

Mejoramiento en el sistema de filtrado para el bálsamo del *Liquidambar styraciflua*

Roberto Antonio Miranda Gómez

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Mejoramiento en el sistema de filtrado para el bálsamo del *Liquidambar styraciflua*

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Roberto Antonio Miranda Gómez

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Mejoramiento en el sistema de filtrado para el bálsamo del *Liquidambar styraciflua*

Roberto Antonio Miranda Gómez

Resumen: Honduras es el país que tiene un gran potencial de extracción de bálsamo de *Liquidambar styraciflua* L a nivel mundial. Esta actividad representa una de las principales fuentes de ingresos para muchas familias de la comunidad Pech en Olancho. Ellos filtran el bálsamo por gravedad utilizando mallas metálicas y papel para eliminar agua y residuos sólidos proveniente de la recolección en campo. Este proceso es el que más toma tiempo en su cadena de valor retrasando la comercialización del mismo. El estudio se enfocó en la elaboración de un sistema a presión para aumentar la velocidad de filtrado. Se realizaron tres replicas a temperatura ambiente para tres sistemas de filtrado (dos por gravedad y uno a presión) durante tres horas para obtener la velocidad de cada uno. El sistema a presión fue el más eficiente con una media de 0.485 lb/h. Posteriormente, se analizó la humedad, y viscosidad del bálsamo obtenido de los tres sistemas. El porcentaje de humedad del bálsamo en este estudio fue de 9.1-11% y la viscosidad del bálsamo presentó un comportamiento no newtoniano porque a diferentes revoluciones por minuto (rpm) no presentó una viscosidad definida y constante.

Palabras clave: Filtración, sistema a presión, temperatura.

Abstract: Honduras has great potential for the extraction of *Liquidambar styraciflua* L. balsam for worldwide use. This activity comprises one of the main sources of income for many families of the Pech community in Olancho. These individuals filter balm using gravity; metal mesh and papers are employed to remove water and solid waste from the harvest in the field. This process takes time, which delays commercialization of the balsam. The study focuses on the development of a pressure system with combined filters to increase filtration rate. Three replicates, at environmental temperature, using three filtration system (two of gravity and one of pressure) were performed for three hours to determine the speed of each. The pressure system was found to be most efficient at a mean rate or speed of 0.485 pounds per hour. Later, moisture and viscosity of balsam obtained from the three systems was analyzed. The percentage of moisture balm in this study ranged from 9.1 to 11%. The viscosity of the balsam presented non-newtonian behavior; different revolutions per minute (rpm) did not show clear and constant viscosity.

Keywords: Filtration, pressure system, temperature.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	16
5. RECOMENDACIONES.....	17
6. LITERATURA CITADA.....	18
7. ANEXOS	20

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Filtrado de bálsamo en libras por hora.	10
2. Prueba de normalidad del filtrado por hora de bálsamo.....	11
3. ANOVA de dos vías.....	12
4. Prueba Tukey.....	12
5. Correlación entre el tipo de filtrado y la temperatura.....	13
6. Viscosidad de muestras en los tipos de filtrado a diferentes rpm.....	14
7. Porcentaje de humedad del bálsamo del <i>Liquidambar styraciflua</i> proveniente de Santa Inés.....	15

Figuras	Página
1. Producción de bálsamo.....	2
2. Cobertura forestal de Honduras por departamentos.	2
3. Cobertura forestal del departamento de Olancho (GIZ, 2010).....	3
4. Sistemas por gravedad (izquierda filtros de papel y a la derecha filtros de tela) ...	6
5. Diseño del sistema de filtrado a presión con filtros combinado.....	8
6. Promedio de bálsamo filtrado en libras por hora.....	10
7. Prueba de cajas para el filtrado por hora de bálsamo.	11
8. Comportamiento de la viscosidad del bálsamo	14

Anexos	Página
1. PVC de descarga donde se ubican los filtros.....	20
2. Limpieza de bálsamo por el sistema de filtrado a presión.....	20

1. INTRODUCCIÓN

El *Liquidambar styraciflua* proviene de la familia Hamamelidaceae, es un árbol decíduo y una especie que requiere de plena exposición solar. La distribución de este árbol va desde el sur de los Estados Unidos hasta Panamá. En sus lugares de origen alcanza 45 metros de altura y se encuentra en altitudes de 900-1600 msnm (Bonilla, 2014). De forma natural crece junto a los cursos de agua en suelos aluviales (Gutiérrez et al., 2011). Es considerado un árbol de rápido o moderado crecimiento y se desarrolla mejor en suelos bien drenados con un alto contenido de arcillas (Kormanik, 2006). En general, no tolera espacios limitados, poco profundos y se adapta bien en suelos ligeramente ácidos con pH de 5.5-6.5 (Fernández, 2003).

El bálsamo del *Liquidambar styraciflua* es conocido comercialmente como styrax, resina, estoraque, sapgum o sweetgum. Los indígenas que habitaban en América Central lo utilizaban para medicina, elaboración de inciensos y tabaco (Peterson, 1992). Actualmente, es un producto utilizado internacionalmente en la industria de perfumería, cosméticos y mezclas de tabaco. Por muchos años, Turquía dominó el mercado mundial del bálsamo con el *Liquidambar orientalis*. Esta especie tuvo una distribución natural tan reducida que los niveles de producción disminuyeron. Es por esto, que en los últimos años la demanda de bálsamo en Honduras ha aumentado fuertemente (Gutiérrez et al., 2011). Honduras es el único país que comercializa bálsamo mundialmente, por lo tanto, tiene prácticamente el monopolio del mercado (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola[FHIA], 2014).

Pocas enfermedades se asocian al *Liquidambar styraciflua* L. El fuego es uno de los factores principales que afecta a esta especie debido a que proporciona puntos de entrada para insectos y enfermedades. Esta especie, como medida protectora exuda bálsamo a través de del floema que evita el acceso de patógenos (Kormanik, 2006). El bálsamo es una savia semi-elaborada del metabolismo secundario del *Liquidambar styraciflua* L. y su composición está basada en una mezcla liposoluble de ácidos volátiles y no volátiles, entre ellos: compuestos fenólicos y terpenos (monoterpenos y sesquiterpenos) (Bonilla, 2014).

