

Construcción de secadores solares tipo túnel con nuevos materiales

Los secadores solares parabólico y túnel, diseñados en Cenicafé, se utilizan ampliamente en fincas cafeteras en Colombia para atender las necesidades de caficultores con producción anual de hasta 200 @ de café pergamino seco (c.p.s.), como única tecnología para el secado, y en combinación con secado mecánico en fincas de mayor producción, cuando se tienen días de menor flujo de cosecha. También se utilizan para pre-secar el café en fincas que disponen de secador mecánico, con ahorro importante de energía (eléctrica y térmica), reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de partículas (4). Se recomienda utilizar materiales disponibles en las diferentes zonas para su fabricación, son fáciles de construir y operar (6) y permiten obtener café de alta calidad física y sensorial. El costo, a precios del 2017, puede variar entre \$ 80.000 y \$ 100.000 por metro cuadrado (m²), dependiendo principalmente del valor de la mano de obra local.





Cenicafe
Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Carlos Eugenio Oliveros Tascón
Investigador Principal

César Augusto Ramírez Gómez
Investigador Científico I

Carlos Alfonso Tibaduiza Vianchá
Asistente de Investigación

Juan Rodrigo Sanz Uribe
Investigador Científico III

Disciplina de Poscosecha
Centro Nacional de Investigaciones de
Café - Cenicafe
Manizales, Caldas, Colombia

El uso de nombres comerciales en
ésta publicación tiene como propósito
facilitar su identificación y en ningún
momento constituye su promoción.

Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafe

Diagramación

Luz Adriana Álvarez Monsalve

Imprenta

<https://doi.org/10.38141/10779/0482>

ISSN - 0120 - 0178

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

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org

A pesar de estas ventajas, en años recientes se ha observado la disminución en la construcción de secadores solares y sustitución por secadores mecánicos de baja capacidad estática (4 a 8 @ de c.p.s.), debido a la corta duración de los materiales empleados en la cubierta, entre 1 y 3 años. Como alternativa se considera el empleo de tubería de hierro de bajo peso para la estructura de la cubierta y el plástico reforzado utilizado en invernaderos, entre ellos Europlast, con las especificaciones técnicas que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del plástico Agroplast N y de la malla Europlast*.

Propiedad	Norma	Unidad	Agroplast N		Europlast	
			Longitudinal	Transversal	Urdimbre	Trama
Masa por unidad de área	DIN 53857	g.m ⁻²	--	--	140±10	
Resistencia a la tensión	ISO 1421	N	--	--	>750 N/5cm	
Alargamiento	ISO 1421	%	--	--	21	20
	ASTM 882	%	700 min	900 min	--	--
Resistencia al rasgado	ASTM 1922	N	6,37	8,83	--	--
Transmitancia global de luz visible	ASTM D1003	%	83±5		80-85	
Transmisión de luz difusa	ASTM D1003	%	55±5		55-60	
Termicidad	ASTM D5576 ASTM D1003	%	55±10		45-50	

*Tomado de: www.pqa.com y www.rafiaindustrial.com

En este Avance Técnico se presentan resultados obtenidos en secado solar de café utilizando la el plástico reforzado Europlast y el plástico Agroplast, empleado actualmente en Colombia. También se presentan los planos detallados para la construcción de la estructura de la cubierta empleando tubería conduit de hierro y el procedimiento para la colocación de el plástico reforzado en secadores solares tipo túnel.

Evaluación del proceso de secado utilizando cubierta con malla plastificada

Para los ensayos se construyeron dos secadores tipo túnel (6) con iguales dimensiones de piso (2,0 x 5,0 m) y altura máxima de la cámara de secado (0,9 m). En uno de los secadores se utilizó plástico Agroplast N (de 6 milésimas de pulgada de grosor) y, en otro, el plástico reforzado Europlast (Figura 1).

