

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

OBTENCIÓN DE BIO-RESINA POLIÉSTER INSATURADA A PARTIR DE SAVIA DE BANANO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

JORGE LUIS MASACHE JIMÉNEZ
(jlm006@hotmail.com)

DIRECTOR: ING. OMAR FERNANDO BONILLA HIDALGO M.Sc.
(omar.bonilla@epn.edu.ec)

Quito, abril 2018

© Escuela Politécnica Nacional (2017)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Jorge Luis Masache Jiménez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Jorge Luis Masache Jiménez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Luis Masache Jiménez, bajo mi supervisión.

Omar Fernando Bonilla Hidalgo Msc.

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, ya que sin él no podría estar aquí y no haber hecho todo lo que me he propuesto.

A mis viejitos Luis y Mercy, ya que sin su ayuda constante, sus ánimos y sobretodo su cariño no hubiera podido terminar esta etapa en mi vida. Gracias por enseñarme como ser una mejor persona, y mi ejemplo de vida.

A mis hermanas, Pao y Jessy, que siempre estuvieron ahí molestándome y apoyándome en cada momento de mi vida, eso incluye a mi sobrinito Matías que lo quiero mucho.

Al Ing. Omar Bonilla por toda su ayuda y dedicación empleada en este proyecto, por brindarme soluciones cuando me encontraba inseguro, le debo mucho Inge.

Además, junto a la Ing. Hilda Trujillo por brindarme su conocimiento, amistad, material de laboratorio, por aguantarme 2 años en el Centro Textil muchísimas gracias, he aprendido mucho profesionalmente y espiritualmente. Siempre les estaré agradecido.

Al Ing. Miguel Aldás por su ayuda en la parte inicial de este proyecto, además por su amistad y colaboración, muchísimas gracias.

A Ivancito y Liz ya que sin ayuda no hubiera podido avanzar en mi proyecto de graduarme.

A mis muy queridos amigos pilaguarkingos con los que compartí muchas cosas futbolísticas y fuera de las canchas, gracias por brindarme su amistad.

A mis amigos Cristian (Panda), Ismael, Mishu, Gaby, Flor, José (La José), Omar (Fariseo), Toper, por todos los consejos y colaboraciones en todos los semestres que pasamos juntos, a pesar que existieron un montón de trabajos en los que no

sabíamos que hacer y las supimos sacar adelante. A Dianita por su inmensa ayuda, te debo un montón.

A mi amiga Manyula (Andrea Paladines), mi compañera de lucha incansable, de madrugadas agotadoras, de trabajos infinitos que no sé cómo lográbamos acabar, de salidas sin rumbo y con rumbo a la "zona", gracias por cada consejo, ayuda y sobre todo por tu inmensa amistad, sin ti no sé qué habría sido de mí en la Facultad. GRACIAS.

A la Ing. Cecibel Rivilla, no por ser última eres la menos importante, en realidad eres lo más importante que he tenido en este periplo universitario, ya que sin tus palabras de aliento, tu ayuda y tu comprensión no hubiera llegado hasta aquí. Gracias por cada alada de oreja, por todo lo que has hecho por mí, me faltará la vida para agradecerlo. Te amo.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres, a mis hermanas y a mi sobrinito Matías para que sepan que siempre los llevo en mi corazón y son lo más lindo e importante que tengo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | PÁGINA |
|---|-------------|
| RESUMEN | XI |
| INTRODUCCIÓN | XIII |
| 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 1 |
| 1.1. Fuentes vegetales de materias primas para la síntesis de resinas | 1 |
| 1.1.1. Generalidades | 1 |
| 1.1.2. Savia vegetal en la síntesis de resinas poliéster | 3 |
| 1.1.3. Refuerzos de fibras vegetales en las resinas poliéster | 5 |
| 1.1.3.1. Fibras suaves | 8 |
| 1.1.3.2. Fibras duras | 11 |
| 1.1.3.3. Tejidos a partir de fibras | 12 |
| 1.2. Resinas poliéster insaturadas | 15 |
| 1.2.1. Generalidades | 15 |
| 1.2.2. Síntesis de la resina poliéster insaturada | 16 |
| 1.2.3. Caracterización de la resina poliéster instaurada | 18 |
| 1.2.3.1. Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR) | 18 |
| 1.2.3.2. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) | 19 |
| 1.2.3.3. Termogravimetría (TGA) | 20 |
| 1.2.4. Curado de la resina poliéster insaturada | 21 |
| 2. PARTE EXPERIMENTAL | 24 |
| 2.1. Caracterización física y química de la savia de tres diferentes variedades de banano: Musa Cavendish I, Musa Cavandanaish y Musa Paradisiaca | 24 |
| 2.1.1. Caracterización física de la savia de banano | 25 |
| 2.1.1.1. Determinación de la cantidad de savia de banano | 25 |
| 2.1.1.2. Contenido de humedad | 26 |
| 2.1.1.3. Determinación de la densidad | 26 |
| 2.1.2. Caracterización química de la savia de banano | 27 |
| 2.1.2.1. Determinación del pH de la savia de banano | 27 |
| 2.1.2.2. Determinación de la concentración de fenoles totales por el método de Folin - Ciocalteu. | 27 |
| 2.2. Síntesis de la resina poliéster insaturada empleando la savia de banano | 29 |
| 2.3. Evaluación de las propiedades de la resina poliéster insaturada con savia de banano | 31 |
| 2.3.1. Propiedades de la resina poliéster insaturada con savia de banano | 31 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.3.1.1. | Porcentaje de sólidos presentes en la resina | 32 |
| 2.3.1.2. | Dureza de la resina poliéster insaturada con savia de banano | 32 |
| 2.3.1.3. | Diseño experimental | 33 |
| 2.3.2. | Propiedades de la resina poliéster insaturada con savia de banano y de la resina poliéster comercial | 34 |
| 2.3.2.1. | Análisis de la resina poliéster insaturada con savia de banano por Espectroscopía de infrarrojo (FTIR) | 35 |
| 2.3.2.2. | Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) | 35 |
| 2.3.2.3. | Análisis de Termogravimetría (TGA) | 36 |
| 2.4. | Evaluación de la viabilidad técnico-económica de la fabricación de la resina poliéster insaturada con savia de banano | 37 |
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 38 |
| 3.1. | Resultados de la caracterización física y química de la savia de tres diferentes variedades de banano: Musa Cavendish I, Musa Cavandanaish y Musa Paradisiaca | 38 |
| 3.1.1. | Resultados de la caracterización física de la savia de banano | 38 |
| 3.1.1.1. | Resultados de la determinación de la cantidad de savia en cada una de las partes de la planta de banano | 38 |
| 3.1.1.2. | Resultados del contenido de humedad en la savia de banano | 40 |
| 3.1.1.3. | Resultados de la determinación de la densidad de la savia de banano | 42 |
| 3.1.2. | Resultados de la caracterización química de la savia de banano | 44 |
| 3.1.2.1. | Resultados de pH en la savia de banano | 44 |
| 3.1.2.2. | Resultados de la concentración de fenoles totales contenidos en la savia de banano por el método de Folin – Ciocalteu | 46 |
| 3.2. | Resultados del estudio de la síntesis de la resina poliéster insaturada empleando la savia de banano | 49 |
| 3.3. | Resultados de las propiedades de la resina poliéster insaturada con savia de banano | 54 |
| 3.3.1. | Resultados de las propiedades de la resina poliéster insaturada con savia de banano | 54 |
| 3.3.1.1. | Resultado del porcentaje de sólidos presentes en la resina | 54 |
| 3.3.1.2. | Resultados de la dureza de la resina poliéster insaturada con savia de banano | 56 |
| 3.3.1.3. | Resultados del diseño experimental | 57 |
| 3.3.2. | Comparación de las propiedades de la resina poliéster insaturada con savia de banano y de la resina poliéster comercial | 60 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.2.1. Resultados del análisis de la resina poliéster insaturada con savia de banano y de la resina comercial por Espectroscopía de infrarrojo (FTIR) | 60 |
| 3.3.2.2. Resultados de los análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) | 64 |
| 3.3.2.3. Resultados de los análisis de Termogravimetría (TGA) | 65 |
| 3.4. Resultados de la evaluación de la viabilidad técnico-económica de la fabricación de la resina poliéster insaturada con savia de banano | 67 |
| 3.4.1. Resultados de la estimación económica preliminar del costo para la obtención de resina poliéster insaturada con savia de banano | 67 |
| 3.4.1.1. Diagrama de flujo (BFD) | 68 |
| 3.4.1.2. Costo de resina poliéster con savia de banano | 68 |
| 3.4.2. Viabilidad técnica | 70 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 72 |
| 4.1. Conclusiones | 72 |
| 4.2. Recomendaciones | 73 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 74 |
| ANEXOS | 81 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | PÁGINA |
|--------------------|--|---------------|
| Tabla 1.1. | Características de la savia de banano | 4 |
| Tabla 1.2. | Condiciones de operación de sistemas catalizador iniciador | 22 |
| Tabla 2.1. | Condiciones de secado de la savia de banano para determinar contenido de humedad | 26 |
| Tabla 2.2. | Condiciones de operación del pH-metro | 27 |
| Tabla 2.3. | Muestras para el análisis por Espectroscopía UV-VIS. | 28 |
| Tabla 2.4. | Condiciones de la reacción de polimerización | 30 |
| Tabla 2.5. | Nomenclatura de las savias de banano con mayor concentración de polifenoles. | 33 |
| Tabla 2.6. | Resinas y su composición de savia de banano | 34 |
| Tabla 2.7. | Condiciones de operación de la prensa Caver | 35 |
| Tabla 3.1. | Resultados de la cantidad de savia de banano presente en las diferentes partes de la planta y de acuerdo a cada variedad | 39 |
| Tabla 3.2. | Análisis estadístico del porcentaje de savia promedio | 40 |
| Tabla 3.3. | Contenido de humedad en la savia de banano | 41 |
| Tabla 3.4. | Análisis estadístico del porcentaje de humedad promedio | 42 |
| Tabla 3.5. | Resultado de la densidad de la savia de banano | 43 |
| Tabla 3.6. | Resultados de pH en la savia de banano | 45 |
| Tabla 3.7. | Análisis estadístico del nivel de pH | 45 |
| Tabla 3.8. | Resultados de la concentración de polifenoles | 47 |
| Tabla 3.9. | Análisis estadístico la concentración de polifenoles en la savia de banano | 48 |
| Tabla 3.10. | Condiciones para la síntesis de las bioresinas a partir de savia de banano procedente del pseudotallo de tres variedades de banano | 49 |
| Tabla 3.11. | Porcentaje de sólidos presentes en la resina poliéster insaturada | 55 |

| | | |
|----------------------|---|-----|
| Tabla 3.12. | Determinación de la dureza de cada una de las resinas curadas | 56 |
| Tabla 3.13. | Concentración de polifenoles en cada resina | 57 |
| Tabla 3.14. | Análisis de Varianza para evaluar el efecto de la variedad de banano y la concentración de savia de banano en Dureza Shore D de las resinas poliéster curadas | 58 |
| Tabla 3.15. | Grupos funcionales presentes en la Resina 1 y en la resina comercial | 63 |
| Tabla 3.16. | Comparación de costos de las resinas poliéster instaurada | 69 |
| Tabla AIX. 1. | Balance de masa | 102 |
| Tabla AIX. 2. | Costo de las materias primas empleadas en la síntesis de la resina poliéster con savia de banano | 103 |
| Tabla AIX. 3. | Costo energético requerido para la síntesis de la bioresina | 103 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | PÁGINA |
|---------------------|---|---------------|
| Figura 1.1. | Clasificación de las fibras naturales con uso en biocompuestos | 7 |
| Figura 1.2. | Estructura de la celulosa | 7 |
| Figura 1.3. | Modelo estructural de la lignina | 8 |
| Figura 1.4. | Diagrama del equipo de moldeo por transferencia de resina (RTM) | 9 |
| Figura 1.5. | Vista microscópica de la fibra de yute: a) vista longitudinal | 10 |
| Figura 1.6. | Partes de la planta de banano | 12 |
| Figura 1.7. | Material compuesto de resina poliéster y tejido en tapa posterior de teléfono móvil | 13 |
| Figura 1.8. | No tejido de fibra de coco obtenido por compresión | 14 |
| Figura 1.9. | Estructura de los principales compuestos empleados en la síntesis de la resina poliéster insaturada | 16 |
| Figura 1.10. | Reacción de formación del monoéster | 17 |
| Figura 1.11. | Espectro del estireno obtenido por FTIR | 19 |
| Figura 1.12. | Mecanismo de reacción de curado de la resina poliéster | 22 |
| Figura 2.1. | Molde para compresión | 25 |
| Figura 2.2. | Esquema del equipo utilizado para la síntesis de la resina. | 30 |
| Figura 3.1. | Porcentaje de savia promedio de diferentes partes de la planta y variedades de banano | 40 |
| Figura 3.2. | Porcentaje de humedad de diferentes partes de la planta y variedades de banano | 42 |
| Figura 3.3. | Densidad promedio de la savia obtenida de diferentes partes de la planta y variedades de banano | 44 |
| Figura 3.4. | pH promedio de diferentes partes de la planta y variedades de banano | 46 |
| Figura 3.5. | Determinación de la concentración de polifenoles en la variedad Musa Cavendish I | 47 |

| | | |
|-----------------------|---|----|
| Figura 3.6. | Resinas poliéster insaturadas sintetizadas con diferentes concentraciones de savia de banano obtenidas de tres variedades de banana | 51 |
| Figura 3.7. | Evolución del número ácido de las resinas 1, 2 y 3 en función del tiempo | 52 |
| Figura 3.8. | Evolución del número ácido de las resinas 4, 5 y 6 en función del tiempo | 53 |
| Figura 3.9. | Evolución del número ácido de las resinas 7, 8 y 9 en función del tiempo | 53 |
| Figura 3.10. | Diagrama de Pareto de los efectos de los factores sobre la dureza de la resina | 59 |
| Figura 3.11. | Espectroscopía infrarroja de la Resina 1 | 61 |
| Figura 3.12. | Espectroscopía infrarroja de la resina comercial | 62 |
| Figura 3.13. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 1 | 64 |
| Figura 3.14. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina comercial | 65 |
| Figura 3.15. | Termograma obtenido por termogravimetría de la resina 1 | 66 |
| Figura 3.16. | Termograma obtenido por termogravimetría de la resina comercial | 67 |
| Figura 3.17. | Diagrama de bloques (BFD) del proceso de obtención de la resina poliéster con savia de banano | 68 |
| Figura AIII 1. | Curva de calibración para determinación de polifenoles totales | 85 |
| Figura AIV. 1. | Determinación de la concentración de polifenoles en la variedad Musa Cavandanaish | 86 |
| Figura AIV. 2. | Determinación de la concentración de polifenoles en la variedad Musa Paradisiaca | 86 |
| Figura AV. 1. | Ficha técnica de la resina comercial | 87 |
| Figura AV. 2. | Ficha técnica de la resina comercial (continuación) | 88 |
| Figura AVI. 1. | Espectroscopía infrarroja de la resina 2 | 89 |

| | | |
|-------------------------|---|----|
| Figura AVI. 2. | Espectroscopía infrarroja de la resina 3 | 89 |
| Figura AVI. 3. | Espectroscopía infrarroja de la resina 4 | 90 |
| Figura AVI. 4. | Espectroscopía infrarroja de la resina 5 | 90 |
| Figura AVI. 5. | Espectroscopía infrarroja de la resina 6 | 91 |
| Figura AVI. 6. | Espectroscopía infrarroja de la resina 7 | 91 |
| Figura AVI. 7. | Espectroscopía infrarroja de la resina 8 | 92 |
| Figura AVI. 8. | Espectroscopía infrarroja de la resina 9 | 92 |
| Figura AVII. 1. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 2 | 93 |
| Figura AVII. 2. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 3 | 93 |
| Figura AVII. 3. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 4 | 94 |
| Figura AVII. 4. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 5 | 94 |
| Figura AVII. 5. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 6 | 95 |
| Figura AVII. 6. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 7 | 95 |
| Figura AVII. 7. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 8 | 96 |
| Figura AVII. 8. | Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 9 | 96 |
| Figura AVIII. 1. | Análisis TGA de la resina 2 | 97 |
| Figura AVIII. 2. | Análisis TGA de la resina 3 | 97 |
| Figura AVIII. 3. | Análisis TGA de la resina 4 | 98 |
| Figura AVIII. 4. | Análisis TGA de la resina 5 | 98 |
| Figura AVIII. 5. | Análisis TGA de la resina 6 | 99 |

| | | |
|-------------------------|--|-----|
| Figura AVIII. 6. | Análisis TGA de la resina 7 | 99 |
| Figura AVIII. 7. | Análisis TGA de la resina 8 | 100 |
| Figura AVIII. 8. | Análisis TGA de la resina 9 | 100 |
| Figura AXI. 1. | Proforma de materias primas para la síntesis de resinas | 105 |
| Figura AXI. 2. | Proforma de resina poliéster comercial y sus implementos | 106 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| ANEXO I Procedimiento para la determinación de la densidad de la savia de banano mediante el método AOAC 945.06 | 81 |
| ANEXO II Determinación de la cantidad de sólidos presentes con base en la norma ASTM C 2969-10 | 83 |
| ANEXO III Curva de calibración para la determinación de la concentración de polifenoles totales | 84 |
| ANEXO IV Determinación de los polifenoles totales en las variedades <i>Musa Cavandanaish</i> y <i>Musa Paradisiaca</i> | 85 |
| ANEXO V Ficha técnica de la resina poliéster de la elaborada por la empresa Regarsa | 86 |
| ANEXO VI Resultados de la Espectroscopía infrarroja (FTIR) de las resinas 2 a la resina 9 | 88 |
| ANEXO VII Termogramas obtenidos por calorimetría diferencial de barrido (DSC) de las resinas 2 a la resina 9 | 92 |
| ANEXO VIII Resultados de los análisis realizados por termogravimetría (TGA) de las resinas 2 a la resina 9 | 96 |
| ANEXO IX Cálculo para el análisis del costo | 100 |
| ANEXO X Cotizaciones de las materias primas en la síntesis de la resina poliéster con savia de banano | 104 |

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo sintetizar una resina poliéster insaturada a partir de los polifenoles presentes en la savia de banano como sustituto del anhídrido ftálico, aprovechando que el Ecuador posee una producción de banano de 6 y 7 millones de toneladas de banano según datos del MAGAP y que esta actividad genera desechos y subproductos como la cáscara del fruto, el raquis y el pseudotallo de la planta, que pueden ser revalorizados debido al contenido de polifenoles que están presentes dentro de su savia. Este cambio de mentalidad surge a partir de la necesidad que tiene la población por promover nuevos mecanismos medioambientales para cambiar el uso de productos provenientes del petróleo con compuestos más ecológicos y que a la vez posean similares características y propiedades.

Para esta investigación, la muestra recolectada fue extraída de la cáscara, el raquis o pinzote y el pseudotallo de tres variedades de banano como son la *Musa Cavendish I*, *Musa Cavandanaish* y *Musa Paradisiaca* que comúnmente son conocidas como plátano verde, plátano barraganete y plátano maqueño, respectivamente. La separación de la parte sólida y líquida de estos desechos se la realizó mediante un proceso de prensado, obteniendo la savia de banano de tres partes diferentes de la planta. Esta savia fue caracterizada física y químicamente, determinándose el contenido de savia presente en las tres partes de banano, cuyo porcentaje de humedad se encuentra entre 95% a 97%, una densidad de 1,016 g/mL. a 1,027 g/mL., un nivel de pH entre los 5,9 y 6,1 y hallándose que la mayor concentración de polifenoles totales presentes en la savia procede del pseudotallo de la especie *Musa Cavendish I* con un valor de 130,11 mg/L. esta determinación se la realizó por espectrofotometría UV – VIS, además logrando determinar que la savia del pseudotallo en todas las variedades presenta la mayor concentración de polifenoles.

Después de la caracterización de la savia de banano se realizó la síntesis de la resina poliéster insaturada, para lo cual se empleó un reactor de 3 bocas compuesto por un sistema de agitación mecánica, medición de temperatura y un sistema de

recuperación de agua. En esta reacción se realizaron combinaciones de concentración de savia de banano del 40, 50 y 60% en peso. Para evaluar el avance de la reacción se determinó el número ácido de la resina cada 30 minutos, dando por terminada la reacción de policondensación cuando este número alcanza un valor inferior a los 50 mg NaOH/g muestra de resina.

Una vez terminada la reacción de policondensación se caracterizó cada una de las resinas sintetizadas mediante la determinación del porcentaje de sólidos, con un valor entre 61 % y 68 % para luego realizar el curado de las mismas con la incorporación de reactivos iniciadores y catalizadores de curado. Entonces, se realizó la determinación de la dureza de las resinas, siendo éste parámetro la variable de respuesta del diseño experimental. La resina cuya formulación presentó mayor dureza, fue la realizada con una concentración de 40 % de savia de banano procedente del pseudotallo de la variedad *Musa Cavendish I* y ésta fue comparada con una resina comercial con análisis de espectroscopía infrarroja de transformadas de Fourier (FTIR), termogravimetría y calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Finalmente, se realizó el diagrama de bloques, balance de masa y energía para determinar el costo por kilogramo de la resina con savia de banano a escala de laboratorio con un valor de \$ 4,25 de la resina sintetizada en comparación con el costo de \$ 5,12 para la resina comercial, apreciándose que la bioresina con savia de banano a escala de laboratorio presenta un valor inferior a la resina comercial que se distribuye actualmente en el país.

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 50's hasta la actualidad el consumo mundial de materiales de origen polimérico ha experimentado un gran incremento debido a su versatilidad de uso y a las notables características que estos poseen, adicionalmente al bajo costo que estos presentan en relación a los metales, madera, vidrio entre otros. Por esta razón, a nivel mundial se ha reconocido la necesidad de obtener nuevos procesos productivos, nuevas técnicas de caracterización para evaluar las propiedades de los polímeros, así como la necesidad de crear combinaciones para mejorar sus propiedades y/o abaratar costos (Plastics Europe, 2010, p. 15; Guerrero, Dávila y Galeas, 2011, p. 15)

Una de las principales desventajas que presentan estos materiales poliméricos radica en que estos son considerados como de un solo uso y con un tiempo de degradación elevado en los rellenos sanitarios. Por lo que actualmente las empresas, debido a la competencia del mercado y a las nuevas normativas medio ambientales, se han dedicado a formular materiales poliméricos con una biodegradación más rápida, con la implementación de materiales que ayuden a la degradación, siendo éstos: fibras naturales, residuos agrícolas, entre otros (Mancheno e Illescas, 2011, p. 13).

Se plantea como una alternativa la reformulación de las resinas poliéster con residuos agrícolas, como por ejemplo los de la planta del banano, debido a que en su savia presenta polifenoles de estructura similar a las del anhídrido ftálico, lo que facilitará una disminución en el uso y las importaciones de este producto químico, que según los registros del Banco Central del Ecuador entre los años 2010 y 2015 ha existido un aumento de las importaciones de alrededor del 23,83 % en este periodo de tiempo, con 300 toneladas de anhídrido ftálico, lo que demuestra la necesidad de buscar una alternativa al consumo de este producto (Banco Central del Ecuador, 2015), pero que a su vez el sustituto de este permita obtener un producto con características similares a las resinas poliéster insaturada comerciales (Paul, Kanny y Redhi, 2013, p. 504).

Por otro lado, el Ecuador tiene una producción de alrededor de 6 a 7 millones de toneladas de banano al año, lo que conlleva a buscar usos a los residuos que se generan y de mejor aún si éstos son empleados para la sustitución de materiales importados provenientes del petróleo, como los requeridos para la síntesis de la resina poliéster (Espinosa, 2013).

Finalmente, las investigaciones que se han realizado a nivel nacional para encontrar formas de “bio-resinas” son limitados, ya que estos estudios principalmente se centran en la unión de la resina poliéster insaturada, como una matriz y un refuerzo de fibras vegetales, por lo tanto la propuesta de este estudio es la caracterización y evaluación de las propiedades de esta nueva bio-resina, así como la prefactibilidad económica de su síntesis en comparación de la resina comercial que se distribuye en el país.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente capítulo se presenta la información de los diferentes tipos de fuentes vegetales que pueden ser empleadas en la síntesis de la resina poliéster insaturada, las cuales pueden ser adicionadas como materia prima dentro de la síntesis de la resina o como material de refuerzo que ayuda a mejorar las propiedades del producto final. Posteriormente se presentan las características, producción y aplicaciones de las resinas poliésteres insaturadas que se comercializan dentro y fuera del país.

1.1 FUENTES VEGETALES DE MATERIAS PRIMAS PARA LA SÍNTESIS DE RESINAS

A continuación se muestran los diferentes recursos vegetales que se tienen para la síntesis de las resina que actualmente se producen a partir de productos químicos, así como una clasificación de las fibras naturales que se pueden incorporar a las resinas, ya sea como refuerzo y/o cargas para la disminución en el costo de producción de las mismas.

1.1.1 GENERALIDADES

Como resultado de una creciente conciencia en la población sobre la interacción entre la contaminación mundial con los factores ambientales, los principios de la sostenibilidad, la ecología industrial, la eficiencia energética y la química verde, la ingeniería se está integrando en la ola del desarrollo de nuevos productos que incorporen materiales reutilizables y menos contaminantes para no comprometer el entorno de las actuales y próximas generaciones (Amigó, Salvador, y Sahuquillo, 2010).

