

El Beneficio Ecológico del Café, mediante el uso del Módulo "BECOLSUB"

1. Antecedentes

Se define como beneficio ecológico del café por vía húmeda, desde el punto de vista de la contaminación de las aguas, al conjunto de operaciones que se realizan para transformar el café cereza (c.c.) en café pergamino seco (c.p.s.), utilizando el volumen de agua adecuado donde sea estrictamente necesario, y haciendo uso racional de los productos resultantes; todo esto, conservando o mejorando el ingreso del caficultor, y manteniendo el producto dentro de las normas de calidad física y en taza para su comercialización.

La alta calidad en taza del café producido en Colombia es el resultado de factores tales como las variedades cultivadas, el manejo de las plantaciones, la recolección y el beneficio. Con el beneficio se busca obtener un material estable, que se pueda almacenar en las condiciones naturales de las bodegas localizadas en diferentes lugares de la geografía colombiana. En este proceso se realizan las siguientes operaciones básicas: el despulpado, el desmielado (tradicionalmente por medio de la fermentación natural), el lavado y el secado.

En la mayor parte de los beneficiaderos existentes se utiliza el agua para despulpar, lavar y transportar el café. En algunas fincas, especialmente de gran producción, el agua se utiliza para transportar la pulpa. El consumo de agua en los beneficiaderos varía entre 30 y 50 litros/kg de café seco procesado.

Con relación al uso del agua en el beneficio húmedo del café, los resultados obtenidos en CENICAFE indican lo siguiente:

- El 72% de la contaminación generada por el proceso de beneficio húmedo (PBH¹) del café, 82,08 g de DQO²/kg de cereza, se ocasiona al despulpar con agua y al transportar la pulpa con agua. El 28% de la contaminación, 31,92 g de DQO/kg de cereza, es ocasionada por la mieles.
- En el caso de las despulpadoras de cilindro horizontal y el modelo 255 C, de la industria PENAGOS, el agua no es indispensable para el correcto funcionamiento de las máquinas.

2. Objetivos

Con la tecnología BECOLSUB se buscan los siguientes objetivos:

1. Reducir la demanda de agua para el beneficio a menos de 1,0 litro/kg de café seco y la contaminación generada por el PBH en más del 90%.
2. Aumentar los ingresos del caficultor colombiano gracias a la mejor conversión de café cereza a café seco, la menor inversión en infraestructura para el beneficio y menores costos variables (energía eléctrica y mano de obra).
3. Buscar la sostenibilidad en la producción cafetera gracias al mínimo impacto al ecosistema.
4. Promover la cultura de la industria limpia (no contaminante).

3. Especificaciones

Las tecnologías DESLIM-BECOLSUB son desarrollos obtenidos en CENICAFE con registro de patente No. 95031744, en Colombia, y Clasificación Internacional de Patente No. 23N12-00.

¹ P.B.H.: Proceso de Beneficio Húmedo del café.

² D.Q.O. Demanda Química de Oxígeno.

3.1 DESMUCILAGINADORES MECÁNICOS “DESLIM”

3.1.1 Objetivo

Establecer los requisitos constructivos que deben cumplir los desmucilaginadores mecánicos para café, denominados “DESLIM”.

3.1.2 Definiciones

3.1.2.1 Mucílago del café: Sustancia gelatinosa y azucarada que cubre el pergamino del grano de café (mesocarpio).

3.1.2.2 Desmucilaginador mecánico: Equipo que retira mecánicamente el mucílago al grano de café, una vez haya sido despulpado.

3.1.2.3 Grano trillado: Aquel que por acción de distintas fuerzas, presenta pérdida de más de la mitad de su pergamino.

3.1.2.4 Grano mordido: Aquel que por diferentes causas presenta ruptura de la almendra.

3.1.2.5 Grano guayaba: Aquel que después del proceso de beneficio permanece recubierto por la totalidad de la pulpa.

3.1.2.6 Grano mediacara: Aquel que después del proceso de beneficio permanece recubierto por más de la mitad de la pulpa.