Los ensayos se realizaron en el segundo semestre del 2017. En cada uno se utilizó café Variedad Castillo®, con separación de flotes antes del despulpado en separador hidráulico (5) y zaranda circular para separar frutos sin despulpar y pulpa en el café despulpado. Para el proceso de fermentación y lavado se utilizó el equipo Ecomill® 3000 (2, 3). En cada secador se depositó igual masa de café lavado, con un promedio de altura de capa de 2,0 cm (aproximadamente 14,0 kg.m⁻²), revolviendo el café cuatro veces al día hasta finalizar el secado,

con el fin de obtener un producto seco con contenido de humedad uniforme (Figura 2A). La humedad del café durante el proceso de secado se midió utilizando el método Gravimet (4) (Figura 2B). El contenido de humedad del café pergamino seco se midió a una masa compuesta de 500 g, extraída de cada secador, utilizando un medidor marca Grain Moisture Tester PM - 410.

Los tiempos requeridos para secar el café hasta un contenido de humedad entre 10% y 12% (base húmeda) con cada material plástico utilizado para la cubierta del secador, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tiempo de secado y contenido de humedad final del café utilizando el secador solar tipo túnel con cubierta Agroplast y Europlast.

Ensayo	Fecha inicio	Café lavado utilizado en cada secador (kg)	Agroplast N		Europlast	
			Humedad final (% b.h.)	Tiempo secado (días)	Humedad final (% b.h.)	Tiempo secado (días)
1	20/09/17	69	10,3	8	10	7
2	27/09/17	69	12	9	12	9
3	6/10/17	122	10	8	10	8
4	10/11/17	88	11,6	10	11,4	10

El tiempo para secar café desde humedad inicial de 53% (base húmeda) hasta la humedad de comercialización (10% al 12%, base húmeda) varió entre 7 y 10 días. Dependiendo principalmente de las prácticas empleadas en su operación (7) y de las condiciones climáticas que se presentaron durante el proceso, siendo mayor el tiempo con menor radiación solar directa, que generalmente coincide con las temporadas



Figura 1. Secadores solares tipo túnel. Con plástico Agroplast N (A); Malla plastificada Europlast (B).



Figura 2. Disposición del café en el secador. Rastrillo utilizado para revolver (A); Canastilla empleada con el método Gravimet (B).

de cosecha. El tiempo de secado puede aumentar en presencia del evento de La Niña, en el cual se ha observado reducción en el brillo solar y en la temperatura (1). En este estudio, la dinámica del proceso de secado fue similar utilizando ambos materiales para la cubierta del secador solar tipo túnel (Figura 3).

Estructura propuesta para soportar la cubierta en malla plastificada

Material

Los componentes de un secador solar tipo túnel se presentan en la Figura 4. La cubierta con plástico permite aprovechar eficientemente la energía solar y del aire, y proteger al café de las lluvias durante el proceso de secado (7). Se ha observado que el material recomendado por Oliveros *et al.* (6) para la estructura de la cubierta, latas de guadua, presenta poca duración, en ocasiones inferior a 1 año, lo cual obliga a su reemplazo inmediato para evitar daños adicionales en la estructura y pérdida de tensión del plástico empleado en la cubierta, lo cual también puede reducir su vida útil. Lo anterior aumenta los costos y aleja la tecnología de potenciales usuarios.

Como material alternativo para la construcción de la estructura de la cubierta se propone usar tubos conduit de hierro de 1 pulgada de diámetro nominal (33,4 mm de diámetro exterior), fabricados en laminado en frío (*cold-rolled*) con costura soldada, espesor de pared de 0,7 mm (0,028 pulg.) y 6,0 m de longitud, los cuales se dividen en dos tramos de 3,0 m cada uno, con bajo peso lineal (432,7 g.m⁻¹).

Los arcos con las dimensiones requeridas para la cubierta del secador pueden obtenerse utilizando una curvadora de tres apoyos.

Los tubos deben recubrirse con una base anticorrosiva y luego con pintura blanca de aceite, para disminuir su calentamiento por la absorción de radiación solar y, de esta forma, alargar la vida del plástico que entra en contacto directo con ellos.