El agotamiento de los recursos petroleros junto con el aumento de las regulaciones

ambientales actúan sinérgicamente para proporcionar el impulso para la creación de nuevos materiales y productos que sean compatibles con el medio ambiente y además independientes de combustibles fósiles, siendo una alternativa el uso de materiales que puedan sustituirlos y en un futuro reemplazarlos, como los materiales compuestos (Campbell, 2010, p. 1-2). Los materiales denominados "materiales compuestos verdes" encajan bien en este nuevo cambio de paradigma. En pocas palabras, los materiales de base biológica deben ser incluidos en productos industriales para aplicaciones de bienes duraderos, hechos de materiales agrícolas y forestales renovables, como la madera, residuos agrícolas rurales, hierbas y plantas naturales que posean fibras compuestas de carbohidratos tales como azúcares y almidón, lignina y celulosa, así como aceites vegetales y proteínas. (Mohanty, Misra, y Drzal, 2005, pp. 29)

Existen varias fuentes de origen vegetal que producen compuestos orgánicos de suma importancia tanto química como económica, siendo útiles como materias primas en diversas disciplinas científicas, tecnológicas y para aplicaciones comerciales, como por ejemplo aceites, resinas, caucho natural, taninos, colorantes, saborizantes, fragancias, productos farmacéuticos, pesticidas entre otros (Balandri , Klocke, Wurtele y Bollinger, 2014, p. 1154-1155).

Las plantas responsables de la síntesis de estos compuestos son las denominadas plantas superiores o fanerógamas siendo capaces de realizar fotosíntesis y conducir agua y nutrientes por todo el cuerpo de la planta. Entre los principales compuestos que se sintetizan de manera natural por parte de las plantas superiores se encuentran los siguientes:

- Polifenoles, fenoles y taninos
- Flavonoides
- Lignina
- Lignanós
- Alcaloides
- Aminoácidos no proteicos
- Glucósidos cianogénicos

- Naftoquinonas
- Terpenoides y Glucósidos terpenoides

Estos compuestos presentan en su estructura grupos fenólicos u otros elementos específicos que son empleados de forma directa o indirecta en varias industrias químicas, estos componentes se encuentran mayoritariamente en las semillas y en los órganos vegetativos de la planta (raíz, tallo, hojas) debido a que estos compuestos son empleados por la planta para su desarrollo fisiológico debido a su papel primordial en el metabolismo celular básico de la misma (Balandri , Klocke, Wurtele, y Bollinger, 2014, pp. 1154).

1.1.2 SAVIA VEGETAL EN LA SÍNTESIS DE RESINAS POLIÉSTER

Muchas plantas superiores acumulan sustancias orgánicas en cantidades suficientes para poder ser empleadas dentro de la industria, estas materias primas son por ejemplo: aceites vegetales y ácidos grasos empleados para la creación de jabones y detergentes, hidratos de carbono para la obtención de sacarosa, almidón, pectina y celulosa (Balandri , Klocke, Wurtele, y Bollinger, 2014, p.1).

Para el caso de las resinas poliéster este campo es muy poco explorado, debido a la naturaleza de las sustancias necesarias para su síntesis, como es el caso de los polifenoles en los que debe existir un estricto cuidado que se le debe dar a estos compuestos durante su extracción y en su almacenaje, pero eso no ha impedido a los investigadores buscar nuevas alternativas para el desarrollo de las resinas poliéster (Paul, Kanny y Redhi, 2013, p.504).

- **Savia de banano**

Una de las materias primas de la investigación es la savia de banano, cabe acotar que el Ecuador es considerado, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) por sus siglas en inglés, como uno de

los mayores productores y exportadores de banano a nivel mundial (United Nations Environment Programme, 2005). Por otra parte, según datos del MAGAP el cultivo de banano en el Ecuador representa el 10% de la superficie total agrícola en el Ecuador, con una producción anual en el 2015 de alrededor de 6 - 7 millones de toneladas (Pro Ecuador, 2016, p. 5; Arias y Dankers, 2015, p. 1-2).

Entre las variedades de mayor producción en el país, se encuentran la *Musa Cavendish I* (plátano verde), *Musa Cavandanaish* (plátano maqueño) y *Musa Paradisiaca* (plátano barraganete). Esta producción lleva a la búsqueda de nuevos usos para esta planta o para los residuos que ésta genera, como son los tallos, raquis o pinzote y la cáscara de la fruta (Espinosa, 2013, p. 22).

La savia del banano está distribuida en toda la planta, pero su composición y su cantidad cambian dependiendo de la variedad de banano, de la zona de la cual fue extraída, de la edad de cada planta y siendo que la concentración de savia es mayor en el pseudotallo de la misma, debido a que éste presenta un cilindro central cubierto por otros que poseen una menor complejidad estructural, lo que ocasiona que el paso de la savia sea más fluida y en mayor cantidad en relación a las otras partes de la planta como el raquis o el pseudotallo (Ping, Kam-Chau y Zhu-Tian, 2002). En la Tabla 1.1 se muestran las características básicas que la savia de banano presenta (Vargas y Martínez, 2013, p. 50).

Tabla 1.1. Características de la savia de banano

| Propiedad | Valor |
|----------------------|--------------|
| Contenido de humedad | 90% – 95% |
| Densidad promedio | 1,01 g/mL |
| pH | 6-7 |

Fuente: Vargas y Martínez, 2013, p. 50

- **Compuestos fenólicos**

Como se mencionó en la sección 1.1.1, existen plantas que sintetizan compuestos

especiales, tal como los que se encuentran dentro de la savia de banano cuyos componentes son muy similares a los empleados en la producción de resina poliéster, por ejemplo, al anhídrido ftálico, puesto que existen compuestos denominados polifenoles (Paul, Kanny y Redhi, 2013, p. 504-505).

Los polifenoles son compuestos bioactivos que se caracterizan por tener más de un anillo bencénico en su estructura y poseer diferentes grupos estructurales enlazados, como hidroxilos, carbonilos y ácidos carboxílicos. Estos polifenoles pueden ser determinados mediante espectrofotometría UV, y el método más adecuado es el denominado de Folin – Ciocalteu (Umar y Xia, 2012, p. 53-56).

Los polifenoles que se encuentran contenidos en plantas presentan un comportamiento diferente dependiendo de la variedad de la planta, de la parte de la planta de la cual son extraídas, así como por ejemplo para el caso de los frutos los polifenoles dependen del grado o nivel de madurez que éstos presenten (Rice Evans y Miller, 1996, p. 6-8).

Los compuestos fenólicos tienen poca estabilidad a temperaturas que sobrepasan los -5°C , ya que tienden a formar quinonas, perdiendo sus propiedades originales. De manera similar la savia de banano presenta el mismo comportamiento que los compuestos fenólicos, debido a que ésta posee azúcares que al aumentar la temperatura tienden a caramelizarse ocasionando cambio de coloración de la savia (Paul, Kanny, y Redhi, 2013, p.1).

1.1.3 REFUERZOS DE FIBRAS VEGETALES EN LAS RESINAS POLIÉSTER

Además de las fuentes vegetales para la síntesis de resinas, existen constituyentes de la planta como las fibras naturales presentes tanto en el tallo como en la hoja de las mismas, que se emplean como refuerzo o carga dentro de las resinas (García Díez, 2011, p. 268-270).

Las investigaciones del uso de fibras naturales para la elaboración de materiales

compuestos se vienen desarrollando desde el año de 1990, con el fin de sustituir a la fibra de vidrio, de forma parcial o total, ocasionando con ello una disminución en los costos y una reducción de la densidad en el producto final; razones por las cuales el uso de este tipo de materiales ha resultado beneficioso en el área de la construcción de barcos, motos, maquinaria agrícola, partes de autos para competencias, entre otros (García Diez, 2011, p. 268)

La mayoría de los plásticos por sí mismos no son adecuados para aplicaciones de soporte de carga debido a su falta de resistencia, rigidez y estabilidad dimensional. Sin embargo, las fibras sí poseen buenas características en relación con estas propiedades. En los compuestos reforzados con fibras, éstas dan resistencia y rigidez a la estructura, mientras que la matriz de plástico sirve como adhesivo para mantener las fibras en su lugar, logrando así obtener un material resistente a esfuerzos de carga (Guerrero, Dávila y Galeas, 2011, p. 5-10).

A continuación en la Figura 1.1 se muestra una clasificación de las fibras naturales que poseen un gran potencial para ser consideradas como refuerzo en un material biocompuesto, por ejemplo con matriz de resina poliéster (Collier y Tortora, 2001, p. 80-85).

Todas las fibras naturales, ya sean del tipo maderosas y no maderosas, son de naturaleza celulósica, siendo los principales constituyentes de éstas la celulosa y lignina. La cantidad de celulosa presente en sistemas ligno-celulósicos cambia dependiendo de la variedad y la edad de la planta (Yu, 2015, p. 29-31).

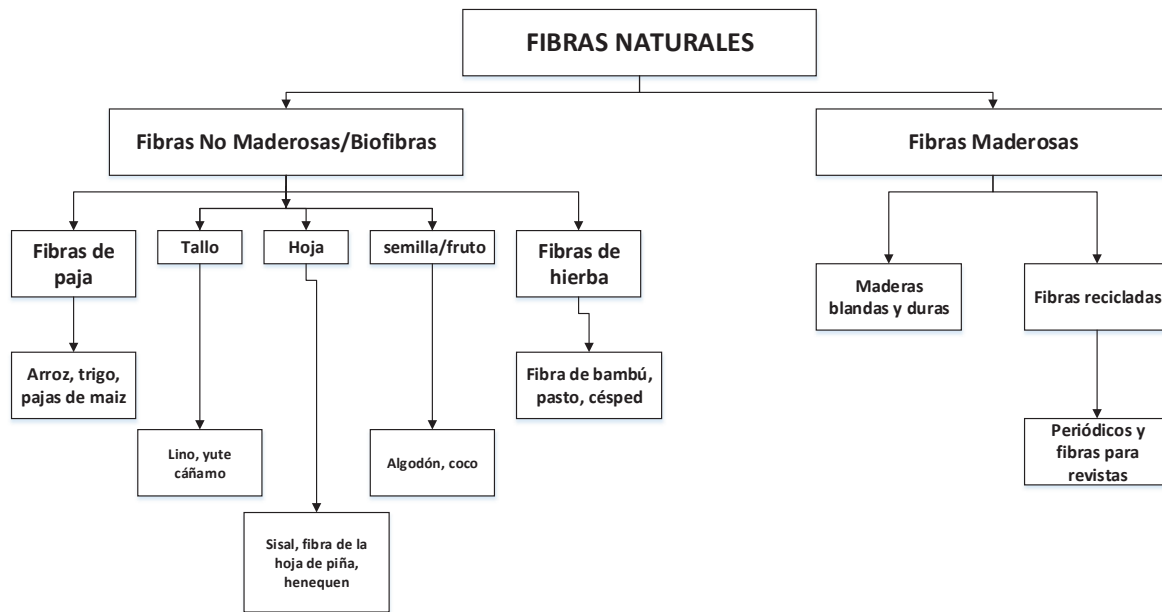


Figura 1.1. Clasificación de las fibras naturales con uso en biocompuestos (Mohanty, Misra, y Drzal, 2005, p. 7)

La celulosa es un polímero hidrófilo que consiste en una cadena lineal de unidades de 1,4-beta glucosa anhidra, que contienen grupos hidroxilo. Éstos grupos hidroxilo forman enlaces de hidrógeno intermoleculares e intramoleculares con la misma macromolécula y también con otras macromoléculas de celulosa o moléculas polares. Por lo tanto, todas las fibras naturales son de naturaleza hidrófila, en la Figura 1.2 se muestra la estructura de este polímero natural (Saravana Bavan y Mohan Kumar, 2011).

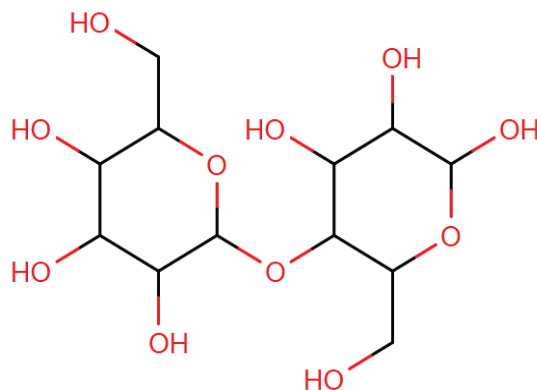


Figura 1.2. Estructura monomérica de la celulosa (Saravana Bavan y Mohan Kumar, 2011)

La lignina es un compuesto que posee una compleja estructura debido a las múltiples asociaciones que poseen sus unidades estructurales, las cuales no se repiten de forma regular y ordenada. La estructura de esta va a depender del origen de la misma, es decir del tipo, variedad y edad de la planta de la cual se va a obtener este compuesto. A continuación en la Figura 1.3 se muestra un modelo estructural de este compuesto (Chavez y Domine, 2013, p. 17).

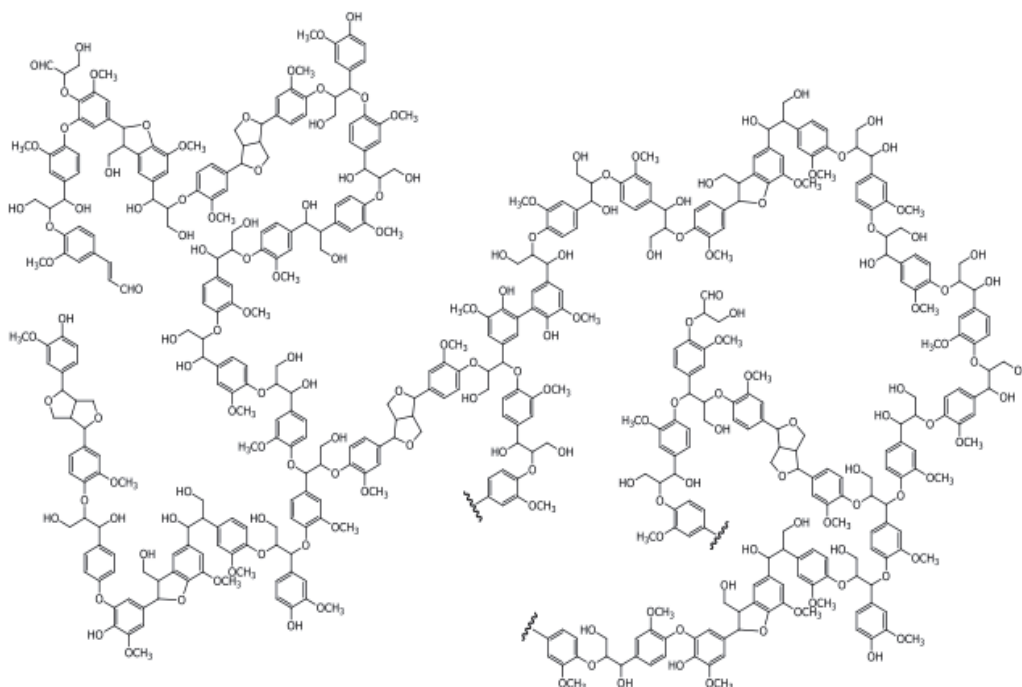


Figura 1.3. Modelo estructural de la lignina
(Chavez y Domine, 2013)

A continuación se detalla una serie de fibras y de material fibroso que se han empleado para mejorar las propiedades de las resinas, conjuntamente con sus características y usos en los diferentes tipos de resina donde se las han empleado (Amigó, Salvador, y Sahuquillo, 2010).

1.1.3.1 Fibras suaves

Las fibras denominadas como suaves son fibras provenientes del tallo de plantas dicotiledóneas, éstas se caracterizan por ser suaves, flexibles y elásticas, entre las

más empleadas en conjunto a la resina poliéster se pueden mencionar las siguientes:

- **Cáñamo**

La planta de cáñamo, *Cannabis sativa*, es miembro de la familia del moral además de ser un tipo de planta de marihuana, cuyas fibras provienen de la parte del tallo. Las plantas maduras del cáñamo son cortadas, colocadas en el suelo, luego se secan al sol, por un periodo de 5 a 6 días (Collier y Tortora, 2001, p. 90).

Una vez obtenida la fibra, ésta es incorporada mediante el método de transferencia de resina (RTM por sus siglas en inglés) a la resina poliéster insaturada; se debe considerar un secado previo de las fibras, debido a que la humedad en éstas puede ocasionar problemas de compatibilidad entre la fibra y la resina. En la Figura 1.4 se muestra el diagrama del equipo para la obtención de este biocompuesto. Las fibras se colocan dentro del molde de inyección de la resina, por el aumento de la temperatura y el vacío generado, la humedad de las fibras disminuye, la resina es inyectada hacia el molde mediante aire comprimido (Rouison, Sain, y Couturier, p. 7, 2004)

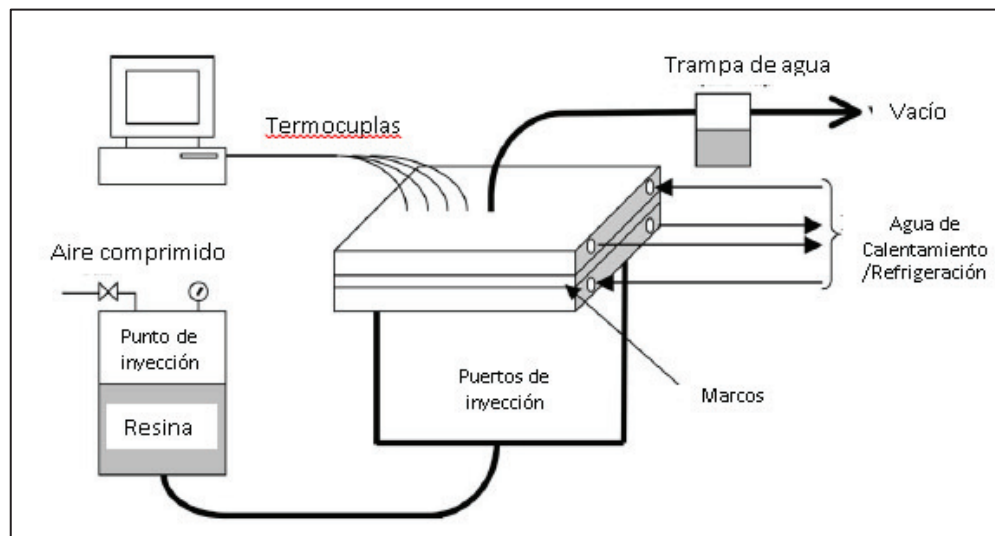


Figura 1.4. Esquema del equipo de moldeo por transferencia de resina (RTM) (Rouison, Sain, y Couturier, 2004)

Este es el proceso que se sigue para el moldeo de materiales compuestos con

fibras vegetales de cáñamo, pero puede seguirse para otro tipo de fibras naturales (Rouison, Sain, y Couturier, 2004).

- **Yute**

El yute es una de las fibras naturales más accesibles a nivel mundial debido a que tiene una gran variedad de usos, siendo India y Bangladesh los mayores productores de yute en el mundo (Chandramohan y Marimuthu, 2011).

Esta fibra se obtiene del tallo de la planta de yute cuya longitud de la fibra corta está entre los 3 y 6 mm, con ancho aproximado entre los 40-80 μm ; una vista microscópica de la fibra se muestra en el Figura 1.5. Estas fibras se componen principalmente de celulosa (el principal componente de fibra de la planta) y lignina (el componente principal de la fibra de madera) (Collier y Tortora, 2001, p. 66)

Entre las ventajas que posee el yute se incluyen buenas propiedades aislantes y antiestáticas, así como tener baja conductividad térmica y humedad moderada. La fibra de yute es la fibra vegetal más barata con alta resistencia a la tracción, baja elongación, y una aceptable transpirabilidad de los tejidos. Es 100 % biodegradable y reciclable, además es una de las fibras naturales más versátiles que se ha utilizado en las materias primas para embalaje, productos textiles, no textiles, construcción y agrícola. Otra ventaja que posee esta fibra es en el uso de refuerzo dentro de los polímeros como polietilenos, polipropilenos, poliésteres y resinas, ya sea como una carga o refuerzo de las mismas. (Yu, 2015)

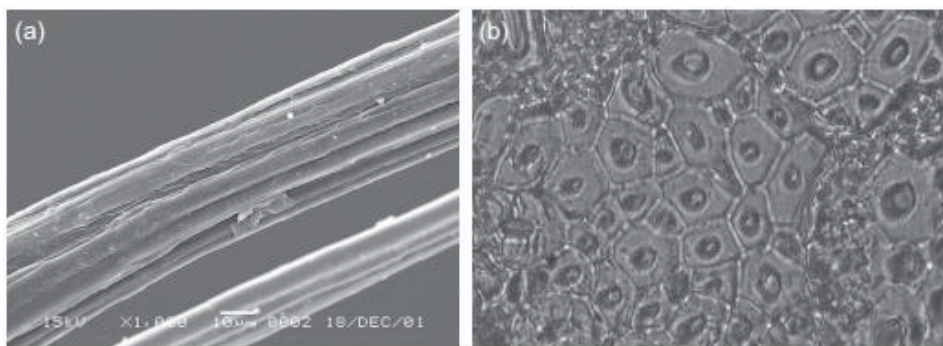


Figura 1.5. Vista microscópica de la fibra de yute: a) vista longitudinal b) vista transversal (Yu, 2015)

1.1.3.2 Fibras duras

Este tipo de fibras son referidas a las que se obtienen de las hojas de las plantas monocotiledóneas, cada una de estas fibras poseen una tira fibrosa o un grupo de fibras asociadas. Este tipo de fibras poseen un elevado contenido de lignina por lo que son de textura más rígidas que la proveniente de los tallos siendo principalmente empleadas las fibras de abacá, sisal, cabuya y la fibra que se obtiene de la planta de banano (Yu, 2015).

Entre las más empleadas para el uso junto con la resina poliéster se encuentran las siguientes:

- **Abacá**

El abacá es una fibra natural que pertenece a la familia del banano con el nombre botánico de *Musa textiles*. Esta es una fibra superior debido a su alta resistencia a la tracción y elongación, flotabilidad, alta porosidad, resistencia a los daños de agua salada, y además de ser una fibra larga ya que se pueden alcanzar hasta 3 m de longitud. Las mejores calidades de abacá se obtienen cuando la fibra presenta un color amarillento, brillante a la luz en color muy fuerte (Collier y Tortora, 2001, p. 68)

Las fibras de abacá son lignocelulósicas y su composición química es: 70,1% celulosa, 21,8% hemicelulosa, 0,6% pectina 5,7% lignina (Menachem, p. 479 – 480, 2007).

El abacá es la más fuerte de todas las fibras naturales por lo cual se usa principalmente como materia prima para la fabricación de artesanías de fibra y la pulpa es empleada para la fabricación de productos de papel especial como papeles de seguridad, bolsas de té, cubiertas para carne, materiales no tejidos y papel para cigarrillos, entre otros (Vijayalakshmi y Neejara, p. 16-19, 2014).

Entre otros de los usos que tiene esta fibra es el empleo como refuerzo de la resina

poliéster para la creación de materiales compuestos ya que este tipo nuevo de material ofrece a los diseñadores crear nuevos materiales, para conseguir propiedades mecánicas que con los materiales tradicionales no se podrían alcanzar (Menachem, p. 480, 2007).

- **Banano**

La fibra de banano es obtenida de la planta de banano de la familia de las *MUSAS*, estas son extraídas de la parte del pseudotallo y del pinzote de la planta, esto se evidencia de mejor manera en la Figura 1.6 en donde se observan las partes de esta planta.

El pseudotallo es la parte de la planta de banano que se asemeja al tronco, pero este es denominado un falso tronco ya que está compuesto por vainas foliares u hojas que aún no brotan, este pseudotallo está conformado principalmente por agua y es el principal soporte de la planta (Santhosh y Balanarasimman, 2014).

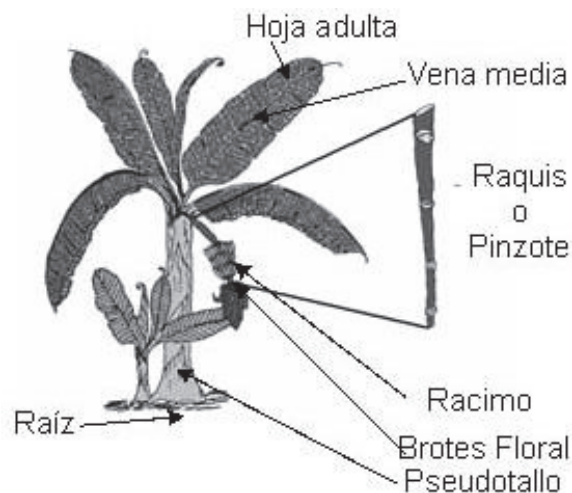


Figura 1.6. Partes de la planta de banano (Turrado y Saucedo, 2009)

1.1.3.3 Tejidos a partir de fibras

Existen varios tipos de elementos tejidos y no tejidos elaborados de fibras naturales,

a diferencia de las fibras en sí, este material es un conjunto de fibras largas o cortas que se encuentran entrelazadas y que se emplean en conjunto con las resinas para mejorar sus propiedades tanto mecánicas, de flexión o de refuerzo (García Diez, 2011). A continuación se presentan los diferentes tipos de tejidos y no tejidos empleados en resinas:

- **Estructuras tejidas**

Existen diferentes tipos de arreglos entrelazados entre hilos que permiten obtener una amplia disponibilidad de tejidos, principalmente se tienen los tejidos planos, de sarga y satín (Menachem, 2007). En la Figura 1.7, se muestra un ejemplo de este tipo de tejidos de fibras naturales formando un material compuesto con la resina poliéster.



Figura 1.7. Material compuesto de resina poliéster y tejido en tapa posterior de teléfono móvil (García Diez, 2011)

- **Estructuras no tejidas**

Los no tejidos son estructuras fibrosas planas, flexibles y porosas constituidas por una manta de fibras o enredamiento de fibras o filamentos orientados, elaborados a partir de un proceso mecánico de fricción, químico, térmico o a su vez una combinación de estos tres procesos (Borovich, 2005).