3.1.2.7 Impurezas: Residuos de pulpa, de pergamino y materiales extraños en el café pergamino seco.

3.1.2.8 DESLIM: Desmucilaginador mecánico de flujo ascendente que adicionalmente limpia el café.

3.1.3 Partes

3.1.3.1 Carcaza: Es la parte fija de la máquina que por la forma y tamaño de las perforaciones que presenta, y la disposición de éstas, se encarga de separar el mucílago desprendido y las impurezas (pulpa y pergamino principalmente) de los granos de café.

La carcaza de los desmucilaginadores mecánicos “DESLIM” es un cilindro de 215 mm de diámetro interior y longitud variable de acuerdo

a la capacidad (Tabla 1), fabricado en lámina expandida y aplanada calibre 18³, ó en lámina de aluminio de 1,5 mm de espesor troquelada con perforaciones oblongas de 3,5 mm x 25 mm.

Para resistir los esfuerzos que se generan dentro de los desmucilaginadores, el cilindro de malla debe estar reforzado por una estructura de aros en varilla cuadrada de acero de 12,7 mm de lado (1/2 pulgada), con una separación máxima entre estos de 200 mm.

Debe tener, en la parte frontal, una puerta de acceso con un 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 en lámina HR de 6,35 mm de espesor, donde se ubican los rodamientos que soportan el rotor del equipo.

El rodamiento ubicado en la parte superior debe ser rígido de bolas tipo FY, con soporte de pared y en la parte inferior rodamiento de rodillos cónicos para eje de 30 mm de diámetro, protegido por un sello mecánico contra la penetración de mucílago durante el trabajo.

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 un desempeño óptimo respecto a consumo de agua y calidad de desmucilaginado, los valores en los que deben estar calibrados estos caudales están consignados en la tabla 1.

3.1.3.2 Rotor: Es la parte rotatoria del 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.

El rotor de los desmucilaginadores mecánicos está formado por tres tipos de elementos ensamblados en un eje: alimentador, agitadores y limpiadores. Este eje es de sección circular en los extremos y de sección cuadrada en el intermedio.

³ Fabricada por la firma COLMALLAS con la referencia IMT-20 y conocida comercialmente como malla cafetera.

El alimentador de estos equipos consiste en un tornillo sinfín de 200 mm de longitud para los modelos con capacidad superior a los 1.000 kg de c.c./h y de 150 mm para el modelo de menor capacidad, que tiene 204,3 mm de diámetro exterior y 75 mm de paso, con un eje en tubo galvanizado de 114,3 mm de diámetro (4 pulgadas). Las dimensiones de los alimentadores y el desarrollo de las hélices para los desmucilaginosos "DESLIM".

Los agitadores son cilindros cortos con un conjunto de ocho (8) dientes. Se tienen dos tipos de agitadores, los cuales se diferencian únicamente en que los cuadrantes se encuentran girados $22,5^\circ$, con el fin de ensamblarlos de manera intercalada en el eje principal.

Para evitar las obstrucciones de la malla perforada de la carcasa se tienen los limpiadores, que consisten en un cilindro de 50,8 mm de diámetro, unido rígidamente a una varilla de acero inoxidable de 9,52 mm de diámetro.

3.1.3.3 Transmisión de Potencia: Conjunto de elementos mecánicos encargados de transmitir la potencia, a la velocidad de giro necesaria (870 rpm), al rotor de la máquina, desde cualquier sistema motriz.

3.1.3.4 Tolva de Alimentación: Dispositivo para la alimentación continua de café despulpado al desmucilaginoso mecánico.

3.1.3.5 Ducto de Descarga: Dispositivo para conducir el café desmucilaginoso hasta su destino.

3.1.4 Desempeño

En la tabla 1 aparecen el número de agitadores, limpiadores, la longitud que se debe tener, la potencia requerida y las cantidades de agua que se deben aplicar, para tres (3) diferentes capacidades.

