



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COMPOSITOS A PARTIR
DE ASERRÍN DE LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia Crassipes*) Y
RESINA DE POLIÉSTER”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

PRESENTA:

YESSICA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

DIRECTORES DE TESIS:

DRA. NELLY FLORES RAMÍREZ

DR. JOSÉ CRUZ DE LEÓN

MORELIA, MICH. JUNIO 2008



DEDICATORIA

Al creador de todo el universo dios.....

Al llegar aquí no te conocía, hoy que me voy me llevo lo máspreciado que pude encontrar en la vida. Me diste lo que la más complicada o bella teoría no me pudo dar. No soy lo que a Ti te gustaría que fuera, ni soy todo lo que a mi me gustaría ser pero te estoy infinitamente agradecido, porque no soy lo que ayer era

A mis padres

Cornelio Sánchez Carballo y Lazara Hernández Flores

En un interminable desfile de palabras no alcanzo a encontrar las precisas que me permitan expresarles lo que durante tantos años esperé poder plasmar.

Los amo, los necesito, mi vida no tendría sentido sin su presencia, gracias por estar conmigo cuando más los necesité, por su apoyo incondicional moral y económico, por haber realizado un gran papel como padres lo cual nadie lo hubiese realizado tan perfecto. Gracias por tan bellos momentos vividos juntos.

A mi hermano

Valentín Sánchez Hernández

Gracias por creer en mí, por los momentos con quien cada instante vivido a su lado no lo cambiaría por el oro más refinado de este mundo. Por tu paciencia y gran apoyo mil gracias.

A mi padrino

Carolino Sánchez Carballo

Gracias por ser mi segundo padre lo cual no encuentro las palabras adecuadas para agradecerte, el compromiso que asumiste desde el día que nací. Por tu apoyo y cariño, por haber dado lo mejor de ti.

A mis tíos y tías

Gracias por que a pesar de todo siempre creyeron en mi, y estuvieron conmigo en este camino tan largo recorrido, por los consejos, el cariño y todo el amor que me han brindado los amo son la mejor familia que dios me pudo haber regalado.

A mis amigos

No son muchos pero Dios los puso ahí, un poquito más cercanos me los regaló a mí, para hacerme comprender un poco más el calibre del amor de mi Padre Celestial. No son muchos pero no los hay mejores en la tierra...son amigos y no tengo porque dar nombres o apellidos por que ellos mismos ya se saben aludidos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, por ser el alma mater de muchos, que de no ser por la existencia de tan sin igual institución, tal vez hubiesen quedado en el más profundo anonimato, entre ellos yo.

A la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera por albergarme en mis años de licenciatura y por ser escenario de enseñanzas más que académicas.

A la Dra. Nelly Flores y Dr. José Cruz, por su excelente dirección en el presente trabajo y por mostrarme con hechos lo que mil discursos sobre ética y profesionalismo no me enseñarían. Por su disposición, paciencia y colaboración para la realización del presente trabajo.

Al Dr. Salomón R. Vázquez García, por sus acertadas opiniones y consejos.

A mis compañeros y amigos del laboratorio de preservación de la madera por haberme apoyado en la recolección del material. Ya que sin su ayuda no hubiese concluido mi trabajo.

Al personal del Cinvestav Unidad Querétaro así como al de la Facultad de Ingeniería Química (IQ-UMSNH) por el apoyo Técnico brindado.

A los sinodales M.C. Luz Elena A. Ávila Calderón, Ing. Sergio Mauricio Escobedo, Ing. Nicolás Ortega, biol. Francisco Tejeda. Por la disposición y colaboración y en el presente trabajo.

ÍNDICE	PAG.
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES	3
CAPÍTULO III. JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO IV. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	5
4.2 ESPECIES DE <i>Eichhornia</i>	6
4.3 DESARROLLO DEL LIRIO ACUATICO	7
4.4 CARACTERISTICAS DE LA RESINA POLIESTER	8
4.5 COMPOSITOS	9
4.6 USOS DEL LIRIO	10
CAPITULO V. CONCEPTOS BASICOS	12
5.1 POLIMEROS	12
5.2 RESINA	12
5.3 POLIESTER	12

5.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN	13
5.4.1. Tamaño y distribución de la partícula	13
5.4.2. Espectroscopia Infrarroja (FT-IR)	13
5.4.3. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	14
5.4.4. Análisis Termogravimétrico (TGA)	14
5.5 PROPIEDADES FISICO-MECANICAS	14
5.5.1. Ultrasonido	15
CAPÍTULO VI. MATERIALES Y MÉTODOS	16
6.1 MATERIALES	16
6.2 SITIO EXPERIMENTAL Y MATERIAL BIOLÓGICO.	17
6.2.1 Características de la Región - PATZCUARO	17
6.3 METODOLOGIA	18
6.3.1. Preparación de compositos	18
6.3.2. Caracterización estructural y térmica	21
a) Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR)	21
b) Análisis termogravimétrico (TGA)	21
c) Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	21
6.3.3. Caracterización Físico-Mecánico	21
a) Absorción de Humedad	21
b) Contenido de Humedad	22
c) Densidad	23

d) Pruebas no destructiva de Ultrasonido	23
e) Pruebas mecánicas destructiva	24
f) Resistencia a esfuerzos de Flexión Estática	25
1.- Módulo de ruptura	27
2.- Módulo de elasticidad	27
3.- Esfuerzo al límite de proporcionalidad	27
f) Esfuerzo a la Compresión Paralela	27
CAPÍTULO VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES	44
CAPÍTULO IX .RECOMENDACIONES	47
CAPÍTULO X. BIBLIOGRAFÍA	48
CAPÍTULO XI. ANEXOS	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura	6.1	Plantas de lirio acuático	17
Figura	6.2	Lirio acuático	18
Figura	6.3	Accesorios para la molienda	18
Figura	6.4	Aserrín de lirio	19
Figura	6.5	Elaboración de compositos	19
Figura	6.6	Resina poliéster	19
Figura	6.7	Compositos RP-Lir 5 y 10%	19
Figura	6.8	Resina poliéster	20
Figura	6.9	Composito RP-Lir 5%	20
Figura	6.10	Composito RP-Lir 10%	20
Figura	6.11	Composito RP-Lir 20%	20
Figura	6.12	Compositos a diferentes concentraciones para la determinación de Absorción de Humedad	22
Figura	6.13	Ensayo con ultrasonido y diagrama de la probeta.	23
Figura	6.14	Maquina universal	25
Figura	6.15	Pruebas de flexión de probetas de resina poliéster.	25
Figura	6.16	Pruebas de flexión del composito RP-Lir	26
Figura	6.17	Prueba de flexión del Composito RP-Lir 20%	26
Figura	6.18	Prueba de compresión paralela del composito RP-Lir	Figura 27
Figura	7.1	Espectro de FTIR de la resina poliéster y del composito RP-Lir al 5%	29
Figura	7.2	Fórmula química estructural de la resina Poliéster	30
Figura	7.3	Termograma de resina poliéster	31
Figura	7.4	Termograma del composito RP-Lir al 5%	32
Figura	7.5	DSC de la resina poliéster	33
Figura	7.6	DSC del composito RP-Lir al 5%	34
Figura	7.7	Resultados de Absorción de Humedad a diferentes concentraciones de aserrín	35
Figura	7.8	Resultados de Contenido de Humedad a diversos compositos RP-Lir.	36
Figura	7.9	Velocidad de ultrasonido y densidad en función del contenido	38

		De aserrín de lirio acuático	
Figura	7.10	Módulo de elasticidad dinámico del método de Ultrasonido	38
Figura	7.11	Comportamiento del modulo de ruptura para los compositos RP-Lir	40
Figura	7.12	Módulo de elasticidad por el método destructivo de los compositos RP-Lir a 5, 10 y 20%	41
Figura	7.13	Esfuerzo al límite de proporcionalidad de los compositos RP-Lir al 5,10 y 20%	42
Figura	7.14	Compresión paralela para composito PS-Lir a 5,10 y 20%.	43

ÍNDICE DE TABLAS

			página
Tabla	4.1	Compositos elaborados con resina poliéster y diversos materiales de refuerzo	10
Tabla	7.1	Regiones de absorción de las vibraciones de la resina poliéster	30
Tabla	7.2	Resultados de la densidad de las diversos compositos.	37

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el lirio acuático o jacinto de agua, *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach, causa problemas serios y amplios como ninguna otra maleza acuática flotante. En México, 40,000 hectáreas son invadidas por esta planta. El lirio acuático es una planta ampliamente estudiada debido a su elevada tasa de crecimiento, se sabe que diez plantas generan 600,000 más, en una temporada de 8 meses hasta cubrir una área de 0.4 ha de agua dulce (Penfound y Earle 1948). Esto es el resultado de su alta intensidad de crecimiento y reproducción así como de su alta habilidad competitiva con relación a otras plantas acuáticas flotantes y por el movimiento de las plantas con el viento y las corrientes de agua. También un factor adicional es la propagación de las flores atractivas que genera (Gutiérrez et al. 1994).

Entre los problemas que causa la elevada tasa de crecimiento se puede mencionar: que crean ambientes propicios para la procreación de mosquitos y vectores de enfermedades; Proporciona condiciones micro-aerofilicas con producción de sustancias de mal olor (Pitelli, 1977); Hospeda al mosco "picudo del arroz" (*Lissorhoptus* sp.) (Coleoptera: Curculunidae) (Alan, et al. 1995); Afecta actividades productivas como la pesca, la navegación y generación de energía eléctrica. Es por esa razón que es necesario encontrar posibilidades de uso potencial para el lirio acuático. Una propuesta ha sido mezclar el aserrín del lirio acuático en alguna sustancia adherente, a tales productos elaborados con estas mezclas se les denomina compositos.

Un composito, es un sistema de materiales que consiste de dos o más fases en una escala macroscópica, cuyas propiedades son superiores a los materiales que lo constituyen.

Una de las fases es discontinua, es la más rígida y la más resistente, a esta fase se le denomina refuerzo. La fase menos rígida es continua y es llamada matriz. El producto de

interacción química u otros efectos de procesamiento es una fase adicional llamada interfase que existe entre el refuerzo y la matriz. Los materiales compuestos tienen ventajas sobre las matrices monolíticas tales como alta resistencia, alta rigidez, larga vida a la fatiga y baja densidad. Además se puede mejorar la resistencia a la corrosión, la resistencia al desgaste, la apariencia, la estabilidad térmica, el aislamiento térmico, la conductividad térmica y el aislamiento acústico. El análisis de estas propiedades demuestran que las características del material compuesto, dependen de las propiedades de cada componente individual, las cantidades de los componentes, el tamaño, la forma y la distribución de la fase discontinua, y el grado de unión entre los componentes, entre otra.

Por otra parte, los polímeros constituyen la matriz más comúnmente empleada en la fabricación de un material compuesto, esto se debe principalmente a su bajo costo, fácil moldeabilidad y a sus cualidades aislantes, su resistencia a la corrosión y a sus buenas propiedades mecánica. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster>).

Por lo anterior, en el presente trabajo se describe el interés para dar un uso potencial al lirio acuático a través de la obtención de compositos realizados a base de aserrín de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y resina poliéster para ser utilizados como materiales de construcción.

CAPITULO II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un uso potencial al lirio acuático a través de la elaboración de compositos con resina poliéster

2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Elaborar el composito a base de aserrín de lirio acuático y resina poliéster

Analizar y caracterizar la estructura y propiedades térmicas de los materiales puros y de los compositos obtenidos

Determinar las propiedades físico-mecánicas (flexión y compresión) por ultrasonido y con una máquina universal de los compositos con diferentes concentraciones de lirio acuático.

CAPITULO III. JUSTIFICACIÓN

El lirio acuático es considerado como una maleza debido a su alta tasa de crecimiento; Por consiguiente afecta a las actividades productivas como la pesca, la navegación y generación de energía eléctrica.

El lirio acuático absorbe metales pesados y desechos orgánicos lo que genera la muerte de la planta y su precipitación en el fondo de los lagos, al sedimentarse se vuelve lodo, disminuyendo la capacidad de almacenamiento de agua y promueve la proliferación de bacterias.

Es por ello que se plantea darle un uso óptimo al lirio acuático al elaborar compositos a base de aserrín de lirio y resina de poliéster, con propiedades superiores a los compositos elaborados con madera, presentándose con ello una solución integral al problema de la maleza acuática y finalmente a disminuir la tala de árboles.

CAPITULO IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Las fibras naturales son una fuente renovable y se encuentran disponibles en abundancia; éstas se han combinado con resinas sintéticas y naturales para obtener composites de bajo costo y con buenas propiedades mecánicas. (Willams & Wool, 2000).

El lirio acuático se ha investigado ampliamente se conoce acerca de su biología y control mediante su uso como alimento para ganado y para la elaboración de compostas (Gopal y Sharma 1981; Gopal 1987 por reseñas); Sin embargo, aún existen desconocimientos sobre esta planta.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

(Pitty & Muñoz, 1993):

Reino: Plantae

Clase: Monocotiledoneae

Orden: Liliales

Familia: Pontederiaceae

Género: *Eichhornia*

Especie: *crassipes* (Mart.) Solms in A. Dc. & DC.

Sinonimo: *Pontederia crassipes* Mart; *Piarupos crassipes* (Mart) Raf/ *Eichhornia speciosa* Kunth.

Nombre Común: "lirio de agua", "reina de agua", "natón".

Origen: Brasil.

Descripción General del Hábitat: Abundante en aguas estancadas o en áreas inundadas.

Rango de Distribución: Desde 0 a 1,000 msnm, en zonas tropicales y subtropicales del mundo. Hierbas perennes de unos 25 cm. de altura, flotante, flores de color morado lila dispuestas en una inflorescencia en espiga (Pitty & Muñoz, 1993).