La clasificación de los no tejidos se la realiza sobre la base de sus procesos de fabricación, materias primas (características de las fibras o filamentos), gramaje, procesos de transformación y conversión. A continuación en la Figura 1.8 se muestra una estructura no tejida compuesta por fibra natural de coco y obtenida por el método de moldeo por compresión.



Figura 1.8. No tejido de fibra de coco obtenido por compresión (Borovich, 2005)

Entre las principales aplicaciones de los no tejidos de fibra natural se pueden detallar las siguientes:

- **Industria Automotriz:** aislamiento térmico y acústica, base de piezas moldeadas.
- **Comercio:** Embalajes, bolsas, relleno de calzado, decoración de vitrinas.
- **Construcción civil:** armadura de sistemas asfálticos, impermeabilización de techados, subsuelos y aislante térmico.
- **Filtración:** filtros sólidos para la eliminación de impurezas.
- **Industrial:** reforzamiento en matrices de poliéster para embarcaciones, tubos o piezas técnicas.

Desde el punto de vista ambiental, algunos no tejidos naturales son elaborados a partir de los desechos que se generan en la elaboración de hilos de fibra natural,

estas fibras desechadas son fibras cortas que no permiten un buen proceso en la hilatura, a la cual se le realiza un proceso de moldeo por compresión para la creación del no tejido (Wageningen, 2009).

1.2 RESINAS POLIÉSTER INSATURADAS

1.2.1 GENERALIDADES

Aproximadamente desde el año 1950 hasta la actualidad el consumo mundial de materiales poliméricos ha tenido un crecimiento continuo debido a que posee notables características físicas, versatilidad en su uso, así como un bajo costo en relación con otros materiales. Todo esto ayuda para la sustitución de materiales como metales, madera, cerámicos entre otros, pero a su vez estos materiales generan gran cantidad de desperdicios, ya que en la mayoría de casos están considerados como materiales de un solo uso y además con un tiempo de degradación muy elevado (Plastics Europe, 2010, p. 15)

Uno de estos materiales poliméricos es la resina poliéster insaturada, que es un líquido viscoso obtenido por policondensación entre un ácido o anhídrido, saturado o insaturado, con un diol u óxido. Estas resinas de manera general son oligómeros de color amarillo cuyo rendimiento puede ser mejorado mediante el uso de aditivos, rellenos y refuerzos (Johnson y Yang, 2003, p. 699).

La resina poliéster insaturada es ampliamente utilizada tanto para recubrimientos, como para la fabricación de materiales compuestos debido a que posee buenas propiedades mecánicas (Trujillo, 2000, p. 23). Además, se la puede emplear como alternativa para algún material o en general como un producto terminado, por ejemplo en tuberías, barnices, cascos de barcos, tanques transportadores entre otros (Penczek y Czub, p. 87-89, 2005). Otra de las características importantes de la resina poliéster es la factibilidad de actuar como una matriz polimérica, la cual puede combinarse con fibras vegetales, fibras sintéticas y artificiales para mejorar las propiedades mecánicas de la resina (Dholakiya, 2012).

1.2.2 SÍNTESIS DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA

La resina poliéster insaturada es sintetizada mediante la reacción de policondensación entre ácidos o anhídridos dibásicos saturados e insaturados con alcoholes u óxidos divalentes. Entre los reactivos que más se emplean dentro de la industria se pueden mencionar al anhídrido maléico, anhídrido ftálico y el propilenglicol; además se emplea un monómero vinílico estructural necesario para la reticulación del poliéster formado (Dholakiya, 2012).

En la Figura 1.9 se muestra la estructura que presentan estas moléculas.

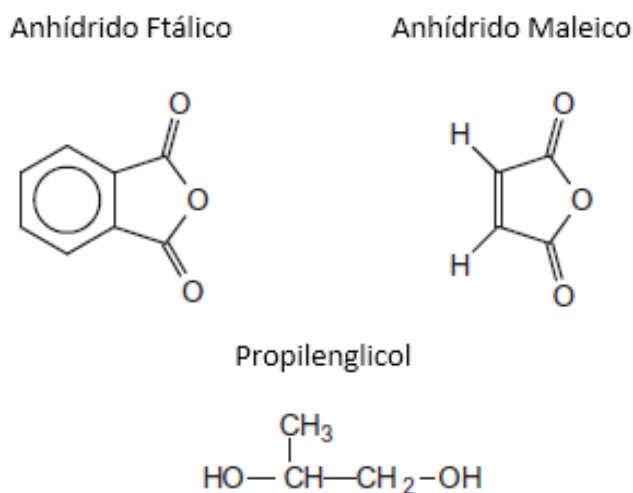


Figura 1.9. Estructura de los principales compuestos empleados en la síntesis de la resina poliéster insaturada (Fink y Leoben, 2013,)

La reacción de poliésterificación del poliéster en la resina se ve influenciada por la estructura de los componentes y por la estequiometría de las reacciones entre el glicol y los ácidos dibásicos. De manera general se añade alrededor de entre el 5 al 10% de exceso de glicol en la formulación, debido a pérdidas por evaporación y policondensación que se tiene dentro de la reacción de polimerización (Fink y Leoben, p. 8).

Por otra parte para que inicie la reacción se debe desarrollar en un medio con un carácter ácido, con un valor de pH que se encuentre entre los 4,0 a 4,5 por lo que

se añade el ácido clorhídrico para que el sistema adopte el carácter ácido necesario para la reacción (Malik y Choudhary, 2007, p. 148).

En la esterificación del poliéster se tiene un intervalo inicial de polimerización entre los 60 °C y los 130 °C en los cuales se presenta la formación del denominado monoéster. En la segunda etapa de la síntesis se alcanzan temperaturas alrededor de 160 °C y se da lugar la policondensación, siendo primordial la eliminación de agua del sistema. En la Figura 1.10 se muestra el mecanismo de reacción de formación del monoéster (Scheirs y Long, 2003, p. 612-623).

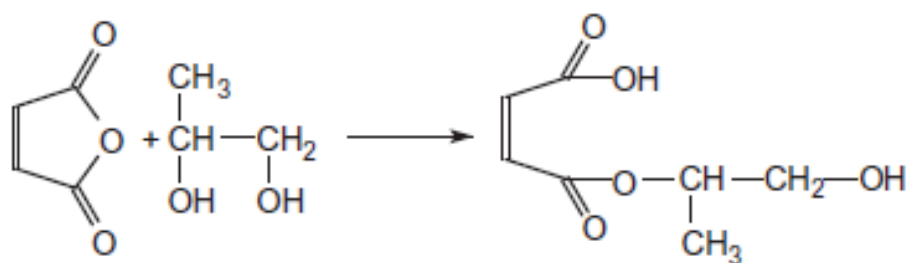


Figura 1.10. Reacción de formación del monoéster
(Malik y Choudhary, 2007, p. 8).

Existen varios controles que se pueden establecer dentro del sistema, con el fin de garantizar el monitoreo de la reacción de policondensación, siendo en un inicio, la cantidad de agua obtenida como producto de la reacción y en su etapa final la evaluación del número ácido presente en el sistema. La evaluación del número ácido se realiza retirando muestras del prepolímero del reactor y llevándolas a una titulación con una solución alcohólica de hidróxido de potasio con una concentración de 0,1 N. Este parámetro representa la cantidad en miligramos de acidez presente en un gramo de resina, una vez que el número ácido ha alcanzado el valor de 135 aproximadamente, el sistema alcanza una temperatura entre los 175 y 185°C (Malik y Choudhary, 2007, p. 9).

El rango óptimo en el cual se puede dar por terminada la reacción de policondensación de la resina poliéster insaturada, se da cuando se alcanzan valores del número ácido inferiores a 50 hasta los 25 mg NaOH /g muestra de resina (Johnson y Yang, 2003)

Una vez terminada la reacción, la resina poliéster insaturada tiende a disminuir su temperatura y los enlaces dobles presentes en la resina son fácilmente afectados por las impurezas o la temperatura ambiente, por lo que en la etapa de almacenamiento cuanto más alta sea esta temperatura o más largo sea el tiempo de almacenamiento de la resina, mayor es el peligro de la auto-polimerización preliminar en donde se produce una gelificación no deseada de la resina, lo que hace que sea inutilizable, por ende se deben incorporar inhibidores para evitar este efecto (Fink y Leoben, 2013, p. 9).

El inhibidor más común empleado en la resina poliéster insaturada es la hidroquinona que debe ser añadida al sistema cuando éste se encuentra en una temperatura de 150°C, luego de terminada la etapa de policondensación (Malik y Choudhary, 2007, p.9).

Finalmente se debe añadir el monómero vinílico, siendo el más utilizado el estireno, el cual debe ser añadido a una temperatura menor a 80°C para evitar su evaporación dentro del sistema y en una concentración del 30 % al 40 % en peso de resina obtenida. La concentración de estireno afecta las propiedades físicas de la resina luego del curado de la misma (Penczek y Czub, 2005, p. 17; Fink y Leoben, 2013, p. 17).

1.2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA RESINA POLIÉSTER INSTAURADA

La caracterización de la resina poliéster insaturada incluye las siguientes opciones:

1.2.3.1 Espectroscopía de Infrarrojo con Transformadas de Fourier (FTIR)

La espectroscopía de infrarrojo es uno de los análisis más empleados, debido a que permite la identificación de los grupos funcionales presentes en un compuesto ya sea que se encuentren en estado sólido o líquido, puesto que se basa en la interacción entre la materia y la radiación a la cual es sometida. Por la versatilidad

de este análisis se lo emplea extensamente en industrias alimenticias, farmacéuticas, agricultura e industrias químicas (Stuart, 2011, p. 2).

Esta técnica se basa en las vibraciones atómicas y moleculares a las que son sometidas las muestras por acción de la radiación incidente, esto se lo realiza en un rango determinado de longitud de onda que puede ir entre los $4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ y $500\ \text{cm}^{-1}$ como se aprecia en la Figura 1.11.

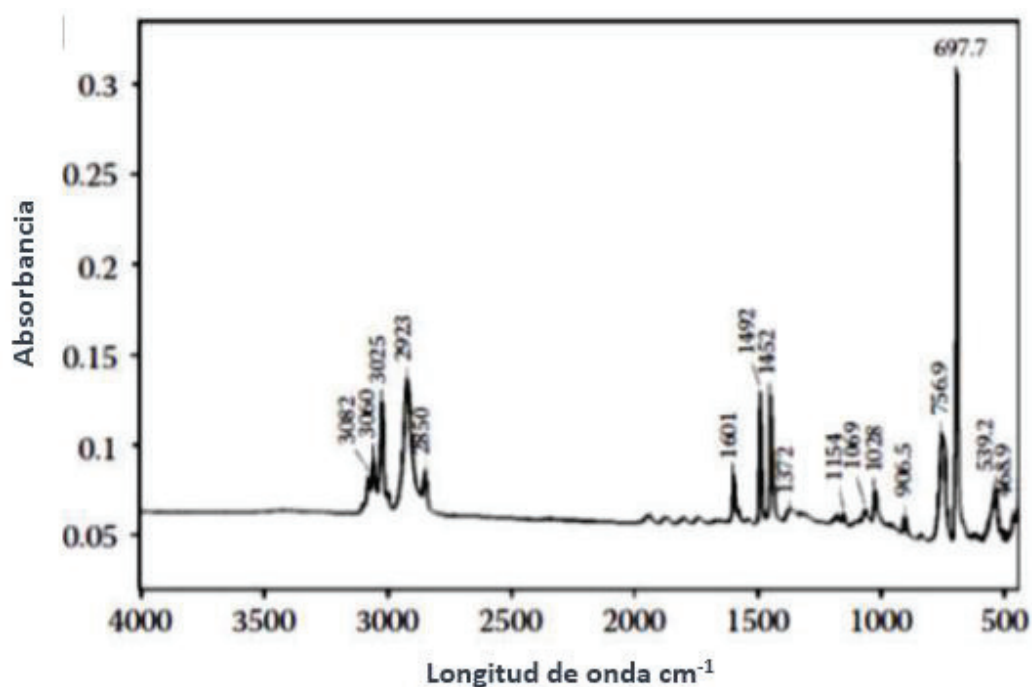


Figura 1.11. Espectro del estireno obtenido por FTIR (Smith, 2011, p3)

A una longitud de onda específica cada estructura presente en el compuesto posee una determinada banda de absorción, lo que provoca que en el espectro se presente un pico característico, que con ayuda de un software informático o con espectros obtenidos para los compuestos puros, permite determinar el tipo de estructuras que componen una muestra (Smith, 2011, p. 3).

1.2.3.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Para la caracterización térmica de los materiales poliméricos, una de las técnicas

más empleadas es la calorimetría diferencial de barrido (DSC), esta técnica se basa en el principio de evaluar las propiedades en las transformaciones que sufre la materia con el incremento de la temperatura, siendo estas la temperatura de transición vítrea en el caso de compuestos amorfos o semicristalinos, la temperatura de fusión, el calor de fusión, la estabilidad a la temperatura (Ehrenstein y Riedel, 2004, p. 1). Este proceso es realizado bajo estrictos parámetros de control, entre los que se menciona: velocidad constante de calentamiento o enfriamiento de la muestra en los ciclos de calentamiento o enfriamiento, atmósferas inertes o reactivas, dependiendo de la muestra a analizarse (Menczel, 2009, p. 16).

Temperatura de transición vítrea (T_g): Es la temperatura que presentan los compuestos poliméricos amorfos y semicristalinos que indica el cambio de estado de rígido o frágil a un estado más flexible, debido al incremento de los movimientos en las cadenas segmentadas del polímero (Ehrenstein y Riedel, 2004, p17).

Punto de fusión y calor de fusión: Corresponden a la temperatura y a la energía necesaria para que un sólido cristalino logre cambiar su estado de agregación, a un líquido amorfo. En el caso de los polímeros semicristalinos el punto de fusión se establece en un rango, debido a la fusión dispereja de los cristales presentes en su estructura.

1.2.3.3 Termogravimetría (TGA)

Esta técnica de análisis evalúa el cambio en la masa de la muestra en función del tiempo, bajo los efectos de un programa de aumento y disminución de temperatura, que puede ir desde la temperatura ambiental hasta los 1000°C, en presencia de atmósferas inertes u oxidantes que son las mayormente empleadas en los polímeros (Menczel, 2009, p217).

Conforme la muestra presenta una pérdida de peso se puede determinar algunas características como la volatilidad de los componentes en temperaturas superiores a los 200°C, la cantidad de humedad y agua ligada en el compuesto, así como la

degradación de los componentes de la muestra y la estabilidad térmica (Menczel, 2009, p 217)

1.2.4 CURADO DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA

El proceso de curado de la resina poliéster insaturada se lo realiza mediante la vía de los radicales libres, para lo cual el estireno presente en la resina poliéster juega un papel fundamental, debido a que en primera instancia este disuelve el poliéster logrando bajar la viscosidad de la mezcla, para luego ser el agente que se encarga de unir las cadenas de poliéster. Este proceso es exotérmico, logrando llegar a temperaturas entre los 50 °C y 80 °C (Vargas, Sachsenheimer y Guthausen, 2011, p. 133-134).

En la Figura 1.12 se muestra el mecanismo de reacción de reticulación del poliéster en presencia de estireno, en donde se rompe el doble enlace presente en el poliéster, generando radicales libres que reaccionan con el monómero de estireno presente, dando inicio a la reacción de entrecruzamiento de las cadenas de poliéster (Paul, Kanny y Redhi, 2013, p. 500)

Existen reactivos químicos que ayudan a mejorar los tiempos de reacción en el entrecruzamiento de las cadenas de poliéster, estos compuestos son los iniciadores y catalizadores o acelerantes de la reacción, estos pueden emplearse independientemente o formando un sistema de catalizador-iniciador (Malik y Choudhary, 2007, p.155-157).

El curado de las resina poliéster se lo puede realizar en frío o caliente, esto va a depender del sistema catalizador-iniciador empleado, en la Tabla 1.2 se presentan las condiciones y varios tipos de estos sistemas que pueden ser aplicados.

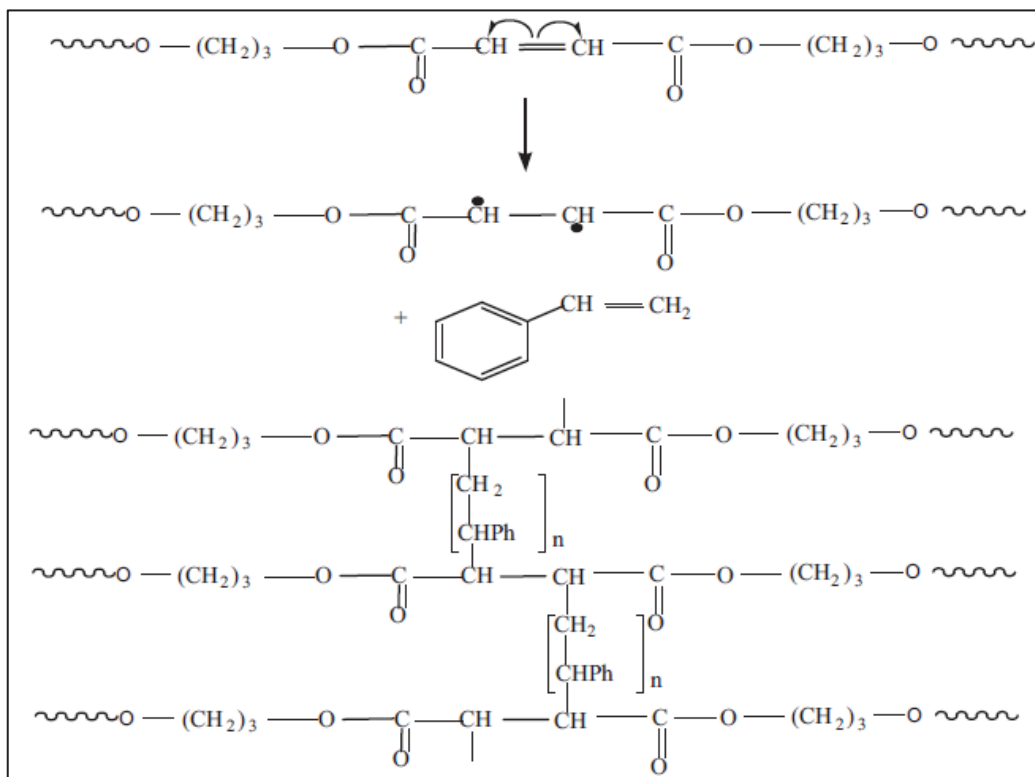


Figura 1.12. Mecanismo de reacción de curado de la resina poliéster (Paul, Kanny y Redhi, 2013, p. 500)

Para obtener una mayor facilidad en los procesos, el mecanismo de curado en frío con el peróxido de metil-etil-cetona como iniciador y octoato de cobalto como acelerante es la mejor opción, debido a que la temperatura de uso de estos elementos rodea la temperatura ambiental, lo que ayuda de manera significativa en el curado de la resina poliéster (Vargas, Sachsenheimer y Guthausen, 2011,p.128).

Tabla 1.2. Condiciones de operación de sistemas catalizador iniciador

| Iniciador | Acelerante | Temperatura (°C) |
|---------------------------------------|--------------------|------------------|
| Peróxido de benzoilo | Dimetillanilina | 0-25 |
| Peróxido de metil, etil cetona (MEKP) | Octoato de cobalto | 20-25 |
| Peróxido de di-ter-butilo | Calor | 130 |
| Ter-butilperoxi-benzoato | Calor | 130 |

Fuente: Vargas, Sachsenheimer y Guthausen, 2011,p. 128

Para el proceso de curado de la resina poliéster insaturada, existen varias

consideraciones que se deben tener en cuenta para obtener un producto final acorde a al empleo final de éstas resinas. Una de estas es la presencia de oxígeno en el proceso de curado debido a que este inhibe la reacción de reticulación de las cadenas, pudiendo formarse superficies pegajosas por la acción de los radicales libres no reaccionados (Brydson, 1999, p. 705).

Finalmente es importante tomar en cuenta que no se tiene una eficiencia del 100% en la reacción de entrecruzamiento de las cadenas, debido a la presencia de dobles enlaces en el producto final, esto se debe a la temperatura de curado de la resina, siendo la temperatura óptima inicial entre los 50°C y 80°C (Malik y Chouddhary, 2007, p. 155).

2. PARTE EXPERIMENTAL

El presente proyecto tiene como finalidad encontrar un sustituto a una de las materias primas para la formulación de las resinas poliésteres insaturadas, el anhídrido ftálico; este sustituto es la savia de banano debido a que esta presenta características similares al anhídrido y su uso dentro de la síntesis de la resina poliéster insaturada puede ser de gran ayuda, ya que esta savia ayudaría a formular una bio-resina con características similares a la resina comercial que se distribuye actualmente en el país.

A continuación se muestra todo el proceso de caracterización, síntesis de la resina poliéster insaturada, así como la evaluación de la misma y la estimación de los costos que esta genera en su formulación a escala de laboratorio.

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA SAVIA DE TRES DIFERENTES VARIEDADES DE BANANO: *MUSA CAVENDISH I, MUSA CAVANDANAISH Y MUSA PARADISIACA*

Se realizó la caracterización física y química de la savia de banano de las variedades *Musa Cavendish I*, *Musa Cavandanaish* y *Musa Paradisiaca*, procedentes de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, del cantón La Concordia.

La savia analizada fue extraída de las 3 partes de la planta de cada una de las variedades de banano analizadas, siendo del pseudotallo, del raquis o pinzote y de la cáscara del fruto verde, debido que los polifenoles se encuentran presentes en compuesto sin grado de maduración.

Las muestras de cada variedad de banano que fueron analizadas se recolectaron bajo las mismas características de edad de la planta y tiempo de maduración del fruto, para usar valores semejantes y poder realizar una comparación más objetiva.

Para evaluar las características de todas las variedades de banano involucradas, se procedió a cortar las muestras y almacenarlas a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, para poder estandarizar las condiciones de las mismas.

2.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA SAVIA DE BANANO

Previamente se determinó la cantidad de savia que posee cada una de las partes de la planta. Dentro de las características físicas que tiene la savia de banano, se determinaron la densidad aparente y el contenido de humedad.

2.1.1.1 Determinación de la cantidad de savia de banano

De cada una de las 3 partes de la planta, se empleó una muestra con un peso de 3 kg, se la colocó entre las planchas del molde que se muestran en la Figura 2.1 y se la sometió a un proceso por compresión en una prensa marca J. Wickert y Sohne, para poder separar la parte sólida y líquida de la misma. Se realizaron 3 repeticiones por cada ensayo realizado.

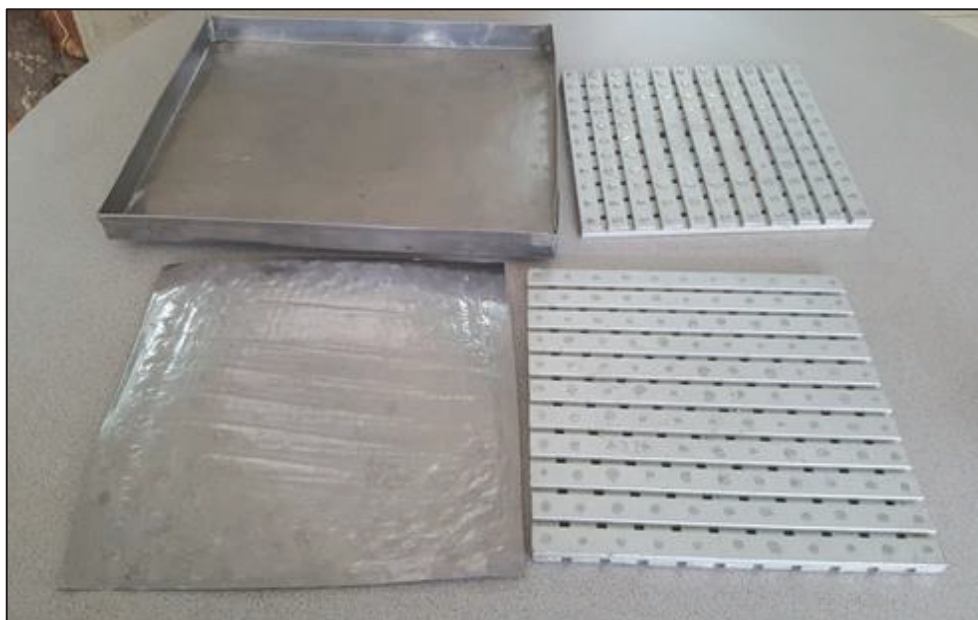


Figura 2.1. Molde para compresión

Se empleó la ecuación 2.1 para la determinación del porcentaje de savia.

$$\% \text{ Savia de banano} = \frac{\text{Masa líquido recolectado}}{\text{Masa total de muestra}} \times 100\% \quad [2.1]$$

2.1.1.2 Contenido de humedad

El análisis del contenido de humedad fue realizado con base en la norma AOAC 930.15, Para lo cual se empleó una estufa marca Vetincell 55, que posee una capacidad de 10 – 250°C.

Se pesó una muestra de 2 g de savia de banano extraída de cada una de las partes de la planta, las cuales fueron secadas de acuerdo a las condiciones que se detallan en la Tabla 2.1. Realizándose 3 repeticiones por cada muestra analizada.

Tabla 2.1. Condiciones de secado de la savia de banano para determinar contenido de humedad

| Parámetros | Condiciones |
|------------------|-------------|
| Temperatura (°C) | 135 ± 2 |
| Tiempo (h) | 2 |
| Presión (atm) | 0,72 |

Se empleó la ecuación 2.2 para la determinación del porcentaje de humedad en las muestras analizadas.