Se ha reportado que entre 1997-2014 el aprovechamiento total de bálsamo en Honduras ha sido de 3,707 barriles. El mayor aprovechamiento de bálsamo de Liquidámbar ha sido en Olancho y nor- este de Olancho durante el 2009-2014 (Figura 1). El Liquidámbar produce más bálsamo durante los meses de abril a junio y disminuye paulatinamente hasta el mes de noviembre (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal de Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF], 2014).

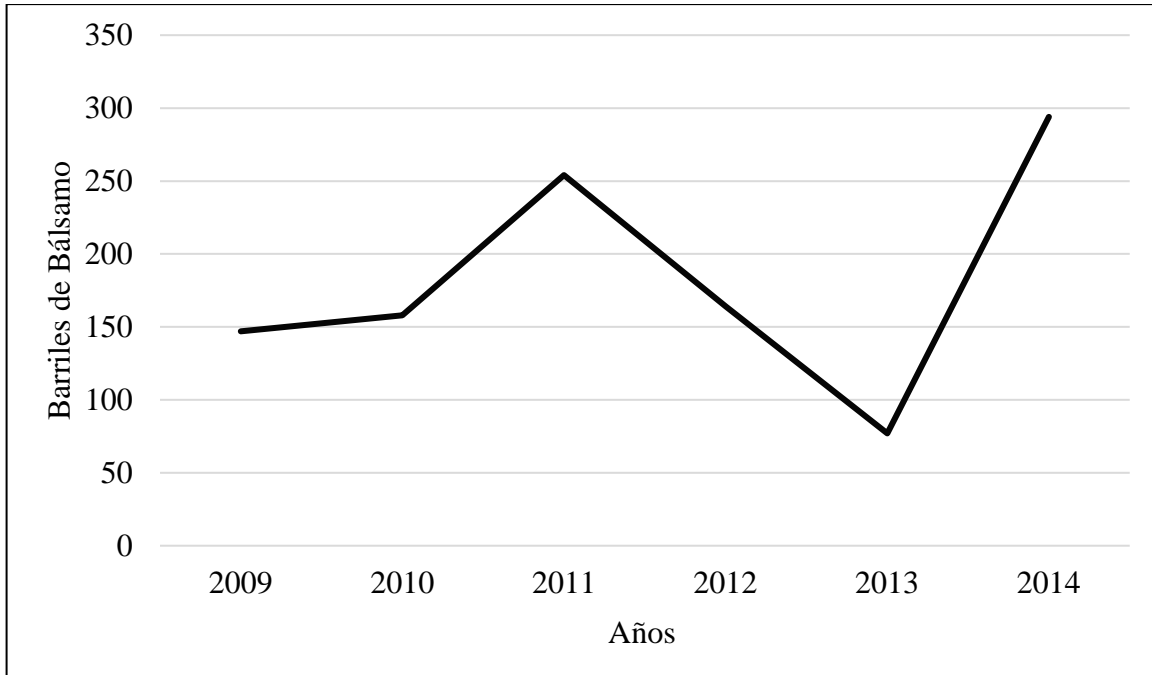


Figura 1. Producción de bálsamo en Olancho (ICF, 2014).

De forma natural, el *Liquidambar styraciflua* L. se encuentra dentro de los bosques mixtos y latifoliados en asociación con otras especies como el *Pinus maximinoi*, *oocarpa* y *Quercus* (Cooperación Alemana [GIZ], 2010). Honduras cuenta con una cobertura forestal de 5,398,137 hectáreas lo que representa el 48% del territorio nacional distribuyéndose en 57.5% de bosques latifoliados, 36.3% bosques de coníferas, 5.3% de bosque mixto y 1.0% de mangle (ICF, 2013). En la figura 2. se muestra la cobertura forestal por departamentos.

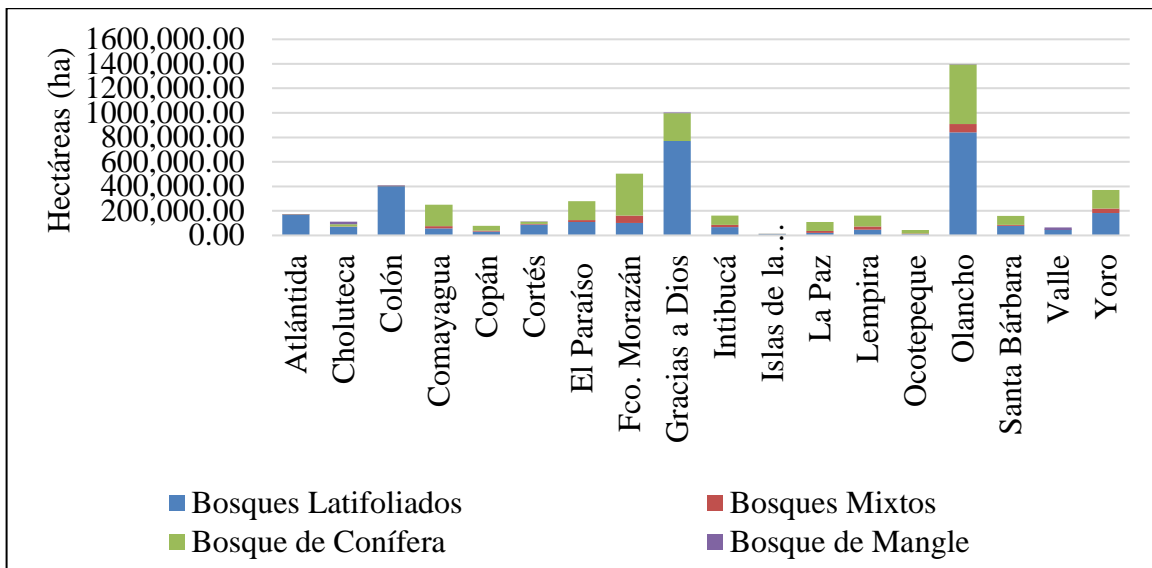


Figura 2. Cobertura forestal de Honduras por departamentos (GIZ, 2010).

Olancho es el departamento que mayor cobertura forestal de bosques mixtos y latifoliados presenta en comparación a los demás departamentos. Se han reportado 840,212 hectáreas de bosques latifoliados y 68,338 hectáreas de bosque mixto (ICF, 2014) (Figura 3). Sin embargo, no hay información exacta de la distribución del *Liquidambar styraciflua* L. dentro de los bosques de este departamento. En los últimos 20 años se ha registrado los mayores volúmenes de bálsamo aprovechados por alrededor de 300 mestizos (ladinos) e indígenas de la comunidad Pech que habitan en las comunidades aledañas a estos bosques (Gutierrez et al., 2014).