4.2 ESPECIES DE *Eichhornia*

(http://es.wikipedia.org/wiki/Jacinto_acu%C3%A1tico)

Las especies de *Eichhornia* son las siguientes:

Eichhornia azurea

Eichhornia crassipes

Eichhornia diversifolia

Eichhornia martiana

Eichhornia natans

Eichhornia paniculata

Eichhornia speciosa

4.3 DESARROLLO DEL LIRIO ACUÁTICO

En la mayor parte de sus áreas, el lirio acuático produce grandes cantidades de semilla de larga longevidad, y la persistencia y diseminación por este medio puede ser muy significativa (Sculthorpe, 1971). El crecimiento está grandemente influenciado por los niveles de nutrientes en el agua, especialmente, los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio (Reddy et al. 1989, 1990, 1991). El centro de origen del lirio acuático parece ser la Amazonia, Brasil, con propagación natural a otras áreas del continente sud-americano (Barrett y Forno, 1982). El lirio acuático no tolera agua salobre (Holm et al. 1977) y la salinidad puede limitar o modificar su distribución. Sólo en pocas ocasiones se ha intentado el control mediante herbicidas de infestaciones grandes de lirio acuático que crecen bajo condiciones favorables (Scott et al. no fechado) y aún cuando se han invertido enormes recursos, como en Sudán, este tratamiento ha tenido poco efecto. Sin embargo, este método ha sido exitoso para el control de infestaciones pequeñas, de fácil acceso por tierra o mediante botes (Smith et al. 1984; Jamieson et al. 1977). También, dada la capacidad reproductiva y adaptativa del lirio acuático, el uso de insectos como únicos agentes de biocontrol no es suficiente para lograr disminuir la tasa de reproducción de la maleza (Martínez y et al, 2001; Martínez, 2003). Por ello, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha desarrollado una formulación microherbicida con base en hongos nativos de México, patógenos del lirio (Martínez 1996; Martínez y et al, 1998), el IMTA cuenta con el Registro de Patente ante la American Type Culture Collection (autoridad internacional para el registro de patente de organismos vivos) y está en trámite el registro de patente de dicha formulación ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (Martínez, 2005).

El lirio acuático posee altas concentraciones de plomo y otros desechos tóxicos para el hombre.

El lirio es benéfico en zonas de alta contaminación porque limpia los cuerpos de agua, absorbe metales pesados y desechos orgánicos. La presencia del lirio en un lago es indicador de contaminación, pues el lirio se alimenta de los desechos orgánicos cuando se descomponen, lo cual impide la fotosíntesis y evita que otros organismos como peces puedan sobrevivir, al impedir el paso del sol los lagos no se oxigenan y mantienen una gran cantidad de bacterias

4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA RESINA POLIÉSTER

En otro contexto, el poliéster ($C_{10}H_8O_4$) es una categoría de polímeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. A pesar de que los poliésteres se conocen desde 1830, pero el término poliéster generalmente se refiere a los poliésteres sintéticos (plásticos), provenientes de fracciones pesadas de petróleo. Las resinas poliéster (termoestables) son usadas como matriz para la construcción de equipos, tuberías anticorrosivas y fabricación de pinturas, estas a su vez le confieren mayor resistencia mecánica y suelen ir reforzados con cortante, o también llamado endurecedor o catalizador, sin purificar (<http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster>).

Las resinas poliéster pueden ser formuladas para tener un amplio rango de propiedades físicas: duras y quebradizas, rígidas y resilientes o suaves y flexibles. Su viscosidad (consistencia) a temperatura ambiente puede variar de muy líquida a muy espesa. Los poliésteres pueden emplearse para hacer una amplia variedad de productos, de formas simples o complejas, grandes o pequeñas, y por una gran cantidad de métodos. También pueden ser formuladas para que tengan propiedades muy especiales, útiles en ciertas

aplicaciones: retardación al fuego, resistencia a productos químicos, estabilidad dimensional, etc. (<http://www.exiplast.com/pdf/mat1.pdf>)

4.5 COMPOSITOS

Un material compuesto, es un sistema de materiales que consiste de dos o más fases en una escala macroscópica, cuyas propiedades son superiores a los materiales que lo constituyen.

Se han elaborado paneles de madera y plástico. Estos han sido elaborados a base de polipropileno con fibra o harina de madera. La harina de madera es usada como material de relleno en la industria plástica lo cual aumenta sus propiedades, mejora la resistencia a la tensión y el curvado o doblado (Stark, 1999).

Compositos madera plástico. La modificación de la fibra puede ser utilizada para fabricar compositos madera – plástico con densidades uniformes, durabilidad en medio ambientes adversos y un alto nivel de fuerza. Por lo que es posible fabricar productos estructurales resistentes al deslizamiento utilizando termoplásticos reciclados. (Rowell, 1995).

Compositos de madera reciclados. Los productos compuestos están en todas partes en las casas americanas tales como son: los muebles, gabinetes y pisos, se hacen con el aglutinaje de partículas de madera con adhesivos o resina. Estos artículos son elaborados con desperdicios industriales, como son el aserrín, virutas de cepillo, etc. (Falk, 1994).

Recursos renovables sustentables bio- compositos. Pueden reemplazar eventualmente al petróleo, a base de la aplicación de materiales compuestos de los recursos verdes, estos surgen como una alternativa para sustituir a los compositos de fibra de vidrio las ventajas de los recursos renovables y el polímero son bajo costo, y buenas propiedades (Mohanty, et al 2002).

Específicamente se han elaborado compositos a base de resina poliéster y fibras naturales como son jute, bagazo de azúcar de caña y calabaza, en donde se ha evaluado los costos y algunas propiedades mecánicas. En estos estudios se pudo determinar que aunque los compositos de fibras naturales-poliéster mostraron bajas propiedades mecánicas en comparación a los compositos de fibra de vidrio, éstos pueden ser usados como aglomerados o chapas suaves, manteniendo costos altamente competitivos. (d'Almeida, 2001)

En la tabla 4.1 se muestra algunas propiedades de compositos elaborados a partir de resina poliéster.

Tabla 4.1 Compositos elaborados con resina poliéster y diversos materiales de refuerzo.

Composito	Densidad	Modulo de Elasticidad	Esfuerzo
Madera 12% (Dávalos .et al, 1999)		122-125 kg/cm ²	993 kg/cm ²
Pp+40% harina de madera (Stark, 1999).	1.05	44.2Mpa	3. 03Gpa
Pp+40% fibra de madera dura (Stark, 1999).	1.03	47.9Mpa	3.25Gpa
Poliéster -jute (William et al, 2000)	1.46	10Gpa	0.46Gpa

4.6 USOS DEL LIRIO.

El lirio acuático se ha utilizado para hacer zapatos, bolsas, sombreros, papel y otro tipo de artesanías. En Michoacán, Saltillo y Jalisco, el lirio también se usa como comestible de ganado, algunos intentos de forraje en Puebla han llevado a la contaminación del ganado, por lo tanto de su carne y su leche en el mejor de los casos la muerte de los bovinos. Los usos del lirio acuático son diversos como por ejemplo: se utiliza como plantas de ornato, forraje, materia prima, y madera. Otro de los usos que se le puede dar a lirio es como

combustible debido a la concentración de gas metano que hay en los lagos por su alta contaminación, esto puede ser de utilidad para generar energía eléctrica.

En México, en el Tecnológico de Puebla se desarrollo una investigación para crear papel a partir del lirio acuático, sin embargo el proceso no fue viable por lo que no se recomendó darle uso y quedó únicamente como experimento. (2008)

La madera hecha a base de lirio presenta una solución integral al problema de la maleza acuática, dado que por una parte, si se recolecta el lirio y no se deja morir en el lago, se aumenta la vida del cuerpo de agua y el lirio al no convertirse en basura, este se puede tratar para que no contamine.

(http://www.transicionpuebla.com.mx/activeNews_print.asp?articleID=179) (2008)

CAPITULO V. CONCEPTOS BÁSICOS

5.1 POLÍMEROS

Los polímeros son grandes moléculas compuestas de unidades ligadas para formar largas cadenas. Un polímero simple se compone solamente de un tipo de unidades estructurales se llama homopolímero. A medida que más unidades estructurales (monómeros) están involucrados en la formación de la cadena, el polímero se vuelve más complejo y se habla de un copolímero. (Billmeyer, 1962).

5.2 RESINA

Del latín resina. Se puede considerar como resina las sustancias que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos sólidos siendo en primer lugar líquidas.

5.3 POLIÉSTER

El poliéster ($C_{10}H_8O_4$) es una categoría de polímeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. A pesar de que los poliésteres existen en la naturaleza, estos poliésteres naturales se conocen desde 1830, pero el término poliéster generalmente se refiere a los poliésteres sintéticos (plásticos), provenientes de fracciones pesadas del petróleo.

Las resinas poliéster son una variedad de líquidos de diferentes viscosidades compuestos por la mezcla de un poliéster insaturado producto de la condensación lineal de un diácido (maleico, ftálico, adípico) con un dialcohol (propilenglicol, etilenglicol, neopentilglicol).

Un monómero insaturado (Generalmente estireno)

Estas resinas se conservan en estado líquido durante muchos meses, especialmente si son almacenadas en lugares frescos, propiedad que se mejora con inhibidores, generalmente hidroquinona.

El endurecimiento de la resina por polimerización consiste en la unión de las cadenas lineales obtenidas a través de las moléculas de monómero insaturado, proceso llamado reticulación y se produce en la polimerización. (Bilurbina y Liesa, 1990).

5.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

El empleo de diversas técnicas de caracterización en los materiales poliméricos permite tener un conocimiento de su constitución, estructura y comportamiento funcional. Así la caracterización estructural supone fundamentalmente la determinación de los siguientes parámetros: tamaño y distribución de partícula, morfología superficial, estructura y composición molecular y transiciones térmicas involucradas.

5.4.1. Tamaño y distribución de la partícula

Las propiedades de ciertos productos dependen de la dimensión o de la superficie de las partículas de las que están compuestas. El conocer la distribución de las partículas según su tamaño dentro de una muestra permite comprender muchas propiedades del mismo, incluyendo cantidad de agua, calor y nutrientes que puede retener o absorber, la rapidez con la que fluirán el agua y el calor dentro del mismo, y que tipo de estructura y consistencia se formará.

5.4.2. Espectroscopia Infrarroja (FT-IR)

Cada compuesto químico tiene asociado un espectro infrarrojo característico, donde los máximos de absorción corresponden a las determinadas energías de vibración (tensión, flexión, etc.) de los enlaces químicos presentes. Por lo tanto, esta técnica permite detectar la presencia de las principales características estructurales de las moléculas. También es posible cuantificar el número de enlaces presentes en la muestra analizada, conociendo

previamente la absorbancia asociada al tipo de enlace correspondiente. Este proceso consiste en correlacionar los distintos grupos funcionales con picos o bandas de absorción en espectros de IR.

5.4.3. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Es una técnica de análisis térmico que permite medir las transiciones térmicas de una sustancia en presencia de un material de referencia, con estos datos se pueden obtener temperaturas y entalpías de transición o de reacción. La transición vítrea (T_g) y la fusión (T_m) de un polímero cristalino son transiciones térmicas. El análisis puede ser aplicable al estudio de polímeros, productos farmacéuticos, alimentos, etc. Por lo tanto el estudio de DSC tiene como finalidad conocer el nivel de separación de fases del compuesto, presencia de homopolímeros, o mezcla de ellos.

5.4.4. Análisis Termogravimétrico (TGA)

Es una técnica que mide la variación de masa en un compuesto en función de la temperatura o tiempo en una atmósfera controlada. Las mediciones se utilizan, principalmente, para determinar la composición de materiales y predecir su estabilidad térmica a temperaturas de hasta 1000°C . La técnica puede caracterizar materiales que experimentan pérdida o ganancia de peso debido a su descomposición, oxidación o deshidratación.

5.5 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

Es importante proporcionar los datos que describan, por lo menos de una manera estimativa, el comportamiento físico-mecánico de los materiales. Las propiedades físicas

y mecánicas permiten conocer el comportamiento de los materiales a las condiciones ambientales y de carga a las que pudieran estar sometidas. (Herrera, 1992).

Las propiedades físicas son aquellas que se pueden determinar sin alterar su composición química, y que no requieren la aplicación de una fuerza externa al material.

El peso específico, la estabilidad dimensional, la higroscopicidad, las características eléctricas, térmicas y acústicas, son las propiedades físicas.

Las propiedades mecánicas requieren la aplicación de una fuerza externa para poder determinarlas. Estos resultados nos dan a conocer el nivel de resistencia y elasticidad de dicho material.

La resistencia, la elasticidad, compresión paralela a la fibra y la dureza, son las propiedades mecánicas.

5.5.1. Ultrasonido

Es un método de carácter no destructivo. La idea es determinar las constantes elásticas de la madera presenta condiciones experimentales más convenientes en comparación con las de los métodos estandarizados y utilizados tradicionalmente. Los métodos no destructivos son fáciles de implementar y los tiempos y duración de la sollicitación son cortos. En consecuencia los niveles de esfuerzo y de deformación en el material son mínimos en comparación con la magnitud de las sollicitaciones de los métodos tradicionales. De esta forma esta técnica permite utilizar de forma repetida una misma muestra del material de estudio

CAPÍTULO VI. MATERIALES Y MÉTODOS.

6.1 MATERIALES.

Los materiales utilizados se enlistan enseguida.

Aserrín de lirio acuático	Moldes de madera y aluminio
Licuada	Termómetro
Molino Willey	Estufa
Resina poliéster comercial FIVIPOL	Moldes de 30 x 2 x 2 cm.
Catalizador	Etiquetas
Balanza analítica	Hojas de papel
Espátula	Acetona
Vasos de plástico	Bolsas de plástico
Vasos desechables	Silicón
Vasos de precipitado	Calculadora
Papel aluminio	Cajas de petri
Porta objetos	Probeta

6.2 SITIO EXPERIMENTAL Y MATERIAL BIOLÓGICO

El presente trabajo de tesis se llevó a cabo en el Laboratorio de Conservación y Preservación de la Madera (LA COPREMA), perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera y en el Laboratorio de Investigación del Posgrado de Ing. Química.

El material biológico Lirio acuático (Figura 6.1) se obtuvo del lago de Pátzcuaro en la zona del embarcadero. La recolección de dicho material se realizó en el mes de mayo.

6.2.1. Características de la Región - PATZCUARO

Altura sobre el nivel del mar: 2174m

Habitantes total del Mpio: 79 868 (INEGI 2005)

Posición geográfica: Entre los 19°32' latitud norte y 102° 37' longitud Oeste del meridiano De Greenwich.