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{\text{Masa inicial de la muestra} - \text{Masa final de la muestra}}{\text{Masa inicial de la muestra}} \right) \times 100\% \quad [2.2]$$

2.1.1.3 Determinación de la densidad

La determinación de la densidad de la savia de banano se realizó con base en la

metodología propuesta por la norma AOAC 945.06, para lo cual se empleó un picnómetro cuya capacidad es de 250 mL, el procedimiento empleado se lo detalla en el Anexo I.

2.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA SAVIA DE BANANO

Dentro de las características químicas que posee la savia de banano se determinaron la concentración de fenoles totales y el pH de la savia de banano para cada una de las muestras de savia de banano recolectadas.

2.1.2.1 Determinación del pH de la savia de banano

Este análisis se elaboró sobre la base de la norma ISO 1842, para lo cual se empleó un pH-metro marca Hanna Instruments, modelo Waterproof Family, que posee una capacidad de medida de pH de 0 – 14, con una precisión de $\pm 0,1$.

Las condiciones de operación del equipo se detallan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Condiciones de operación del pH-metro

| | |
|-------------------------|------|
| Temperatura (°C) | 20 |
| Presión (atm) | 0,72 |

2.1.2.2 Determinación de la concentración de fenoles totales por el método de Folin - Ciocalteu.

Para la determinación de la concentración de los polifenoles totales contenidos en la savia de banano presente en las diferentes partes y variedades de banano, éste se usó el método de Folin-Ciocalteu. Se empleó un espectrofotómetro UV – VIS, marca Shimadzu, modelo UV-240 el cual midió la absorbancia de las muestras en una longitud de onda de 765 nm (Umar y Xia, 2012,p. 53-56; Paul, Kanny y Redhi,

2013, p. 504).

Las muestras se las numeró de la siguiente manera, como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Muestras para el análisis por Espectroscopía UV-VIS.

| Muestras | Sección de la Planta | Variedad |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 | Pseudotallo | <i>Musa Cavendish I</i> |
| 2 | Hoja | <i>Musa Cavendish I</i> |
| 3 | Cáscara del fruto | <i>Musa Cavendish I</i> |
| 4 | Pseudotallo | <i>Musa Cavandanaish</i> |
| 5 | Hoja | <i>Musa Cavandanaish</i> |
| 6 | Cáscara del fruto | <i>Musa Cavandanaish</i> |
| 7 | Pseudotallo | <i>Musa Paradisiaca</i> |
| 8 | Hoja | <i>Musa Paradisiaca</i> |
| 9 | Cáscara del fruto | <i>Musa Paradisiaca</i> |

Se decidió utilizar las alternativas indicadas en la Tabla 2.3 con el fin comparar la concentración de los polifenoles en cada una de las partes de la planta en cada una de las variedades involucradas.

- **Curva de calibración**

Para la medición de los polifenoles totales contenidos en la savia de banano, se procedió a la elaboración de una curva de calibración.

Entre los reactivos empleados se enlistan los siguientes:

- Ácido gálico, grado ACS de pureza, Merck
- Reactivo de Folin-Ciocalteu, 2 N, Merck
- NaCO₃, Carbonato de sodio, 99.9 % de pureza, Merck

Se elaboraron soluciones de ácido gálico de concentración 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm y 200 ppm, estas fueron las soluciones estándar con las cuales se conformó la curva de calibración del equipo.

Se tomaron 0,5 mL de muestra y se añadieron 0,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, y se agitó la solución por 3 minutos. Luego a la mezcla se le adicionó 10 mL de una solución de 75 g/L de carbonato de sodio, se agitó la solución y se aforó con agua destilada hasta completar los 25 mL. Obtenida esta solución, se la dejó reposar a temperatura ambiente por 1 hora. Una vez realizado este procedimiento se midió la absorbancia de las soluciones en una longitud de onda de 765 nm.

2.2 SÍNTESIS DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA EMPLEANDO LA SAVIA DE BANANO

Para la síntesis de la resina poliéster insaturada, se tomó en cuenta la parte de la planta que poseía la mayor concentración de polifenoles en cada una de las variedades estudiadas.

Una vez obtenida la savia de banano por comprensión, se la almacenó a una temperatura de -5°C , debido a que ésta en caso de estar a temperaturas mayores a los 10°C , los polifenoles sufren una oxidación obteniéndose quinonas (Paul, Kanny y Redhi, 2013, p. 505).

Una de las condiciones de reacción es el pH, el cual debe tener un valor entre 4 a 4,5 por lo que se añadió entre 2 a 3 gotas de ácido clorhídrico (HCl) para que el pH llegue a este valor. Las características del ácido empleado se detallan a continuación:

- Ácido clorhídrico, grado analítico de pureza (37,0% V/V), Merck

La síntesis de la resina se la llevó a cabo a escala laboratorio, esta consistía en una reacción de policondensación entre el anhídrido maléico, los polifenoles de la savia

de banano y el propilenglicol, para lo cual se empleó un sistema de calentamiento, agitación mecánica y un sistema de condensación, que se presenta en la Figura 2.2.



Figura 2.2. Equipo utilizado para la síntesis de la resina.

En la Tabla 2.4 se muestran las condiciones a las cuales se operó el equipo para la síntesis de la resina poliéster insaturada.

Tabla 2.4. Condiciones de la reacción de polimerización

| | |
|------------------------------|-----------|
| Temperatura del reactor (°C) | 180 - 200 |
| Presión (atm) | 0.72 |

El agua presente en la savia de banano así como el agua procedente de la reacción de policondensación debe ser retirada, para lo cual se colocó un sistema de

condensación en la boca del reactor (Cano, Pérez y Espinel, 2002).

Para poder verificar el avance de la reacción de policondensación se realizó una cuantificación del número ácido de la resina (#COOH), este se expresó como (mg NaOH/ g muestra), para ello se tituló una muestra de resina disuelta en etanol con una solución etanólica de NaOH 0,1 M teniendo a la fenolftaleína como indicador, todo este proceso se lo efectuó bajo la norma ASTM D1386. La síntesis se llevó a cabo hasta alcanzar un número ácido inferior a los 50 mg NaOH /g muestra. Para la evaluación del número ácido, se empleó la ecuación 2.3 que se muestra a continuación:

$$\#COOH = \frac{V*5,61}{m} \quad [2.3]$$

Donde:

#COOH: Índice de número ácido
 V: mL de solución etanólica de NaOH 0,1N
 m: masa muestra empleada

2.3 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO

Una vez que se obtuvieron las resinas con savia de banano, se procedió a la evaluación de sus propiedades; tanto físicas, químicas y mecánicas para lo cual se dividió al proceso en tres etapas claves; siendo éstas: antes del curado de la resina poliéster, el curado de la resina y luego de la etapa de curado. Todas las propiedades evaluadas ayudaron a la caracterización de la resina poliéster insaturada con savia de banano.

2.3.1 PROPIEDADES DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO

Una vez terminada la etapa de la síntesis de la resina poliéster insaturada, se

procedió a la evaluación de la misma, con la determinación del porcentaje de sólidos y dureza de las resinas, debido a que con éste último ayudó a la evaluación del diseño experimental.

2.3.1.1 Porcentaje de sólidos presentes en la resina

Para cada una de las resinas elaboradas a partir de la savia de banano se determinó el porcentaje de sólidos presentes, este análisis se lo ejecutó bajo la norma ASTM D2369-10, todo el procedimiento realizado para esta determinación se lo muestra en el Anexo II.

2.3.1.2 Dureza de la resina poliéster insaturada con savia de banano

Para realizar el curado, una vez terminada la reacción de policondensación se enfrió el reactor a temperatura ambiental, permitiendo que la temperatura de la resina baje hasta los 70 °C aproximadamente para la adición del monómero estructural estireno, debido a que si se lo agrega antes de que llegue a esta temperatura éste se evapora de la resina, pudiendo provocar un curado prematuro o gelación en el reactor (Fink y Leoben, 2013).

Además una vez determinado el porcentaje de sólidos presentes en la resina poliéster insaturada con savia de banano se procedió al curado de la misma. Esto se lo realizó para todas las resinas a 25 °C, se añadió metil etil cetona (MEKP) como iniciador y se agregó octoato de cobalto como acelerante de la reacción (Elgegren, 2012)

Para la determinación de la dureza de la resina se tomó como referencia la norma técnica ASTM D2240-05. Para lo cual se empleó un durómetro Shore D, se tomaron un total de 10 mediciones para cada una de las resinas para obtener un promedio.

2.3.1.3 Diseño experimental

Para la formulación de la resina poliéster insaturada con savia de banano se consideró un diseño experimental 3^2 con una réplica, de manera que se tuvo 2 factores de diseño con 3 niveles cada uno, detallado de la siguiente manera:

- Savia de las diferentes variedades de banano (Factor 1):

Niveles:

- *Musa Cavendish I* (plátano verde)
- *Musa Cavandanaish* (plátano maqueño)
- y *Musa Paradisiaca* (plátano barraganete)

- Concentración en peso de la savia de banano dentro de la síntesis de la resina poliéster (Factor 2):

Niveles:

- 40 % (en peso)
- 50 % (en peso)
- 60 % (en peso)

En la Tabla 2.5 se muestra la nomenclatura a emplearse para las savias de banano de mayor concentración en polifenoles de cada una de las variedades de banano involucradas.

Tabla 2.5. Nomenclatura de las savias de banano con mayor concentración de polifenoles.

| Variedades de banano | Nombre a emplear |
|---|------------------------------|
| <i>Musa Cavendish I</i> (plátano verde) | Savia de banano variedad I |
| <i>Musa Paradisiaca</i> (plátano barraganete) | Savia de banano variedad II |
| <i>Musa Cavandanaish</i> (plátano maqueño) | Savia de banano variedad III |

Para la síntesis de la resina poliéster insaturada con savia de banano se realizaron 9 pruebas, que fueron clasificadas de la siguiente manera como se muestra en la Tabla 2.6.

Como variable de respuesta del diseño experimental, se evaluó la dureza de la resina poliéster insaturada con savia de banano una vez terminada la etapa de curado.

Tabla 2.6. Resinas y su composición de savia de banano

| Resina | Composición en peso total de resina |
|---------------|--|
| Resina 1 | Savia de banano variedad I al 40% |
| Resina 2 | Savia de banano variedad I al 50% |
| Resina 3 | Savia de banano variedad I al 60% |
| Resina 4 | Savia de banano variedad II al 40% |
| Resina 5 | Savia de banano variedad II al 50% |
| Resina 6 | Savia de banano variedad II al 60% |
| Resina 7 | Savia de banano variedad III al 40% |
| Resina 8 | Savia de banano variedad III al 50% |
| Resina 9 | Savia de banano variedad III al 60% |

Como variable de respuesta del diseño factorial planteado se emplearon los datos obtenidos del ensayo de dureza realizado a cada una de las resinas poliéster, el software empleado para evaluación del diseño experimental es el programa STATGRAPHICS, con el cual se evaluó la varianza de los datos obtenidos, así como la determinación de la mejor formulación de componentes dentro de la síntesis de la resina poliéster insaturada con savia de banano (Gutierrez y De la Vara, 2012, p. 236 - 250).

2.3.2 PROPIEDADES DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO Y DE LA RESINA POLIÉSTER COMERCIAL

2.3.2.1 Análisis de la resina poliéster insaturada con savia de banano por espectroscopía de infrarrojo (FTIR)

El análisis por espectroscopía de infrarrojo (FTIR) facilitó la caracterización estructural de la resina poliéster insaturada.

Para este análisis fue necesario un secado previo de la muestra a analizarse, para lo cual se colocó alrededor de 5 g de resina en papel aluminio y se sometió a una temperatura de 100°C por el lapso de dos horas para eliminar el estireno presente.

Se tomó una pequeña cantidad de muestra de resina seca y se la mezcló con bromuro de potasio previamente secado (110 °C por tres horas), se elaboró una pastilla con ayuda de una prensa calefactora, cuyos parámetros de operación se detallan en la Tabla 2.7. Los espectros obtenidos fueron comparados con estándares bibliográficos para la determinación de los grupos funcionales presentes dentro de la resina poliéster insaturada a partir de la savia de banano.

Los equipos utilizados para este ensayo se tienen:

- Espectrofotómetro infrarrojo, marca Pekín Elmer, modelo Spectrum One
- Prensa calefactada, marca Caver , modelo 2112-2

Tabla 2.7. Condiciones de operación de la prensa Caver

| | |
|-------------------------|--------|
| Temperatura (°C) | 250 |
| Presión (psi) | 20 000 |
| Tiempo (s) | 30 |

2.3.2.2 Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Para la determinación de las transiciones térmicas de las resinas sintetizadas con savia de banano, se empleó un análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) con base en la norma ASTM D3418-15, para lo cual se empleó un calorímetro

diferencial de barrido marca Netzsch modelo 204 F1 Phoenix, 700 °C, 0,1 °C, para poder alcanzar un enfriamiento constante, el equipo cuenta con un intracooler permitiendo llegar hasta temperaturas de -80 °C.

Para este análisis se pesó una muestra de resina de alrededor de 10 y 20 mg, se colocó la muestra dentro de una celda de aluminio, sellándola posteriormente. Estos análisis se los realizaron bajo una atmósfera inerte de nitrógeno con un flujo constante de 20 mL/min, realizándose los siguientes barridos:

- a) **Primer calentamiento:** desde la temperatura ambiente hasta llegar a los 300 °C con una tasa de calentamiento de 10 °C/min.
- b) **Paso isotermal:** se mantuvo la temperatura de 300 °C por un periodo de 10 min.
- c) **Primer enfriamiento:** desde los 300 °C hasta la temperatura ambiente.
- d) **Segundo calentamiento:** desde la temperatura ambiente hasta llegar a los 300 °C con una tasa de calentamiento de 10 °C/min.
- e) **Segundo enfriamiento:** desde los 300 °C hasta la temperatura ambiente.

Con la ayuda del software Netzsch Proteus, se pudieron determinar las temperaturas de transición vítrea y de fusión así como el calor de fusión para cada una de las resinas elaboradas.

2.3.2.3 Análisis de Termogravimetría (TGA)

Se realizó un análisis de termogravimetría para cada de las muestras de resina poliéster insaturada con savia de banano sobre la base de la norma ASTM E1131, con ayuda del equipo TGA-50 de la marca Shimadzu el cual consistió en pesar 10 mg de resina y se la colocó en el porta muestra del equipo, se sometió a las muestras a una tasa de calentamiento desde 10 °C hasta los 800 °C.

2.4 EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA FABRICACIÓN DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO

En esta parte del estudio se evaluaron los costos de los reactivos empleados, además se determinó la energía consumida en cada uno de los procesos y de los equipos empleados para poder determinar la viabilidad que conlleva la fabricación de la resina poliéster insaturada con savia de banano.

Con los equipos empleados, se procedió a la elaboración de un diagrama de bloque (BFD) de las operaciones unitarias empleadas en el proceso de producción de la resina poliéster con savia de banano.

La evaluación de la resina poliéster con savia de banano se la realizará a escala del laboratorio, es decir se evaluará la prefactibilidad de proyecto en base a los resultados obtenidos y además se tomará en consideración que para extracción de la savia los desechos obtenidos como la cáscara, el raquis y el pseudotallo no tienen ningún costo, debido a su calidad de desecho.

Para obtener el costo que se genera por la energía eléctrica, se tomará en cuenta la potencia de los equipos utilizados y el tiempo de reacción, siendo éste el tiempo de operación en el cual el equipo se encuentra encendido.

Finalmente se determinó el costo de producción de 1 kg de resina con savia de banano mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Costo}_{\text{Materia Prima}} + \text{Costo}_{\text{Energía}} = \text{Costo}_{\text{Producción}} \quad [2.4]$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados, estos fueron producidos a escala de laboratorio, se caracterizó la savia de cada una de las variedades involucradas, así como de la resina elaborada. Se detallan los diagramas de bloques y flujo en base a la formulación de resina que presentó mejores resultados en su evaluación. Adicionalmente, se efectúa una estimación económica del costo de la resina producida a nivel de laboratorio en relación a una resina comercial que se distribuye actualmente en el país.

3.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA SAVIA DE TRES DIFERENTES VARIEDADES DE BANANO: *MUSA CAVENDISH I*, *MUSA CAVANDANAISH* Y *MUSA PARADISIACA*

3.1.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA SAVIA DE BANANO

En esta sección se presentan los resultados del análisis para la determinación de la densidad, contenido de humedad y de la cantidad de savia presente en las secciones de la planta, para cada una de las variedades involucradas.

3.1.1.1 Resultados de la determinación de la cantidad de savia en cada una de las partes de la planta de banano

En la Tabla 3.1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la determinación del porcentaje de savia de banano presente en el pseudotallo, el raquis o pinzote y en la cáscara del fruto verde para cada una de las variedades de banano analizadas.

Tabla 3.1. Resultados de la cantidad de savia de banano presente en las diferentes partes de la planta y de acuerdo a cada variedad

| Variedad | Parte de la planta | % Savia promedio | Desviación estándar, % (n=3) |
|--------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|
| <i>Musa Cavendish I</i> | Pseudotallo | 75,52 | 1,51 |
| | Raquis | 52,07 | 0,51 |
| | Cáscara | 31,91 | 0,20 |
| <i>Musa Cavandanaish</i> | Pseudotallo | 76,88 | 1,90 |
| | Raquis | 55,83 | 1,24 |
| | Cáscara | 28,32 | 1,76 |
| <i>Musa Paradisiaca</i> | Pseudotallo | 67,97 | 1,06 |
| | Raquis | 47,63 | 0,97 |
| | Cáscara | 29,84 | 1,48 |

En los resultados obtenidos se aprecia que la cantidad de savia difiere tanto en la variedad de banano analizada como en la parte de la planta de la cual fue extraída, esto concuerda con lo expresado por Ping, Kam-Chau y Zhu-Tian en donde se indica que la cantidad de savia de banano va a ser mayor en el pseudotallo, debido a la estructura que éste presenta en forma de canales donde se acumula la savia obteniéndose valores del 75,52 % para la *Musa Cavendish I*, 76,88 % para la *Musa Cavandanaish* y 67,97 % para la *Musa Paradisiaca*.

Ping, Kam-Chau y Zhu-Tian (2002), mencionan que si bien la savia contenida en el pseudotallo es mayor, este valor obtenido no se puede generalizar debido a que este valor está sujeto a parámetros como la edad de la planta, el tipo de cultivo y la variedad analizada, esto se verifica en la Figura 3.1, donde se realizan comparaciones en el contenido de savia entre las tres variedades de banano analizadas.

La diferencia que existe en la cantidad de savia de banano entre las tres variedades analizadas no es significativa estadísticamente ($p > 0,05$) cuando se analiza la misma parte de la planta, este análisis se lo presenta en la Tabla 3.2. Pero sí se presenta una tendencia entre los valores de cada parte de la planta, obtenéndose

que luego del pseudotallo, el raquis presenta una concentración de savia entre el 47 al 55% y por último la cáscara que indica valores del 29 al 31%.

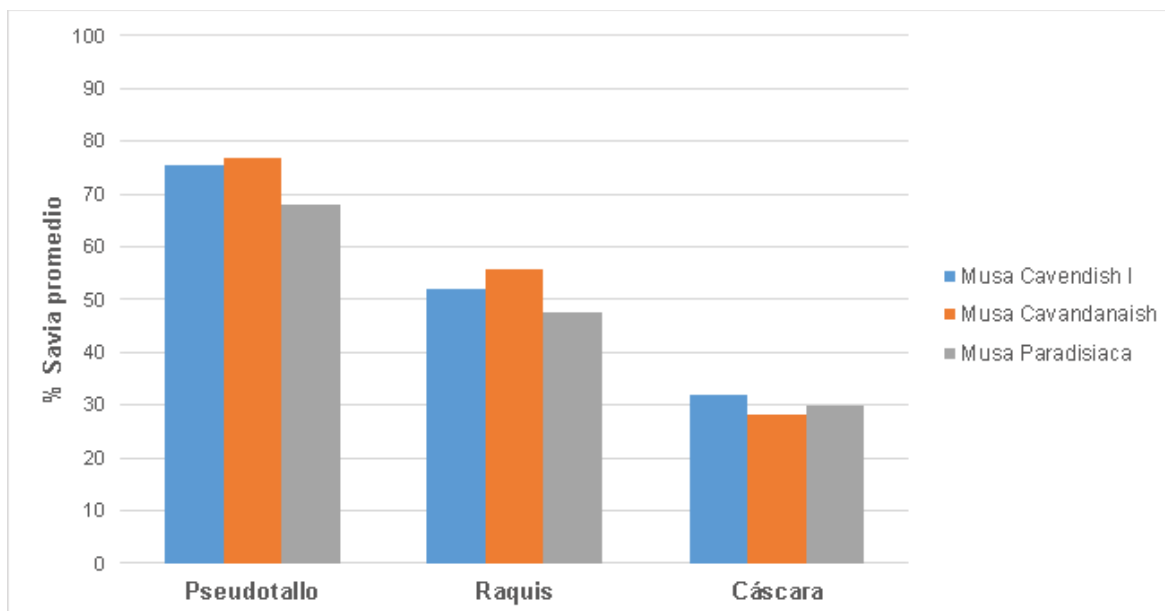


Figura 3.1. Porcentaje de savia promedio de diferentes partes de la planta y variedades de banano

Además del análisis estadístico se puede inferir que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) entre el porcentaje de la savia de la zona de la planta y la parte de la planta de donde es extraída, esto es debido a la estructura que se presenta en cada sección de la planta (Ping, Kam-Chau y Zhu-Tian, 2002, p. 1775).

Tabla 3.2 Análisis estadístico del porcentaje de savia promedio

| Fuente | Razón-F | Valor-P |
|--------------|---------|---------|
| Entre grupos | 97,74 | 0,0000 |
| Intra grupos | 56,76 | 0,0953 |

3.1.1.2 Resultados del contenido de humedad en la savia de banano

A continuación se detallan los resultados obtenidos para el contenido de humedad presente en cada una de las savias de banano recolectadas.

Existe una gran cantidad de humedad presente en la savia de banano, en cada una de las variedades analizadas, estos valores se encuentran dentro de lo esperado según el trabajo de Paul, Kanny y Redhi (2012), debido a que en su investigación el valor presentado es del 96% (p. 3). Para las tres variedades de banano y para las tres partes de la planta el residuo obtenido presenta una consistencia gomosa, dicho residuo según la investigación de Vargas y Martínez (2013), se trata de almidón y azúcares reductores que se encuentran presentes en la savia de banano, que al momento de elevar su temperatura tiende a caramelizarse (p. 51).

Tabla 3.3. Contenido de humedad en la savia de banano

| Variedad | Parte de la planta | % Humedad | *S_X (n=3) |
|--------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------|
| <i>Musa Cavendish I</i> | Pseudotallo | 97,01 | 1,70 |
| | Raquis | 96,89 | 1,28 |
| | Cáscara | 96,42 | 1,34 |
| <i>Musa Cavandanaish</i> | Pseudotallo | 96,34 | 0,89 |
| | Raquis | 95,02 | 1,56 |
| | Cáscara | 94,33 | 1,93 |
| <i>Musa Paradisiaca</i> | Pseudotallo | 96,06 | 1,62 |
| | Raquis | 95,17 | 1,17 |
| | Cáscara | 95,34 | 1,21 |

En la Figura 3.2 se presenta, de manera gráfica, una comparación de los resultados obtenidos entre las variedades de banano y las partes de la planta.

Sobre la base de los resultados obtenidos, no existe una diferencia significativa estadísticamente considerable ($p > 0,05$) entre las savias de banano de las diferentes partes de la planta, así como entre las variedades de la misma, dicho

análisis se lo representa en la Tabla 3.4.

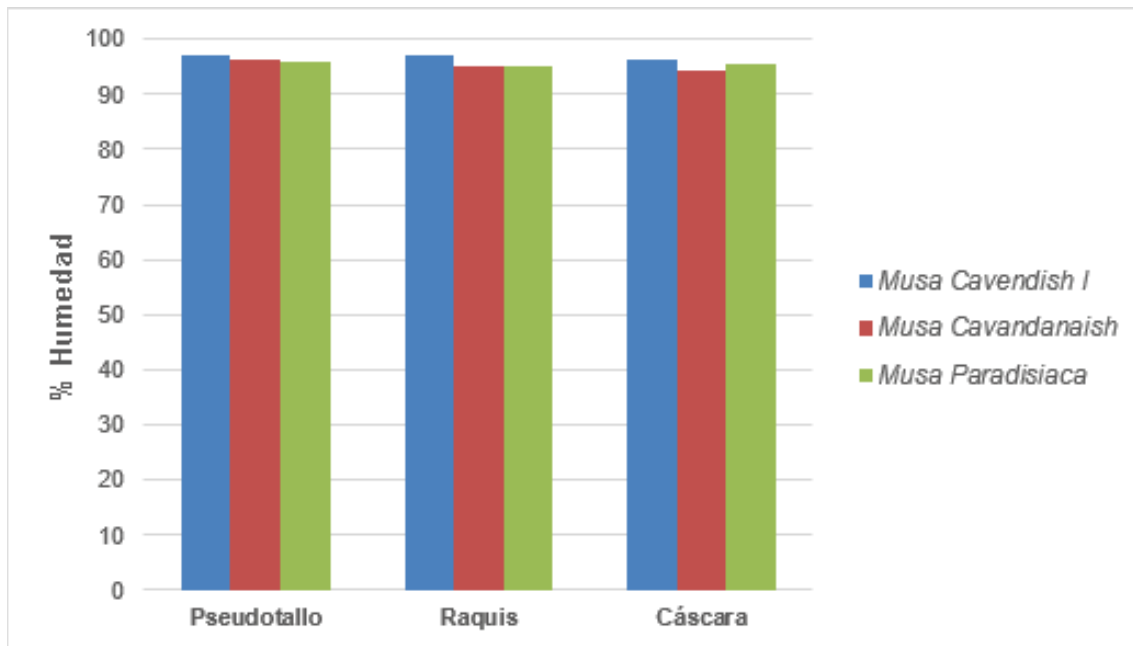


Figura 3.2. Porcentaje de humedad de diferentes partes de la planta y variedades de banano

Aunque lo que determina el uso de la savia como sustituto del ácido ftálico es la cantidad de polifenoles presente, se debe tener en cuenta que dentro de los resultados obtenidos en la Tabla 3.2, la savia presenta un alto contenido de agua, la cual va a influenciar en la síntesis de las resinas, debido a que para que se produzca la reacción de polimeración es necesaria la eliminación del agua del sistema, tanto la de formación por la reacción de policondensación y la que presenta la savia de banano en su constitución.