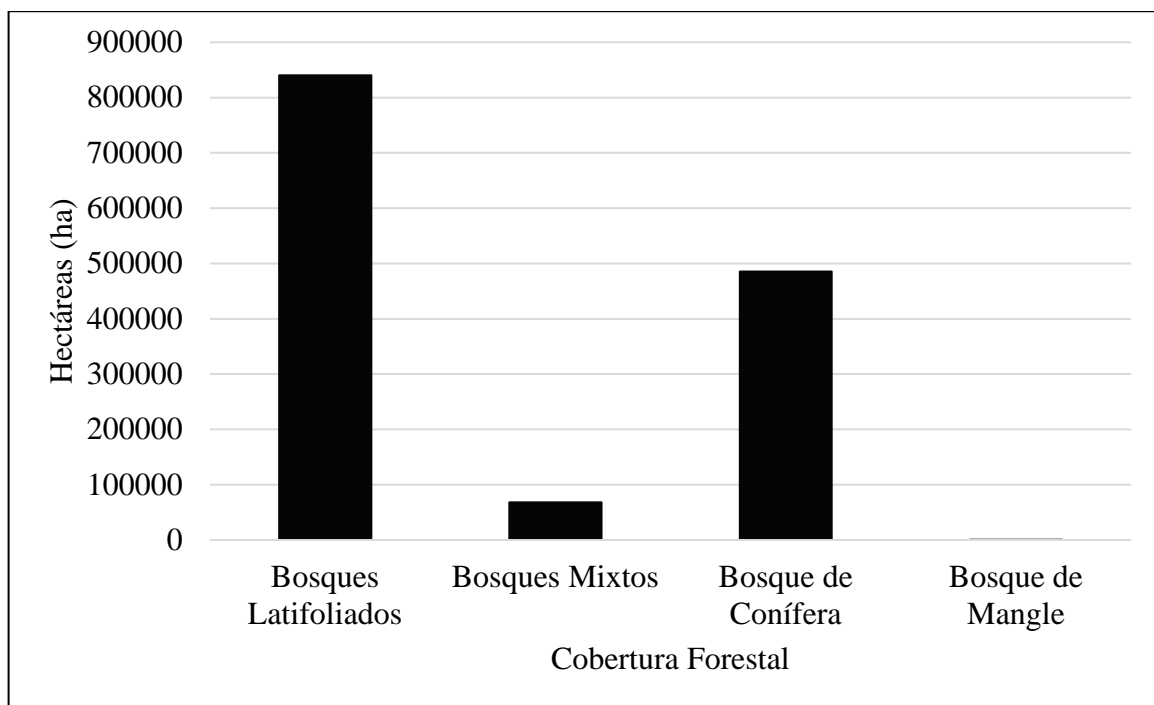


Figura 3. Cobertura forestal del departamento de Olancho (GIZ, 2010).

El uso del bálsamo se basa en un conocimiento ancestral, por lo cual debe respetarse su aprovechamiento según el artículo 8 del Convenio de la Biodiversidad que dice lo siguiente: “Con arreglo en la legislación nacional, se respetará, preservará y mantendrá los conocimientos, prácticas e innovaciones de las comunidades indígenas que tengan estilos de vida tradiciones y pertinentes a la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica promoviendo su aplicación más amplia, con la aprobación y participación de personas de quienes posean el conocimiento” (ICF, 2014).

El Convenio 169 de la OIT (Organización Internacional del Trabajo) sobre los derechos indígenas y las tenencias de tierras donde menciona que los indígenas tienen el derecho de practicar y revitalizar tradiciones y costumbres en cuanto a el aprovechamiento de bálsamo. (ICF, 2014). Los mestizos (ladinos) respetan las restricciones de los indígenas en el manejo y conservación de las áreas identificadas como religiosas, culturales y económicas dentro de los bosques de Olancho (GIZ, 2015).

La comunidad indígena Pech utiliza la ganadería como subsistencia y no como actividad comercial. Se dedican principalmente al cultivo de granos básicos, producción de bálsamo de Liquidámbar y a la agricultura tradicional como el café, banano, frijoles, yuca y maíz (Gálvez y Gleich, 1999). Ellos han mantenido la producción y comercialización de bálsamo durante años, especialmente las municipalidades de San Esteban, Dulce Nombre de Culmí y Gualaco. Esta actividad la realizan de forma artesanal, sin tener conocimientos técnicos y sin políticas que fortalezcan esta actividad. Aun así, se ha estimado una producción de 40 toneladas generando divisas de un millón de dólares por año (FHIA, 2015).

El ingreso promedio mensual de las familias que se dedican a la extracción de bálsamo de Liquidámbar varía entre 3,466 y 4,000 Lempiras. Los productores venden a L. 130 y 150 la libra y en promedio extraen 320 libras en el año (Diario El Herald, 2015).

La práctica tradicional que utilizan los Pech para provocar el flujo del bálsamo consiste en abrir ranuras a las que ellos denominan “huacas” con un hacha de forma inclinada hacia adentro del tronco. Las dimensiones de esa huaca deben ser de aproximadamente 7 cm. de largo, 18 cm. de ancho y 5 cm de profundidad. Por lo general, las hacen en días de luna llena y cuando el periodo de lluvias va a comenzar. Cada cuatro o seis semanas el bálsamo estará almacenado en las huacas para su cosecha. Finalmente, las huacas cicatrizan y se vuelven a abrir nuevas en la parte superior de las primeras (FHIA, 2014).

Este bálsamo extraído por los Pech, es vendido a acopiadores para que estos lo comercialicen en mercados locales de Tegucigalpa para el procesamiento y distribución final del producto. La primera exportación de bálsamo de liquidámbar se realizó a la empresa francesa Mane por la comunidad Pech de Dulce Nombre Culmí y Subirana en Olancho (FHIA, 2013). Varias industrias de cosméticos en Europa asociadas al NRSC (Consortio de la Administración de los Recursos Naturales) y la GIZ (Cooperación Alemana) iniciaron proyectos para asegurar la sostenibilidad económica, social y ecológica de la cosecha, post-cosecha y transformación del bálsamo (ICF, 2012).