Construcción de la cubierta del secador

Para la construcción de la estructura de la cubierta del secador de 2,0 x 10,0 m se emplea el siguiente procedimiento y materiales (Tabla 3):

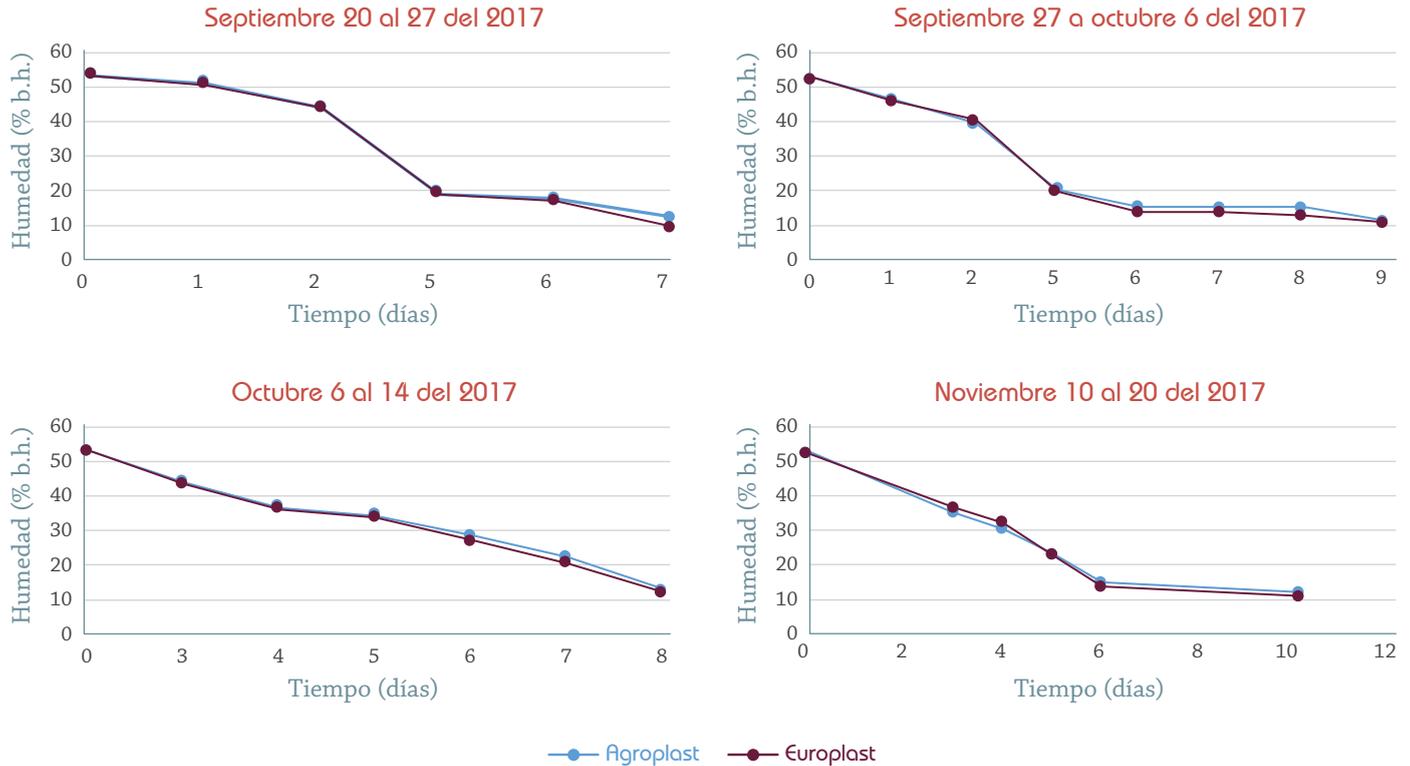


Figura 3. Curvas de secado para café utilizando Agroplast N y Europlast en la cubierta del secador solar tipo túnel obtenidas en Cenicafé (Manizales).