Tabla 3.4. Análisis estadístico del porcentaje de humedad promedio

| Fuente | Razón-F | Valor-P |
|--------------|---------|---------|
| Entre grupos | 1,21 | 0,3631 |
| Intra grupos | 1,38 | 0,3675 |

3.1.1.3 Resultados de la determinación de la densidad de la savia de banano

Un resumen de los resultados obtenidos en la determinación de la densidad de la savia de banano en cada una de las secciones de la planta de banano se presenta en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Resultado de la densidad de la savia de banano

| Variedad | Parte de la planta | Densidad promedio (g/mL) | Sx (n=3) |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------|
| <i>Musa Cavendish I</i> | Pseudotallo | 1,006 | 0,002 |
| | Raquis | 1,020 | 0,013 |
| | Cáscara | 1,010 | 0,01 |
| <i>Musa Cavandanaish</i> | Pseudotallo | 1,006 | 0,001 |
| | Raquis | 1,027 | 0,009 |
| | Cáscara | 1,017 | 0,003 |
| <i>Musa Paradisiaca</i> | Pseudotallo | 1,004 | 0,004 |
| | Raquis | 1,019 | 0,001 |
| | Cáscara | 1,016 | 0,003 |

En los resultados de la Tabla 3.5 se puede evidenciar que la densidad en las partes analizadas de las plantas de banano concuerda con lo expuesto por Vargas y Martínez, con un valor de 1,01 mg/L. Por otra parte se observa que la savia de banano presenta una densidad muy cercana a la densidad del agua (0,9971 g/mL a 25 °C) a esas mismas condiciones (Perry, 2001), esto se debe a la gran cantidad de agua que presenta la savia de banano determinado en el punto 3.1.1.2.

En la Figura 3.3 se presenta una comparación entre las variedades de banano en donde se observa que la densidad presente en la savia de banano, sin importar en qué lugar de la planta se encuentre no presenta una variación estadística significativamente ($p > 0,05$) por lo que es muy similar con lo que concuerda con la investigación realizada por Ping, Kam-Chau y Zhu-Tian (2002, p. 1776).

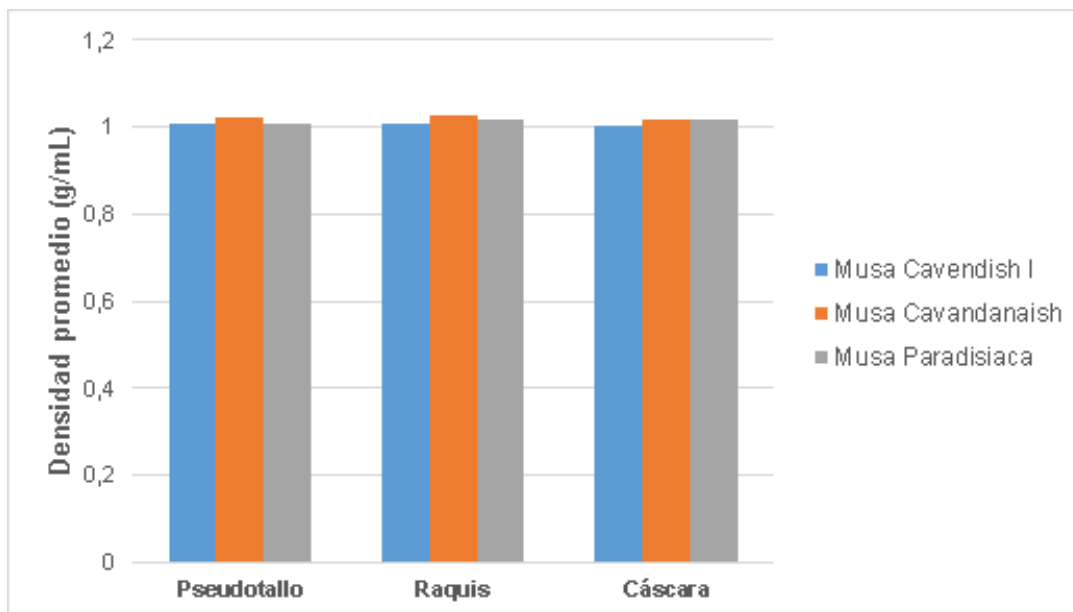


Figura 3.3. Densidad promedio de la savia obtenida de diferentes partes de la planta y variedades de banano

3.1.2 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA SAVIA DE BANANO

Una vez extraída la savia de banano de las diferentes variedades de banano se procedió a la caracterización química de las mismas, para lo cual se evaluaron la concentración de polifenoles, y el nivel de pH de cada una de las partes de la planta de banano y para cada una de las variedades de banano analizadas.

3.1.2.1 Resultados de pH en la savia de banano

Los resultados de la medición del nivel de pH, se presentan en la Tabla 3.6 para cada una de las variedades de banano.

Tabla 3.6. Resultados de pH en la savia de banano

| Variedad | Parte de la planta | pH promedio | Sx (n=3) |
|--------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------|
| <i>Musa Cavendish I</i> | Pseudotallo | 6,0 | 0,1 |
| | Raquis | 6,2 | 0,1 |
| | Cáscara | 5,9 | 0,1 |
| <i>Musa Cavandanaish</i> | Pseudotallo | 6,0 | 0,2 |
| | Raquis | 6,0 | 0,1 |
| | Cáscara | 6,1 | 0,1 |
| <i>Musa Paradisiaca</i> | Pseudotallo | 6,1 | 0,2 |
| | Raquis | 5,9 | 0,2 |
| | Cáscara | 6,1 | 0,1 |

Los resultados obtenidos en la determinación del potencial pH de la savia de banano son muy similares al realizado por Vargas-Martínez con un valor de 6,1 (p. 50). Este parámetro es importante debido a que la reacción de síntesis de la resina, se realiza en un pH óptimo de 4, por lo que esta información ayudó a realizar el ajuste respectivo al pH con ácido clorhídrico para la materia prima en el reactor de polimerización.

En la Figura 3.4 se muestra el comportamiento de los resultados obtenidos entre las variedades de la planta de banano analizado y las partes de la misma.

Como se observa en la Tabla 3.7 no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) entre cada una de estas y tampoco entre las partes de la planta.

Tabla 3.7. Análisis estadístico del nivel de pH

| Fuente | Razón-F | Valor-P |
|---------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 0,00 | 1,0000 |
| Intra grupos | 0,00 | 0,942 |

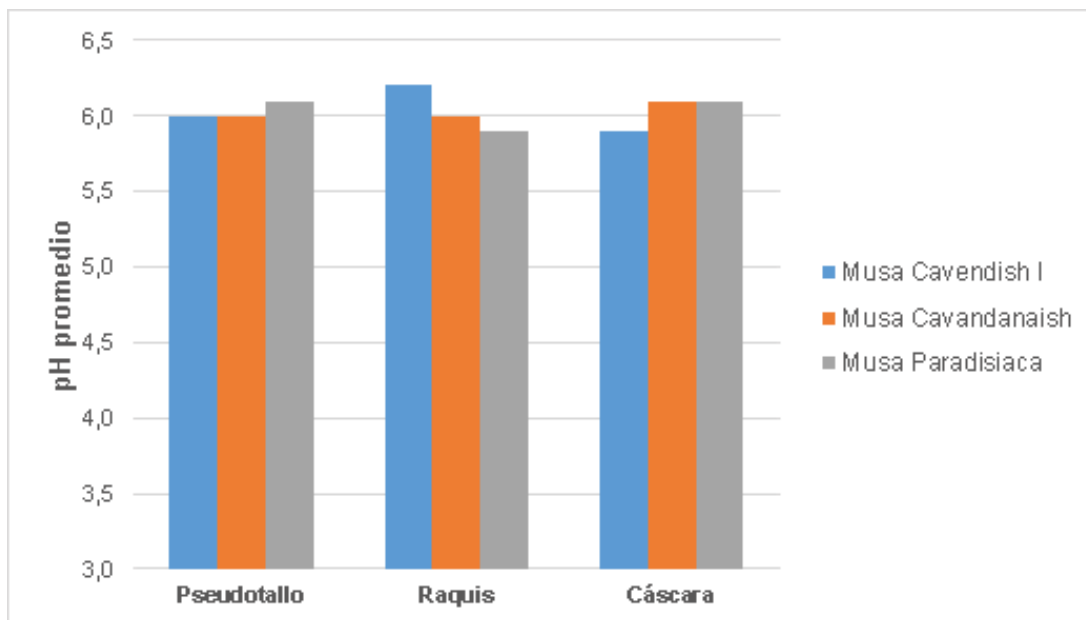


Figura 3.4. pH promedio de diferentes partes de la planta y variedades de banano

3.1.2.2 Resultados de la concentración de fenoles totales contenidos en la savia de banano por el método de Folin – Ciocalteu

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la cuantificación de la concentración de los polifenoles presentes en la savia de banano para cada una de las variedades analizadas.

En la Figura 3.5 se muestran los resultados obtenidos por espectrofotometría U.V. de absorbancia y concentración de polifenoles totales en la savia de banano, para ello se realizó previamente una curva de calibración, cuya determinación se la presenta en el Anexo III.

Empleando una regresión lineal con un coeficiente de determinación R^2 de 0,9972 se procedió a determinar la concentración de polifenoles en cada savia de banano analizada, las gráficas correspondientes a las variedades *Musa Cavandanaish* y *Musa Paradisiaca* se presentan en el Anexo IV.

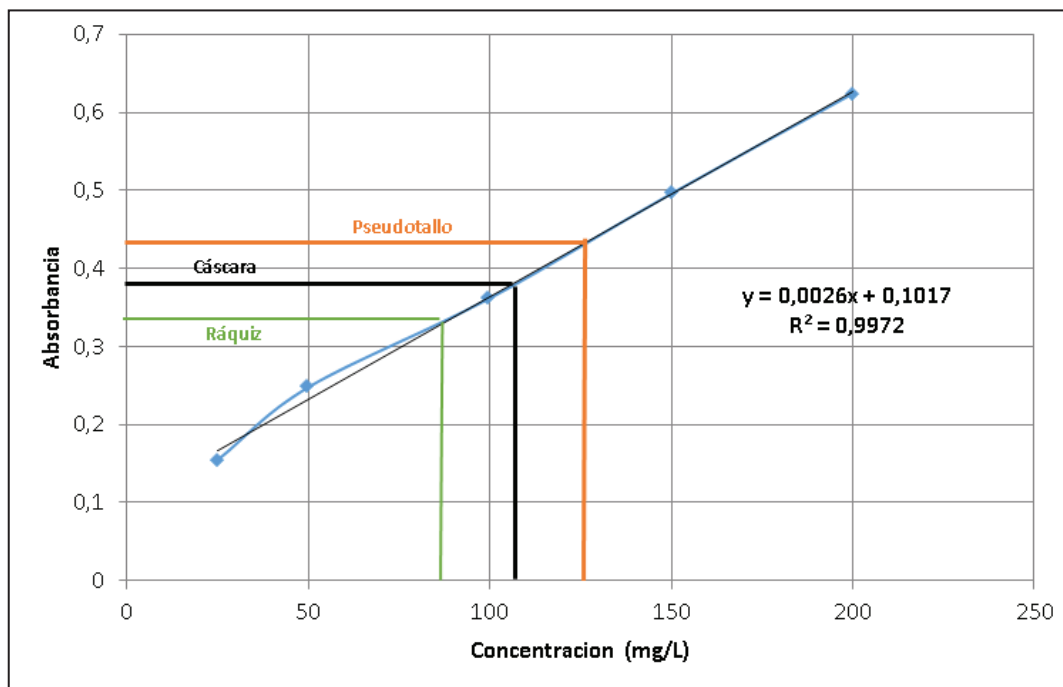


Figura 3.5. Determinación de la concentración de polifenoles en la variedad *Musa Cavendish I*

En la Tabla 3.8 se muestran los resultados obtenidos de todas las variedades de banano y de las parte de la planta analizadas.

Tabla 3.8. Resultados de la concentración de polifenoles

| Variedad | Parte de la planta | Concentración (mg/L) |
|--------------------------|--------------------|----------------------|
| <i>Musa Cavendish I</i> | Pseudotallo | 130,11 |
| | Raquis | 83,96 |
| | Cáscara | 112,80 |
| <i>Musa Cavandanaish</i> | Pseudotallo | 107,04 |
| | Raquis | 86,27 |
| | Cáscara | 74,42 |
| <i>Musa Paradisiaca</i> | Pseudotallo | 117,80 |
| | Raquis | 94,73 |
| | Cáscara | 77,04 |

Se observa que las muestras del pseudotallo analizadas concuerdan con los valores del estudio realizado por Paul, Kanny y Redhi (2013) en la concentración de polifenoles totales.

Cabe recalcar que no existen estudios realizados para la cuantificación de polifenoles totales para el raquis y la cáscara del banano, sin embargo, se conoce que existe una relación inversamente proporcional entre la concentración de polifenoles y el tiempo de maduración como lo presenta Rice Evans y Miller (1996, p. 8).

Realizando una comparación entre las variedades de banano analizadas se tiene que el pseudotallo presenta una mayor concentración de polifenoles totales dentro de la planta de banano, pero existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en relación a las otras variedades de banano como se aprecia en la Tabla 3.9, lo que confirma la información bibliográfica, tal como lo señalado Rice Evans y Miller, quienes indicaron que aunque la variedad de banano pertenezcan a una misma familia (*Musa*), cada una de éstas presenta valores diferentes (Rice Evans y Miller, 1996, p. 9).

Tabla 3.9. Análisis estadístico la concentración de polifenoles en la savia de banano

| Fuente | Razón-F | Valor-P |
|--------------|---------|---------|
| Entre grupos | 4,35 | 0,0480 |
| Intra grupos | 8,46 | 0,0385 |

Además en la Tabla 3.9 existe una variación en la tendencia de los datos y se presenta en el caso de la especie *Musa Cavendish I* y se refiere a que la cáscara del fruto presenta un valor mayor al que se obtuvo en el raquis de la planta, esto se debe a que el fruto de esta variedad presenta una mayor cantidad de antioxidantes lo que inhibe la conversión de los polifenoles a quinonas en relación a otras variedades, por lo que la cuantificación de lo polifenoles se ve afectada (Umar y Xia, 2012, p. 53-56).

Pese a lo anterior, se observa en general que en las variedades de banano analizadas la mayor concentración de polifenoles se encuentran en el pseudotallo,

de la misma manera en éste se tiene una mayor cantidad de savia extraíble. Por lo tanto, para el presente estudio se empleó la savia proveniente del pseudotallo de las variedades *Musa Cavendish I*, *Musa Cavandanaish* y *Musa Paradisiaca* para la formulación de cada una de las bio-resinas, ya que contienen la mayor cantidad de savia extraíble y una alta concentración de polifenoles determinados mediante el método de Folin-Ciocalteu.

3.2 RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LA SÍNTESIS DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA EMPLEANDO LA SAVIA DE BANANO

A continuación se presentan los resultados del estudio de la influencia de la concentración de savia de banano y de la variedad de planta en la síntesis de la bio-resina poliéster insaturada. Las composiciones de cada una de las resinas se presentan en la Tabla 2.6 de la sección anterior 2.3.1.3.

Las resinas poliéster sintetizadas presentaron condiciones de reacción las cuales se detallan en la Tabla 3.10, en relación a la temperatura de reacción, ésta osciló entre los 180 °C a 190 °C , siendo estos valores concordantes con los determinados por la investigación de Malik y Choudhary (2007) quienes establecieron que la temperatura de síntesis de la resina poliéster con material puro está entre 175 °C y 185°C (p. 152).

Tabla 3.10. Condiciones para la síntesis de las bioresinas a partir de savia de banano procedente del pseudotallo de tres variedades de banano

| Parámetro | Valor |
|------------------------------------|--------------|
| Temperatura de solubilización (°C) | 100 |
| Temperatura de reacción (°C) | 180 |
| Presión (atm) | 0.72 |
| pH | 4 |

En la Figura 3.6 se observa que las resinas elaboradas a partir de savia de banano presentan una coloración café, propia de la savia de banano, debido a que los azúcares presentes en la savia se caramelizan a la temperatura que se alcanza al momento de la reacción, provocando este tipo de coloración (Paul, Kanny y Redhi, 2013, p. 503). Además, se aprecia que la diferencia en la coloración de cada resina es proporcional a la concentración de savia de banano empleada para la síntesis.

Por otro lado no se logró cuantificar la cantidad de agua total generada por el sistema y propia de la savia de banano debido a que en la reacción la generación de vapor superó la capacidad de condensación del refrigerante, ocasionando fugas de vapor hacia el ambiente.

Uno de los principales parámetros a ser medidos para verificar el avance de la reacción de polimerización fue llevado a cabo con la medición del número ácido (mg NaOH / g de muestra), ya que una vez obtenido un número ácido entre 50 y 25, se procedió a dar por terminada la reacción de polimerización, debido a que si llega a obtenerse valores más bajos puede producirse una gelación de la misma, es decir, un endurecimiento de la resina dentro del reactor de polimerización (Padilla, 2014).

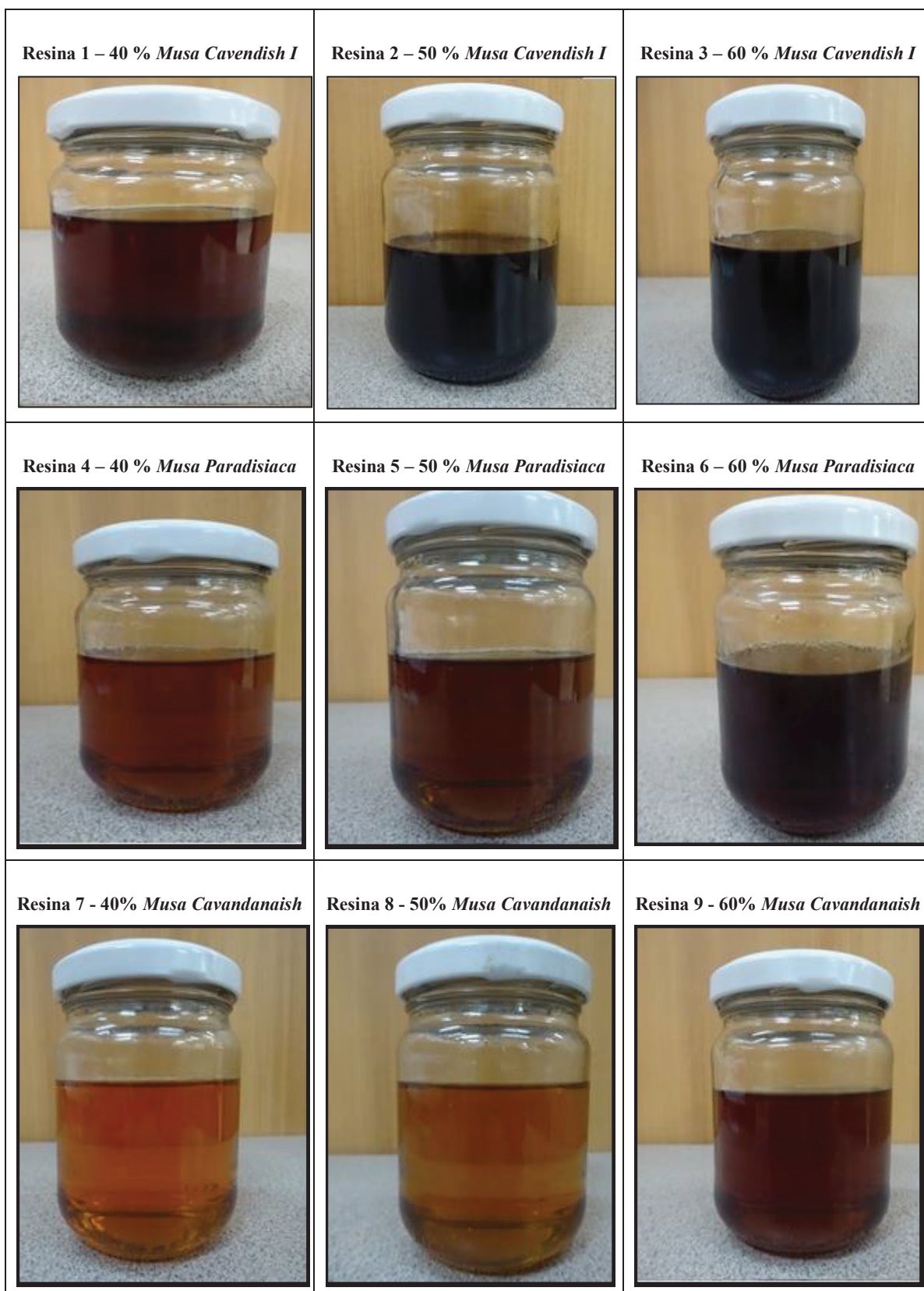


Figura 3.6. Resinas poliéster insaturadas sintetizadas con diferentes concentraciones de savia de banana obtenidas de tres variedades de banana.

A continuación en las Figuras 3.7, 3.8 y 3.9 se presentan los resultados de la

evaluación del número ácido para las resinas elaboradas con una determinada concentración y cada variedad de savia de banano empleadas.

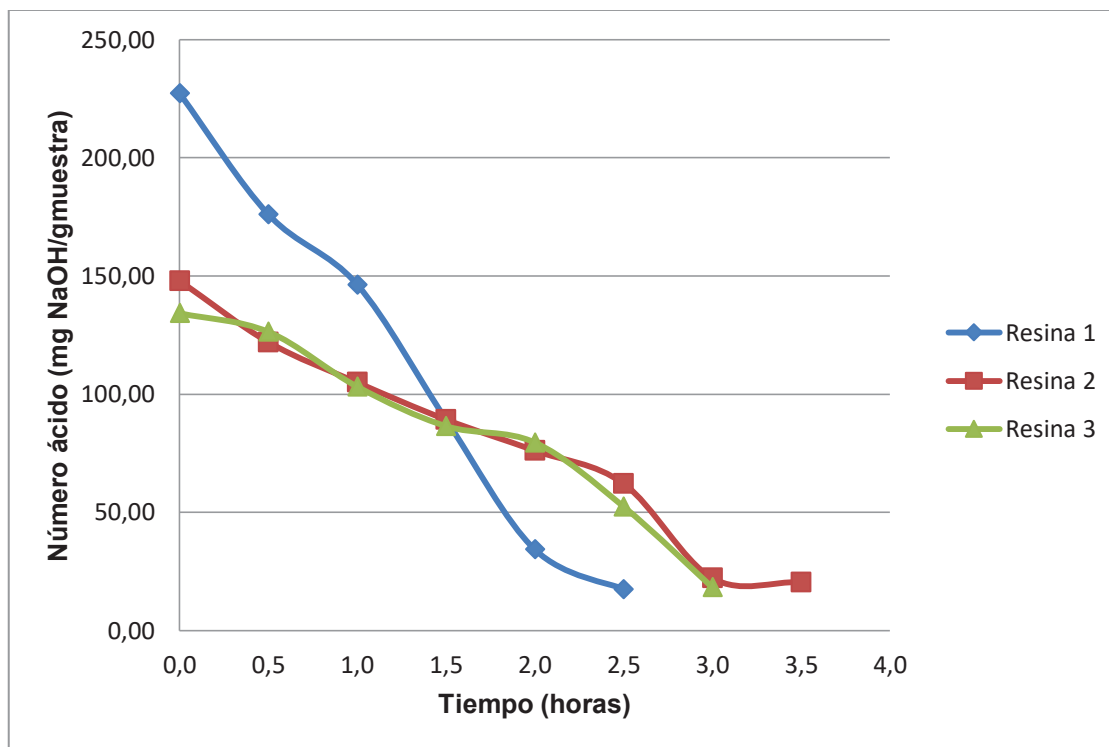


Figura 3.7. Evolución del número ácido de las resinas 1, 2 y 3 en función del tiempo

Como se puede apreciar, todas las resinas sintetizadas lograron alcanzar un número ácido menor a 50 y mayor a 25 coincidiendo con lo expuesto por Bryson (1999 p. 705), además los tiempos de reacción varían con cada variedad de banano empleada, es decir, para el caso de la *Musa Cavendish I*, se tiene tiempos de reacción entre 2.5 y 3.5 horas, mientras que el de las otras variedades, el tiempo máximo de reacción es de aproximadamente 2,0 horas.