Se ubica: Al Sur-Oeste. Del lago que lleva su nombre

Temperatura media anual: 16.4° C. En mayo llega a poco más de 20° y en enero baja a menos de 10°

Precipitación anual fluvial: 1.040mm en promedio



Figura 6.1 Plantas de Lirio Acuático

6.3 METODOLOGÍA

6.3.1. Preparación de Compositos

La recolección del material biológico se realizó a través del corte de las plantas completas de lirio Figura 6.2, los cuales se depositaron en bolsa de plástico de 70 x 30 cm. Después se transportó al Laboratorio de Conservación y Preservación de la Madera (LACOPREMA), ubicado en Morelia Mich. Posteriormente se puso a secar al aire libre durante 30 días. Se realizó la separación de raíz, tallo y hojas. Para molerlo en un molino Willey con malla # 40, para obtener el aserrín (Accesorios de molienda, figura 6.3). El aserrín se llevó a secado a 60 °C, durante 24 horas previo a la preparación de composito (Figura 6.4).

Para la elaboración de compositos se utilizó resina de poliéster comercial y catalizador correspondiente. Los compositos fueron preparados utilizando tres diferentes concentraciones de aserrín de lirio las cuales fueron 5%, 10%, 20%. Se realizaron 10 réplicas para cada concentración. Se realizaron probetas de resina poliéster solo para el análisis comparativo.



Figura 6.2 Lirio acuático



Figura 6. 3 Accesorios para la molienda

Para la elaboración de los compositos las mezclas se realizaron en vasos de precipitado de 1000 ml, el peso del aserrín se realizó en una balanza analítica. (Figura 6.5). Para desmoldar las probetas se utilizó silicón (high vacuum grease). La mezcla se agitó constantemente durante 3 min. Posteriormente se vertió en los moldes correspondientes y se llevaron a secado a $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$, los compositos de 10 y 20% de aserrín requirieron mayor tiempo de secado (20 días). Posteriormente los compositos se desmoldaron y etiquetaron para su caracterización. (Figuras 6.6 -6.11)



Figura 6.4 Aserrín de lirio



Figura 6.5 Elaboración de compositos



Figura 6.6 Resina poliéster



Figura 6.7 Composito RP-Lir 5% y 10%

Compositos elaborados a diferentes concentraciones.



Figura 6.8 Resina poliéster



Figura 6.9 Composito RP-Lir 5%



Figura 6.10 Composito RP-Lir 10%



Figura 6.11 Composito RP-Lir 20%

6.3.2. Caracterización estructural térmica

a) Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR)

Las caracterizaciones por FT-IR de los materiales puros y los composites se obtuvieron a partir del equipo Perkin Elmer Lambda 35 con lámpara de Tugsteno y el detector a base de PbSe en el intervalo infrarrojo medio de 4000-400 cm^{-1} .

b) Análisis termogravimétrico (TGA)

Los análisis se realizaron en un equipo TGA/SDTA Mettler Toledo, 851 con crisoles de aluminio de tapa perforada con una cantidad de muestra de 6 μgr aproximadamente. El método a realizar se llevó a cabo en una atmósfera inerte desde una temperatura de 0°C hasta 450°C con una rampa de calentamiento de 10°C/min.

c) Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El comportamiento térmico se analizó en un equipo DSC 822 Mettler Toledo. Se utilizaron crisoles de aluminio (40 μL) y se analizaron en una atmósfera de argón (50cc /min). Se realizó un barrido de 0 °C a 25 °C a 10 °C/min. Posteriormente se enfrió de 25 °C a -10 °C a 10°C/min. Se realizó un barrido final de -10 °C a 450 °C.

6.3.3. Caracterización Físico-Mecánica

a) Absorción de Humedad

Se determinó el porcentaje de Absorción de Humedad de acuerdo a la norma ASTM 2000 (D1037).

Para realizar los cálculos de Absorción de Humedad de acuerdo a la siguiente formula:

$$W = (M_1 - M_2) / M_2 * 100$$

$$W = (M_{\text{verde}} - M_{\text{seco}}) / M_{\text{seco}} * 100$$

Donde:

W = Peso

M₁ = Peso verde

M₂ = peso seco



Figura 6.12 Compositos a diferentes concentraciones para la determinación de Absorción de Humedad.

b) Contenido de Humedad (C.H).

Las pruebas de C. H. se realizaron con base a la norma ASTM 2000 (D143-83).

Para realizar el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$C.H = (P_h - P_0) / P_0 * 100$$

Donde:

C. H = Contenido de Humedad

P_h = Peso Húmedo de la probeta en gr.

P₀ = Peso anhidro de la probeta en gr.

c) Densidad

Las pruebas de densidad se realizaron de acuerdo a la norma ASTM (2000)

Densidad (D143-44)

Para realizar los cálculos de Densidad se utilizó la siguiente formula:

$$D = m/V$$

Donde:

D = densidad

m = masa gr.

V = Volumen cm^3

d) Prueba no destructiva de Ultrasonido

Para las pruebas de ultrasonido se utilizó la tecnología Sylvatestduo[®] (Conceptsboisstructure, 2004), del laboratorio de postgrado, de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Este método es de carácter no destructivo.

El ensayo por ultrasonido consistió en suministrar un impulso ultrasónico en transmisión directa y en la dirección longitudinal de la probeta. El impulso fue aplicado en un punto de contacto en el centro geométrico de una de las secciones transversales de la probeta.

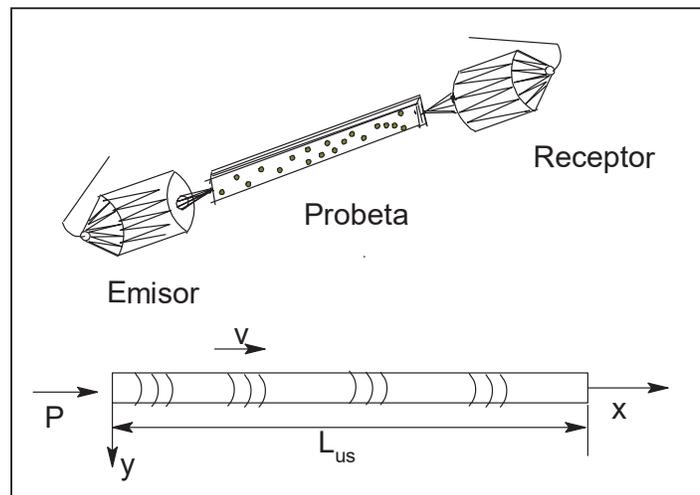


Figura 6.13 Ensayo con ultrasonido y diagrama de la probeta.

La onda resultante se registró en un segundo punto de contacto localizado en el centro geométrico de la sección transversal opuesta. El aparato registró el tiempo de transmisión del pulso ultrasónico entre los puntos de contacto, tal y como se ilustra en la figura 6.13.

El cálculo del módulo elástico se realizó a través de la siguiente fórmula:

Módulo de elasticidad:

$$E_{us} = V_{us}^2 \rho_H$$

Donde:

E_{us} = módulo de elasticidad en Pa

V_{us} = velocidad de transmisión del ultrasonido (m/s)

ρ_H = Densidad del compuesto al momento del ensayo (kg/m^3)

e) Pruebas mecánicas destructivas

Las pruebas mecánicas destructivas se realizaron en una máquina universal (Shimadzu Modelo RH- 10, No.70133), del laboratorio de pruebas mecánicas, de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.



Figura 6.14 Maquina universal.

Resistencia a Esfuerzos de Flexión Estática

Las pruebas de esfuerzos de flexión estática se llevaron a cabo de acuerdo a las normas ASTM (2000). Para determinación del esfuerzo a la flexión (D143-94). Se realizaron en un rango de carga de 0- 500 kg con una aplicación de carga de 6 mm y una distancia del claro entre apoyos de 25 cm.



Figura 6.15 Pruebas de flexión de probetas de resina poliéster.



Figura 6.16 Prueba de flexión del compuesto RP-Lir

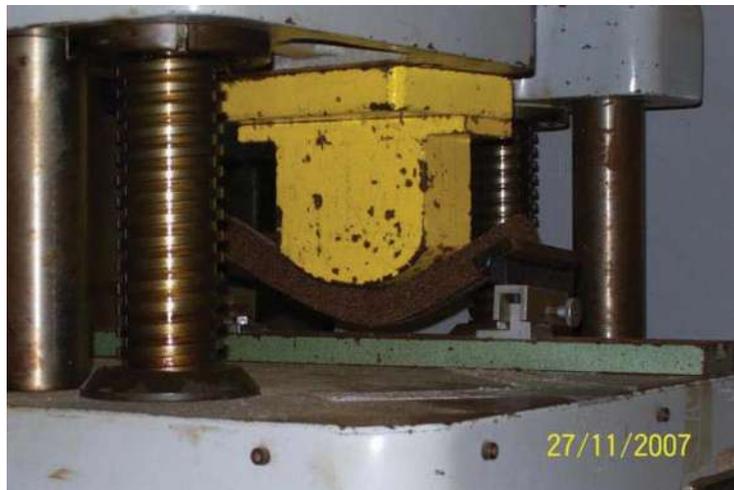


Figura 6.17 Prueba de flexión del Composito RP-Lir 20%

Las probetas para las pruebas antes mencionadas tuvieron las siguientes dimensiones:

De acuerdo a las normas DIN 52 185. Largo: 30cm, Ancho: 2cm, Grueso: 2cm.

Las dimensiones de los compositos, variaron de ± 1 cm.

Los cálculos que se realizaron en las pruebas de flexión estática fueron:

1.- Módulo de ruptura

Se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{MOR} = (3PL) / (2ba^2) \text{ en kg/cm}^2$$

2.- Módulo de elasticidad

Se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{MOE} = (P'L^3) / (4ba^3d') \text{ en kg/cm}^2$$

3.- Esfuerzo al límite de proporcionalidad;

Se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{ELP} = (3P'L) / (2ba^2) \text{ en kg/cm}^2$$

Donde:

P = carga máxima en kg;

L = claro entre apoyos en cm;

b = ancho de la probeta en cm;

a = grueso de la probeta en cm;

d' = deformación al límite proporcional en cm;

P' = carga al límite proporcional en Kg.

e) Esfuerzo de Compresión Paralela

Se llevó a cabo de acuerdo a la norma ASTM (D143-94). En esta prueba el rango de carga es de 0-5000 kg. Dado que en este sentido la resistencia se eleva de tres a cuatro veces.



Figura 6.18 Prueba de compresión paralela del compuesto RP-Lir

Las probetas utilizadas tuvieron las siguientes dimensiones:

Largo: 6cm, Ancho: 2cm, Grueso: 2cm

Los cálculos que se realizaron en compresión fueron:

1.- La compresión paralela de la forma siguiente:

Compresión paralela = $(P) / (a*b)$ en kg/cm^2

Donde:

P = carga máxima en kg;

a = ancho de la probeta en cm;

b = grueso de la probeta en cm;

CAPITULO VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó el peso verde del lirio acuático el cual fue de 87.8 kg.

Posteriormente se midió el peso seco del lirio acuático lo cual fue de 3.900 kg.

7.1 Caracterización estructural y térmica

a) Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR)

La figura 7.1 muestra los espectros de FT-IR de la resina poliéster y el compuesto con una concentración al 5%. El espectro de la resina poliéster muestra las bandas características al grupo (éter alifático) $-\text{COO}-$ a 1123 cm^{-1} , el grupo (fenilo) a 1449 cm^{-1} y la vibración simétrica del grupo (carbonilo) $\text{C}=\text{O}$ a 1725 cm^{-1} , lo cual advierte la presencia de la resina poliéster saturada; En base a lo anterior en la figura 7.2 se muestra la fórmula química estructural correspondiente a la resina poliéster.

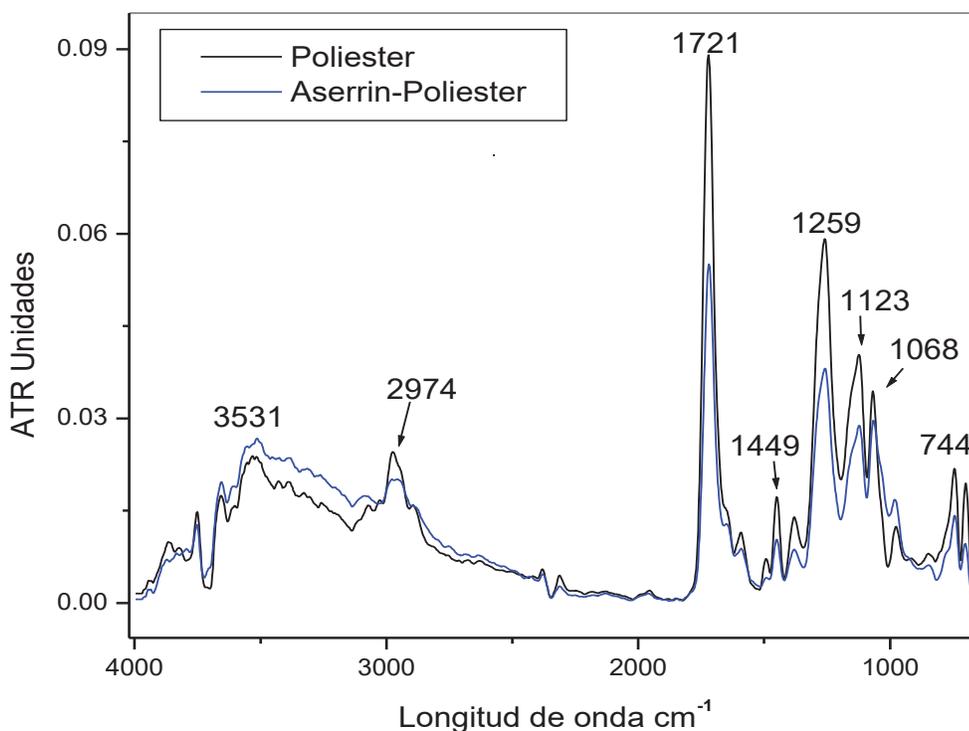


Figura 7.1 Espectro de FTIR de la resina poliéster y del compuesto RP-Lir al 5%

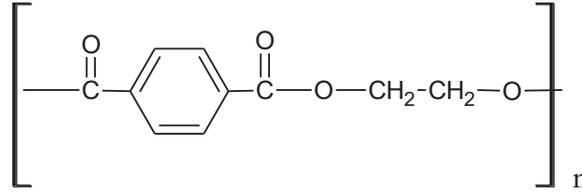


Figura 7.2 Fórmula química estructural de la Resina Poliéster

El espectro del composito con 5% de aserrín presenta señales muy semejantes en frecuencias pero con menor intensidad que la resina de poliéster, lo anterior muestra una evidencia de la alta interacción del lirio y la resina de poliéster por lo que el lirio no afectó la estructura química del poliéster.