Estas empresas europeas al comprar bálsamo de Liquidámbar se basan en ciertos parámetros físico- químicos. Algunos de ellos son el porcentaje de humedad y la viscosidad (J. Licon, comunicación personal 15 de septiembre de 2016). Sin embargo, no hay información acerca de los estándares que estas empresas requieren.

Las empresas ubicadas en Tegucigalpa realizan los procesos de limpieza con máquinas de alto costo y a una mayor velocidad. No obstante, dentro de la comunidad Pech no cuentan con electricidad ni con los recursos económicos para invertir en este tipo de maquinarias. Las actividades de limpieza las hacen por filtración y decantación a temperatura ambiente utilizando equipos de bajo costo y procedimientos sencillos para separar la materia inerte sin afectar la calidad del producto. Consiste en tamices de tela metálica redondos con poros de 2x2 mm y cubetas de plástico situados en tres niveles superpuestos por un filtro. El bálsamo pasa por este sistema y es recolectado en un recipiente limpio para ser llevado a los centros de acopio (FHIA, 2014).

El sistema artesanal de filtrado utilizado por los Pech demora mucho tiempo. Para filtrar 50 libras de bálsamo de Liquidámbar se tardan una semana ocasionando una disminución en

el aprovechamiento y la comercialización del bálsamo (J. Licona, comunicación personal, 15 de septiembre de 2016). De acuerdo a esta problemática se plantearon como objetivos de la investigación: diseñar un sistema alternativo de filtrado de bálsamo de liquidámbar para aumentar los rendimientos del proceso de filtrado y analizar la humedad y viscosidad como parámetros de calidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del estudio se determinó la cantidad de bálsamo obtenido en tres sistemas de filtrado. Se utilizaron dos sistemas por gravedad ya existentes y se diseñó un sistema presión con filtros combinados. El bálsamo utilizado en este estudio fue extraído de árboles de *Liquidambar styraciflua* de Santa Inés, Honduras y suministrado por la Unidad de Forestales de Zamorano. Para evaluar los diferentes sistemas se realizó un diseño factorial considerando los tres sistemas de filtrado y los horarios de filtrado (mañana y tarde) como factores. Al final del estudio se obtuvieron seis tratamientos. Los horarios fueron de 8:00 a.m. a 11:00 a.m. y de 1:00 p.m. a 4:00 p.m. durante tres días en el mes de agosto. Con un medidor climático Kestrel 2500 se midió la temperatura cada hora y se sacó un promedio para cada tratamiento. Se pesó el volumen de bálsamo de cada sistema al final de cada tratamiento en el horario de la mañana y tarde para conocer la eficiencia de cada sistema. La filtración del bálsamo fue evaluada en libras por hora para cada sistema. La cantidad de bálsamo que se utilizó para cada sistema de filtrado fue de una libra.

Descripción de Sistemas

Sistemas por Gravedad: Ambos sistemas consistían en recipientes de plástico con un filtro diferente. El primero contenía tres capas de papel, específicamente de la marca Kimberly Clark con una malla metálica encima y el segundo con dos telas blancas de camiseta y una malla metálica encima. Esto se realizó tomando en cuenta el diseño de filtrado que utiliza la comunidad Pech basado en cubetas perforadas de plástico con papel y toalla secante (FHIA, 2014) (Figura 4).



Figura 4. Sistemas por gravedad (izquierda filtros de papel y a la derecha filtros de tela).

Sistema por Presión: Para la elaboración del sistema de filtrado a presión se diseñó una estructura de soporte con tubos de metal de 1.56 m. de alto y 0.52 m. de ancho. Para aumentar la velocidad del filtrado se utilizó un tornillo sin fin en la parte superior de 0.49 m. de la estructura de soporte para que ejerza presión al resorte. Esta presión debe ser gradual para evitar fugas, exceso de humedad o un producto con presencia de residuos sólidos.

Para calcular la presión que ejerce este sistema se utilizó la ecuación [1] y [2] para determinar el volumen del policloruro de vinilo (PVC) de presión que contiene el bálsamo y la densidad de este líquido.

$$V_{cilindro} = \pi r^2 \cdot h \quad [1]$$

$$V_{PVC \text{ de presión}} = (3.1416)(0.0825m^2)(0.51m)$$

$$V_{PVC \text{ de presión}} = 0.0109m^3$$

$$d_{bálsamo} = \frac{Masa}{Volumen} \quad [2]$$

$$d_{bálsamo} = \frac{7.322kg}{0.0109 m^3}$$

$$d_{bálsamo} = 671.74 \frac{kg}{m^3}$$

La presión uno calculada con la ecuación [3] corresponde a la fuerza que le ejerce el resorte al bálsamo cuando el sistema se encuentra en reposo.

$$P = d \times g \times h \quad [3]$$

$$P_1 = 671.43 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.51m$$

$$P_1 = 3359.23 Pa$$

La presión 2 corresponde a el sistema de presión funcionando. Cada cuatro vueltas que se aplican al tornillo sin fin, reduce 2 cm su altura inicial. Por lo tanto, la altura que contiene el bálsamo depositado dentro del PVC de presión se reduce de 51-49 cm. y así sucesivamente para las vueltas restantes.

$$P_2 = 671.43 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.49m$$

$$P_2 = 3361.60 Pa.$$

Utilizando la ecuación [4] se calculó la diferencia entre la P_1 y la P_2 para tener un estimado de la fuerza que le ejerce el tornillo sin fin al resorte y a su vez bálsamo.

$$P_2 - P_1 = \text{Presión ejercida} \quad [4]$$

$$3361.60 - 3359.23 = 2.37 \text{ Pa.}$$

Donde:

V= volumen

r = radio

h = altura

d = densidad

P = presión

Pa = pascal

Para depositar el bálsamo a filtrar se utilizó un PVC de presión con un diámetro de 6 pulgadas con 0.51 metros de longitud. Para el contenedor de filtros se utilizó un PVC de descarga de 6.5 pulgadas que sirve de conexión con el PVC de presión. Este PVC de presión está diseñado para depositar aproximadamente 7 litros de bálsamo (Figura 5).