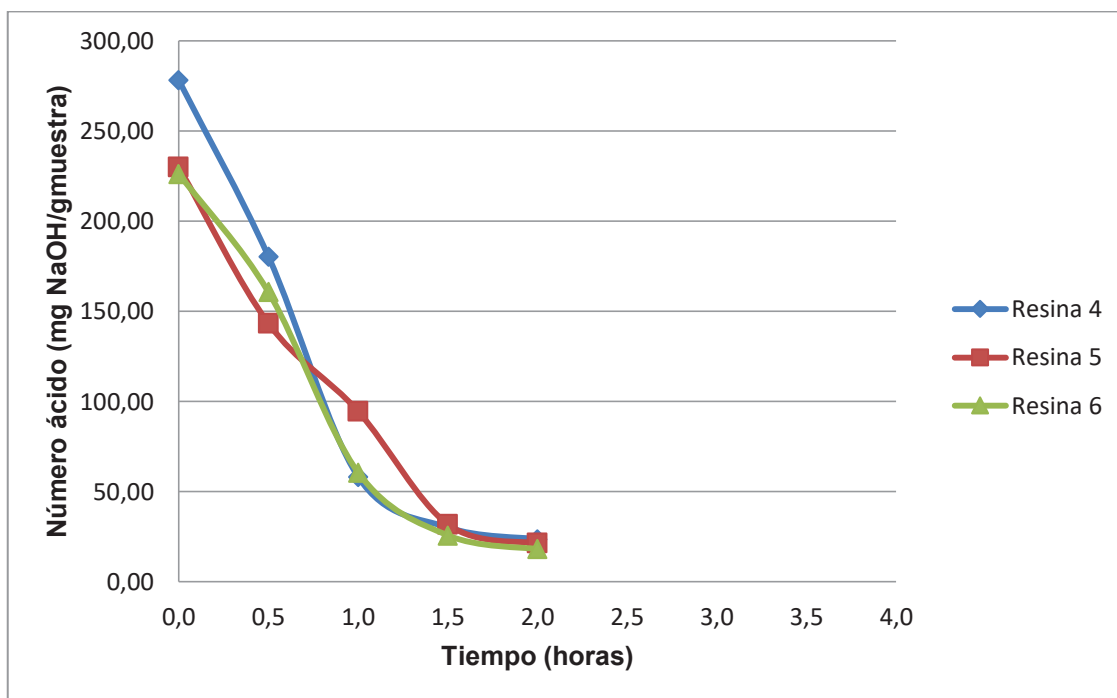


Figura 3.8. Evolución del número ácido de las resinas 4, 5 y 6 en función del tiempo

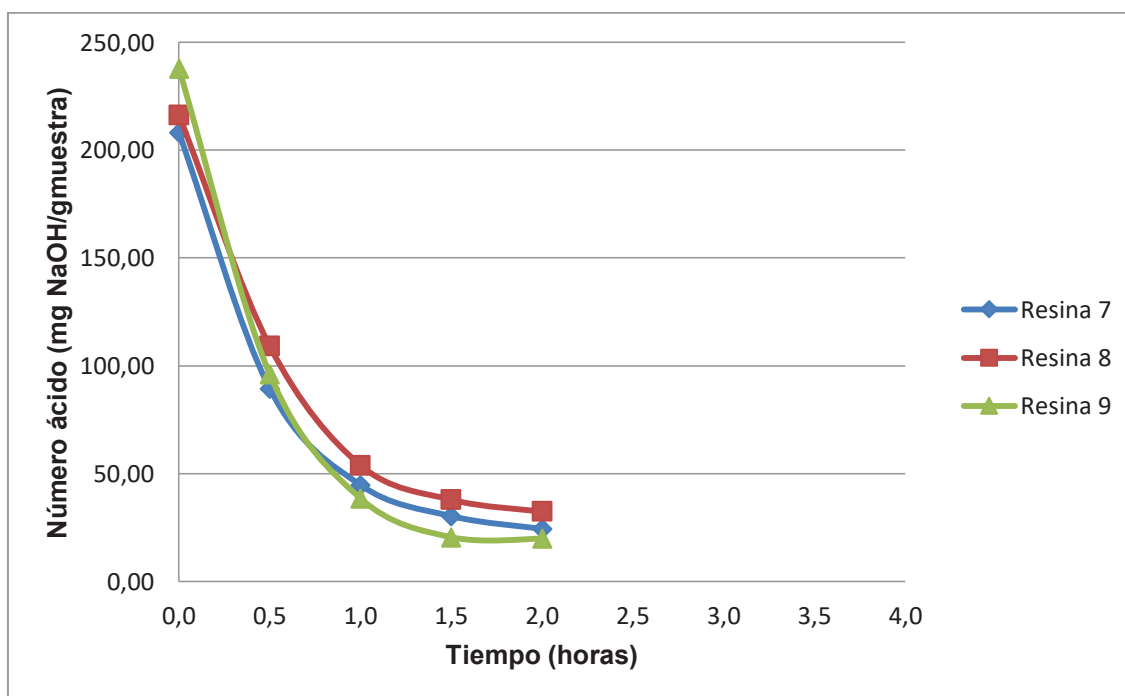


Figura 3.9. Evolución del número ácido de las resinas 7, 8 y 9 en función del tiempo

En la investigación realizada por Padilla (2014, p. 110) se tiene que la síntesis, a

escala de laboratorio, de la resina poliéster insaturada con reactivos puros lleva alrededor de 5 a 6 horas aproximadamente, pero en el caso de la resina elaborada con savia de banano, se tienen tiempos mucho menores, esto se debe a que según la investigación de Paul, Kanny y Redhi (2003, p. 502) los polifenoles presentes en la savia de banano presentan una mayor reactividad que los encontrados en el anhídrido ftálico, facilitando la formación de los monómeros estructurales de la resina y la unión entre cadenas de polímero formado.

3.3 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO

Obtenida la resina con savia de banano se procedió a su caracterización, en primer lugar se determinó el porcentaje de sólidos, luego las resinas fueron numeradas como paso previo a la medición de la dureza.

3.3.1 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO

A continuación se presentan los resultados de las propiedades evaluadas a la resina poliéster insaturada con savia de banano.

3.3.1.1 Resultado del porcentaje de sólidos presentes en la resina

Se evaluó la cantidad de sólidos presentes en la resina poliéster insaturada para cada una de las resinas sintetizadas, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.11, cabe recordar que esta medición se realizó previo al curado de la misma.

En la Tabla 3.11 el rango de porcentaje de sólidos en la resina poliéster insaturada para las resinas sintetizadas esta entre 60% y 70%, lo que concuerda con lo detallado en la investigación realizada por Fink y Leoben (2013), cuyo valor es de 65% (p. 13).

Con referencia a la ficha técnica de la resina poliéster insaturada comercial presentada en el Anexo V, esta es distribuida por la empresa “Regarsa” y comercializada por la empresa Pintulac en el Ecuador, ésta la resina comercial posee un porcentaje de sólidos alrededor de 64%, valor similar a los obtenidos con la resina de savia de banano. La resina poliéster comercial, cuya ficha técnica se presenta en el Anexo V, presenta un porcentaje de sólidos del 64%, valor comparable a la resina obtenida en esta investigación.

Tabla 3.11. Porcentaje de sólidos presentes en la resina poliéster insaturada

| Tipo de resina | % Sólidos | Desviación estándar, % (n=3) |
|-----------------------|------------------|-------------------------------------|
| Resina 1 | 65.35 | 0.26 |
| Resina 2 | 64.84 | 0.84 |
| Resina 3 | 63.46 | 1.24 |
| Resina 4 | 64.40 | 0.64 |
| Resina 5 | 62.38 | 0.72 |
| Resina 6 | 63.29 | 1.55 |
| Resina 7 | 68.74 | 0.6 |
| Resina 8 | 61.72 | 0.77 |
| Resina 9 | 61.19 | 0.31 |

En algunos casos pudo haber existido evaporación del solvente (estireno), lo que ocasionó que el porcentaje de sólidos cambie entre cada resina, esto se debe al comportamiento volátil del estireno que a pesar de ser añadido a temperaturas inferiores a su punto de ebullición éste se evaporó y pudo ser percibido por el olor característico que presenta en el laboratorio.

3.3.1.2 Resultados de la dureza de la resina poliéster insaturada con savia de banano

Una vez sintetizadas las resinas poliéster insaturadas con savia de banano se procedió al curado respectivo de las mismas, para poder evaluar la dureza tipo Shore “D” que presenta cada una de ellas.

Tabla 3.12. Determinación de la dureza de cada una de las resinas curadas

| Tipo de resina | Dureza (Shore “D”) | Desviación estándar (n=10) |
|----------------|--------------------|----------------------------|
| Resina 1 | 80.0 | 1.5 |
| Resina 2 | 57.3 | 1.3 |
| Resina 3 | 69.4 | 2.8 |
| Resina 4 | 67.0 | 3.7 |
| Resina 5 | 37.6 | 2.8 |
| Resina 6 | 40.7 | 2.4 |
| Resina 7 | 28.4 | 3.5 |
| Resina 8 | 15.2 | 1.9 |
| Resina 9 | 30.5 | 2.6 |

La determinación de la dureza de la resina ayuda a conocer su aplicación final de la misma, en el caso de la resina elaborada con savia de banano se obtuvieron diferentes valores de esta propiedad. Como se aprecia en la Tabla 3.12 los valores obtenidos se encuentran en un rango entre 80,0 y 15,2 lo que demuestra en primera instancia que la concentración de la savia de banano y el tipo de planta de banano empleada en la síntesis de la resina influye en el valor de esta propiedad.

3.3.1.3 Resultados del diseño experimental

Las resinas sintetizadas al contener savia de banano de diferente variedad y en distinta composición, la concentración de polifenoles presentes en cada resina varia. Las concentraciones de polifenoles presentes en las resinas se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.133. Concentración de polifenoles en cada resina

| Tipo de resina | Concentración polifenoles (mg/kg_{resina}) |
|-----------------------|---|
| Resina 1 | 52,04 |
| Resina 2 | 65,06 |
| Resina 3 | 78,07 |
| Resina 4 | 42,82 |
| Resina 5 | 53,52 |
| Resina 6 | 64,22 |
| Resina 7 | 47,12 |
| Resina 8 | 58,90 |
| Resina 9 | 70,68 |

Este análisis ayuda a apreciar cómo afecta la concentración de polifenoles presentes en cada resina en relación a la evaluación de una característica, en este caso la dureza de las muestras. Para lo cual, se empleó un modelo estadístico para evaluar la influencia, en la dureza Shore D, que presenta la concentración de la savia de banano y el tipo de planta de banano empleada para la síntesis de la resina poliéster insaturada con savia de banano. Teniendo como variable de respuesta los valores obtenidos en la Tabla 3.12 y con ayuda del software STATGRAPHICS se realizó un análisis del ANOVA con un nivel de confianza del 95%, los resultados se

muestran en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Análisis de Varianza para evaluar el efecto de la variedad de banano y la concentración de savia de banano en Dureza Shore D de las resinas poliéster curadas

| Fuente | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| A: Variedad de Banano | 201,84 | 201,84 | 3,66 | 0,1517 |
| B: Concentración | 2930,46 | 2930,46 | 53,13 | 0,0053 |
| AA | 509,87 | 509,87 | 9,24 | 0,0558 |
| AB | 40,32 | 40,32 | 0,73 | 0,4554 |
| BB | 5,336 | 5,34 | 0,10 | 0,7761 |
| Error total | 165,46 | 55,15 | | |
| Total (corr.) | 3853,28 | | | |

De acuerdo a los resultados de la Tabla 3.14 el factor más relevante en la dureza de la resina es la concentración de la savia en la síntesis de la resina poliéster insaturada, con un valor de P menor al 0,05. Es decir que la variedad de banano y las interacciones de los factores no son variables significativas que afecten la dureza de las resinas evaluadas (Gutierrez y De la Vara, 2012, pp. 245).

En la Figura 3.10, se presenta un diagrama de Pareto donde se observa de mejor manera la influencia de los factores analizados y de la interacción de estos sobre la dureza de las resinas, donde se aprecia claramente que existe una influencia de la concentración de la savia de banano que se emplea para la síntesis de la resina, esto es debido a la variación de la concentración de polifenoles presentes en el pseudotallo en cada variedad de banano. Existe una diferencia significativa entre cada una de éstas variedades lo que influye en la composición de cada resina, tal como se mencionó en la sección 3.1.2.2 de este capítulo.

Se esperaba que exista una relación directa entre la concentración de los polifenoles y la dureza de las resinas analizadas, pero se aprecia que esto no se

cumple necesariamente, debido a la sensibilidad de los polifenoles con la temperatura puesto que en algunos casos pudo existir oxidación de los mismos al momento de la síntesis.

Debido a que la dureza está relacionada con la cantidad de polifenoles presentes en la savia de banano, se determinó la concentración de polifenoles en cada una de las resinas sintetizadas para apreciar de mejor manera la influencia que éstos en dicha propiedad.

Una vez que se determinó el efecto de los factores dentro de la síntesis de la resina poliéster insaturada con savia de banano, se procedió a realizar una optimización del diseño para encontrar la resina poliéster con savia de banano con la mejor característica de dureza, para comparar sus propiedades con las de la resina comercial.

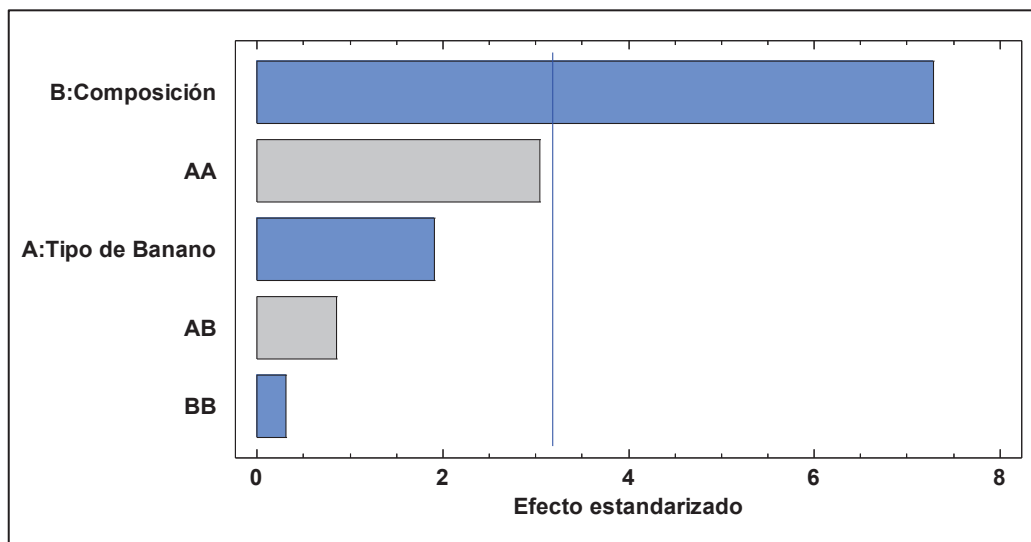


Figura 3.10. Diagrama de Pareto de los efectos de los factores sobre la dureza de la resina

Con ayuda del software STATGRAPHICS se realizó una optimización de resultados para encontrar el valor óptimo de dureza que se puede esperar para las resinas analizadas, este programa determinó que dicho valor de dureza es de 83,20 con las interacciones de las variables y los niveles proporcionados. Puesto que la resina 1 posee un valor de 80,0 de dureza, ésta se acerca al valor óptimo.

Por lo tanto, se va a realizar la comparación técnica y económica de la resina 1 con la resina comercial para establecer si la sustitución de la savia de banano por el anhídrido ftálico, es un camino técnico-económico viable para la producción de esta resina a escala de laboratorio.

3.3.2 COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO Y DE LA RESINA POLIÉSTER COMERCIAL

Una vez seleccionada la resina 1 usando el diseño experimental empleado, se procedió a la comparación de ésta con una resina poliéster insaturada que se distribuye comercialmente. Los ensayos realizados a cada resina fueron análisis FTIR, ensayos DSC y termogravimetría.

3.3.2.1 Resultados del análisis de la resina poliéster insaturada con savia de banano y de la resina comercial por Espectroscopía de infrarrojo (FTIR)

En esta sección se presentan los resultados obtenidos por FTIR, con este análisis se determinaron los principales grupos funcionales presentes en la resina poliéster con savia de banano y en la resina comercial, para posteriormente ser comparada con la base de datos propia del equipo y apreciar la relación que existe entre ellas.

En las Figuras 3.11 y 3.12 se muestran los espectros obtenidos para la resina 1 y para la resina poliéster insaturada comercial.

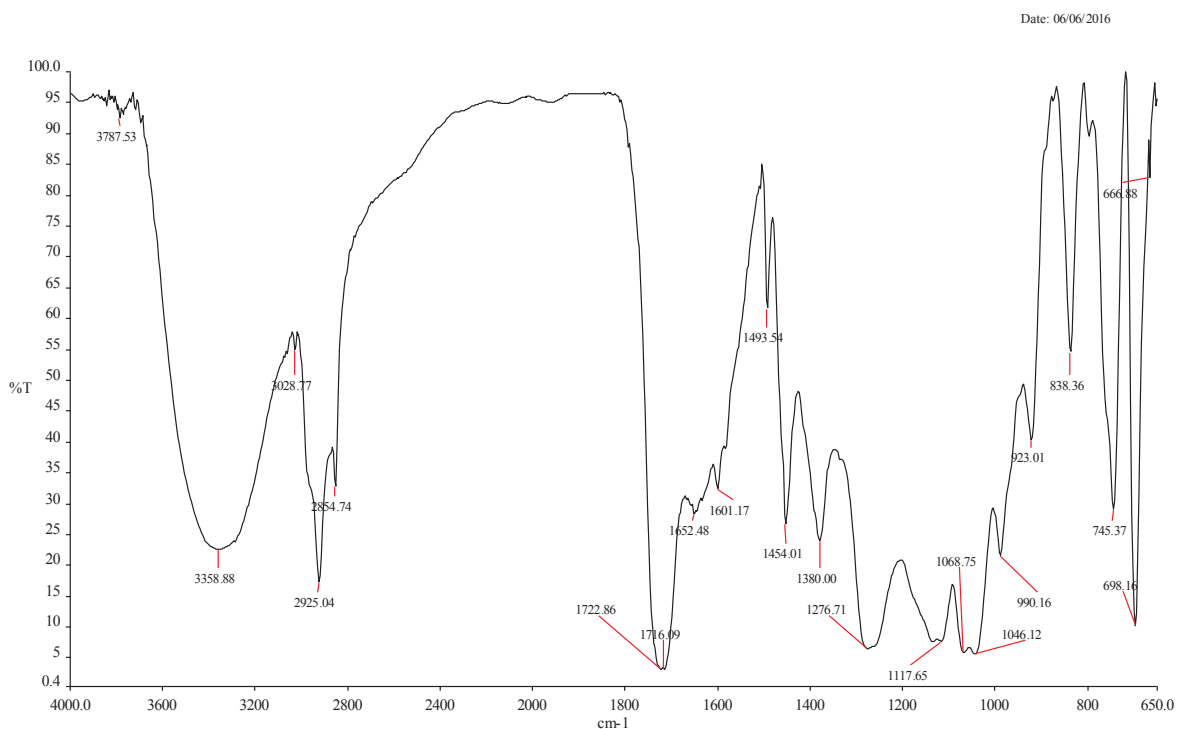


Figura 3.11. Espectroscopía infrarroja de la Resina 1

En la Tabla 3.15 se detallan los grupos funcionales encontrados en todas las resinas poliéster, aquí se puede apreciar de manera significativa la banda entre $1740 - 1710 \text{ cm}^{-1}$ que indica la presencia de un grupo éster, lo que confirma la formación de una resina poliéster en la resina 1 (Dholakiya, 2012), además se muestran grupos aromáticos pertenecientes al estireno que se adicionó a la resina como monómero vinílico. Cabe recalcar que este tipo de análisis muestra únicamente la presencia de grupos funcionales, con el fin de constatar que en la síntesis se produjo la reacción de policondensación y por ende la formación de la resina poliéster. Además que con este análisis no se determina la concentración de grupos ésteres en la resina poliéster sintetizada.

En el espectro de la resina comercial se puede apreciar que ésta presenta rangos similares de banda a los presentados por la Resina 1, así en el rango de 1740 a 1710 cm^{-1} se observa la presencia del grupo funcional de la resina poliéster, así como la banda característica del estireno dentro de la resina comercial, el detalle de las bandas presentes en este análisis se lo muestra en la Tabla 3.15

Date: 02/03/2016

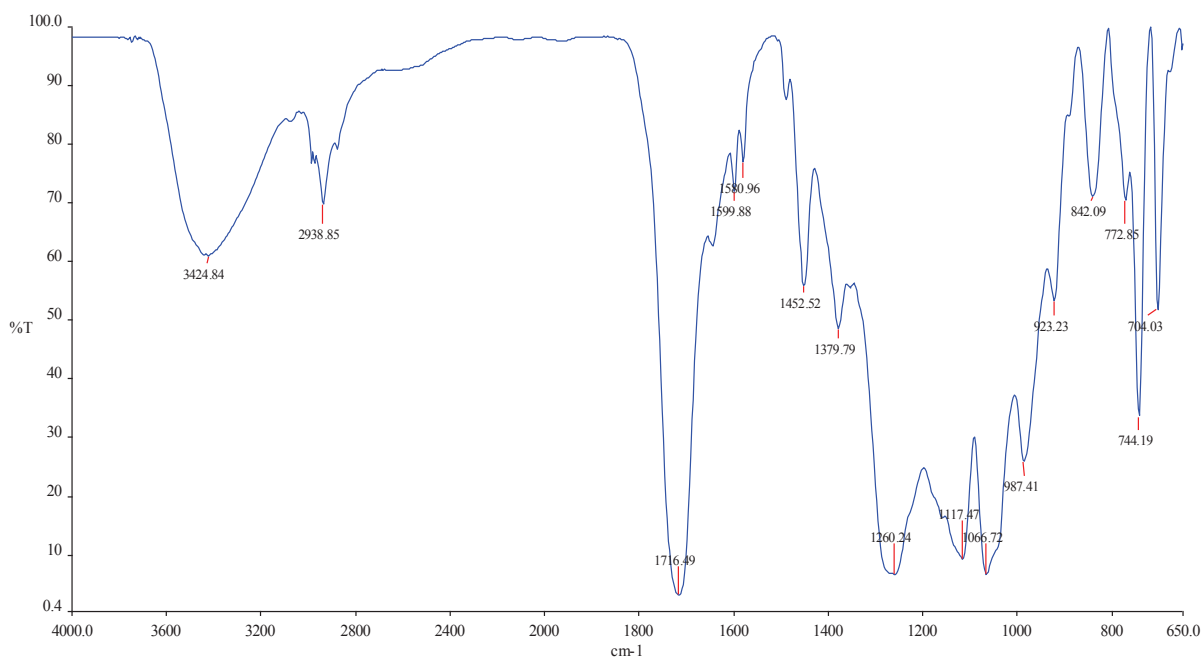


Figura 3.12. Espectroscopía infrarroja de la resina comercial

Para la resina comercial existe bandas similares a las halladas en la resina con savia de banano, la diferencia radica en la formación de otros compuestos del mismo tipo, como por ejemplo existe la formación de estructuras con grupos alifáticos entre 3 300 y 2 850 cm^{-1} en la resina 1 y entre 3 500 y 3 000 cm^{-1} en la resina comercial. Esta diferencia radica en que pueden existir otros tipos de cadenas formadas, como oligómeros provocados por la savia de banano como se presenta en el estudio realizado por Paul, Kanny y Redhi (2013) (p. 501).

Por lo tanto, según este análisis se puede apreciar que existe la formación de la resina poliéster en la resina elaborada con savia de banano, por lo que la sustitución del anhídrido ftálico por la savia de banano es un procedimiento técnicamente viable.

Tabla 3.155. Grupos funcionales presentes en la resina 1 y en la resina comercial

| Número de onda (cm ⁻¹) | | Grupo funcional |
|--|---|--|
| Resina 1 | Resina comercial | |
| 3300 – 2850 1480 – 1440 | 3500 – 3000 3125 – 2900 | Grupos alifáticos |
| 3125 – 3000 1625 – 1585 1515 – 1485 785 – 720 710 – 685 | 1735 – 1720 1625 – 1585 1515 – 1485 785 – 720 710 – 685 | Grupos aromáticos mono sustituido |
| 1735 – 1720 1470 – 1450 1400 – 1380 | 1740 – 1710 1470 – 1450 1400 – 1380 | Grupos poliéster (Resina poliéster) |
| 1740 – 1710 1610 – 1490 1470 – 1410 1300 – 1250 1135 – 1075 850 – 690 | 1610 – 1490 1300 – 1250 1135 – 1075 850 – 690 | Ester de ácido carboxílico aromático tipo benzoato |

Adicionalmente se realizaron ensayos de Espectroscopía infrarroja (FTIR) a todas las resinas con savia de banano obtenidas, dando resultados similares en la presencia de la formación del grupo poliéster en todos los espectros, con lo que se puede concluir que con todos los tipos de savia de banano empleado se puede sintetizar la resina poliéster, la diferencia radica en la concentración de los polifenoles debido a que una disminución de éstos se evidencia en la evaluación de las propiedades (Scheirs y Long, 2003, p. 706), como en el caso de la dureza que a pesar de existir la formación de grupos poliéster se obtuvieron resinas demasiado blandas con valores de dureza por debajo de lo esperado, dichos espectros se encuentran en el Anexo VI. Todos los valores obtenidos en la Tabla 3.15 fueron obtenidos mediante el software informático del equipo utilizado.

3.3.2.2 Resultados de los análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Como parte de la caracterización de la resina con savia de banano y la resina comercial, se realizó un análisis DSC donde se obtuvieron las transiciones térmicas correspondientes a cada una de las resinas analizadas.