Para fines de elucidar la estructura química y comparar con sus componentes puros solamente se analizaron los compositos con 5% de aserrín, teniendo con ello mayor resolución en las señales de FTIR.

La Tabla 7.1 muestra La región de absorción de las vibraciones características del poliéster así como las absorciones experimentales, donde ν = tensión, δ = deformación, a = asimétrica, s = simétrica.

Tabla 7.1 Regiones de absorción de las vibraciones de la resina poliéster

Grupo	Temblor	Posición aproximada	Frecuencias exp. cm^{-1}
C=O	ν_s	1725	1725
CH ₂	ν_a	3000 ± 50	2974
CH ₃	ν_s	1890- 2840	2886
CH ₂	δ_s	1480-1440	1449
	ν_s	1160 ± 45	1123
	ν_s	1280 -1260	1259
	ν_s	1450	1449
	ν_s Fuera del plano	730 ±	744

b) Análisis termogravimétrico (TGA)

En la Figura 7.3 se muestran los resultados del análisis de TGA y SDTA para la resina de poliéster y para el compuesto con una concentración de 5% de lirio. Para la resina de poliéster se detectaron dos pérdidas de peso a 72 °C y a 384 °C asociadas a humedad y a la depolimerización del poliéster, para los composites (Figura 7.4) se observaron tres pérdidas de peso, a 72 °C, la segunda a 152 °C correspondiente a la degradación del lirio y finalmente a 384 °C correspondiente a la depolimerización total del material, como puede observarse la temperatura fue ligeramente menor que el poliéster solo, por lo tanto el material necesita menor energía para degradarse debido al efecto del lirio acuático sobre el arreglo estructural en las cadenas del polímero.

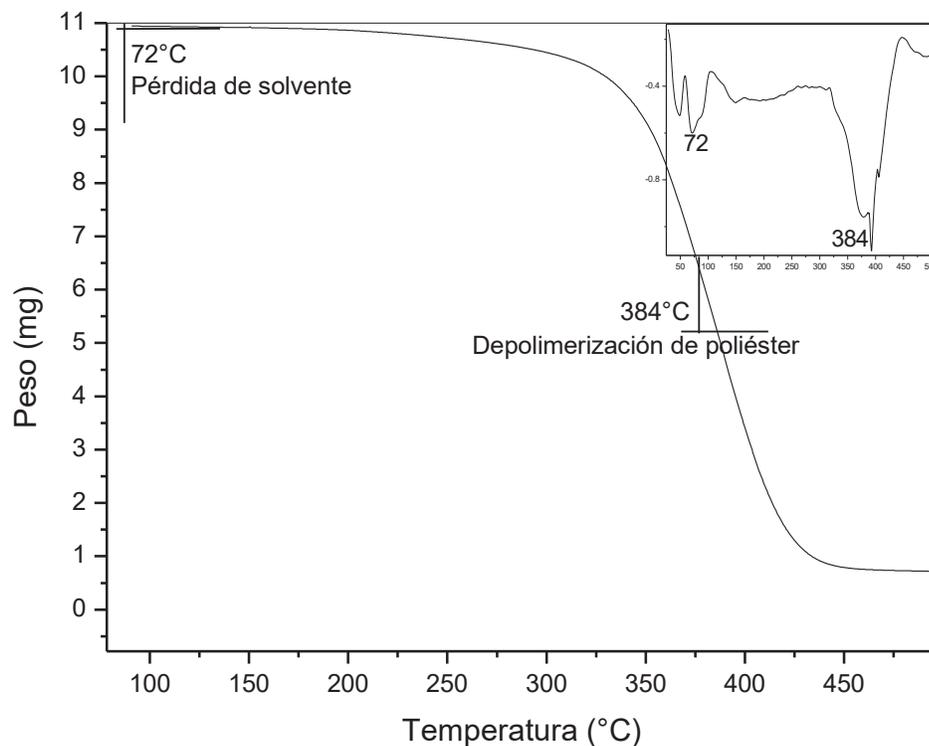


Figura 7.3 Termograma de resina poliéster

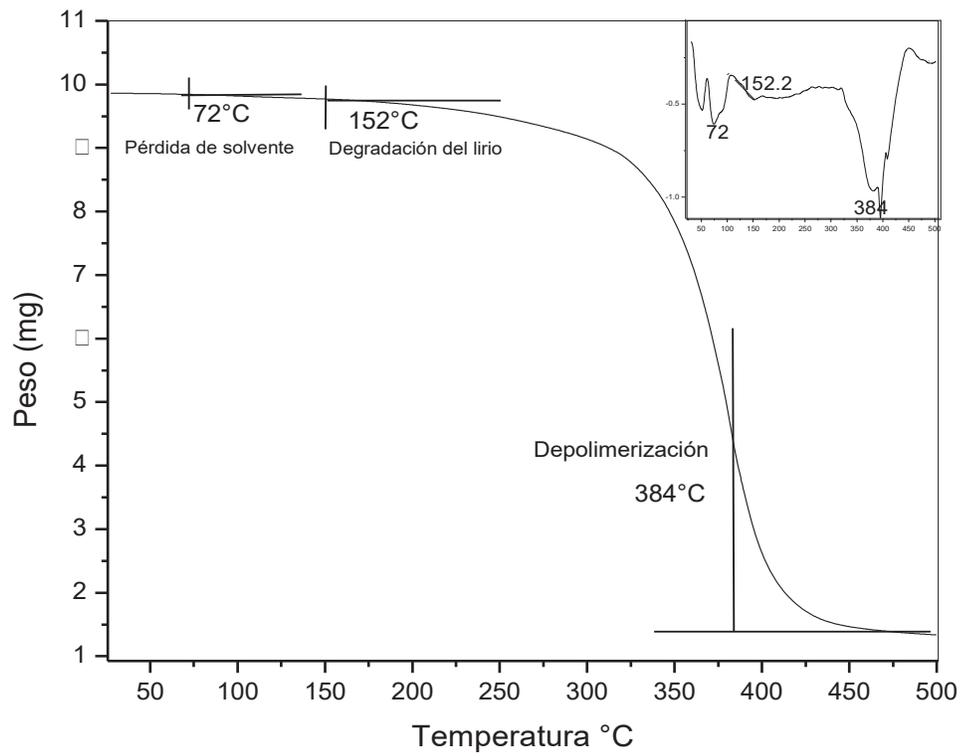


Figura 7.4 Termograma del compuesto RP-Lir al 5%

c) Calorimetría diferencial de barrido (DSC).

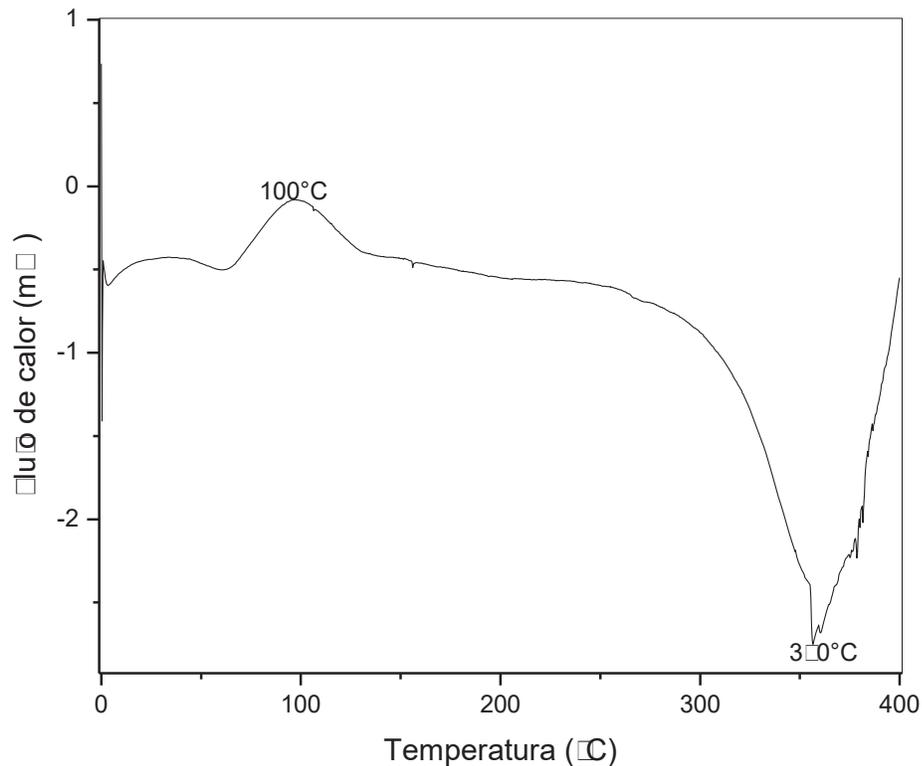


Figura 7.5 DSC de la resina poliéster

Los análisis por DSC de la resina poliéster (Figura 7.5) mostraron un exoterma asociado con el entrecruzamiento de la reacción de curado, a 100°C y el punto de fusión a 360°C lo cual es importante destacar que un material entrecruzado presenta cambios significativos en las propiedades mecánicas de la muestra.

En la Figura 7.6 se muestran los resultados del análisis de calorimetría diferencial del compuesto de resina poliéster con 5% de aserrín de lirio acuático. Se puede observar que la temperatura del exoterma no varió con respecto al poliéster solo (100°C) y las demás transiciones fueron muy semejantes, lo cual confirma los resultados por FT-IR en donde se muestra la alta compatibilidad del lirio con la resina poliéster.

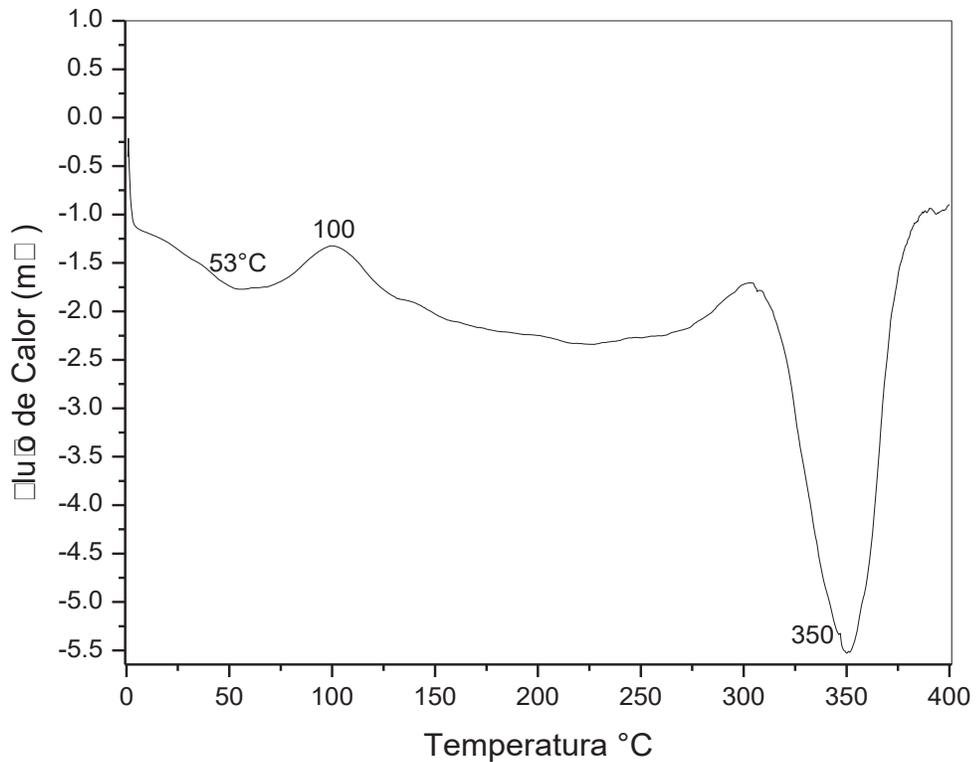


Figura 7.6 DSC del composito RP-Lir al 5%

7.2. Caracterización Físico-Mecánica

a) Absorción de Humedad

En la Figura 7.7 se muestran los resultados de Absorción de Humedad de los compositos, en diferentes concentraciones. Se observa claramente que el composito con 20% de aserrín de lirio presentó la mayor absorción de humedad (76 %), esto debido a la alta higroscopicidad del lirio lo que lo hace un material con mayor problema para su procesado. Los resultados muestran evidencias de una substancial interface en los compositos que directamente impactan en el desarrollo de sus propiedades.