Cuando los desmucilaginosos se contruyen con las recomendaciones y características expuestas anteriormente, el café pergamino seco obtenido presenta calidad física y en taza por lo menos igual que el beneficiado con fermentación natural, inclusive después de almacenamiento.

El daño mecánico intrínseco de la máquina, formado por la suma del

grano trillado y el mordido causado únicamente en la etapa de desmucialginado, es inferior al 1%, se recupera aproximadamente el 60% de los granos guayaba y media cara, y las impurezas se mantienen dentro de los rangos permisibles.

3.1.5 Acabado de las Piezas

Las partes componentes de los desmucilaginosos mecánicos "DESLIM" se pueden fabricar con materiales diferentes a los indicados antes, mientras tengan propiedades anticorrosivas y mecánicas similares o superiores a éstos.

Los componentes fundidos deben estar libres de defectos tales como rebabas, poros, grietas, inclusiones o penetraciones y los materiales que no sean resistentes a la corrosión deben ser recubiertos adecuadamente. Los dientes de los agitadores deben tener un acabado fino y los extremos no deben presentar melladuras.

La carcasa debe estar concéntrica con el eje del rotor y el acabado interior debe estar libre de objetos punzantes que puedan dañar los granos de café.

La unión de la malla expandida y aplanada a las bridas, a la estructura y demás partes, debe hacerse preferiblemente con remaches suficientemente resistentes o con soldador de punto, para evitar el debilitamiento que se crea cuando esta unión se realiza con soldadura eléctrica de arco.

3.1.6 Mantenimiento

3.1.6.1 Limpieza: Debido a que el mucílago del café empieza a ser corrosivo hasta después de 3 horas, se recomienda lavar bien el equipo inmediatamente se termine la labor.

3.1.6.2 Lubricación: El rodamiento superior debe lubricarse con grasa especial para este tipo de dispositivos (grasa amarilla), cada 20.000 horas de trabajo, mientras que el rodamiento inferior cada 3.000 horas.

3.1.6.3 Piezas de Recambio: Las piezas de recambio de estos dispositivos mecánicos son: los rodamientos, el sello mecánico, la malla

de la carcaza y, en casos eventuales, los agitadores, el alimentador y los limpiadores.

4. Técnica actual

A continuación se describe el funcionamiento de los módulos BECOLSUB y en la Tabla 1 se da información técnica sobre cada uno de los equipos.

TABLA 1. Características de los desmucilaginosos de acuerdo a la capacidad.

CARACTERISTICAS	CAPACIDAD (kg c.c./h)		
	600	1000	3000
Agitador 1 (Uds)	5	8	13
Agitador 2 (Uds)	5	7	12
Limpiador (Uds)	2	2	4
L de la figura (m)	0,53	0,70	1,00
Potencia (kW)	0,89 (1,2 HP)	1,34 (1,8 HP)	4,92 (6,6 HP)
Agua Desmucilaginado (1/min)	1,50	2,00	6,00
Agua lavado (1/min)	1,12	1,50	4,50
H de la figura 6 (mm)	464	634	934

4.1 Funcionamiento del módulo BECOLSUB

El módulo "BECOLSUB" es una tecnología para el beneficio ecológico del café que integra: el despulpado del café sin agua, desprendimiento del mucílago, lavado y limpieza, con el desmucilaginoso mecánico "DESLIM" de bajo consumo de agua (0,7 L/kg c.p.s.), y, el transporte

mecánico de la pulpa más el mucílago⁴ con tornillo sinfin hasta los lugares de depósito.

Cuando se evita el uso del agua durante la etapa del despulpado y en el transporte de la pulpa, la contaminación potencial de las aguas se reduce hasta en un 72%. El uso del desmucilagador mecánico de lujo ascendente "DESLIM", permite obtener mucílago altamente viscoso, que cuando se deposita mezclado con la pulpa en los lugares de almacenamiento temporal, se retiene más del 60% del volumen. Si estas prácticas se complementan con la utilización de la pulpa más el mucílago como substrato de lombriz roja californiana y la adición de los drenes finales para mantener la humedad necesaria en el lombricultivo, se pueden lograr disminuciones totales en la contaminación cercanas al 100%.