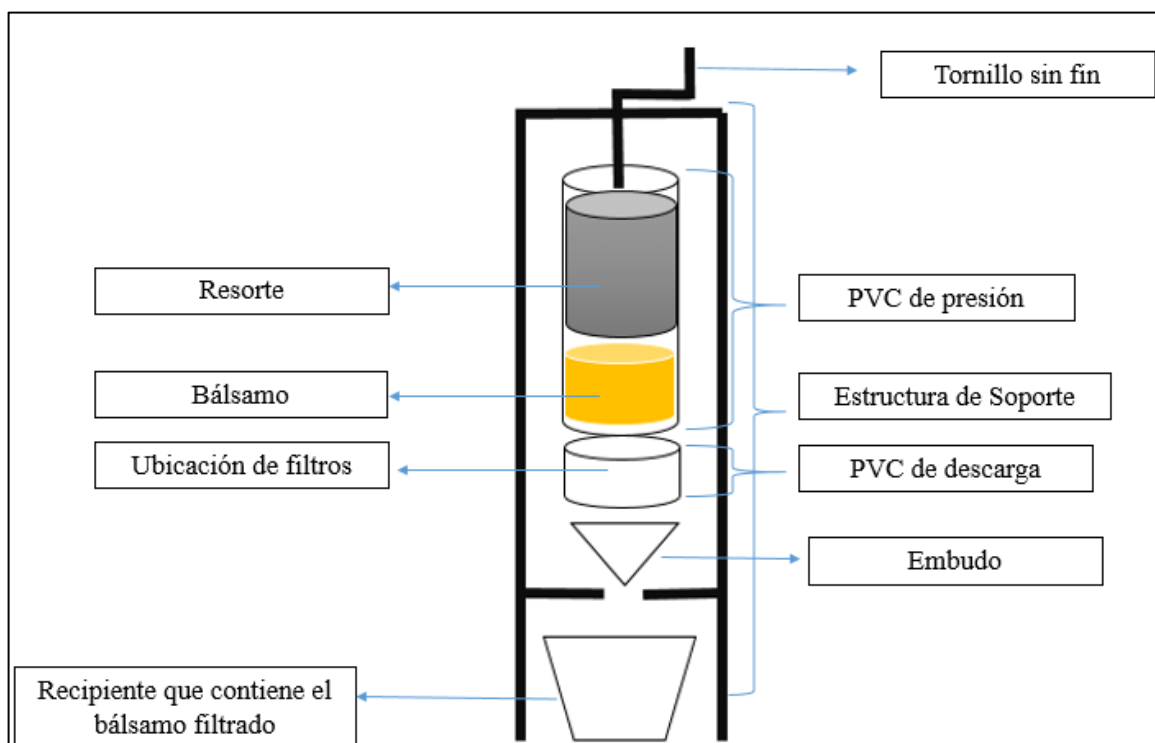


Figura 5. Diseño del sistema de filtrado a presión con filtros combinado.

Se combinaron los filtros utilizando dos capas de tela de camiseta, una platina con perforaciones de 4.4 mm., cinco hojas de papel y una malla metálica. El diámetro de salida del bálsamo en el sistema de filtrado fue de 26 centímetros. Una vez depositado el bálsamo

en el sistema se esperó de 10-15 minutos para que el líquido pase por todas las capas y de esta manera obtener un filtrado eficiente.

Fase de Laboratorio: Se tomaron muestras de bálsamo de cada sistema de filtrado con un recipiente de plástico con capacidad de 250 ml. para analizar la viscosidad y la humedad en el laboratorio de alimentos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. El análisis de viscosidad se realizó con el viscosímetro de Brookfield LV. Se depositaron 200 ml de cada muestra en tres beakers diferentes y se utilizó un acople 3 para todas las muestras. La velocidad establecida fue de 12, 22 y 32 rpm (revoluciones por minuto) durante 60 segundos a una temperatura de 25°C. El porcentaje de humedad de las muestras se obtuvo por diferencia de pesos secando muestras de bálsamo en un horno. Se pesaron dos crisoles vacíos por cada muestra en una balanza marca Ohaus y se depositaron tres gramos de bálsamo de cada muestra en los crisoles. Posteriormente, se ubicaron en el horno a 105 °C durante 24 horas para obtener el peso del bálsamo sin humedad.

Se utilizó la ecuación [5] para determinar el porcentaje de humedad del bálsamo en cada tipo de filtrado.

$$H(\%) = \frac{(C + Mh) - (C + Ms)}{Mh} \quad [5]$$

Donde:

H (%) = contenido de humedad (%)

C = crisol (gr.)

Mh = materia húmeda (gr.)

Ms = materia seca (gr.)

Análisis Estadístico: Se utilizó el programa Excel 2016 para realizar un ANOVA de dos factores o dos vías con una significancia del 0.05. El peso del bálsamo obtenido de los tres tipos de filtrado fue la variable dependiente y los factores fijos fueron el horario (mañana y tarde) y el tipo de filtrado. Posterior a esto, para probar la diferencia entre medias de los tres tipos de filtrado se realizó una prueba Tukey.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema de presión en horarios de mañana y tarde presentó mayor cantidad de bálsamo filtrado en comparación a los sistemas gravedad ya existentes. El filtrado fue más eficiente a 31°C en los tres sistemas presentando 0.653 lb/h el sistema a presión, seguido de los sistemas por gravedad con filtros de tela y papel que presentaron 0.362 lb/h y 0.261lb/h respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Filtrado de bálsamo en libras por hora.

Horario	Replica 1		Replica 2		Replica 3	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Temperatura	25.5 °C	28.6 °C	27.1 °C	31 °C	25.2 °C	27.1 °C
A	0.391	0.486	0.521	0.653	0.362	0.497
B	0.154	0.249	0.286	0.362	0.125	0.184
C	0.110	0.197	0.177	0.261	0.103	0.139

A: Sistema de Presión con filtros combinados.

B: Sistema de Gravedad con filtros de tela y malla metálica.

C: Sistema de Gravedad con filtros de papel y malla metálica.

Se obtuvo el promedio de cada sistema de filtrado. Se puede observar que el sistema de filtrado a presión presenta una media mayor de 0.486 lb/h. en comparación a los sistemas de gravedad (Figura 6).