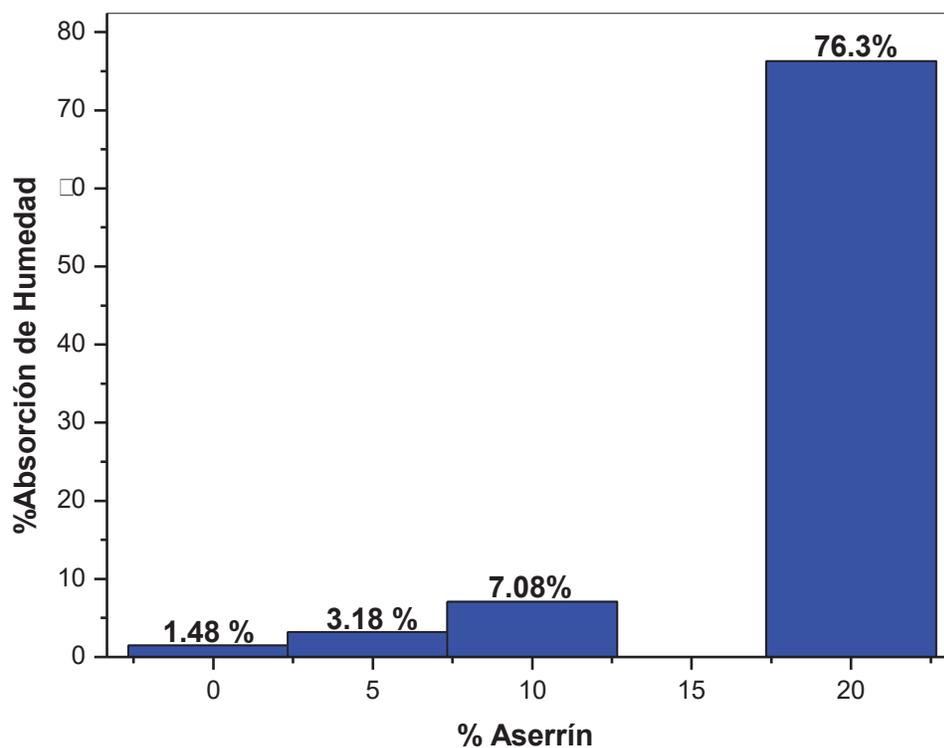


Figura 7.7 Resultados de Absorción de Humedad a diferentes concentraciones de aserrín.

b) Contenido de Humedad.

En la figura 7.8 se muestran los resultados del contenido de humedad de los diversos compositos RP-Lir. En sus diferentes concentraciones. En el composito con 20% contiene mayor cantidad de humedad debido a la cantidad de aserrín de lirio. Las pruebas mecánicas se realizaron con los porcentajes de humedad en las probetas que se muestran enseguida.

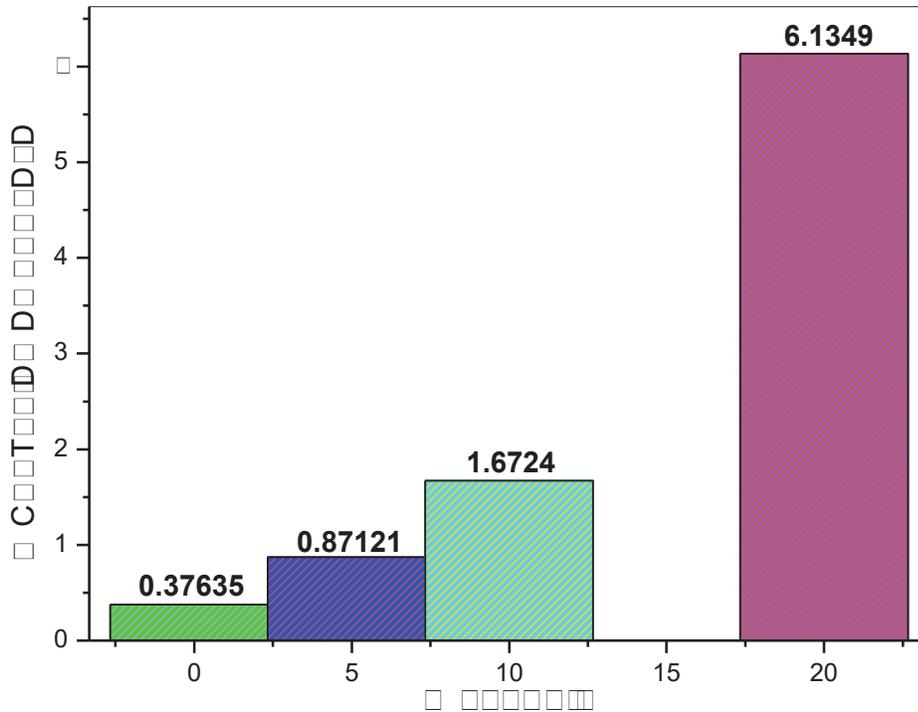


Figura 7.8 resultados del contenido de humedad de los diversos compositos RP-Lir.

c) Densidad

En la tabla 7.2 se muestran los resultados de densidad de los diversos compositos RP-Lir en sus diferentes concentraciones. Como se esperaba el composito con 20% de aserrín de lirio presentó la menor densidad, debido al volumen que aporta el lirio. Los materiales con menor densidad pueden ser apropiados para ser empleados como paneles, aislantes acústicos entre otras aplicaciones.

Con respecto a compositos hechos con 40% de fibra de madera dura y resina poliéster (Stark, 1999), los compositos obtenidos presentan ligeramente mayor densidad (1.03 y 1.53 respectivamente) lo cual es relativo a la proporción de aserrín de lirio (20%).

Tabla 7.2 Resultados de la densidad de los diversos compositos.

Composito RP-Lir	% Aserrín	Aserrín (g)	Densidad g/cm ³
1	0	0	1.5968
2	5	0.4423	1.5496
3	10	1.1264	1.5400
4	20	2.1569	1.5303

d) Pruebas no destructiva de Ultrasonido

La prueba dinámica de ultrasonido es un método de carácter no destructivo. En la Figura 7.9 se muestra la gráfica que representa los resultados de la densidad y la velocidad de transmisión del ultrasonido en función del tiempo, en ella se puede observar la relación inversa que existe entre la densidad y la velocidad del ultrasonido a través del composito. De acuerdo a la relación que expresa la velocidad de propagación de una onda de ultrasonido $v = (K/\zeta)^{1/2}$ en donde K = modulo de compresibilidad, ζ = densidad del medio (g/cm³), v = velocidad de propagación; Se puede determinar que la resina poliéster presenta mayor densidad por lo tanto una menor velocidad de propagación del ultrasonido, se sabe que los materiales poliméricos generalmente atenúan las ondas de ultrasonido. Por consiguiente en los compositos con menor cantidad de RP permiten la propagación con mayor velocidad de ultrasonido.

Es importante enfatizar que la velocidad del ultrasonido incrementa cuando el contenido de humedad incrementa, esto es, en los compositos con 20% de aserrín de lirio la velocidad de ultrasonido fue mayor dado que en medios húmedos la velocidad del ultrasonido tiende a incrementarse. (Cortés R. 2002)

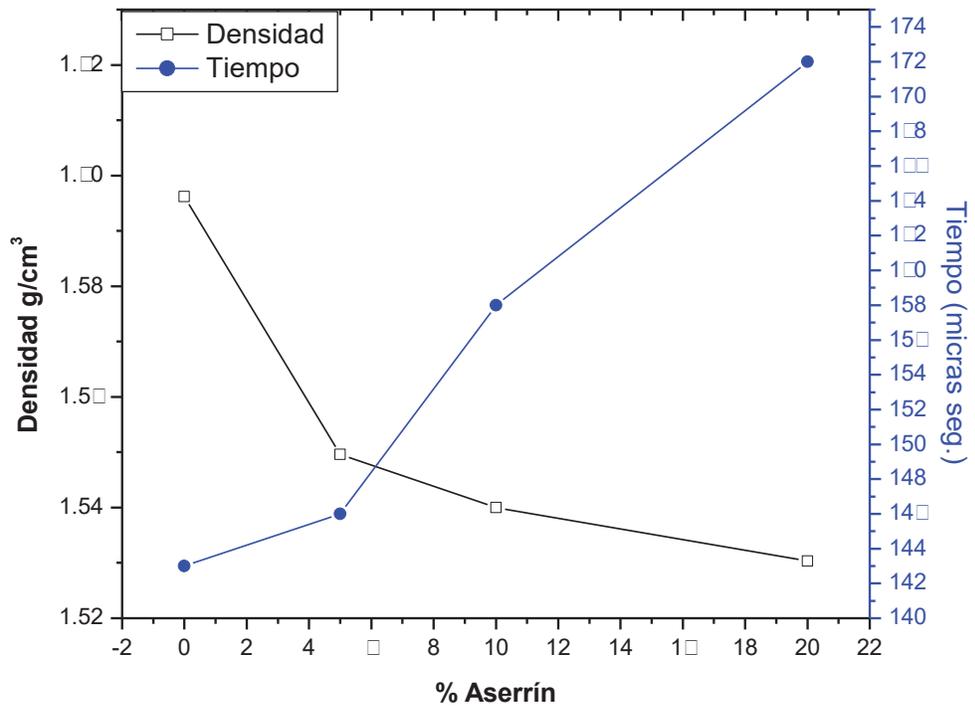


Figura 7.9 Velocidad de ultrasonido y densidad en función del contenido de aserrín de lirio acuático

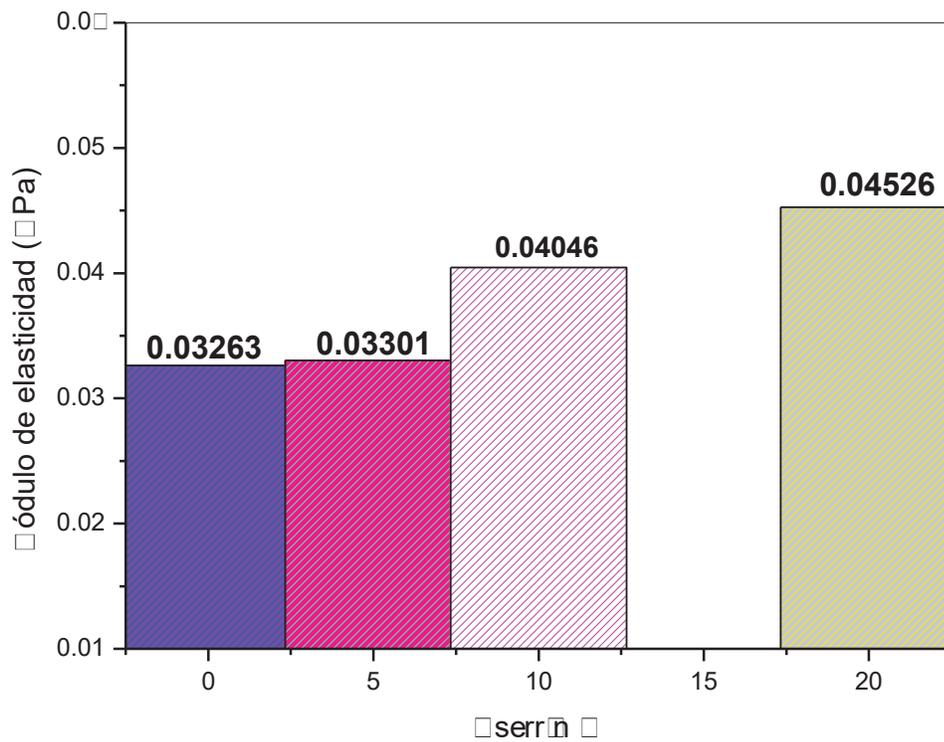


Figura 7.10 Módulo de elasticidad dinámico del método de Ultrasonido

Se determinó el módulo de elasticidad dinámico (Figura 7.10) por el análisis de ultrasonido a través de la transmisión y velocidad de onda. Los resultados muestran que a mayor cantidad de aserrín de lirio en el composito el módulo de elasticidad va incrementando su valor, lo anterior se debe a que en esta prueba el modulo elástico se determina por la propagación de las ondas de ultrasonido a través del material a una velocidad que depende de su densidad y de la rigidez del material. Lo contrario a las pruebas de carácter destructivo en donde la determinación del modulo de elasticidad se realiza con la aplicación de una carga en el centro de las probetas y existen dos claros entre apoyos. Por lo que no es conveniente hacer un análisis comparativo entre los dos métodos.

Es importante señalar que estas mediciones se realizaron en compositos con cada una de las concentraciones con una sola réplica.

e) Pruebas mecánicas destructivas

Resistencia a Esfuerzos de Flexión Estática

1.- Módulo de ruptura (MOR)

En la Figura 7.11 se presentan los resultados del módulo de ruptura de los compositos. Las probetas con la mayor cantidad de lirio (20%) mostraron menor valor de módulo de ruptura (75.77 Kg/cm^2). Lo anterior sugiere que el lirio acuático genera un material más frágil debido a la porosidad y a la compatibilidad física generada entre los materiales lo cual se reproduce en una menor resistencia a la ruptura.

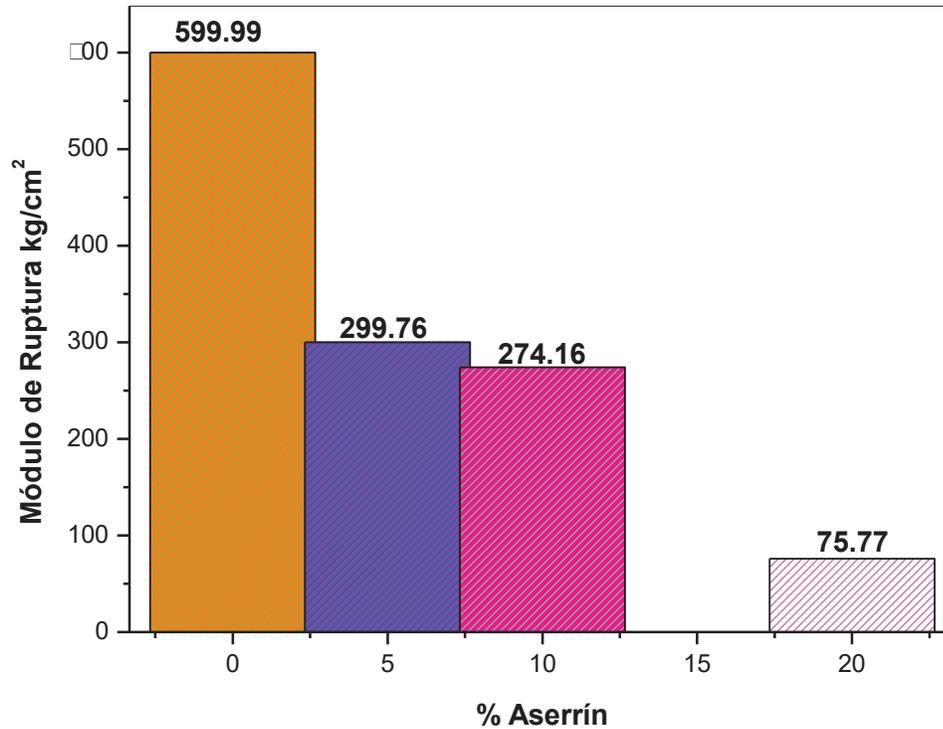


Figura 7.11 Comportamiento del módulo de ruptura para los compositos RP-Lir

2.- Módulo de Elasticidad (MOE)

En la figura 7.12 se muestran los resultados del módulo de elasticidad de los compositos con 5, 10 y 20 % de resina, la medición se realizó por el método destructivo y con 10 réplicas para cada concentración.

