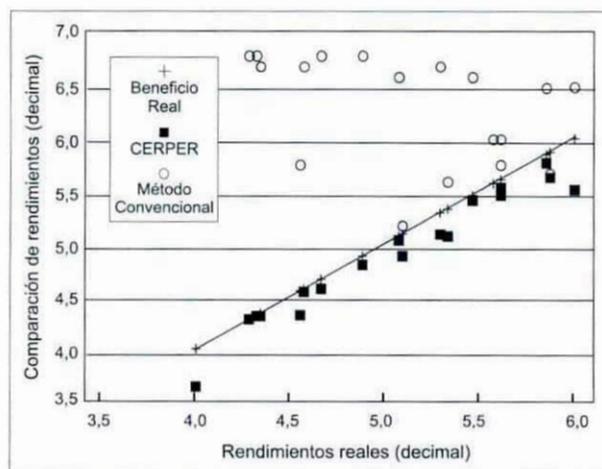
El rendimiento de 71 evaluaciones (como promedio de los meses de octubre, noviembre y diciembre de 1995) de café cereza para producir café pergamino seco, medido con el método CERPER modificado (Sección 5.5.1.) fue de 5,2 (coeficiente de variación = 7,6%) contra el valor del 5,7 (coeficiente de variación 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

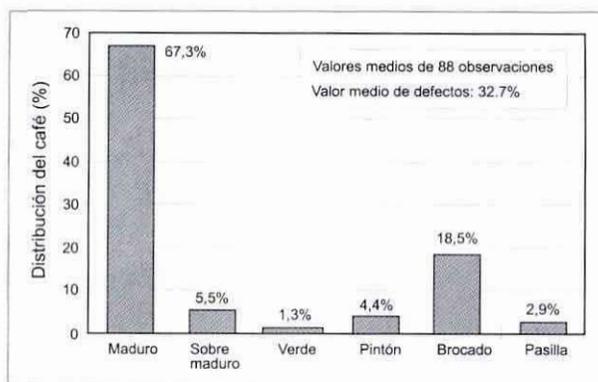
**Café Cereza.** En general, el café entregado a la Central en los años de 1995 y 1996 fue de baja calidad (Figura 78), posiblemente porque los caficultores eran muy conscientes de que no sería rechazado ningún tipo de café.

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).

**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

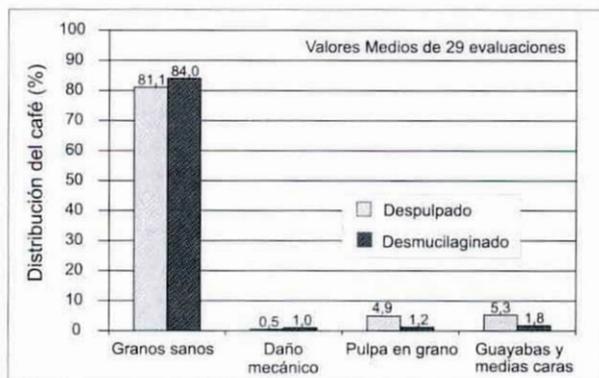
Se observa en las Figuras 79 y 80 el efecto benéfico del desmucilaginado con relación al aumento de la calidad física expresada en granos normales (2,7%, en promedio ponderado); también leves aumentos de los granos trillados y mordidos (1,06%, en promedio ponderado), notoria disminución de los granos sin despulpar (5,9%), disminución de la pulpa en el grano (3,7%) y aumento del porcentaje del grano verde (4,3%).

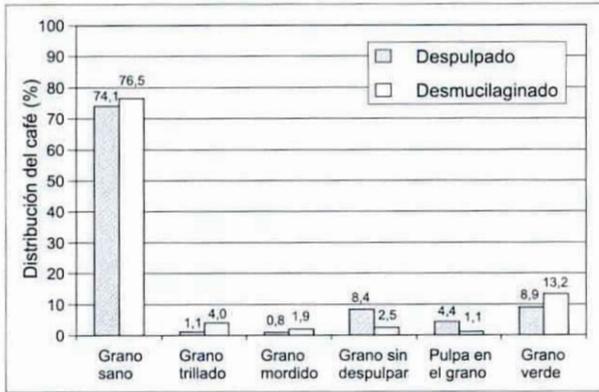
En la Figura 81 se indica, con base en 29 evaluaciones, la disminución de los granos guayaba y media cara que corresponden a un aumento proporcional de mayor cantidad de grano bueno en el café pergamino.