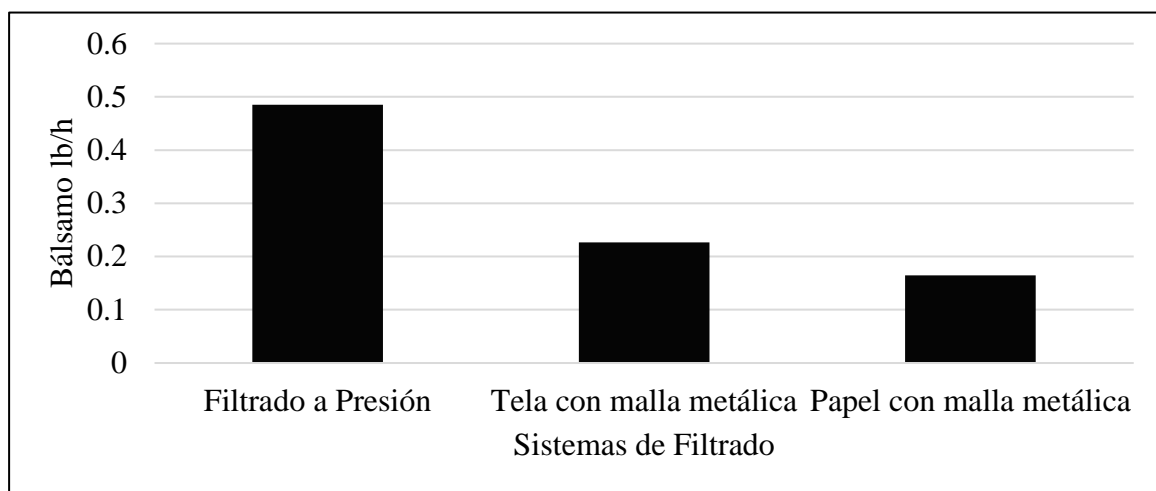


Figura 6. Promedio de bálsamo filtrado en libras por hora.

Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con un gráfico de cajas con ayuda del complemento de Excel Real Statistics®. Los datos presentaron una distribución normal, por lo tanto, se puede realizar un análisis de varianza (Figura 7).

Cuadro 2. Prueba de normalidad del filtrado por hora de bálsamo.

Sistemas de Filtrado	Índice de Shapiro-Wilk	Valor p	Alfa	Normal
A	0.940	0.661	0.05	si
B	0.957	0.802	0.05	si
C	0.933	0.607	0.05	si

A: Sistema de Presión con filtros combinados.

B: Sistema de Gravedad con filtros de tela y malla metálica.

C: Sistema de Gravedad con filtros de papel y malla metálica.

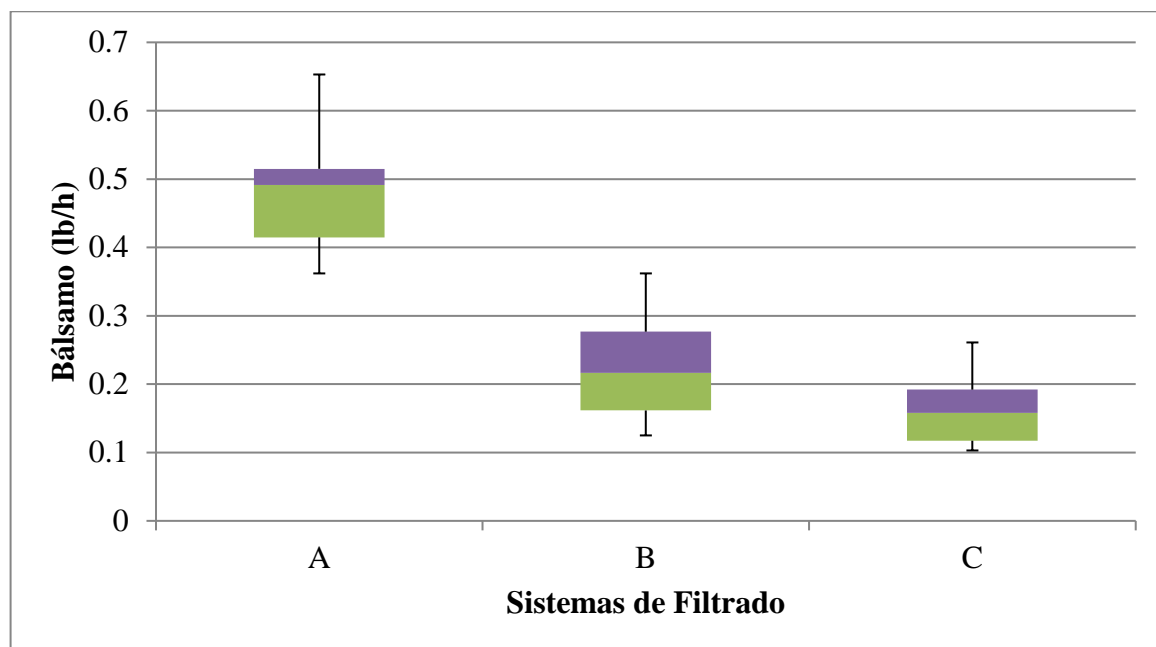


Figura 7. Prueba de cajas para el filtrado por hora de bálsamo.

A: Sistema de Presión con filtros combinados.

B: Sistema de Gravedad con filtros de tela y malla metálica.

C: Sistema de Gravedad con filtros de papel y malla metálica.

Se planteó una hipótesis nula y alterna entre los tipos de filtrado. La hipótesis nula muestra que no hay diferencias significativas entre los tipos de filtrado mientras que la hipótesis alterna muestra lo contrario. Existe diferencia significativa entre el horario y los tipos de filtrado a un nivel del 0.05. Sin embargo, no hay interacción entre los horarios y los tipos de filtrado (Cuadro 3).

Cuadro 3. ANOVA de dos vías.

Factores	Grados de libertad	Valor f	Valor p	Significancia
Horario	1	5.788	0.033100	si
Tipos de Filtrado	2	28.285	0.000002	si
Interacción	2	0.190	0.829100	no

Se realizó una prueba Tukey para aceptar o rechazar la hipótesis nula (Cuadro 4). De acuerdo a los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis nula (no hay diferencias significativas entre los tipos de filtrado) y se acepta la alterna porque si existen diferencias significativas entre los sistemas. A un nivel de 0.05 el sistema a presión con filtros combinados es estadísticamente significativo ($p < 0.05$).

Cuadro 4. Prueba Tukey.

Tipos de Filtrado	Valor p	Significancia
A-B	0.000260	si
A-C	0.000003	si
C-B	0.383510	no

A: Sistema de Presión con filtros combinados.