El desmucilagador mecánico posee adicionalmente otras ventajas sobre el sistema tradicional con fermentación natural, que son de provecho para el caficultor.

- Disminución de las pérdidas de peso por respiración, que siempre son mayores que el 1,5%.
- Recuperación de más del 60% de granos guayaba y media cara.
- Disminución de las áreas de construcción en un 40%.
- No se necesitan desniveles entre la zona de despulpado y de tanques.
- Se tiene mayor control sobre la calidad del producto.
- El proceso presenta disponibilidad de café lavado para el secador desde el primer día de la semana.
- Disminución de la obra de mano.
- En ensayos preliminares se ha observado la aceptación como alimento del ganado porcino y vacuno, del mucílago obtenido.

⁴ Cuando se habla de mucílago se está refiriendo a una mezcla altamente concentrada de éste en agua, que adicionalmente presenta impurezas como restos de pulpa, pergamino, granos enfermos o atacados por insectos y hojas, propio del desmucilagador mecánico "DESLIM".

- Existe una gran posibilidad de industrialización del mucílago que se obtiene altamente concentrado.
- En ensayos preliminares se ha detectado la influencia del desmucilaginado mecánico en la disminución los porcentajes finales de café afectado por la broca del cafeto.

4.2 Especificaciones del Módulo BECOLSUB 1000

El módulo "BECOLSUB" consiste en un ensamblaje, en una misma estructura y con un mismo sistema motriz, de una máquina despulpadora de cilindro horizontal con capacidad para 1.000 kg de cc./hora⁵, inmediatamente después, un desmucilaginador mecánico tipo "DESLIM"⁶ de 700 mm de altura, y un sistema de tornillo sinfin dispuesto de tal forma que permita transportar, y simultáneamente mezclar, la pulpa y el mucílago resultantes del proceso.

La estructura principal está conformada por dos pórticos, separados 590 mm, en tubería metálica para conducciones eléctricas ("conduit") de 60 mm de diámetro exterior (2 pulgadas) o en un material con características mecánicas similares, que tienen bases planas en lámina HR de 6,35 mm (1/4 de pulgada) de espesor, para que puedan ser anclados en el piso.

El motor eléctrico utilizado para mover el desmucilaginador mecánico, la despulpadora y el tornillo sinfin, con la capacidad mencionada, es trifásico, de 2,21 kW (3,0 HP) y de 1.750 rpm, montado en un sistema mecánico para tensión de la banda, con el eje paralelo al eje del desmucilaginador.

El sistema de reducción de velocidad entre el motor eléctrico y el desmucilaginador mecánico (870 rpm), se hace por medio de una

⁵ Se recomienda cuando se emplee despulpadoras de cilindro, una máquina que, además de cumplir con la capacidad, tenga dispositivo mecánico de protección de la camisa para cuando haya presencia de piedras en el café cereza recolectado y que presente un bajo porcentaje de pulpa en el grano despulpado.

⁶ Ver: *Normas para la Construcción de Desmucilaginadores Mecánicos "DESLIM"*.

transmisión con banda plana⁷ de 15 mm de ancho, entre dos poleas para este tipo de bandas, de 101,6 mm (4 pulgadas) y 203,2 mm (8 pulgadas) de diámetro exterior, respectivamente.

Con el fin de aprovechar la baja velocidad de giro que se tiene en el eje del desmucilagador mecánico y evitar la instalación de un eje intermedio, la potencia que mueve la despulpadora y el tornillo sinfín es tomada de éste. Para hacer viable esta instalación, el eje debe ser 50 mm más largo que el que aparece en las normas para la construcción de "DESLIM".