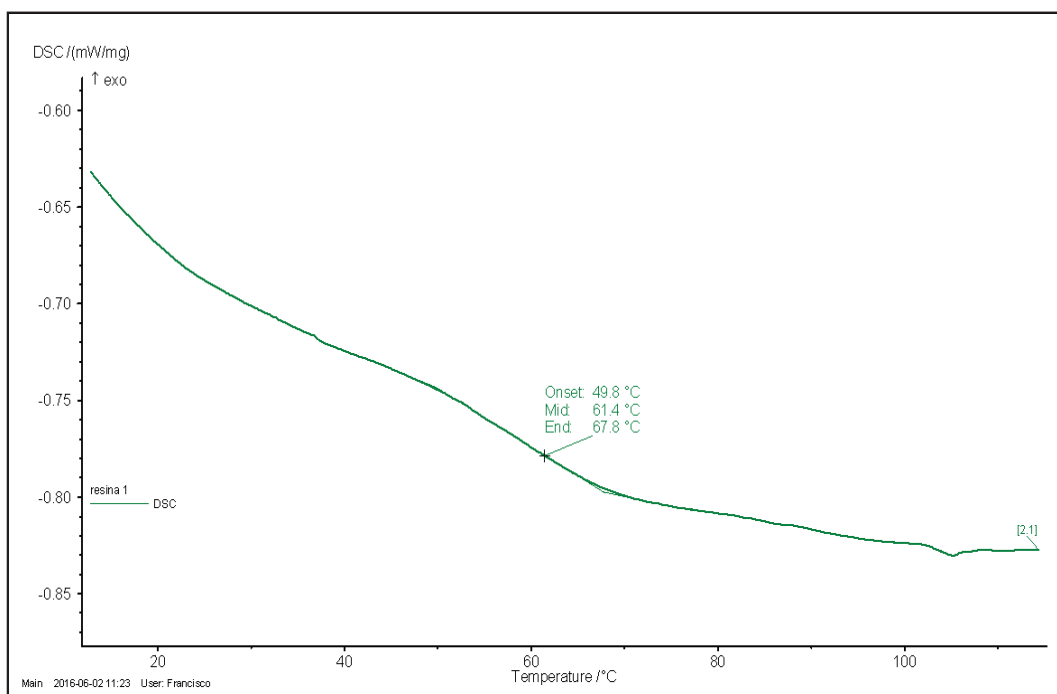


Figura 3.13. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 1

En la Figura 3.13 y 3.14 se muestran los termogramas obtenidos para la resina 1, compuesta de 40% de savia de banano de la variedad *Musa Cavendish I*, y la resina comercial respectivamente. Se observa que la temperatura de transición vítrea de la resina 1 de 61,4 °C, mientras que la resina poliéster comercial no presenta esta temperatura. Esto se debe principalmente a la estructura existente en las dos resinas, ya que en la resina poliéster con savia de banano se tiene una mezcla de estructuras cristalinas y amorfas, lo que ocasiona que si bien existe una temperatura de transición vítrea, el cambio de pendiente es mínimo, esto concuerda con los estudios realizados por Paul, Kanny y Redhi (2013)(p. 502).

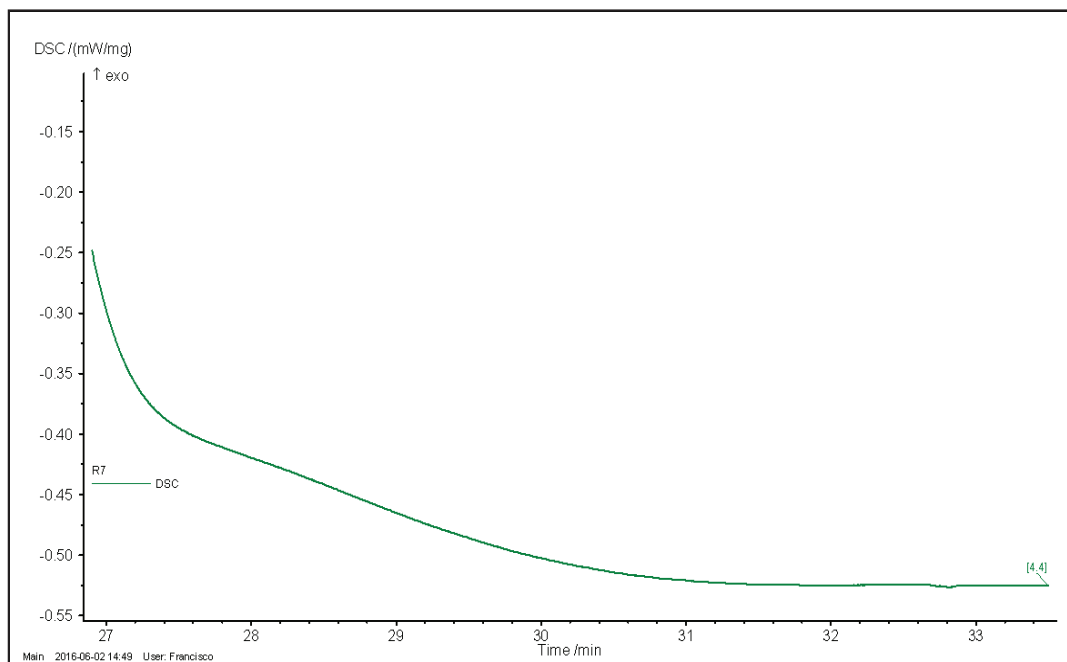


Figura 3.14. Termograma obtenido de la temperatura de transición vítrea de la resina comercial

Además se realizaron análisis de DSC para todas las resinas sintetizadas cuyos resultados se muestran en el Anexo VII, obteniéndose en todas las resinas analizadas puntos de transición vítrea con cambios de pendientes mínimos con excepción de la resina 8 que presenta un valor de T_g de $81,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, esto se debe a que presenta una mayor cantidad de estructura amorfas presentes, tal como se lo evidencia en la dureza de la resina, donde presenta el menor de 15,2 en la sección 3.3.1.2 de este capítulo, siendo el valor más bajo de dureza de todas las resinas evaluadas.

3.3.2.3 Resultados de los análisis de Termogravimetría (TGA)

Para la determinación de la temperatura de fusión de las resinas 1 y comercial, se efectuó un análisis de termogravimetría, los termograma obtenidos se encuentran detallados en la Figura 3.15 y 3.16, respectivamente.

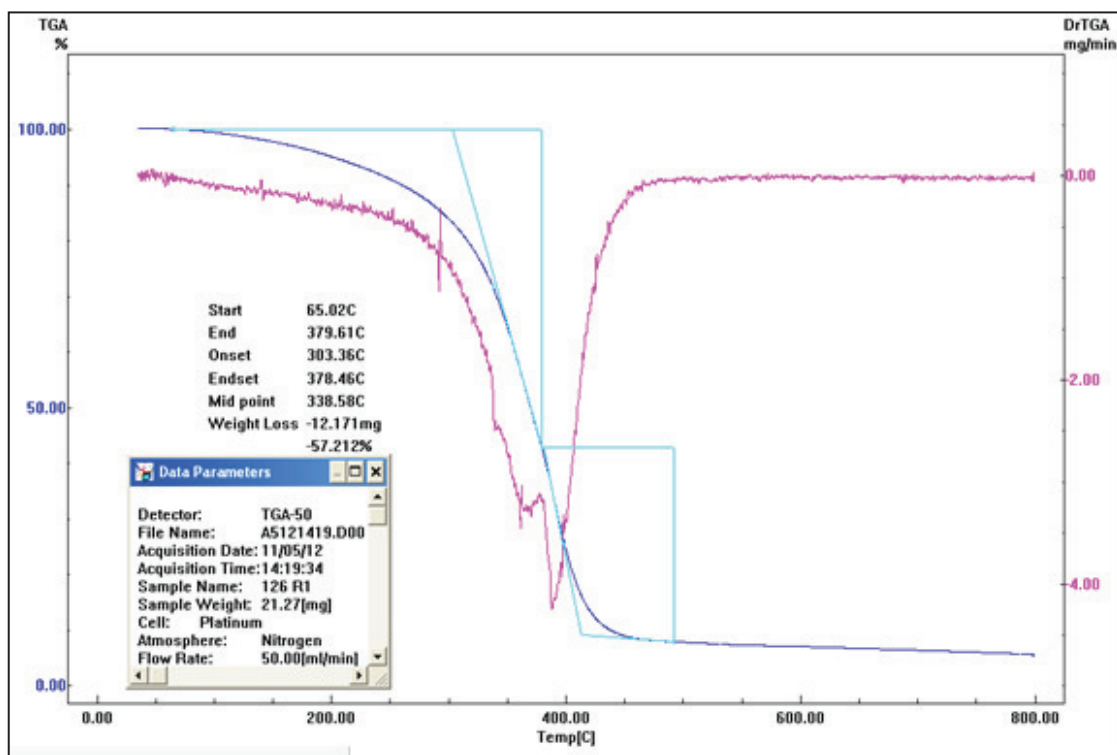


Figura 3.15. Termograma obtenido por termogravimetría de la resina 1

En la Figura 3.15 la temperatura de fusión de la resina con savia de banano se encuentra en 338,58 °C en el primer barrido de la muestra, y para el caso de la resina poliéster insaturada comercial se tiene una temperatura de 404,65 °C. En el caso de la resina 1 se demuestra que existe una parte cristalina del polímero debido a que provoca un comportamiento termoestable, de donde se puede determinar la temperatura de fusión; y que presenta un valor menor que a la resina comercial, esto se debe principalmente por la estructura que se tiene en ambas resinas, puesto que la resina con savia de banano tiene una estructura semicristalina con menor regularidad en las cadenas de polímero, tal como se presenta en el estudio de Paul, Kanny, y Redhi (2013) (p. 203).

También se realizaron análisis TGA a todas las resinas restantes, donde se aprecia que la temperatura de fusión de las otras resinas es menor a la de la resina 1 y a su vez éstas presentan un valor inferior a la resina comercial, esto se debe a la estructura cristalina de cada resina, debido a que una mayor concentración de este tipo de estructuras presenta una temperatura de fusión más alta (Scheirs y Long, 2003, p. 705), estos termogramas se muestran en el Anexo VIII.

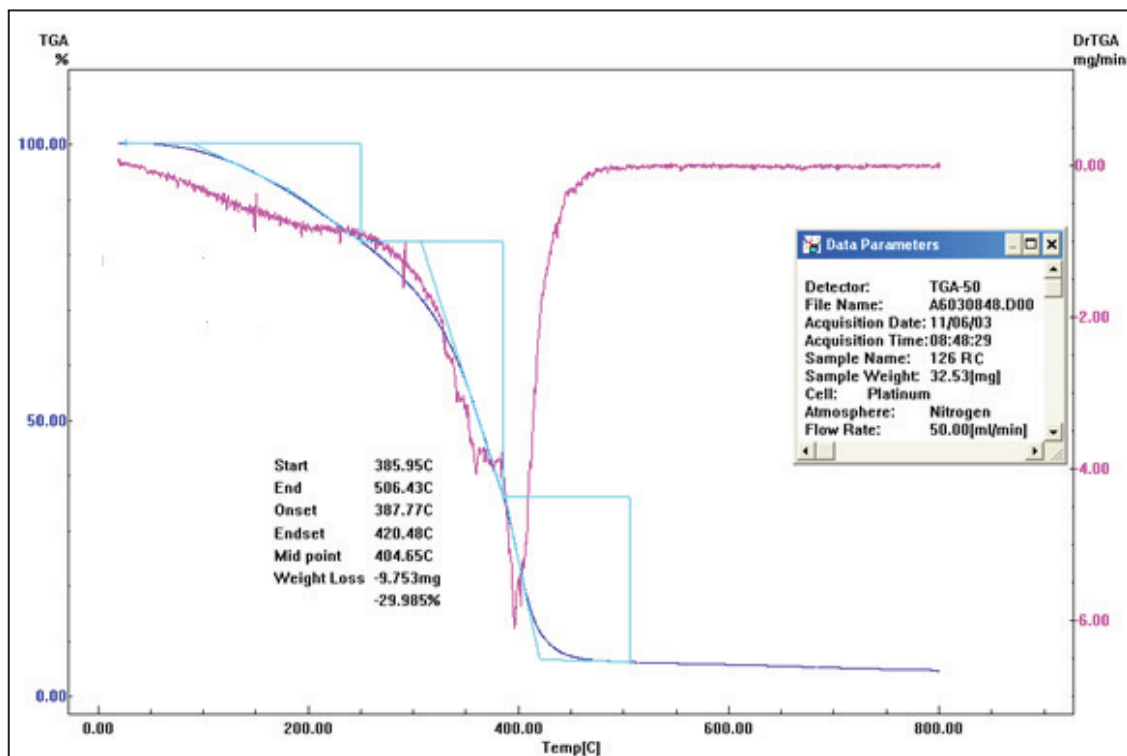


Figura 3.16. Termograma obtenido por termogravimetría de la resina comercial

3.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA FABRICACIÓN DE LA RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO

En este capítulo se va a evaluar la viabilidad del proceso para la obtención de la resina poliéster de manera técnica y económica.

3.4.1 RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR DEL COSTO PARA LA OBTENCIÓN DE RESINA POLIÉSTER INSATURADA CON SAVIA DE BANANO

A continuación se presenta el diagrama de bloques de las operaciones unitarias de los procesos empleados para la síntesis de la resina, además de la comparación del costo que conlleva la elaboración de la resina poliéster insaturada con savia de banano en relación a la resina comercial.

3.4.1.1 Diagrama de flujo (BFD)

En la Figura 3.17 se presenta el diagrama de bloques (BFD) de los procesos que se emplearon para la obtención de la resina poliéster insaturada con savia de banano.

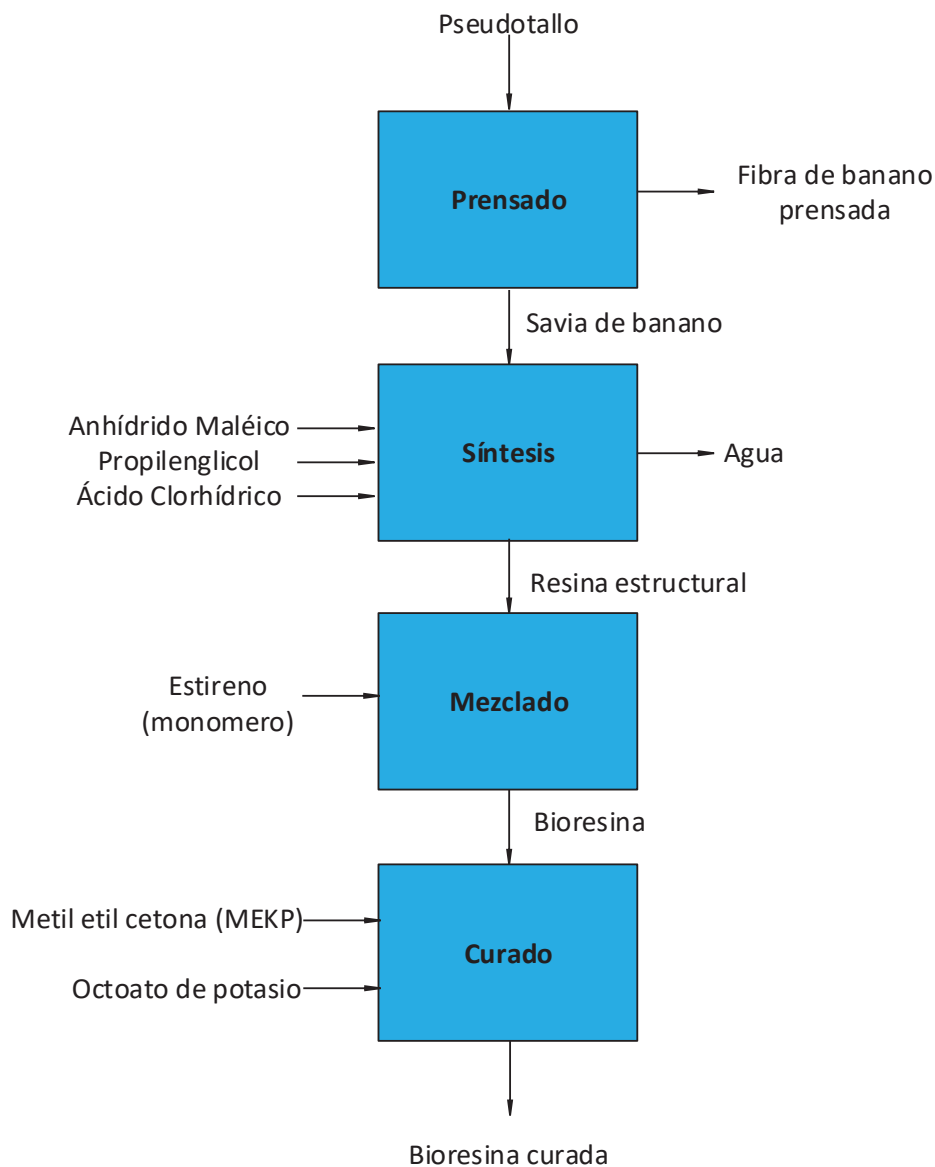


Figura 3.17. Diagrama de bloques (BFD) del proceso de obtención de la resina poliéster con savia de banano

3.4.1.2 Costo de resina poliéster con savia de banano

En la Tabla 3.16 se presenta una comparación del costo de la resina poliéster con

savia de banano y de la resina comercial, estos valores se obtuvieron a partir de los costos de reactivos usados (cantidades determinadas a través del balance de masa del proceso) y la energía empleada por los equipos requeridos. Todos los cálculos realizados para esta determinación se muestran en el Anexo IX y las cotizaciones de los reactivos empleados se muestran en el Anexo X, se debe tomar en cuenta que para la determinación de estos valores se incluyeron los costos de los reactivos para el curado de la resina.

Tabla 3.16. Comparación de costos de las resinas poliéster instaurada

| Resina | Costo (\$)/kg |
|----------------------------|----------------------|
| Resina con savia de banano | 4,25 |
| Resina comercial | 5,12 |

Como se aprecia en la Tabla 3.16 en la determinación del costo de la resina sintetizada y comercial, resulto que la resina poliéster con savia de banano presenta un a valor inferior en comparación a la resina comercial en alrededor del 17%. Pero se debe tener en consideración que el precio obtenido para la bioresina no toma en cuenta valores de costos fijos y variables como son la mano de obra, equipos empleados, servicios básicos, ganancias entre otros, que son costos que en la resina comercial si se toma en cuenta. Solamente se realiza una comparación a escala de laboratorio donde se aprecia que a pesar de no considerar otros rubros, el costo de la bioresina fue menor a la resina comercial.

Por otra parte, la sustitución del anhídrido ftálico por savia de banano resulta viable desde el punto de vista ambiental, debido a que se puede reducir las cantidades de desechos producidos por la producción de banano, revalorizando los mismos y convirtiéndolos en materia prima para una aplicación industrial.

Por tanto, una buena gestión de residuos generados por la producción del banano y buenas ideas para aprovecharlos, serían capaces de generar ingresos a muchas familias mediante el uso de procesos simples y siendo principalmente amigables con el ambiente.

3.4.2 VIABILIDAD TÉCNICA

Como se puede apreciar con los resultados obtenidos entre la resina de savia de banano y la comercial, existe la factibilidad de reemplazar el anhídrido ftálico con savia de banano, garantizando que la dureza de ésta resina será mayor.

Para la factibilidad técnica de llevar a cabo la producción de la resina poliéster con savia de banano a una escala mayor a la de laboratorio, es necesario definir las operaciones unitarias principales que se llevan a cabo para la síntesis de la bioresina, como se observa en el diagrama BFD de la sección 3.4.1.1 estas operaciones son el proceso de prensado, y síntesis. Dichas operaciones son comunes, es decir, no conllevan ningún tipo de complicación técnica debido a que se tienen temperaturas de trabajo asequibles en la reacción de formación entre 180 °C a 200 °C, por lo que no se hace necesario buscar materiales especiales para la construcción de equipos. Para el caso de la presión de operación no existe ningún inconveniente debido a que la reacción de polimerización se la realiza a presión atmosférica local. Pero es necesaria la realización de un sistema de escalado dependiendo de la cantidad de resina que se desea producir, así como un análisis de las variables de diseño y capacidades de los equipos

Además de que se debe tomar en cuenta un sistema de refrigeración para la savia de banano luego de su extracción, debido a que esta debe estar a temperatura inferior a los -5 °C debido a que los polifenoles son sensibles a la temperatura sufriendo una transformación de éstos a quinonas perdiendo la capacidad para la formación de la resina poliéster.

Para el proceso de mezcla, la temperatura del sistema es importante debido al carácter volátil del estireno, por lo cual es necesario disminuir la temperatura del sistema desde la temperatura de síntesis (180 °C – 200 °C) hasta temperaturas menores de 90 °C simplemente haciendo reposar todo el sistema empleado a la temperatura ambiente.

En conclusión, existe la viabilidad técnica para llevar a cabo la producción de la

resina poliéster con savia de banano a una escala industrial debido a que las condiciones de obtención de ésta conllevan al empleo de equipos como reactores, tuberías, equipos de prensado y de mezclado, sistemas refrigeración entre otros

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La cantidad de savia de banano depende de la parte de la planta que se extraiga, en general, el pseudotallo presenta la mayor cantidad de savia de banano extraíble con un valor entre 75,52 % para la *Musa Cavendish I*, 76,88 % para la *Musa Cavandanaish* y 67,97 % para la *Musa Paradisiaca*.
- La savia de banano extraída de la planta de banano de las variedades investigadas presentan un porcentaje de humedad entre el 96% y 97%, con una densidad promedio de 1,006 g/mL y un índice de pH de 6,0, debido a que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre estos valores.
- La mayor concentración de polifenoles totales presente en la planta se encuentra en el pseudotallo, cuya savia presenta valores de 130,11 mg/L para la variedad *Musa Cavendish I*, 107,04 mg/L para la *Musa Cavandanaish* y de 117,80 mg/L para la *Musa Paradisiaca*.
- La mejor resina fue la codificada como resina 1, compuesta con un 40% de savia de banano de la variedad *Musa Cavendish I*, ya que presenta la dureza, tipo Shore D, más alta, esto es 80,0, cuyo valor es superior al de la resina comercial.
- La resina poliéster con savia de banano presenta un tiempo de síntesis de 2,5 a 3,5 horas, en comparación a la resina comercial que presenta un tiempo de entre 5 a 6 horas.
- El costo de fabricación de 1 kg de la resina poliéster con savia de banano a escala de laboratorio es de \$4,25/kg, mientras que el costo de la resina comercial es de \$5,12/kg demostrando la mejora económica de emplear savia de banano en lugar del anhídrido ftálico.

4.2 RECOMENDACIONES

- Debido a la gran cantidad de agua que presentan las muestras de la savia de banano, se recomienda investigar un método que ayude a la eliminación de esta sin que se alteren las características de los polifenoles, debido a que con esto no existirían excesos de vapor en la síntesis, lo que provoca un mejor control de la reacción.
- Realizar ensayos mecánicos a la resina con savia de banano curada para evaluar estas propiedades en relación a la resina comercial y establecer que diferencias existen entre ellas.
- Se recomienda la combinación de la resina poliéster insaturada con savia de banano con las fibras vegetales procedentes del pseudotallo para mejorar sus propiedades y aprovechar aún más los desperdicios que se generan en la producción de banano.
- En este estudio no se realizaron pruebas de degradabilidad de esta resina con savia de banano, por lo que se sugiere realizarlo junto a la muestra de la resina comercial para poder establecer la diferencia que existe entre este tipo de resinas.
- Estudiar la sustitución parcial del anhídrido ftálico con la savia de banano para poder evaluar sus propiedades para apreciar los resultados de este efecto.
- Se debe realizar un estudio de diseño de planta de la bioresina con savia de banano para conocer el costo real de la resina, así como las complicaciones que esta posee en el proceso productivo a escala industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amigó, V., Salvador, M., & Sahuquillo, O. (2010). *Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzos de materiales poliméricos*. Obtenido de Recuperado de http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/Ecuador_Fibras%20naturales_Amig%F3.pdf (Enero, 2016)
2. AOAC 930.15. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Arlington, USA.
3. AOAC 945.06. (1990). *Specific gravity (apparent), pycnometer method*. Washington, D.C.
4. Arias , P., & Dankers, C. (2015). *La Economía Mundial del Banano*. Roma - Italia. doi:Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-y5102s.pdf> (Enero 2017)
5. ASTM 2240. (2010). *Standard Test Method for rubber property-durometer hardness*. doi:10.1520/D2240-05R10
6. ASTM D 790-10. (2010). *Standar Test Methods of Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics*. doi:10.1520/D0790-10
7. ASTM D1386. (2010). *Standard Test Method for Acid Number (Empirical) of Synthetic and Natural Waxes*. doi:10.1520/D1386-10
8. ASTM E1131-08. (2014). *Standard Test Method for Compositional Analysis by Termogravimetry*. doi:10.1520/E1131-08R14.
9. ASTM, D2369. (2010). *Standard Test Method for Volatile Content of Coatings*. doi:10.1520/D2369-10.