B: Sistema de Gravedad con filtros de tela y malla metálica.

C: Sistema de Gravedad con filtros de papel y malla metálica.

El filtrado de bálsamo aumenta en los horarios de la tarde donde se presentan las mayores temperaturas en el estudio. Por lo tanto, se realizó la correlación de Pearson como parámetro estadístico para determinar si hay relación entre el filtrado y las temperaturas. Las correlaciones de los tres tipos de filtrado con relación a la temperatura son altas porque los valores de temperatura se acercan a uno, lo cual se asemeja a una correlación directa (Cuadro 5.). Esta relación es directa porque una variable aumenta a otra, en este caso la temperatura con respecto a la filtración de bálsamo en los tres sistemas.

Cuadro 5. Correlación entre el tipo de filtrado y la temperatura.

Tipos de filtrado	Temperatura
A	0.93
B	0.90
C	0.97

A: Sistema de Presión con filtros combinados.

B: Sistema de Gravedad con filtros de tela y malla metálica.

C: Sistema de Gravedad con filtros de papel y malla metálica.

El promedio de los sistemas por gravedad con filtros de tela y papel fueron de 0.23 lb/h y 0.16 lb/h respectivamente. Sin embargo, el promedio del sistema a presión los superó con un filtrado de 0.48 lb/h (Figura 5). Considerando que la comunidad indígena Pech demora una semana para filtrar 50 lb. de bálsamo, con el sistema a presión diseñado podrían tardarse alrededor de cuatro días y medio.

Si lo indígenas Pech decidieran mantener el sistema a presión dentro de un ambiente controlado a 31°C de temperatura el filtrado sería mucho más eficiente. En este caso, 50 lbs. de bálsamo se filtrarían alrededor de tres días y medio. Al construir más sistemas como este dentro de la comunidad Pech los resultados serían mucho mejores evitando el retraso en la comercialización y las actividades de extracción.

La viscosidad de las resinas varía ampliamente entre las especies de árboles y su unidad de medida es en centipoise (Cp). La composición química dos terpenos tiene una relación directa con la viscosidad de las resinas. Este compuesto químico lo arrastran por vapor de agua las empresas europeas y lo utilizan por su agradable olor para la fabricación de perfumes.

El método de Brookfield LV mide la viscosidad captando el PAR% de torsión necesario para hacer girar el acople a una velocidad constante. El sistema por gravedad con filtros de papel y malla metálica presentó mayor viscosidad en comparación a los otros filtros durante las tres revoluciones por minuto A 32 rpm el sistema por gravedad con filtros de papel presentó 1533 Cp. mientras que los filtros de presión y tela presentaron viscosidades de 1038 Cp. y 1102 Cp. respectivamente. A mayor Cp. el líquido es viscoso considerando la intensa tensión durante un minuto (Cuadro 6).

Cuadro 6. Viscosidad de muestras en los tipos de filtrado a diferentes rpm.

Sistemas de Filtrado	12 rpm			22 rpm			32 rpm		
	Cp	PAR (%)	°C	Cp	PAR (%)	°C	Cp	PAR (%)	°C
A	1100	8.1	25.4	1178	21.6	25.4	1308	34.9	25.4
B	729	7.3	25.5	910	16.7	25.5	1102	29.4	25.5
C	1070	10.8	25.2	1330	24.4	25.3	1533	40.7	25.3

A: Sistema de Presión con filtros combinados.

B: Sistema de Gravedad con filtros de tela y malla metálica.

C: Sistema de Gravedad con filtros de papel y malla metálica.

El bálsamo de *Liquidambar styraciflua* L. no tiene una viscosidad constante (Figura 6) por lo tanto, es considerado como un fluido no newtoniano. Por lo general, los fluidos que presentan este tipo de comportamiento no tienen viscosidad definida y constante, debido a que varían con las revoluciones por minuto y tensión (PAR%) que se les aplique. Esto podría explicar la relación entre la temperatura y la cantidad de bálsamo filtrado en los tres sistemas.

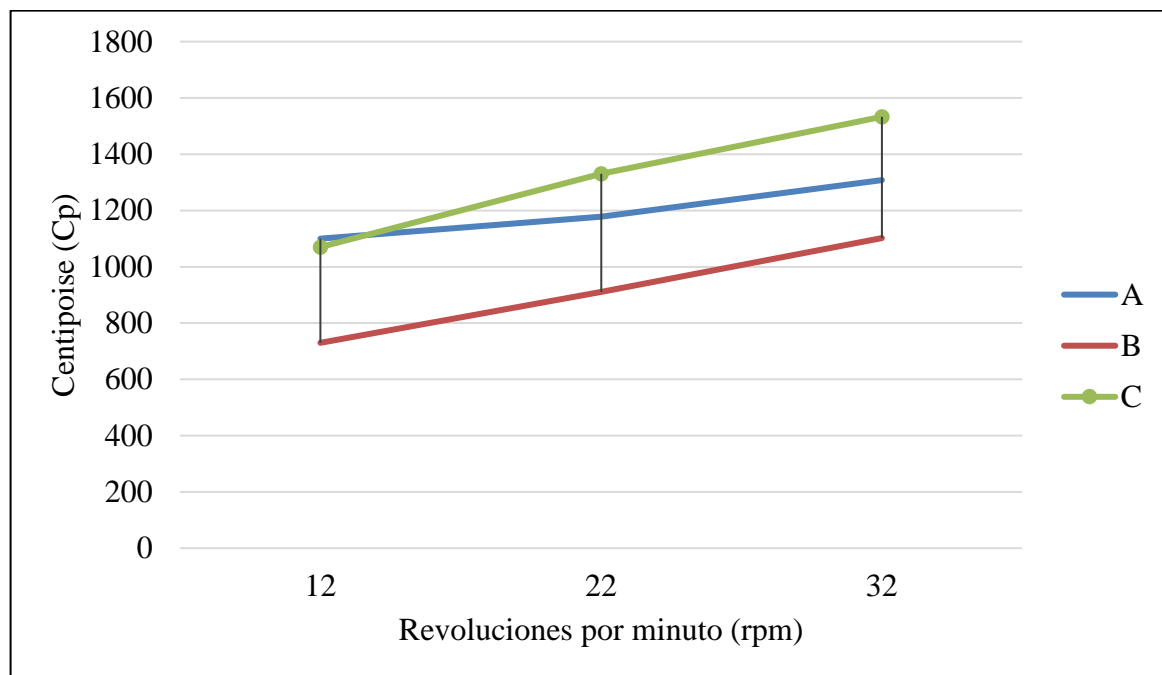


Figura 8. Comportamiento de la viscosidad del bálsamo.