De acuerdo a la fórmula $E_{us} = V_{us}^2 \rho_H$ se puede observar que el módulo de elasticidad, se incrementa de manera proporcional al incremento en la densidad.

Dado a lo anterior se observa que un decremento de la densidad, generó un decremento en el módulo elástico. Esta condición es propia de los materiales cuyas separaciones interfaciales son manifestadas (lirio - poliéster). Esto es

debido a que una interrupción de la fase sólida es posible, dado que se manifiestan zonas puntuales donde los espacios vacíos (aire), son posibles, en donde se dispersan los esfuerzos externos, obteniéndose materiales con menor resistencia a la elasticidad.

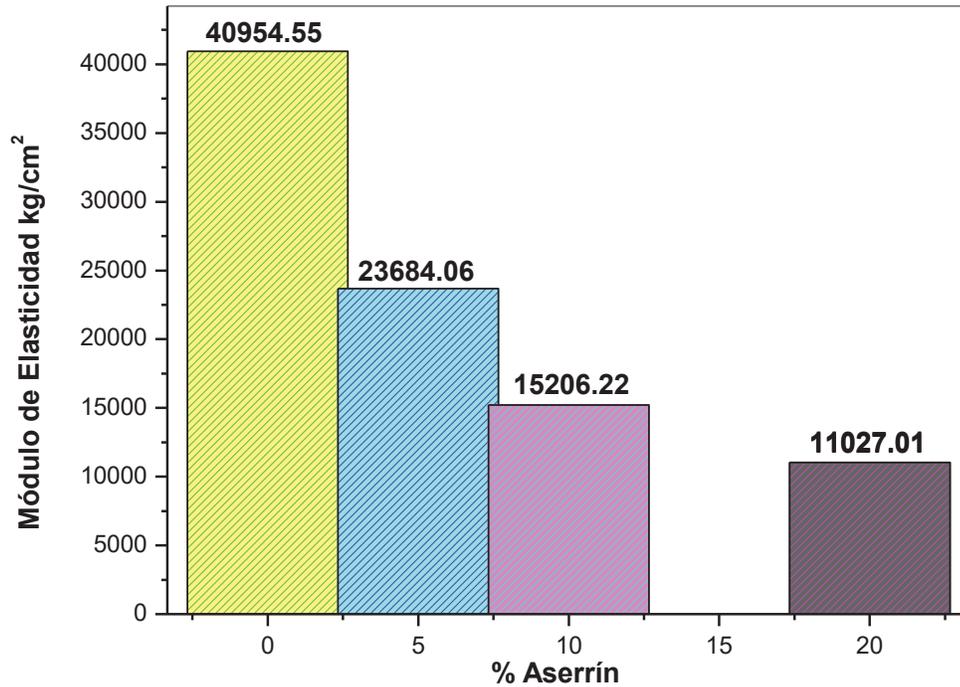


Figura 7.12 Módulo de elasticidad por el método destructivo de los composites RP-Lir a 5, 10 y 20%

3.- Esfuerzo al límite de proporcionalidad (ELP)

Se determinó el esfuerzo al límite de proporcionalidad de los composites en sus diferentes concentraciones (Figura 7.13), los resultados evidencian el mismo comportamiento que las pruebas de flexión antes mencionadas. Las probetas con aserrín de lirio presentaron un decremento con respecto al poliéster solo. La RP presenta una alta cohesividad intermolecular, la cual se ve interferida por la presencia de lirio. El aserrín de lirio por su parte es un material de muy baja

cohesividad intermolecular que al incorporarse con la RP tiende a disminuir el esfuerzo al límite de proporcionalidad.

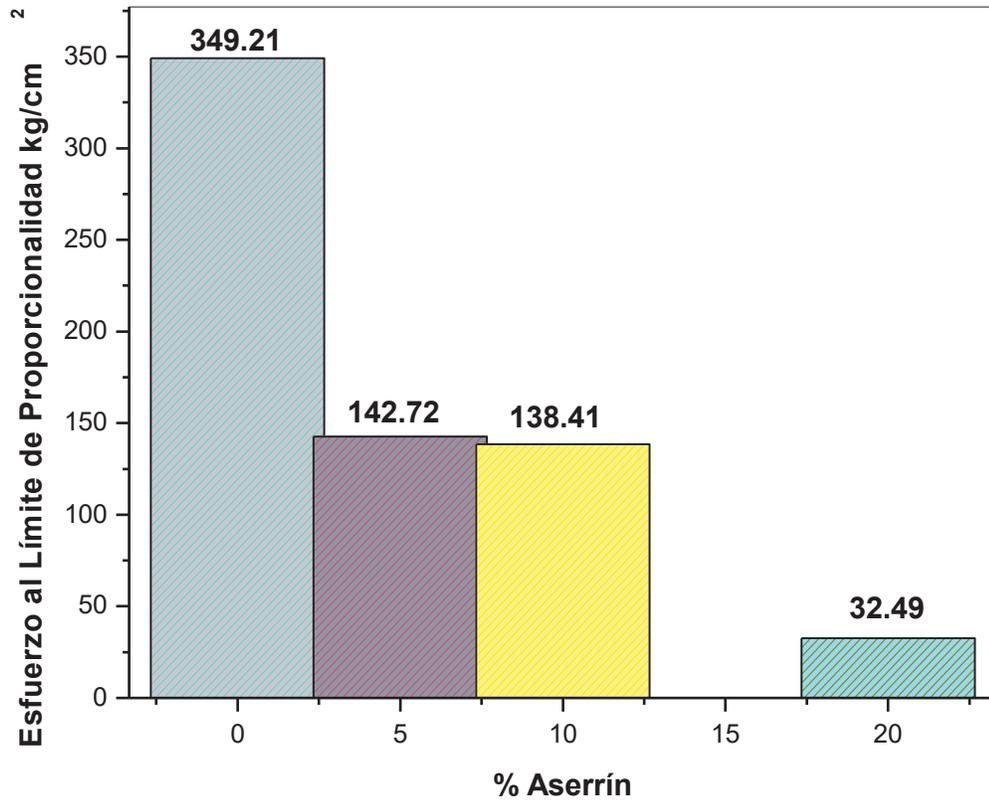


Figura 7.13 Esfuerzo al límite de proporcionalidad de los compositos RP-Lir al 5,10 y 20%

h) Resistencia a esfuerzos de Compresión Paralela

En la Figura 7.14 se presentan los valores correspondientes a los esfuerzos de compresión paralela realizados a los compositos a diferentes concentraciones. A diferencia de las pruebas de flexión anteriores los compositos no muestran una tendencia decreciente. Se puede observar que las probetas con 10% de aserrín mostraron los valores más cercanos a los mostrados por la resina poliéster (716 Kg/cm²), es importante destacar que los resultados obtenidos son mayores a los datos reportados con algunos compositos hechos a base de madera y resina

epóxica en los cuales se reportan valores de 238-496 Kg/cm², mientras que para madera sola los valores están entre 325-700 Kg/cm², (Alvarado, 2005). Por lo anterior se determinó que los mejores resultados se obtuvieron con la concentración al 10% de aserrín de lirio, debido a esto los compositos pueden soportar los esfuerzos comunes y corrientes que en una columna de madera se puede presentar.

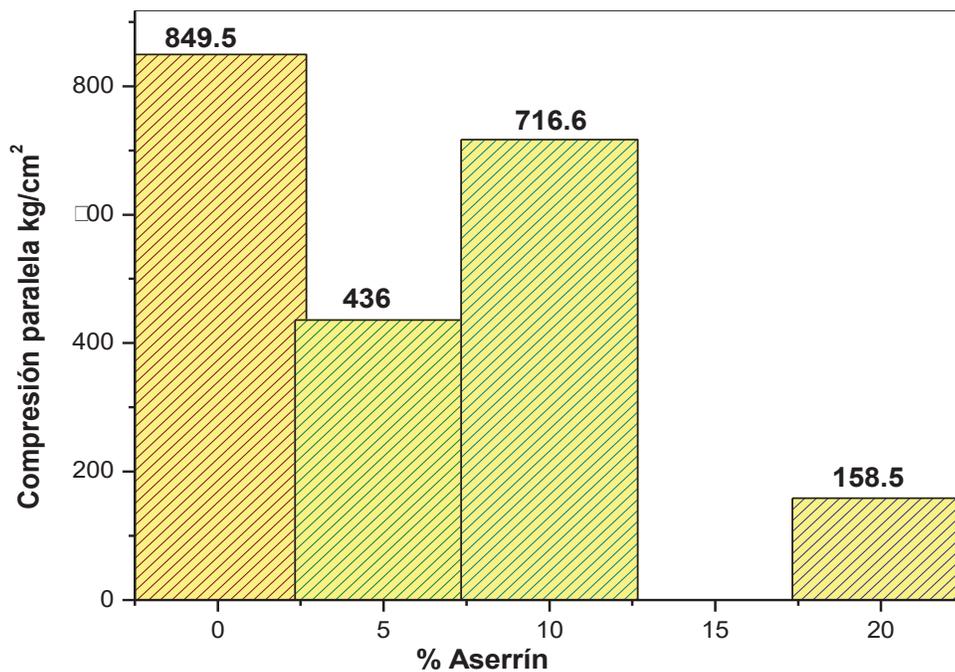


Figura 7.14 Compresión paralela para compositos RP-Lir a 5,10 y 20%

CAPITULO VIII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudió la elaboración de compositos a base de aserrín de lirio y resina poliéster para su posible aplicación como materiales para construcción. Con base a la elaboración y caracterización por espectroscopia infrarrojo (FTIR) y análisis térmico (DSC) se puede concluir lo siguiente:

Elaboración de compositos.

El rendimiento del lirio acuático obtenido en el lago de Pátzcuaro Morelia Mich; fue ligeramente menor que el que se reporta para otros países. Sin embargo es suficiente para el desarrollo de materiales que permitan su potencial aplicación.

Los compositos se realizaron a diferentes concentraciones como son 5, 10, y 20%.

Para esto la concentración que mostró mejor características para su procesado y propiedades fueron los compositos con el 10% de aserrín de lirio.

Caracterización química estructural y térmica

El análisis por Espectroscopia Infrarroja (FTIR) muestra en los espectros y las bandas de la resina poliéster y el composito, que ambos materiales, tienen alta afinidad y compatibilidad física, por lo tanto el lirio no afectó a la estructura química del poliéster.

Para el análisis termogravimétrico (TGA) las pérdidas de peso de la resina poliéster y el composito mostraron que los compositos se pueden degradar a menor temperatura que la resina poliéster, sin embargo esta variación fue ligera y es atribuida a la composición química del lirio.

Por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) se pudo confirmar la alta compatibilidad entre el lirio acuático y la resina poliéster mostrada por FTIR,

aunque es una compatibilidad física las transiciones mostradas por los compositos fueron muy semejantes a los materiales individuales.

Caracterización físico mecánica.

a) Para el contenido de humedad de las diferentes concentraciones 5, 10, y 20%. El composito con el 20% de aserrín mostró el mayor porcentaje en el contenido de humedad esto debido a la mayor concentración de lirio y por lo tanto lo hacen un material difícilmente manejable y menos resistente al medio ambiente.

b) En cuanto a la densidad como se espera para estos materiales la densidad decreció por efecto del volumen de lirio acuático. Lo cual permite obtener materiales ligeros y con posibilidad de adaptarse en interiores.

c) La prueba del ultrasonido evidencia la relación entre la velocidad de las ondas de ultrasonido y la densidad del medio. Los compositos con mayor densidad permiten una menor velocidad de ultrasonido. Así también el incremento del contenido de humedad en los compositos, permitió mayor velocidad de ultrasonido.

d) Los resultados en los módulos de ruptura indican que a mayor concentración de aserrín de lirio se presentó menor resistencia a la ruptura.

e) Para los resultados del módulo de elasticidad, el decremento de la densidad, generó un decremento en el módulo elástico. Lo anterior es debido a que existe una interrupción de la fase sólida y continua en los compositos, dado que se manifiestan zonas puntuales donde los espacios vacíos (aire), son posibles, generando menor resistencia a la elasticidad.

f) Los materiales obtenidos presentaron menor cohesividad intermolecular lo cual consecuentemente generó valores menores en el esfuerzo al límite de proporcionalidad con respecto a la RP sola.

g) Los resultados de Resistencia a esfuerzos de Compresión Paralela permiten concluir que los materiales presentan mejores resultados que los compositos elaborados con madera y resina epóxica, Por lo que estos materiales se pueden utilizar como refuerzos para columnas.

CAPITULO IX. RECOMENDACIONES

En base a la metodología y resultados obtenidos en este trabajo se sugiere para trabajos futuros lo siguiente:

- 1.- Es recomendable elaborar compositos a base de resina de lirio con menores concentraciones al 20% debido a la difícil manipulación de materiales.
- 2.- Es importante realizar pruebas mecánicas no destructivas con más replicas y evaluando todas las variables que generan estas.
- 3.- Es importante realizar un estudio que incluya pruebas de dureza, cortante, conductividad térmica y conductividad eléctrica.
- 4.- En lo que se refiere a la caracterización estructural, sería conveniente realizar estudios morfológicos por métodos microscópicos, Microscopia Electrónica de barrido, Microscopia Óptica (SEM, MO).
- 5.- Realizar paneles de lirio y probar sus propiedades físicas.