Como los ejes del desmucilagador mecánico y la despulpadora (180 rpm), y de la despulpadora y el tornillo sinfín (180 rpm), son ejes no paralelos, la transmisión de potencia entre estos se hace por medio de bandas de sección transversal circular⁸, entre poleas para este tipo de bandas de 101,6 mm (4 pulgadas) y 432 mm (17 pulgadas), y dos iguales de 152,4 mm de diámetro exterior, respectivamente.

Los cambios de direcciones que se deben presentar en las bandas de sección circular, son realizados por medio de poleas auxiliares (poleas "locas") de 101,6 mm de diámetro exterior (4 pulgadas), apoyadas en doble rodamiento para disminuir al mínimo las pérdidas por fricción.

Para un módulo con esta capacidad se requiere utilizar un tornillo sinfín de 76,2 mm (3 pulgadas) de diámetro exterior y paso igual al diámetro. La longitud e inclinación de este tornillo depende de la infraestructura donde se va a instalar. En los planos por ejemplo, aparece el tornillo sinfín con una longitud de 2,5 m e inclinado 30° con la horizontal, con

⁷ 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.

⁸ Las bandas de sección transversal circular utilizadas en este montaje fueron de Polycord marca Habasit de 15 mm 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.

el fin de poder realizar la adición de mucílago a la pulpa y ganar altura en la descarga, en un beneficiadero que tenga un ancho máximo de 3,0 m y que los lugares de depósito temporal de la pulpa más el mucílago estén contiguos.

4.3 Construcción y Montaje

Una vez construidos los dos pórticos que conforman la estructura principal, se procede a instalar la despulpadora, el motor y el desmucilaginador, de tal manera que la separación entre estos sea de 600 mm.

La despulpadora debe estar instalada sobre una base que permita el desplazamiento longitudinal y transversal de la máquina, con el fin de tener la posibilidad de tensión y alineación de las bandas de sección circular. La descarga del café despulpado tiene que estar ubicada sobre la tolva de alimentación del desmucilaginador mecánico, con la inclinación suficiente que permita el transporte ininterrumpido del café hacia éste.

El desmucilaginador mecánico "DESLIM" debe construirse de acuerdo a las *Normas para la Construcción de Desmucilaginadores Mecánicos "DESLIM"*. Este equipo tiene diseñados cuatro (4) soportes en platina de 6,35 mm de espesor (1/4 de pulgada) y 60 mm de ancha, que coinciden con igual número de soportes en los pórticos. Cuando estos soportes se encuentran unidos por medio de tornillos, el equipo desmucilaginador hace parte fundamental de la estructura evitando el volteo.

Para recoger y conducir hasta el tornillo sinfin el mucílago retirado en el desmucilaginador mecánico, en la parte inferior se debe instalar una canal inclinada de sección rectangular de ancho variable, con una transición hasta circular de 76.2 mm de diámetro como mínimo.

El motor eléctrico está montado sobre un sistema articulado, que permite la tensión de la banda plana a través del desplazamiento de una tuerca sobre un tornillo.

4.4 Mantenimiento

Para el desmucilagador mecánico "DESLIM" y la despulpadora deben seguirse las recomendaciones escritas en las *Normas para la Construcción de Desmucilagadores Mecánicos "DESLIM"* y en los manuales del fabricante, respectivamente.

En cuanto al tornillo sinfin se recomienda la limpieza después de cada labor, lubricación de los dos rodamientos cada 20.000 horas y utilizar pintura "primer" del rotor cada año.