A: Sistema de Presión con filtros combinados.

B: Sistema de Gravedad con filtros de tela y malla metálica.

C: Sistema de Gravedad con filtros de papel y malla metálica.

Los mercados europeos prefieren el bálsamo de *Liquidambar styraciflua* L. porque contiene menor humedad que el *Liquidambar orientalis* M. (Gutiérrez et al., 2011). Sin embargo, no hay reportes que mencionen la humedad del bálsamo de cada especie. La humedad encontrada en este estudio oscila entre el 9.1-11% (Cuadro 7). Estos valores se podrían considerar al momento de vender el producto a mercados locales e internacionales y de esta manera evitar problemas de desconfianza por parte de los acopiadores o indígenas Pech.

Cuadro 7. Porcentaje de humedad del bálsamo del *Liquidambar styraciflua* proveniente de Santa Inés.

Sistemas de Filtrado	Humedad (%)
Sistema de Presión con filtros combinados	11.08
Sistema de Gravedad con filtros de tela y malla metálica	10.51
Sistema de Gravedad con filtros de papel y malla metálica	9.18

4. CONCLUSIONES

- El sistema a presión es el más eficiente para filtrar bálsamo de *Liquidambar styraciflua* a comparación de los sistemas por gravedad ya existentes. Utilizando este sistema diseñado se podrían reducir el tiempo de filtrado alrededor de tres días y medio. Se presentó una relación directa entre la temperatura y el filtrado porque en el índice de correlación de Pearson los valores se acercan a uno.
- El comportamiento del bálsamo obtenido de los tres tipos de filtrado presentó un comportamiento lineal, por lo tanto, es considerado un fluido no newtoniano porque varía aplicándose diferentes revoluciones por minuto y la fuerza de torsión en un espacio de tiempo reducido.
- El bálsamo proveniente de Santa Inés presentó un porcentaje de humedad de 9-11% entre los tipos de filtrado. Este parámetro de calidad se puede considerar para evitar desconfianzas al momento de la compra/venta del producto.

5. RECOMENDACIONES

- Impulsar las plantaciones de esta especie en lugares mayores a 900 msnm para genera considerables ingresos económicos sin tener que talar los árboles y contribuir al Cambio Climático.
- Realizar estudios enfocados en la composición química del bálsamo para poder elaborar otros productos a partir de él y de esta manera abrir mercados para generar más divisas al país de Honduras.
- Realizar inventarios de la cantidad de árboles de *Liquidambar styraciflua* L. en Santa Inés para conocer la cantidad de árboles aprovechables y de esta manera poder realizar proyecciones de la cantidad de bálsamo en los próximos años.
- Tapar el recipiente al finalizar de filtrar el bálsamo con los diferentes sistemas para evitar las pérdidas de las características olfativas.
- Lavar el sistema de filtrado con abundante agua caliente en ausencia de jabón o cualquier otra sustancia química que pueda alterar la calidad del bálsamo.

6. LITERATURA CITADA

- Bonilla, F. A. (2014). Caracterización Fitoquímica de la resina del Liquidambar *styraciflua* L. . Montecillo, Texcoco, México.
- Diario El Herald. (25 de Noviembre de 2015). Los Pech exportan a Francia Bálsamo de Liquidámbar. San Esteban, Honduras. Recuperado de <http://www.pressreader.com/honduras/diario-el-heraldo/20151125/281878707285666>
- Fernández, D. A. (2003). Relación, Uso y Gestión de la Flora Exótica Leñosa en el Municipio de Madrid. Madrid.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2013). Centro de Comunicación Agrícola y Servicios Agrícolas. La Lima, Cortés, Honduras.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2014). Recuperado de Filtrado del Bálsamo de Liquidambas *styraciflua* L.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2014). Investigación y Transferencia de Tecnología. Programa de Diversificación. La Lima, Cortés, Honduras.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2014). Programa de Diversificación. Producción Sostenible de Bálsamo de Liquidámbar. La Lima, Cortés, Honduras.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2015). Programa de Diversificación. Asistencia Técnica en la Extracción de Bálsamo de Liquidámbar. Lima, Cortés, Honduras.
- Gálvez, E. y Gleich, U, (1999). Pobreza étnica en Honduras. Washington D.C., Estados Unidos.
- Cooperación Alemana (2010). Programa REDD-CCAD-GIZ. Recuperado de Tipos de Bosque y Contexto del Mapeo de la Cobertura Forestal en Centroamérica y República Dominicana: http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc_1170376601.pdf
- Cooperación Alemana (2015). Elaboración de la Normativa para la ejecución del Aprovechamiento de Resina del Liquidámbar. Tegucigalpa, Honduras.

- Gutiérrez, M. M., García, L. R., Darío, F., Acosta, R., Woda, E. y Christine. (2011). Programa de Fomento al Manejo Sostenible de Recursos Naturales y Desarrollo Económico Local. Tegucigalpa: PRORENA.
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal de Áreas Protegidas y Vida Silvestre (2011). Comayagüela, Tegucigalpa, Honduras.
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal de Áreas Protegidas y Vida Silvestre. (2013). Recuperado de Anuario Estadístico Forestal: http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc_1199314319.pdf
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal de Áreas Protegidas y Vida Silvestre. (2014). Recuperado de Gobierno de la República de Honduras: <http://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2015/09/Acuerdo-PW-18-2014.pdf>
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal de Áreas Protegidas y Vida Silvestre. (2014). *Anuario Estadístico Forestal*. Tegucigalpa, Honduras: Programa de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Forestal- CLIFOR.
- Kormanik, P. P. (14 de Abril de 2006). Recuperado de Sweetgum: https://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics_manual/volume_2/liquidambar/styraciflua.htm.
- Peterson, A. A. (1992). Aztec exploitation of cloud forests: tributes of. *Global Ecology and Biogeography Letters*, Vol. 2, 165-173.

7. ANEXOS

Anexo 1. Tubo de PVC de descarga donde se ubican los filtros.



Anexo 2. Limpieza de bálsamo por el sistema de filtrado a presión.