1. BIBLIOGRAFÍA:

- Alan, E., U. Barrantes, A. Soto y R. Agüero (1995). Elementos para el Manejo de Malezas en Agroecosistemas Tropicales. Ed. Tecnológica de Costa Rica. 223
- Alvarado F., J. J. (2005). Comparación de Algunas Propiedades Físico-Mecánicas de Probetas con Resina Epóxica y sin Resina Epóxica de Vigas de Pino y Oyamel del Centro Histórico de Morelia, Michoacán. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.
- ASTM- Standards(2000). Wood, Acceptance and Specification Test Methods for Hardboard. Publishing for American Society for testing materials. Easton, MD, U.S.A.D1037.
- ASTM- Standars(2000). Standars Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber Publishing for American “ Society for testing materials”.Easton, MD, U.S.A. pa.
- Barrett S.C.H. y I.W. Forno (1982). Style morph distribution in new world populations of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach (water hyacinth). Aquatic Botany 13: 299- 306. Gopal B. 1987. Water Hyacinth. Elsevier, Amsterdam.
- Billmeyer F. W. (1962). Textbook of polymer science, Nueva York.
- Bilurbina A. L. y Liesa F. (1991). Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. Ed. Productiva. ISBN: 8426707904.
- Cortés R.J.A (2002). El ensayo de ultrasonido para el control pieza por pieza de la calidad del producto. Revista digital de posgrado, investigación y extensión del campus Monterrey. A.15, No.59.
- Dale E W., J. L. O’dell (1999). Wood- Polymer Composites Made with Acrylic Monomers, Isocyanate, and Maleic Anhydride. USDA Forest Service, Forest

products laboratory, One Gifford Pinchot Drive, Madison Wisconsin 53705-2398, USA.

Dávalos, et al, (1999). Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “secas”. Maderas y bosques (5-1).

DIN-Taschenbuch 31 (1988). Deutsches Institut für Normung ("Instituto [Alemán](#) de [Normalización](#)"). Normas para Madera. BEUTH VERLAG GMBH. BERLIN. KÖLN.

Falk R. (1994). Housing Products From Recycled Wood Waste. Pacific Timber Engineering Conference, Gold Coast, Australia.

Gopal B. (1987). Water Hyacinth. Elsevier, Ámsterdam.

Gopal B. y K.P. Sharma (1981). Water-Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) the Most Troublesome Weed of the World. Hindasia, Delhi.

Gutiérrez, L.E., Arreguín, C .F., Huerto R.D. y F.P. Saldaña (1994), Control de malezas acuáticas en México, Ingeniería hidráulica en México, vol. 9, núm. 3.

Herrera F.M.A. (1992). Características físico-mecánicas de la madera de 15 Especies del Municipio de Morelia. Tesis Profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.

Holm L.G., D.L. Plucknett, J.V. Pancho y J.P. Herberger (1977). The World's Worst Weeds. Distribution and Biology. The University Press of Hawaii, Honolulu.

I. Williams G, P. Wool R. (2000). Resins Composites from Natural Fibers and Soy Oil Department of Chemical Engineering and Center for Composite Materials, University of Delaware Newark, DE 19716-3144, U.S.A.

Jamieson G.I., C. Kershaw y R.J. Ciesiolka (1977). Waterhyacinth control on the lower Fitzroy River. Journal Aquatic Plant Management 15: 5-9.

- Martínez J. M. (1996). Experiencia en México en Control Biológico del Lirio Acuático
- Martínez J. M. (2003), Progress on water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) management, en Weed Management for Developing Countries, FAO, Plant Production and Protection Service, Food and Agricultural Organization, Roma, Italia.
- Martínez J. M. (2005). Formulación Micoherbicida para el control del lirio acuático. Solicitud de Patente ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, IMPI.
- Martínez J. M. y Charudattan, R.(1998). Survey and evaluation of Mexican native fungi for potential biocontrol of water hyacinth. *J. Aquat. Plant. Manage*, vol. 36.
- Martínez J. M. y Gutiérrez L. E. (2001). Host Range of *Cercospora Piaropi* and *Acremonium Zonatum*, Potential Fungal Biocontrol Agents for Water Hyacinth in Mexico, *Phytoparasitica*, vol. 29, núm. 2.
- Mohanty, et al, (2002). Sustainable Bio Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World.vol.10 Nos ½.
- Penfound, W. T. y Earle (1948). T. T. The Biology of The Water Hyacinth. *Ecol. Monogr.*, 18, 447-472
- Pitelli, R. A. (1997). En: Memoria Reunión Regional sobre control intergrado del lirio acuático. FAO. Instituto de Tecnología del Agua de Cuernavaca, México.
- Pitty, A. y R. Muñoz. 1993. Guía Práctica para el Manejo de Malezas. El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana.
- Recycling Research Progress at the Forest Products Laboratory (1995). United States Department Of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL – GTR – 86.
- Reddy K.R., M. Agami., E.M. D'Angelo y J.C. Tucker 1991. Influence of Potassium on Growth and Nutrient Storage by Water hyacinth. *Bioresource Technology* 37: 79-84.

- Reddy K.R., M. Agami and J.C. Tucker (1989). Influence of nitrogen supply rates on growth and nutrient storage by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) plants. *Aquatic Botany* 36: 33-43.
- Reddy K.R., M. Agami and J.C. Tucker (1990). Influence of phosphorus on growth and nutrient storage by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) plants. *Aquatic Botany* 37: 355-365.
- Rodríguez, C. A. (2001) Estudios de Compatibilidad en Plásticos Reforzados con Fibras Lignocelulósicas. Universidad de Los Andes, Departamento de Ingeniería Mecánica. 1er. Congreso Internacional de Materiales Bucaramanga.
- Rowell R. M. (1995) Utilization of Recycled Agriculture – Based Fiber for Composites. Forest Products Laboratory, Forest Service, U. S. Department of Agriculture, 1 Gifford Pinchot Drive, Madison, WI 53705 – 2366.
- Rubinson, K. A., et al. (2000). Análisis Instrumental. Pearson Educación, S.A., Madrid.
- Scott W.E., P.J. Ashton y D.J. Steyn, sin fecha. Chemical control of the water hyacinth on Hartbeespoort dam. Department of Water affairs, Pretoria.
- Sculthorpe C.D (1971). The Biology of Aquatic Vascular Plants. Edward Arnold, Londres.
- Smith L.W., R.E. Williams, M. Shaw y K.R. Green (1984). A water hyacinth eradication campaign in New South Wales, Australia. En: G. Thyagarajan (Ed.). Proceedings International Conference on Water Hyacinth, February 1983, Hyderabad, India. UNEP, Nairobi.
- Solís, J. M (2000). Compuestos Mixtos a Base de Plástico y Madera para Mobiliario de Exteriores Sustainable Composites from Renewable Resources, Proceedings of ACUN-2, Sydney.

- Stark, N. M (1999). Wood Fiber Derived from Scrap Pallets Used in Polypropylene Composites. *Composites and Manufactured Products. The Natural Resource for the Forest Products Industry. Forest prod. J.*49 (6): 39-46.
- Tucker III Charles (1998). *Computer Modeling for polymer Proccesing.*University of Delaware.
- Villaseñor, A. J. M (2007). *Comportamiento Higroelástico de la madera de Pinus douglasiana Evaluado por Ultrasonido, Ondas de Esfuerzo, Vibraciones Transversales y Flexión Estática.* Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.
- Williams, et al, (2000). *Resins Composites from Natural Fibers and Soy Oil* Department of Chemical Engineering and Center for Composite Materials, University of Delaware Newark, de 19716- 3144, U.S.A.
- Wool, R. P., Kusefoglu, S., Palmese, G., Khot, S., and Zhao, R (1999) *High Modulus Polymers and Composites from Plant Oils*, U.S. Patent No: 6, 121, 3.WO/1999/021900)
- Youngquist, J.A(1999). *Wood Based composites and panels products.* Forest Products Laboratory. *Wood Handbook. Wood as an Engineering Material.* FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 463 p.

Páginas electrónicas consultadas.

http://es.wikipedia.org/wiki/Jacinto_acu%C3%A1tico

<http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster>)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster> página consultada 20 de Julio 2007

http://www.transicionpuebla.com.mx/activeNews_print.asp?articleID=179

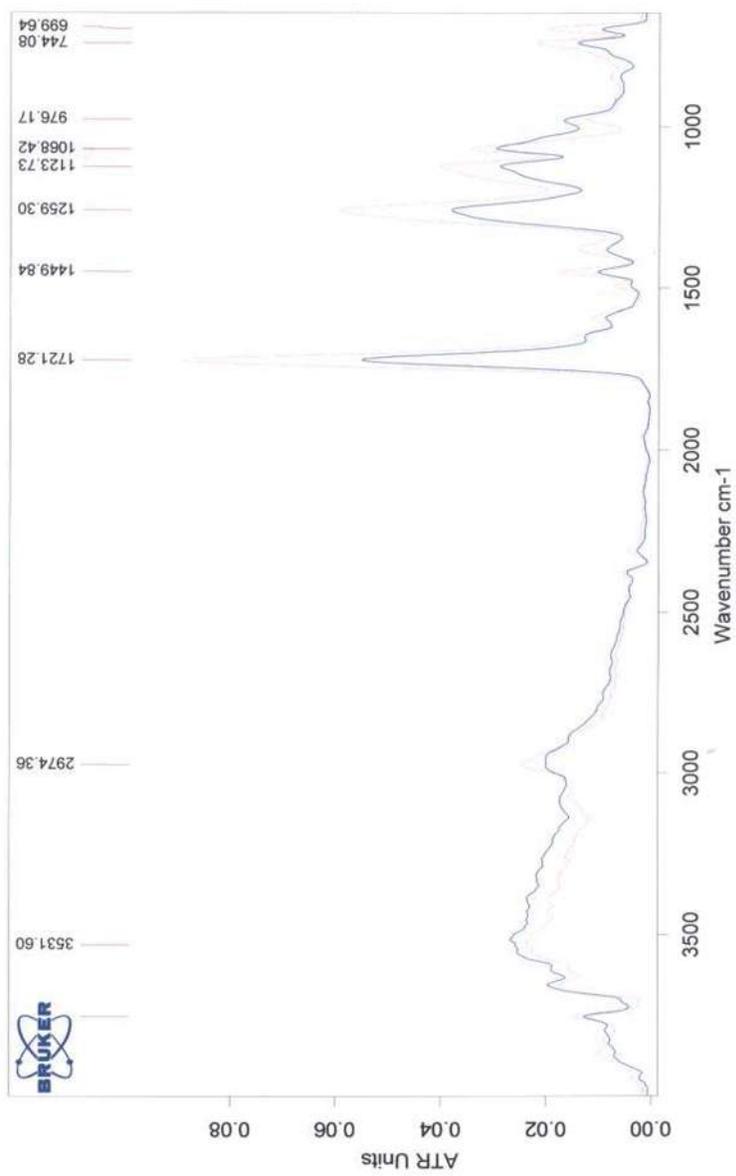
Página consultada el 22 abril 2008.

<http://www.exiplast.com/pdf/mat1.pdf> Página consultada el 12 de diciembre 2007.

<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16066a.htm>

Página consultada mayo 2008

ANEXOS

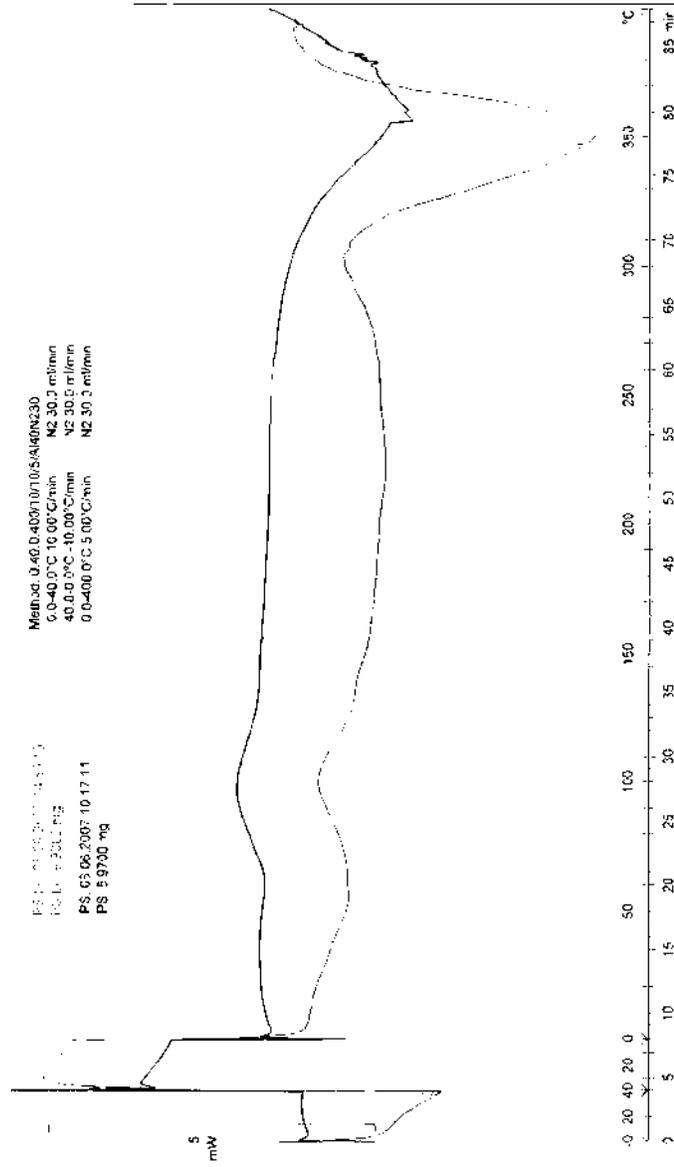


C:\UMSNHUSERS\ING. QUIMICA\Dr. Salomon Vazquez G\APS.0	APS	SOLIDO	29/10/2007
C:\UMSNHUSERS\ING. QUIMICA\Dr. Salomon Vazquez G\PS.0	PS	SOLIDO	29/10/2007