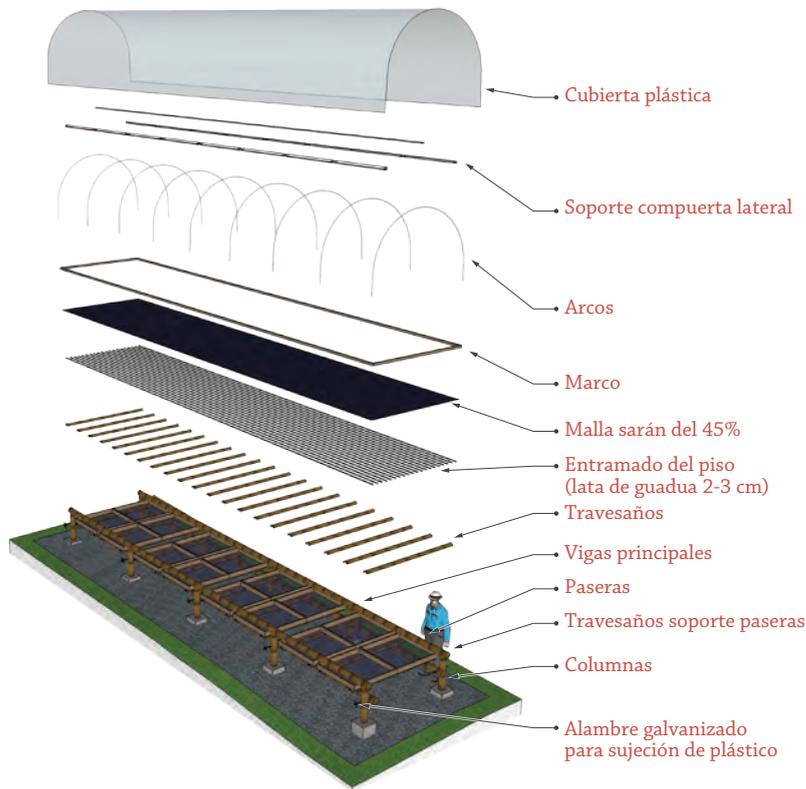


Figura 4. Elementos que componen un secador solar tipo túnel diseñado en Cenicafé. Adaptado de Oliveros *et al.* (6).

Los nueve arcos metálicos se fijan a las vigas de la estructura que soporta el piso del secador (Figura 5), empleando en cada arco cuatro pernos de 12,7 mm de diámetro ($\frac{1}{2}$ " por 25 cm de longitud (10"), dos en cada lado.

Los arcos, separados 125 cm entre sí (centro a centro), se unen con listones de madera de 2,5 x 5,0 cm de sección y 125 cm de longitud, recubiertos con pintura de aceite blanca.

Para cada unión de estos dos elementos se utilizan dos accesorios o abrazaderas doblados en "C" con las dimensiones y características mostradas en las Figuras 6 y 7. El accesorio es fabricado en lámina de hierro calibre 18 ó 20 *cold-rolled*, recubierto con una base anticorrosiva y posteriormente con pintura de aceite blanco. El accesorio tiene dos perforaciones de 3,2 mm de diámetro en la base, de tal manera que pueda ser unido con el arco y el accesorio homólogo. Para tal fin, se utilizan dos tornillos de acero galvanizado de 3,175 mm de diámetro ($\frac{1}{8}$ ") y 44,45 mm de longitud ($1\frac{3}{4}$ "), con tuerca.