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).

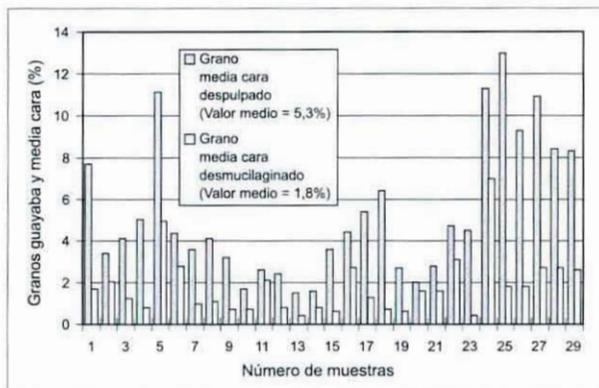
granos de primeras, hace de forma general que el efecto benéfico del desmucilaginado mecánico sea el de mejorar el rendimiento del beneficio sensiblemente, en comparación con el beneficio tradicional.

**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. Lombricomposteo** <sup>39</sup>

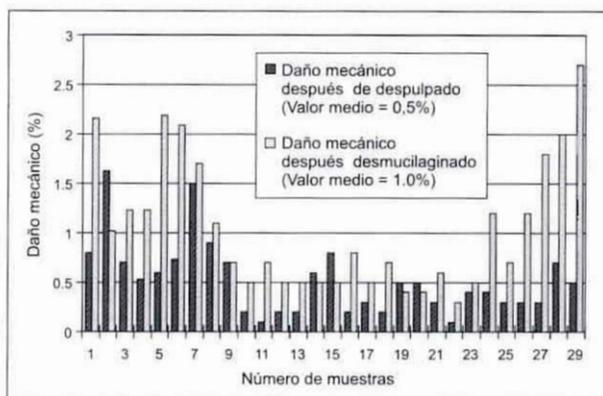
En la Central de Beneficio Ecológico de Café, se realizó un estudio (59) con el fin



**Figura 81.** Influencia del desmucilaginado mecánico en la disminución de los granos guayaba (G) y media cara (MC).

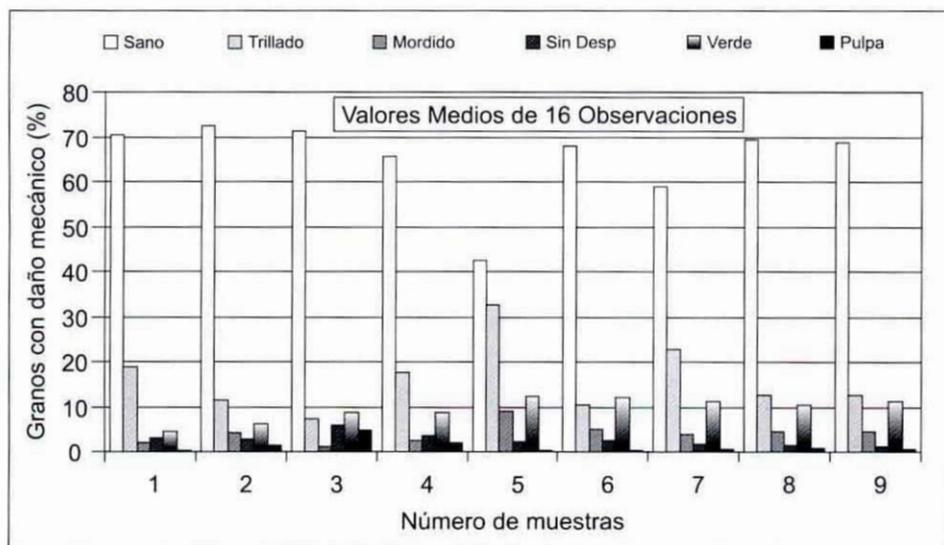
<sup>39</sup> Los resultados de ésta investigación permitieron preparar la Sección 6. sobre manejo general de la lombricultura, utilizando la mezcla del mucílago con pulpa.

**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 lombricompost y caracterización de éste. Se calculó el costo de producción de lombricompost 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.