026_2007

06.06.2007 12.12.46

^exo



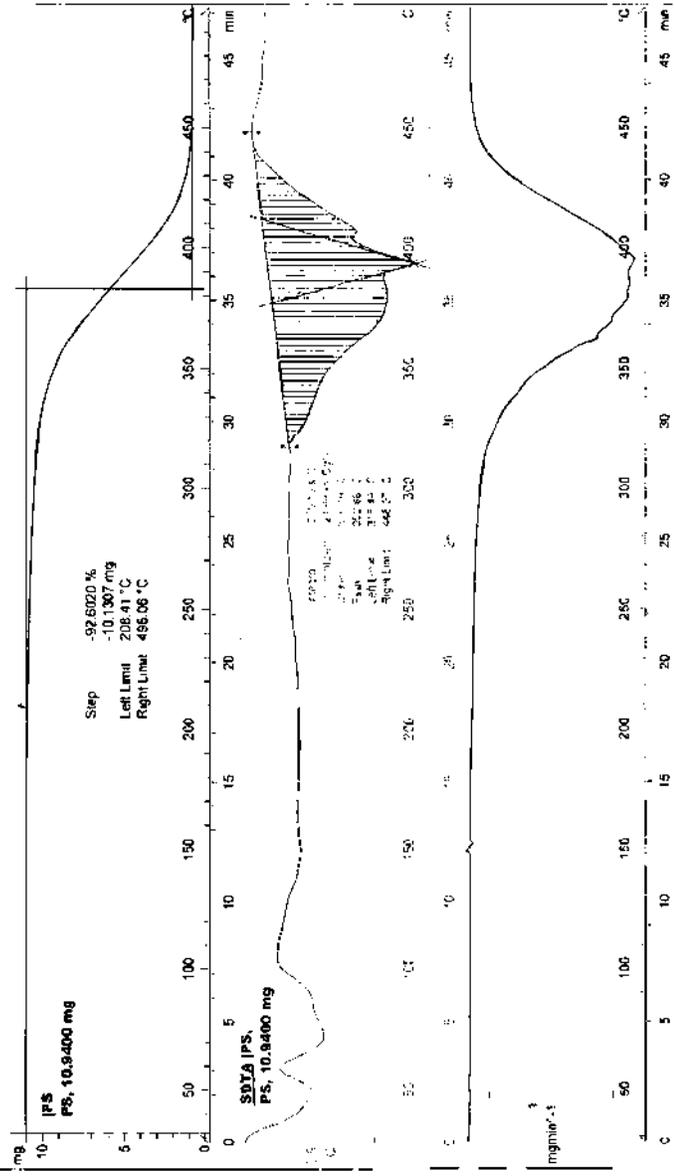
Method: 0.40 0.400 10.0 0.5 14.0 230
0.0-40.0°C 10.00°C/min N2 30.0 ml/min
40.0-80.0°C 10.00°C/min N2 30.0 ml/min
0.0-400.0°C 5.00°C/min N2 30.0 ml/min

PS 5.9700 mg
PS 5.9700 mg
PS 5.9700 mg
PS 5.9700 mg

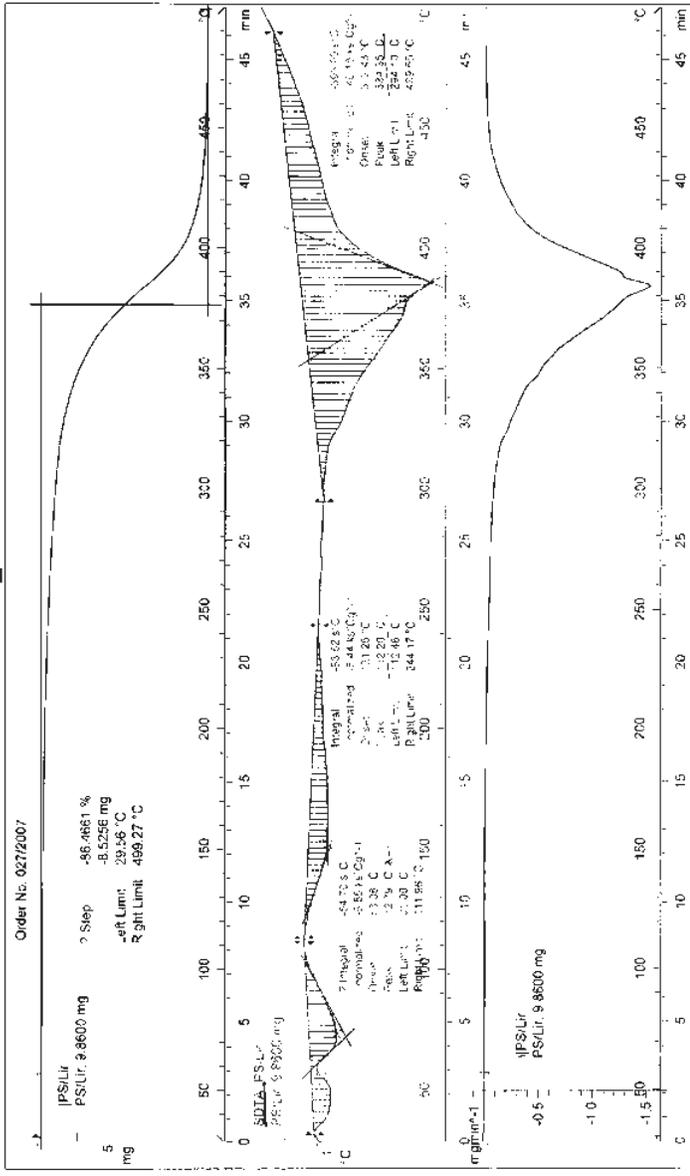
STAR^c SW 8.10

Lab: METTLER

^exo T.C.N. 027/2007_PS 29.06.2007 08:56:14



Order No. 027/2007 28.06.2007 09:18:21



Lab: METTLER

FACULTAD DE INGENIERIA EN TECNOLOGIA DE LA MADERA U.M.S.N.H.

No.	MUESTRA	RANGO DE CARGA	AMPL. ELONG.	FECHA
-----	---------	----------------	--------------	-------

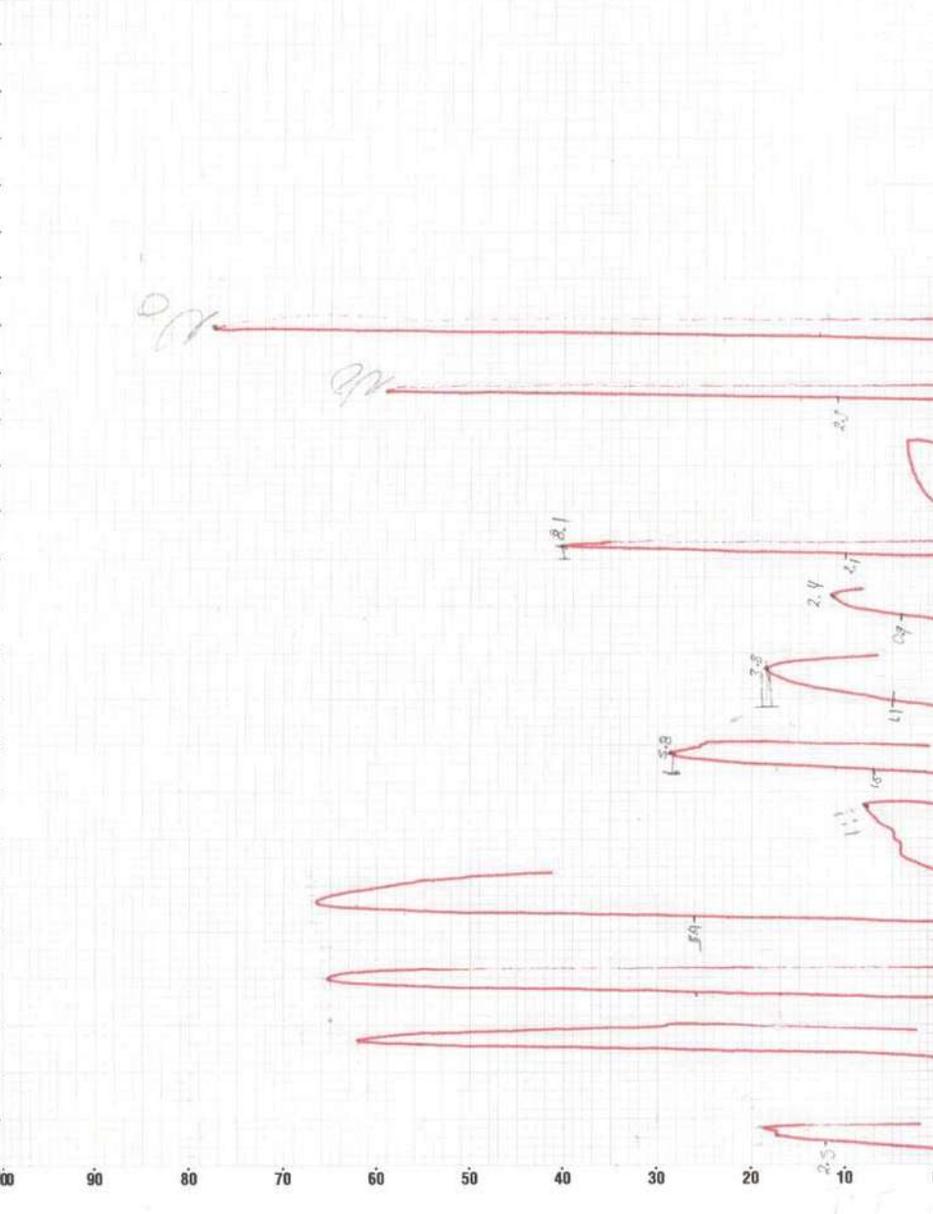


R-101

SHIMADZU SEISAKUSHO LTD.

FACULTAD DE INGENIERIA EN TECNOLOGIA DE LA MADERA U.M.S.N.H.

No.	MUESTRA	RANGO DE CARGA	AMPL. ELONG.	FECHA
-----	---------	----------------	--------------	-------



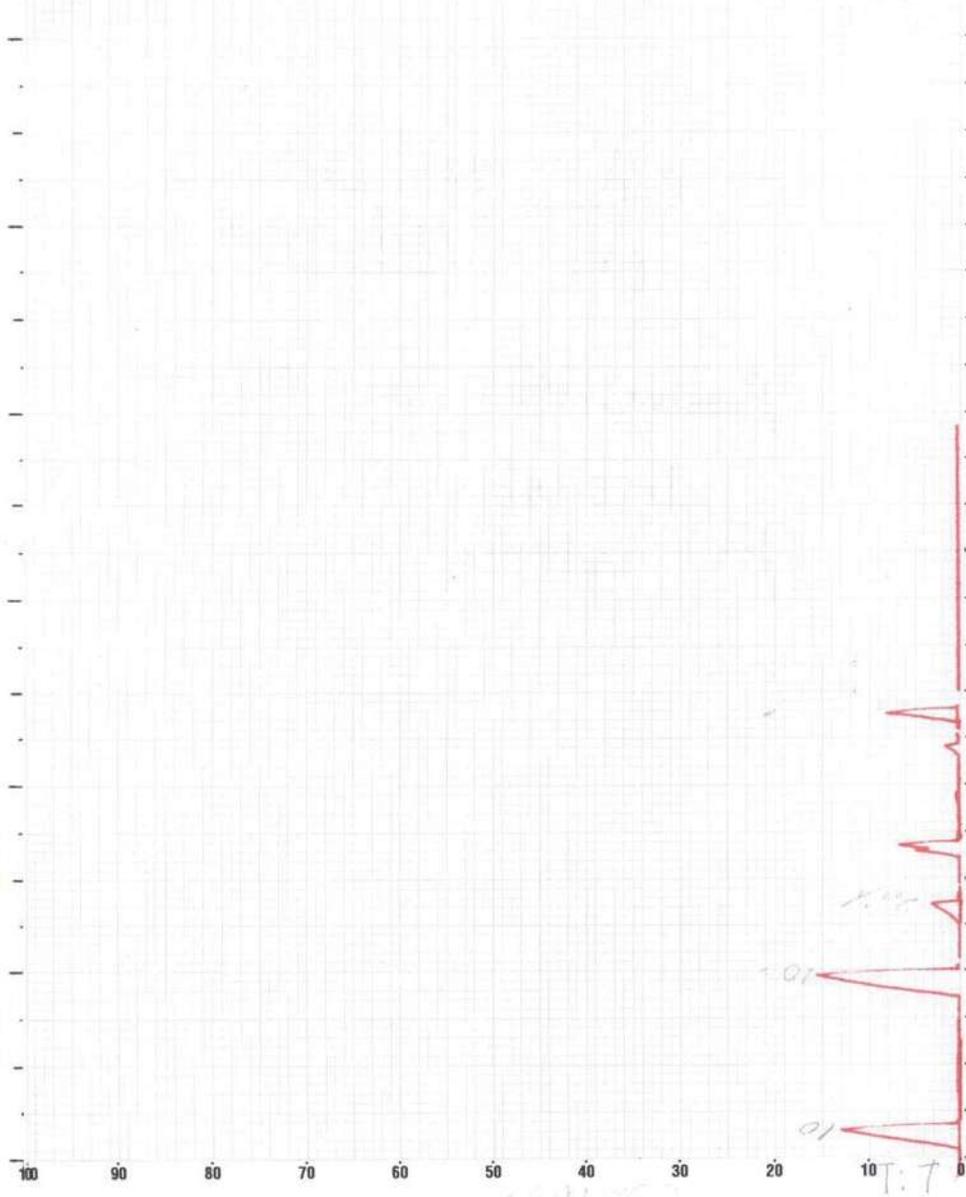
R-101

SHIMADZU SEISAKUSHO LTD.

FACULTAD DE INGENIERIA EN TECNOLOGIA DE LA MADERA U.M.S.N.H.

No.	MUESTRA	RANGO DE CARGA	AMPL. ELONG.	FECHA
-----	---------	----------------	--------------	-------

RESUMEN



R-101

SHIMADZU SEISAKUSHO LTD.

YESICA

15 de Octubre 2007

De: Javier Ramón Sotomayor Castellanos
Para: José Cruz de León

Adjunto entrego resultados laboratorio de ultrasonido de la alumna

Yesica Sánchez

Saludos

Pruebas de ultrasonido

Proporción probetas

Aserrín	Poliéster	t (µs)
20	80	172
10	90	158
5	195	146
0	100	143

$\rho_{ho} E_{us} = \rho_{el} \times \rho_{ho}^2 \quad v_{us} = \frac{L}{t} \quad L$