4.5 Fabricantes de los módulos BECOLSUB

Los módulos BECOLSUB son fabricados por 14 pequeñas y medianas empresas. Los precios de los módulos, con o sin zaranda, para diferente capacidad de procesamiento, suministrados por las empresas que mayor actividad mostraron en 1996, mostradas en la Tabla 2

Tabla 2. Precio de los módulos BECOLSUB con ó sin zaranda

Empresa	IVA	BECOLSUB 600		BECOLSUB 1000		BECOLSUB 3000	
		Sin zaranda	Con zaranda	Sin zaranda	Con zaranda	Sin zaranda	Con zaranda
Ind. Macarena	si	1.400.000	2.100.000	1.600.000	2.350.000	2.100.000	2.900.000
Ingesec	si	1.700.000	2.610.000	2.480.000	3.465.000	2.890.000	3.980.000
Fimar	si	1.977.000		2.526.000		4.752.000	
Indumeth	si	1.900.000					
Hemel	si	1.700.000		1.900.000		2.300.000	
Descafe	si	2.170.000		2.292.000			

Nota: A los precios indicados en la tabla hay que adicionarles el valor del IVA.

5. Justificación

En la tecnología BECOLSUB, producto de 12 años de investigaciones en CENICAFE, se integra el despulpado y el transporte de la pulpa sin el uso de agua. Gracias al bajo volumen de agua empleado (*menos de 1.0 litro/kg de café seco o 30 veces menos que el valor más bajo utilizado tradicionalmente en los beneficiaderos colombianos*) al mezclar la pulpa y las mieles, con tornillo sinfin, se logra tener más del 60% de éstas y manejar más del 90% de la contaminación generada por el beneficio

húmedo. Adicionalmente, la tecnología BECOLSUB permite mayores ingresos al caficultor en la conversión de cereza a seco (más café seco de buena calidad) y la posibilidad de disponer de más abono orgánico que con el método tradicionalmente utilizado para beneficiar el café y manejar la pulpa (más del 35% de conversión pulpa+mucílago a lombricompuesto con humedad del 60 al 65% frente a menos del 25% en el proceso tradicional).

En el Seminario Internacional sobre Beneficio Ecológico celebrado en CENICAFE en Octubre de 1996, al cual asistieron expertos de países en Cenroamérica, Suramérica, Norteamérica (Hawaii) y Europa (Francia), fue reconocida la tecnología BECOLSUB como la más avanzada existente para el beneficio húmedo, tanto por su desempeño técnico como por el manejo de la contaminación generada por el proceso.

Los módulos BECOLSUB, para diferentes capacidades de procesamiento, son fabricados por pequeños y medianos fabricantes, con base en las especificaciones definidas por CENICAFE. Más de 200 unidades están siendo utilizadas con éxito. CENICAFE prestará asistencia técnica a los caficultores que adquieran módulos a los fabricantes autorizados.

6. Estrategia

Desde 1994 la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, a través de las divisiones técnicas de los Comités Departamentales, inició programas para la recolección de la infraestructura existente en beneficiaderos con menor impacto ambiental. En la primera fase, se invirtieron varios miles de millones de pesos en la modificación de las tolvas para el recibo y el despulpado en seco y para el transporte de la pulpa a las fosas por métodos no-hidráulicos.

En 1996, luego de la entrega de la tecnología BECOLSUB, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia adquirió equipos BECOLSUB móviles, para ser utilizados por los Comités Departamentales de Cafeteros en divulgación y en la capacitación en el manejo de la nueva tecnología.

En 1997 se iniciarán tres experimentos, liderados por investigadores de CENICAFE con la colaboración de personal al servicio de extensión en los comités departamentales, en los cuales se busca:

- Evaluar la tecnología BECOLSUB en las condiciones del caficultor: desempeño técnico, económico y control de la contaminación.
- Evaluar la tecnología BECOLSUB a nivel de las 18 subestaciones de CENICAFE, localizadas en 13 departamentos cafeteros: desempeño técnico, económico y control de la contaminación. Adicionalmente, los equipos se utilizarán en demostraciones a los caficultores que anualmente visitan las subestaciones (más de 20.000).
- Evaluar la tecnología BECOLSUB MOVIL en las zonas cafeteras: desempeño técnico, económico, control de la contaminación y aceptación de los potenciales usuarios.



Primer Premio Nacional de Ecología 1996-1997 otorgado por el Banco de Occidente a Cenicafé por el desarrollo del Modelo Becolsub