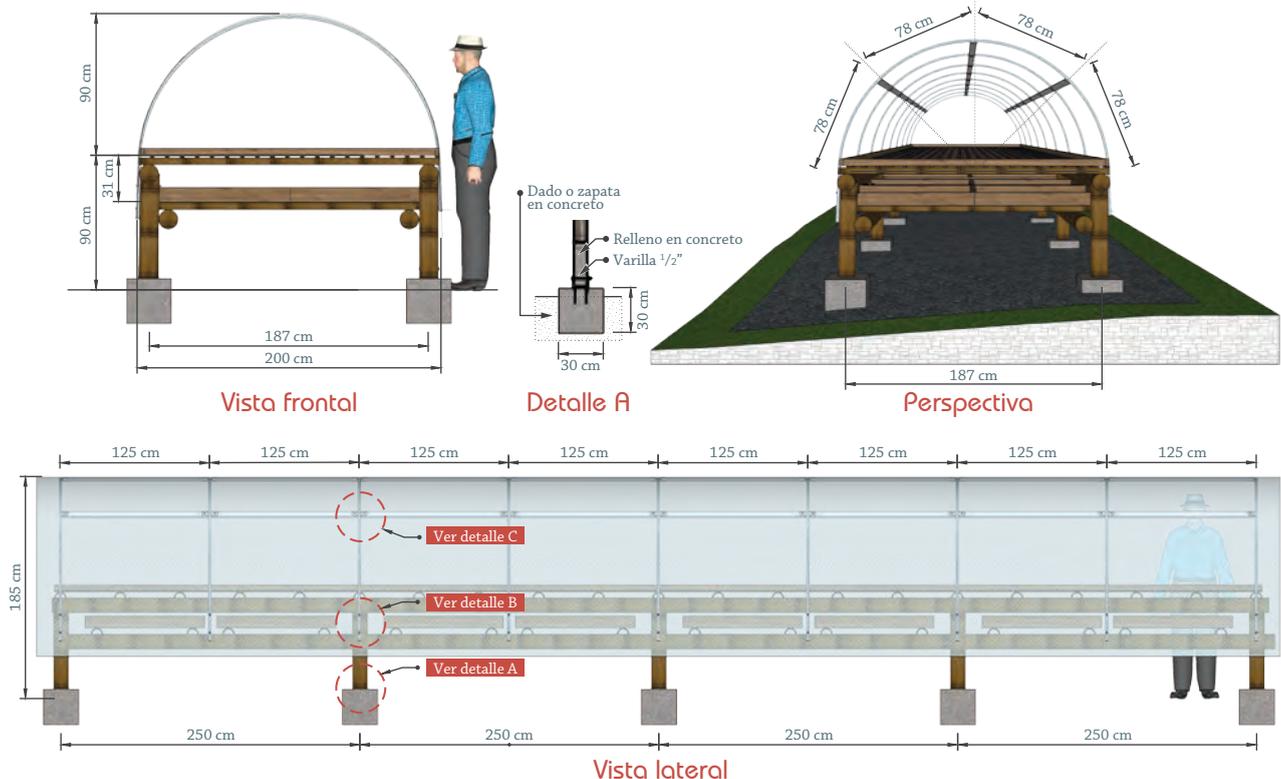


Figura 5. Colocación de los arcos utilizados para la cubierta del secador.



Figura 6. Acople de listones de madera a los arcos metálicos de la cubierta del secador.

Los listones se unen al accesorio por medio de tornillos “drywall” de 12,7 mm de longitud. Los tres listones están a 45°, 90° y 135°, respectivamente, que equivale a una separación de 78 cm en el semicírculo que forma el arco (Figura 5). De esta forma se da rigidez a la estructura en su dirección longitudinal y se generan las áreas de apoyo para instalar el plástico de la cumbre y las ventanas laterales del secador.

En la Figura 7 se presentan detalles de la construcción de la cubierta del secador utilizando los nuevos materiales.

Para formar una estructura longitudinal que soporta la cubierta plástica y evitar la formación de bolsas de agua en los días lluviosos, se utiliza soga de polipropileno de 3 mm de diámetro, bien templada. La separación entre cuerdas es de 15 cm (Figura 8).