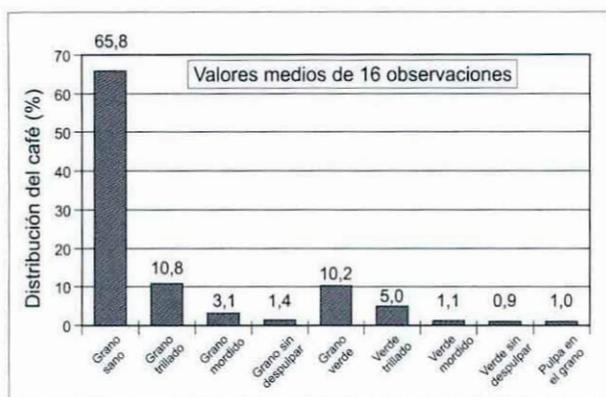


Figura 84. Recuperación de granos buenos en los flotes del café procesado en la Central de Beneficio de Anserma.

muclflago en camas de aproximadamente **1 tonelada por m<sup>2</sup> 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 lombricompostado húmedo (80% humedad) fue de 249 y 199kg/m<sup>2</sup>, para ciclos de 6,1 y 13,6 meses respectivamente, para MI JARDÍN. Para Cenicafé, la producción fue de 239 y 190kg/m<sup>2</sup>, para ciclos de 4,5 y 11,4 meses, respectivamente. El **rendimiento en la conversión** de pulpa en lombricompostado 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/m<sup>2</sup>-día.

Los lombricompostados 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 lombricompostado 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 lombricompostado del 36,4%

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

Sistema	Ciclo	Tiempo (mes)	Rendimiento	Producción (80% humedad)	
				(kg/m <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> -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	

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 50 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 desmucilagador 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.

- 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 BECOLSUB<sup>40</sup>, 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-

---

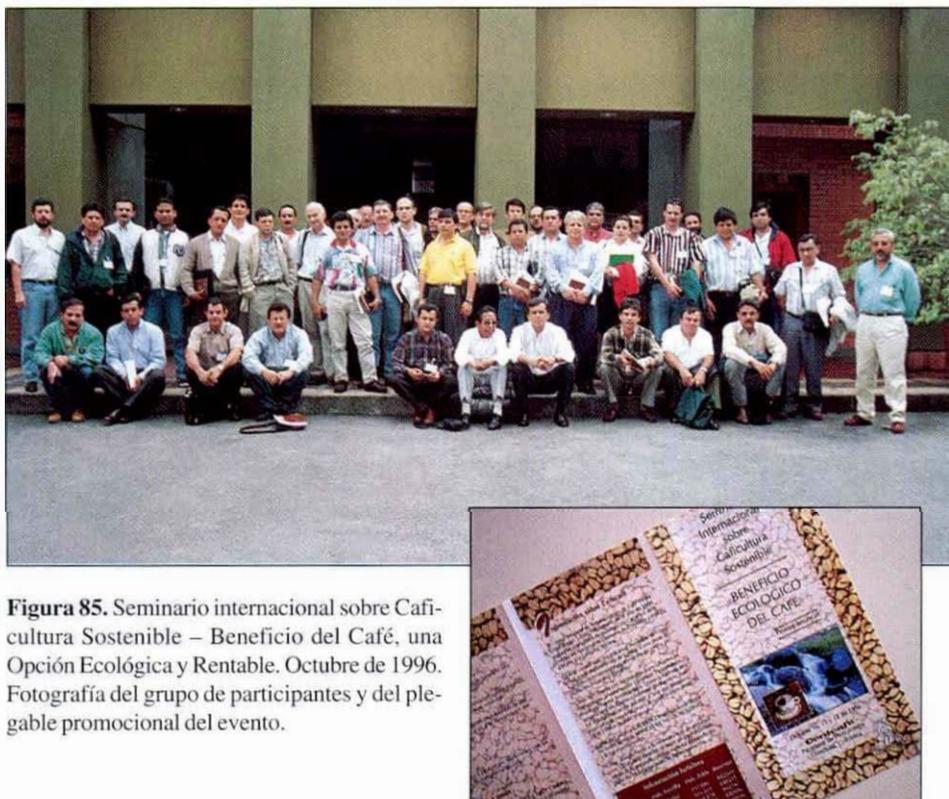
<sup>40</sup> El Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología «Francisco José de Caldas» – COLCIENCIAS, en el año de 1996 premió y catalogó como “Grupo de excelencia en Investigación” al Programa de PostCosecha de Cenicafé, por el desarrollo de la tecnología BECOLSUB y que El 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.

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.

### **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 Cenicafé. En septiembre de 1999 se hizo la segunda entrega de los planos actualizados incluyendo los del módulo 100, la más reciente creación.