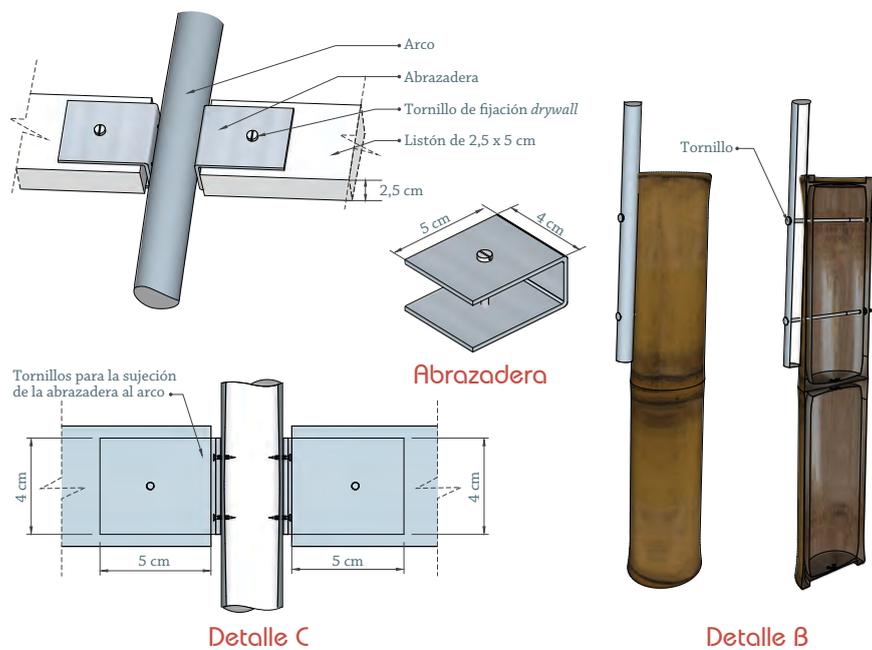


Figura 7. Detalle C, unión de listones a la estructura; Detalle B, unión de arcos metálicos a las columnas de guadua.



Figura 8. Colocación de cuerdas para soportar el plástico de la cubierta.

Se realiza un doblado de 5 cm de ancho a uno de los plásticos de las ventanas laterales y se fija a uno de los listones, con la ayuda de dos operarios (Figura 9B), empleando una grapadora con grapas cobrizadas para tapicería referencia 53, cada 10 cm (Figura 9C).

Los agujeros ocasionados por las grapas en el plástico no causan su rasgamiento, por tratarse de un material de alta resistencia al rasgado. Se repite el procedimiento anterior, como se observa en la Figura 9D.

Por último, se coloca el plástico de la cumbre utilizando la grapadora, estirando el plástico un 1%, es decir, 1 cm por cada metro de ancho

Ubicación del plástico en el secador

El plástico se utiliza en la cubierta y en las ventanas del secador (4), dos de ellas laterales, para facilitar el acceso del operario y realizar actividades como cargar, revolver, monitorear la humedad y retirar el café. Comercialmente el plástico reforzado puede conseguirse con ancho desde 1,5 m hasta 4,5 m. Para el caso del secador presentado en este Avance Técnico, las dimensiones del plástico utilizado fueron 4,5 x 11,0 m.

El primer paso consiste en recortar el plástico para tener materiales para la cubierta y las dos ventanas laterales (Figura 9A). El ancho de cada plástico será el mismo, en este caso 1,5 m. el plástico reforzado no se deshilacha en los bordes.

(Figura 9E), para obtener una superficie uniforme como se observa en la Figura 9F, con el fin de evitar la formación de bolsas de agua en los días lluviosos.

En cada lado y a 20 cm de la base de la estructura del piso se coloca un alambre de hierro galvanizado calibre 10, templado, al cual se fija el extremo del plástico con los accesorios que se observan en la Figura 9G. Esto permite disponer de dos ventanas laterales para facilitar la operación del secador.

En cada uno de los bordes del plástico se colocan cuatro argollas (Figura 9H), que se utilizan para mantener abiertas las ventanas laterales, con empleo de una cuerda. También para extender lateralmente el plástico y proteger al café de la lluvia en las paseras que se coloquen en la parte inferior del piso del secador.

Las partes frontal y posterior del secador se cubren con el plástico utilizado para la cubierta, empleando accesorios fabricados en tubería conduit de 1" (Figuras 9I y 9J).



Figura 9. Detalles para la colocación del plástico reforzado en el secador solar tipo túnel. Corte del plástico (A), doblez del plástico de la ventana lateral (B), fijación del plástico al listón utilizando la grapadora (C), secador con las dos ventanas laterales (D), fijación del plástico de la cumbre del secador (E), secador completo (F), temple de las ventanas laterales (G) y ventana frontal (H), vista frontal del secador (I), accesorios (J).

Tabla 3. Materiales requeridos para la construcción de la cubierta de secadores solares con plástico reforzado. (Precios válidos en Chinchiná, 2017).

Materiales	Unidad	Dimensiones	Cant.	Observaciones
Tubo conduit metálico de 1" de diámetro	metro	1" de diámetro x 3 m de largo	9	Para la construcción de los arcos
Plástico Euromalla	metro	4,5 x 11	1	Para la cubierta
Alambre dulce	kg	2	2	Calibre 18
Pintura en aceite Blanco	Galón	--	0,25	De acuerdo a la pintura seleccionada se requerirá o no disolvente
Pintura anticorrosivo Blanco	Galón	--	0,25	--
Brocha 2"	Unidad	--	1	Protección madera
Pernos metálicos, con tuerca arandela y wasa	Unidad	1/2" x 10"	10	Para fijación de los arcos a las vigas
Listones de madera	Unidad	2,5 cm x 5 cm x 125 cm	24	Madera fina y arreglada
Tornillo galvanizado con tuerca, arandela y wasa	Unidad	1/8" x 3/4"	27	Para fijación de abrazaderas al arco
Tornillo "Drywall"	Unidad	1/2"	102	Para la fijación del listón a las abrazaderas
Grapa cobrizada caja	Unidad	Ref: 53	1	Para la fijación del plástico
Soga de propileno	metro	3 mm de diámetro	40	Para estructurar soporte de la cubierta
Alambre galvanizado	metro	Calibre 10	12	Para las ventanas laterales
Lámina galvanizada	metro ²	Calibre 18 o 20	2,5	Para la construcción de las abrazaderas de 4 cm x 4 cm x 2,5 x 48 unidades con dos perforaciones de 3,2 mm

- ▶ La estructura metálica propuesta para la cubierta del secador es de bajo costo, fácil de construir y de larga vida útil.
- ▶ Los plásticos reforzados son una alternativa para los secadores solares, por su alta resistencia al rasgado, facilidad de instalación y mayor duración que los plásticos tradicionales.
- ▶ El tiempo de secado con plásticos reforzados es igual que utilizando los plásticos tradicionales.



Literatura citada

1. GAITÁN B., A.L.; FLÓREZ R., C.P.; GARCÍA L., J.C.; BENAVIDES M., P.; GIL P., Z.N.; SADEGHIAN K., S.; LINCE S., L.A.; SALAZAR G., L.F.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; PEÑUELA M., A.E.; RODRÍGUEZ V., N.; QUINTERO Y., L.V.; LÓPEZ N., J.C. Evento de La Niña en Colombia: Recomendaciones para la caficultura. 2016, 12p. (Avances Técnicos NO.467).
2. OLIVEROS T., C.E.; TIBADUIZA V., C.A.; MONTOYA R., E.C.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A. Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café en proceso con fermentación natural. Cenicafé 65(1):44-56. 2014.
3. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; TIBADUIZA V., C.A. ECOMILL: Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café. Chinchiná: CENICAFÉ, 2013. 8 p. (Avances Técnicos No. 432)
4. OLIVEROS T., C.E.; PEÑUELA M., A.E.; JURADO C. J. Controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método GRAVIMET. 2009, 8p. (Avances Técnicos No.387).
5. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; MEJÍA G., C.A. Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín. 2007, 8p. (Avances Técnicos No.360).
6. OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; PEÑUELA M., A. Secador solar de túnel para café pergamino. 2006, 8p. (Avances Técnicos No.353).
7. ROA M., G.; OLIVEROS T., C. E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C. A.; SANZ U., J. R.; ÁLVAREZ H., J. R.; DÁVILA A., M. T.; ZAMBRANO F., D. A.; PUERTA Q., G. I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1999.