10. ASTM, D3418-15. (2015). *Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry*. Obtenido de DOI: 10.1520/D3418-15.
11. Balandri , M., Klocke, J., Wurtele, E., & Bollinger, H. (2014). Natural Plant Chemical: Sources of Industrial. *Sciencemag*, 1154-1160. doi:10.1126/science.3890182
12. Banco Central del Ecuador. (2015). *Consulta de totales por Nandina*. Obtenido de <http://contenido.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000766> (Marzo 2015)
13. Borovich, A. (2005). Manual de No-Tejidos. *Megaplastic*, pp. 1 - 11.
14. Brydson, J. (1999). *Plastic Materials*, 6ta. Edición, Londres: Butterworth Heinemann, pp. 705
15. Campbell, F. (2010). *Introduction to Composite Materials*. Estados Unidos: CRC Press, pp. 1 -2
16. Cano, L., Pérez, Y., & Espinel, J. (2002). *Producción de resina alquílicas a partir de los desechos del proceso del poliéster*. Obtenido de http://www.researchgate.net/publication/242205528_PRODUCION_DE_RESINAS_ALQUUDICAS_A_PARTIR_DE_LOS_DESECHOS_DEL_PROCESO_DEL_POLISTER
17. Chandramohan, D., & Marimuthu, K. (2011). A Review on Natural Fibers. *IJRRAS*. doi:10.1300/J395v01n02_04 (Enero 2016)
18. Chavez, M., & Domine , M. (2013). Lignina, Estructura y aplicaciones: Métodos de depolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interens insdustrial. *Avances en Ciencias e Ingenierias*. Obtenido de

http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf (Enero 2016)

19. Collier , B., & Tortora, P. (2001). *Understanding Textiles*. New Jersey, Estados Unidos: Prentice - Hall.
20. Dholakiya, B. (2012). Unsaturated polyester resin for specialty applications. *Polyester*, 168 - 202. doi:10.5772/48479
21. Ehrenstein, G., & Riedel, G. (2004). *Thermal Analysis of Plastics*. Munich, Alemania: Hanser, pp. 1 - 17
22. Elgegren, M. (2012). Poliésteres insaturados elaborados a partir de reciclaje químico de poli(tereftalato de etileno), PET y su aplicación como matriz de encapsulamiento de sales. (*Proyecto de titulación previo a la obtención de Licenciada en Química*). Obtenido de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1439/ELGEGREN_ITUMA_MARIELA_POLIESTERES_INSATURADOS_RECICLAJE.pdf?sequence=1
23. Espinosa, A. (2013). Comparación de los contenidos de compuestos fenólicos totales y taninos en la corteza de tres variedades de plátanos (Musa Cavendish, Musa Acuminata y Musa Cavandanaish). (*Proyecto de titulación previa a la obtención del título de Ingeniero Químico publicado*). Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.
24. Fink, K., & Leoben, M. (2013). Unsaturated polyester resin (2da. Ed), Austria. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-4557-3149-7.00001-2> (Marzo 2016)
25. García Diez, S. (2011). Fibras y Materiales de refuerzo: Los poliésteres reforzados aplicados a la realizaciond e piezas en 3D. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, pp. 268 - 282.

26. Guerrero, V., Dávila, J., y Galeas, S. (2011). Nuevos Materiales: Aplicaciones estructurales e Industriales . Quito, Ecuador: Imprefepp, pp. 5 - 15.
27. Gutierrez, H. De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México D.F.: McGraw-Hill.
28. ISO 1842. (2012). Fruit and vegetable products — Determination of pH. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:6500:en> (Abril 2015)
29. Johnson, K., y Yang, L. (2003). *Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters*. Melbourne: John Wiley y Sons, Ltd ISBN: 0-471-49856-4.
30. Malik, M., y Chouddhary, V. (2007). Current Status of Unsaturated Polyester Resins. England: Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer. Obtenido de doi: 10.1081/MC-100100582, pp 140-161.
31. Mancheno, C., y Illescas, A. (2011). "Propuesta de estudio de producción más limpia y distribución de planta para la empresa Fibroluz CIA LTDA. (*Proyecto de titulación previa a la obtención del título de Ingeniero Químico publicado*). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
32. Menachem, L. (2007). *Handbook of fiber chemistry* (Tercera Edición ed.). New York: Taylor y Francis (p. 479 - 480).
33. Menczel, J. (2009). *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*. New Jersey, Estados Unidos: Menczel J. y Prime R. (Ed) Thermal Analysis of Polymers Fundamentals and Applications (pp. 6-20).
34. Mohanty, A., Misra, M., y Drzal, L. (2005). *Natural fibers, Biopolymers and Biocomposites (pp. 5 -100)*. Estados Unidos: TyF informa.

35. Padilla, A. (2014). Diseño del proceso para la obtención de resina poliéster insaturada mediante reciclaje químico de desechos de polietilentereftalato (PET). (*Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, publicado*). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
36. Paul, V., Kanny, K., y Redhi, G. (2013). Formulation of a novel bio-resin from banana sap. *Industrial Crops and Products*, 496-505. doi:10.1016/j.indcrop.2012.07.064
37. Penczek, P., y Czub, P. (2005). Unsaturated polyester resin: Chemistry and Technology. doi:10.1007/b136243, p, 78-85
38. Perry, R. (2001). *Manual del Ingeniero Químico*. Kansas, Estados Unidos: McGraw-Hill.
39. Ping, L., Kam-Chau, W., y Zhu-Tian, L. (2002). Estimation of whole-plant transpiration of banana using sap flow measurements. *Journal of Experimental Botany*, volumen (53), 1771-1779. doi:10.1093/jxb/erf019
40. Plastics Europe. (2010). La contribución de los materiales plásticos al desarrollo sostenible. Ponencia Presentada en I Congreso de estudiantes de Ingeniería Química de la UA. Obtenido de <http://web.ua.es/es/ecocampus/documentos/consejosambientales/plasticseurope.pdf>
41. Pro Ecuador. (2016). Análisis del sector banano. *Inteligencia comercial e inversiones*. Obtenido de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/09/PROEC_AS2016_BANANO.pdf; (Septiembre 2016), pp. 1.
42. Rice Evans, C., y Miller, N. (1996). STRUCTURE-ANTIOXIDANT ACTIVITY RELATIONSHIPS OF FLAVONOIDS AND PHENOLIC ACIDS. *Sciences Direct*, Doi: 10.1016/0891-5849(95)02227-9 (Octubre, 2016).

43. Rouison, D., Sain, M., y Couturier, M. (2004). Resin transfer molding of natural fiber reinforced composites cure simulation. doi:10.1016/j.compscitech.2003.06.001
44. Santhosh, J., y Balanarasimman, N. (2014). Study of properties of banana fibers reinforced composites. pp 144-150. Tamil Nadu, India. Obtenido de <http://esatjournals.net/ijret/2014v03/i11/IJRET20140311022.pdf> (Febrero 2016)
45. Saravana Bavan, D., y Mohan Kumar, G. (2011). Conceptual Desing Features and Eco-Methodsfor the Extraction of Natural Fibers in the Materialistic Earth. *Supporting Sustainable Product Development*. Obtenido de https://www.designsociety.org/download-publication/32386/conceptual_design_features_and_eco-methods
46. Scheirs, J., y Long, T. (2003). *Modern Polyesters:Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters*. Australia: John Wiley y Sons,Ltd.
47. Smith, B. (2011). *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (2da. Edición ed.). Ney York, Estados Unidos: Taylor y Francis Group.
48. Stuart, B. (2011). *Infreared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Recuperado de: <http://www.kinetics.nsc.ru/chichinin/books/spectroscopy/stuart04.pdf> (Septiembre 2016).
49. Trujillo , H. (2000). Estudio del efecto de solventes orgánicos en las propiedades de la resina poliester. (*Proyecto previo a la obtencion del titulo de Ingeniero Química, publicado*). *Escuela Politécnica Nacional*. Quito, Ecuador.

50. Turrado, J., y Saucedo, A. (2009). Pinzote de Musa balbisiana y Musa acuminata como Fuente de Fibras para Papel. *Revista Scielo*, 117-122. doi:10.1612/inf.tecnol.4065it.08
51. Umar, S., y Xia, W. (2012). *Phytochemicals and Bioactive Compounds in Tropical and Subtropical Fruits*. New Delhi, India: Jhon Wiley and Sons.
52. United Nations Environment Programme. (2005). *Inchem*. Obtenido de <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/85449.pdf> (Marzo 2015)
53. Vargas, L. F., y Martínez, P. (2013). ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL JUGO DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO. Tolima, Colombia. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283502349_ALGUNAS_CARACTERISTICAS_FISICOQUIMICAS_DEL_JUGO_DEL_PSEUDOTALLO_DE_PLATANO_Dominico_Harton (Diciembre 2016)
54. Vargas, M., Sachsenheimer, K., y Guthausen, G. (2011). In-situ investigations of the curing of a polyester resin. *Polymer Testing*, 127-135. doi:10.1016/j.polymertesting.2011.10.004, (Septiembre 2016)
55. Vijayalakshmi, K., y Neejara, C. (2014). Abaca Fiber. En *Transaction on Engineer and Science* (págs. 16 - 19). Osmania, ISSN: 2347-1964 (Online) 2347-1875 (Print).
56. Wageningen, J. (2009). Proceedings of the Symposium on Natural Fibers. *Environmental benefits of natural fibre production and use*, pp 3 - 15. Amsterdam, Holanda.
57. Yu, C. (2015). Natural textile fiber: Vegetable fiber. *Fiber Types*, 29 - 56. doi:10.1016/B978-1-84569-931-4.00002-7 (Febrero 2016)

ANEXOS

ANEXO I

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA SAVIA DE BANANO MEDIANTE EL MÉTODO AOAC 945.06

Determinación de la densidad

Este método se basa en la determinación de la densidad mediante el uso de un picnómetro, y se lo empleará para líquidos provenientes de productos vegetales. Se ensayaron tres repeticiones en cada determinación.

Procedimiento

- Se empleó un picnómetro de 250 mL. de capacidad, previamente lavado y secado a una temperatura de 100 °C por 2 horas, luego se dejó enfriar el mismo en un desecador, registrando su masa en una balanza analítica marca Denver Instrument Company modelo AA-200, con una capacidad de 200g, 0,001g.
- Con ayuda de un termostato se fijó un baño a 25°C para determinar la densidad a una temperatura fija.
- Se llenó con agua destilada hasta la marca del picnómetro y se lo colocó dentro del baño por unos 30 minutos.
- Se secó el picnómetro con ayuda de papel absorbente, se pesó y se desechó su contenido.
- Se procedió a sacar el picnómetro como se lo explicó inicialmente.
- Se procedió a colocar la savia de banano dentro del picnómetro hasta llenarlo, luego se colocó la tapa.
- Se dejó reposar el picnómetro dentro del baño 30 minutos.

- Se secó el picnómetro con ayuda de una toalla absorbente y se procedió a pesarlo.

La determinación de la densidad de la savia de banano se lo determinó mediante las ecuaciones, presentes en la norma AOAC 945.06:

$$\delta_{savia} = \frac{P_{savia}}{V} \left[\frac{g}{cm^3} \right] \quad [AI.1]$$

$$V = \frac{Pa - P}{\delta_{H_2O (25^\circ C)}} \quad [AI.2]$$

$$P_{savia} = P_{ps} - P \quad [AI.3]$$

Donde:

δ_{savia} : Densidad de la savia de banano a 25 °C

P_{savia} : Peso de la savia de banano

P_a : Peso del picnómetro más agua

P_{ps} : Peso del picnómetro con savia de banano

P : Peso del picnómetro vacío y seco

V : Volumen del picnómetro

δ_{H_2O} : Densidad del agua a 25 °C

ANEXO II

DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE SÓLIDOS PRESENTES CON BASE EN LA NORMA ASTM C2969-10

Este método describe el procedimiento para la determinación del porcentaje de sólidos dentro de la resina poliéster, el cual se resume a continuación:

- Se cortaron pedazos de papel aluminio de 10 cm x10 cm.
- Se ubicaron los pedazos en una estufa a 100 °C por un lapso de 2 horas.
- Se colocaron las muestras en un desecador hasta que se enfríen.
- Se pesaron las muestras de papel aluminio.
- Se taró la balanza con el papel aluminio.
- Sobre las muestras de papel aluminio se colocaron 10 gotas de resina con savia de banano y se determinó su masa.
- Se colocaron las muestras en la estufa a 100°C y por un tiempo de 2 horas.
- Se secaron las muestras en la estufa y se las colocaron en un desecador.
- Se pesaron las muestras.
- Se repite el procedimiento anterior para cada una de las muestras a analizar.
- La determinación del porcentaje de sólidos se lo realizó mediante las ecuaciones:

La determinación de la densidad de la savia de banano se lo realizó mediante las ecuaciones:

$$\%_{sólidos} = \frac{m_{rps} - m_{pas}}{m_r} * 100\% \quad [AII.2]$$

Donde:

- $\%_{sólidos}$: Porcentaje de sólidos dentro de la resina poliéster
- m_{rps} : Peso de la resina con el papel aluminio, luego del calentamiento.
- m_{pas} : Peso del papel aluminio seco.
- m_r : Peso de las 10 gotas de resina poliéster

ANEXO III

CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES

En la determinación de la concentración de polifenoles totales en la savia de banano, se realizó la curva de calibración del espectrofotómetro UV-VIS, a una longitud de onda de 765 nm, para ello se utilizaron soluciones de ácido gálico de concentración 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm y 200 ppm.

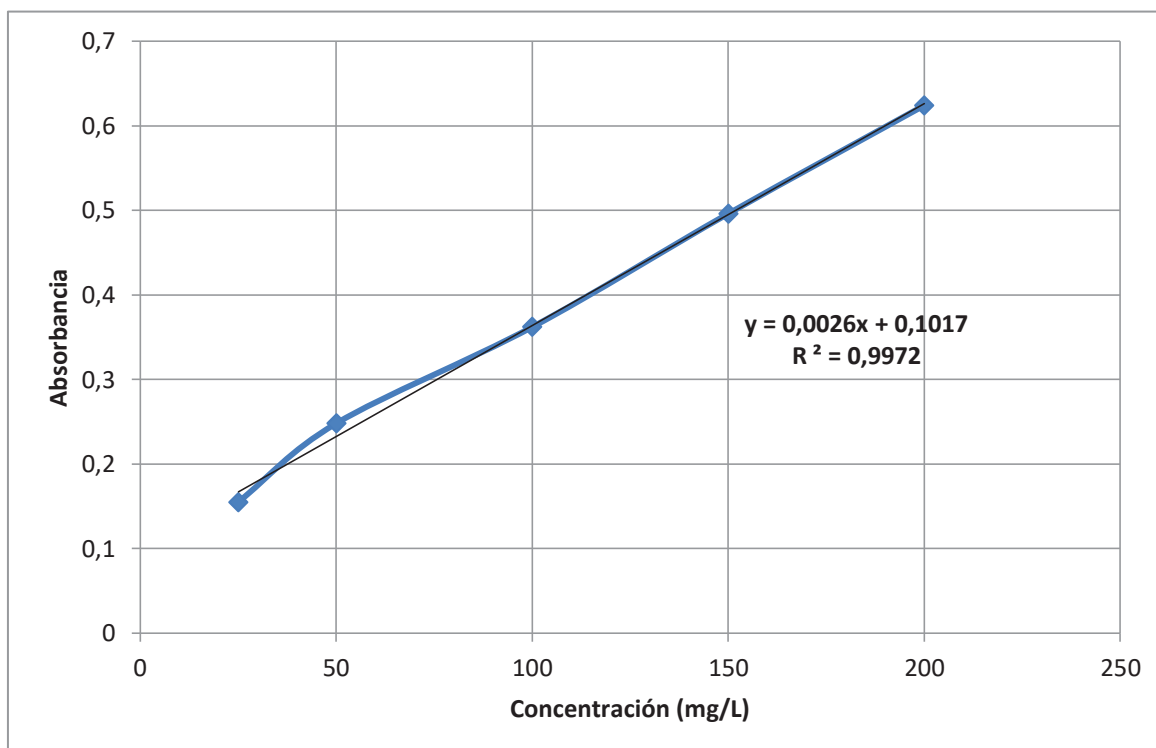


Figura AIII 1. Curva de calibración para determinación de polifenoles totales

ANEXO IV

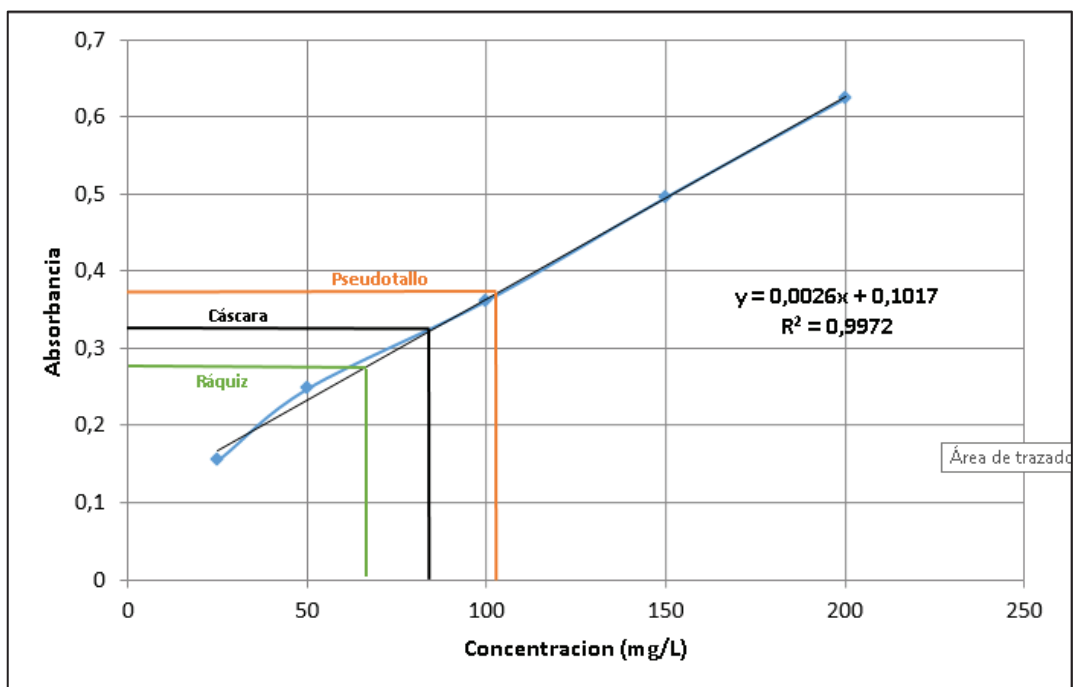
**DETERMINACIÓN DE LOS POLIFENOLES TOTALES EN LAS
 VARIEDADES *MUSA CAVANDANAISH* Y *MUSA PARADISIACA***


Figura AIV. 1. Determinación de la concentración de polifenoles en la variedad *Musa Cavandanaish*

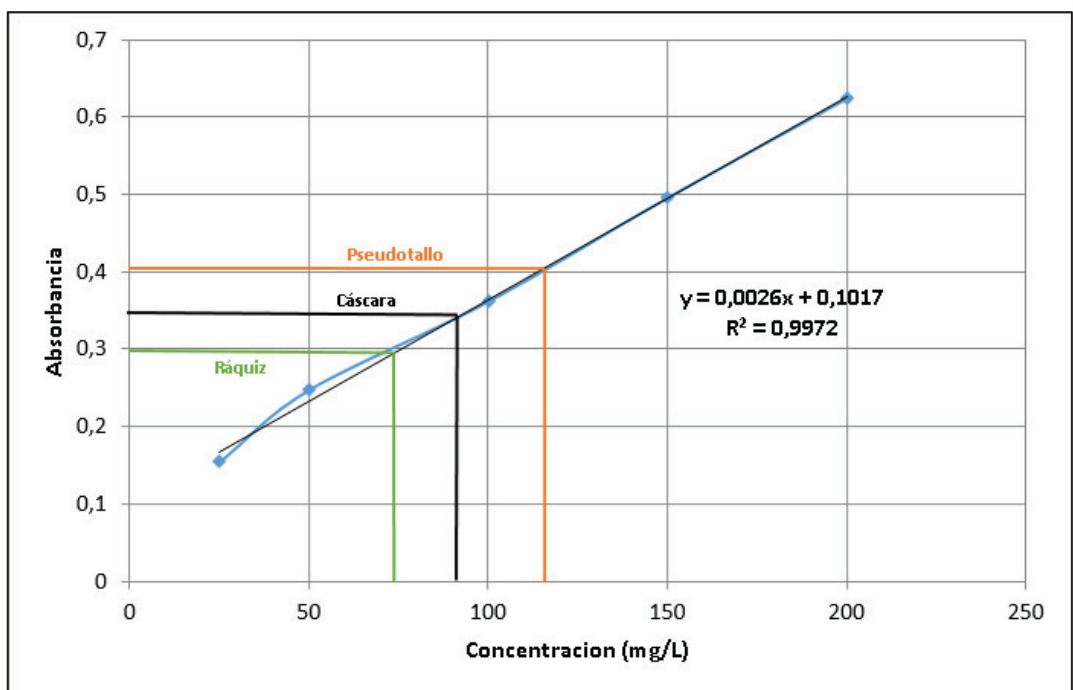


Figura AIV. 2. Determinación de la concentración de polifenoles en la variedad *Musa Paradisiaca*

ANEXO V

FICHA TÉCNICA DE LA RESINA POLIÉSTER DE LA ELABORADA POR LA EMPRESA REGARSA

Ficha técnica



| | | |
|--------------------------------|---|-----------|
| Descripción | Resina de poliéster insaturado ortoftálica, diluida en estireno. Es de reactividad media y de viscosidad media, tixotrópica y preacelerada. | |
| Aplicaciones | Recomendada para un uso general, buenas propiedades mecánicas. | |
| Acidez total | ≤ 30 mg KOH/g | SIR 10231 |
| Apariencia | Líquido turbio | SIR 10010 |
| Contenido de estireno | 36% | SIR 10352 |
| Tiempo de gel a 25 °C * | 17 minutos | SIR 10267 |
| Índice tixotrópico | > 3,0 | SIR 10215 |
| 2 rpm | > 1500 mPa s | |
| 20 rpm | < 600 mPa s | |
| Estabilidad a 65 °C | 6 días | SIR 10242 |

* Formulación: 100 g resina + 1,5 ml MEKP 50%



C/ Agustín Durán, 4 - 28028 Madrid - Tlf: 91 716 14 11 - Fax: 91 361 17 08

www.regarsa.com - regarsa@regarsa.com

Ficha técnica

Resina Poliéster

Propiedades mecánicas del grado de curado de la resina

| | | |
|---------------------------------|----------|-------------|
| Dureza Barcol | 60 | EN 59 |
| Resistencia a la flexión | 140 Mpa | EN 63 |
| E-Módulo, flexión | 3800 Mpa | EN 63 |
| Resistencia a la tensión | 80 Mpa | EN 61 |
| E-Módulo, tensión | 3800 Mpa | EN 61 |
| HDT | 75 °C | EN ISO 75 A |

Propiedades mecánicas de resina reforzada (vidrio/resina 30/70)

| | | |
|---------------------------------|----------|-------|
| Resistencia a la flexión | 210 Mpa | EN 63 |
| E-Módulo, flexión | 7900 Mpa | EN 63 |
| Resistencia a la tensión | 100 Mpa | EN 61 |
| E-Módulo, tensión | 8300 Mpa | EN 61 |

Condiciones de almacenaje

El producto tiene una estabilidad de 3 meses, tiene que ser almacenado en recipientes de acero inoxidable o envases acolchados (totalmente prohibidos recipientes de fibra de vidrio o de hojalata), a 20 °C temperatura, en un lugar oscuro/ventilado. Hay que mantener fuera de contacto con sales de hierro y cobre, peróxidos orgánicos e inorgánicos. Es aconsejable agitar el producto antes de su uso.

Seguridad

El producto es inflamable y nocivo.

Más información en las fichas de seguridad.



C/ Agustín Durán, 4 - 28028 Madrid - Tfno. 91 726 14 11 - Fax: 91 361 17 08

www.regarsa.com - regarsa@regarsa.com

ANEXO VI

RESULTADOS DE LA ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR) DE LAS RESINAS 2 A LA RESINA 9

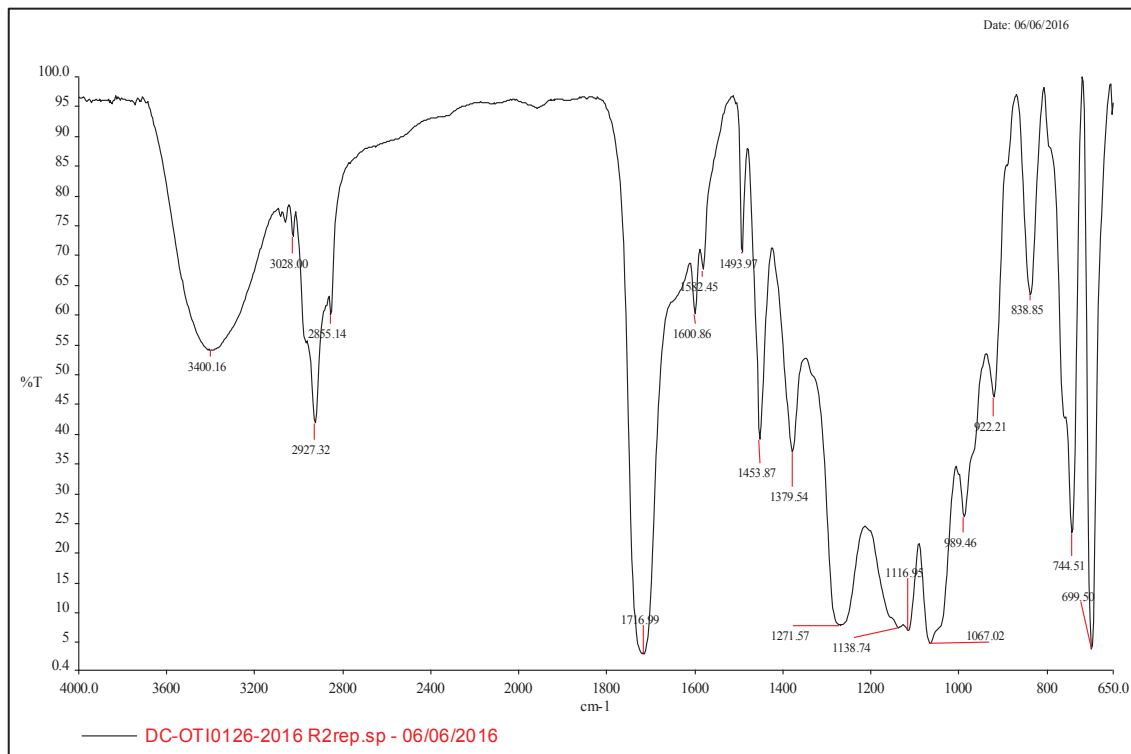


Figura AVI. 1. Espectroscopía infrarroja de la resina 2

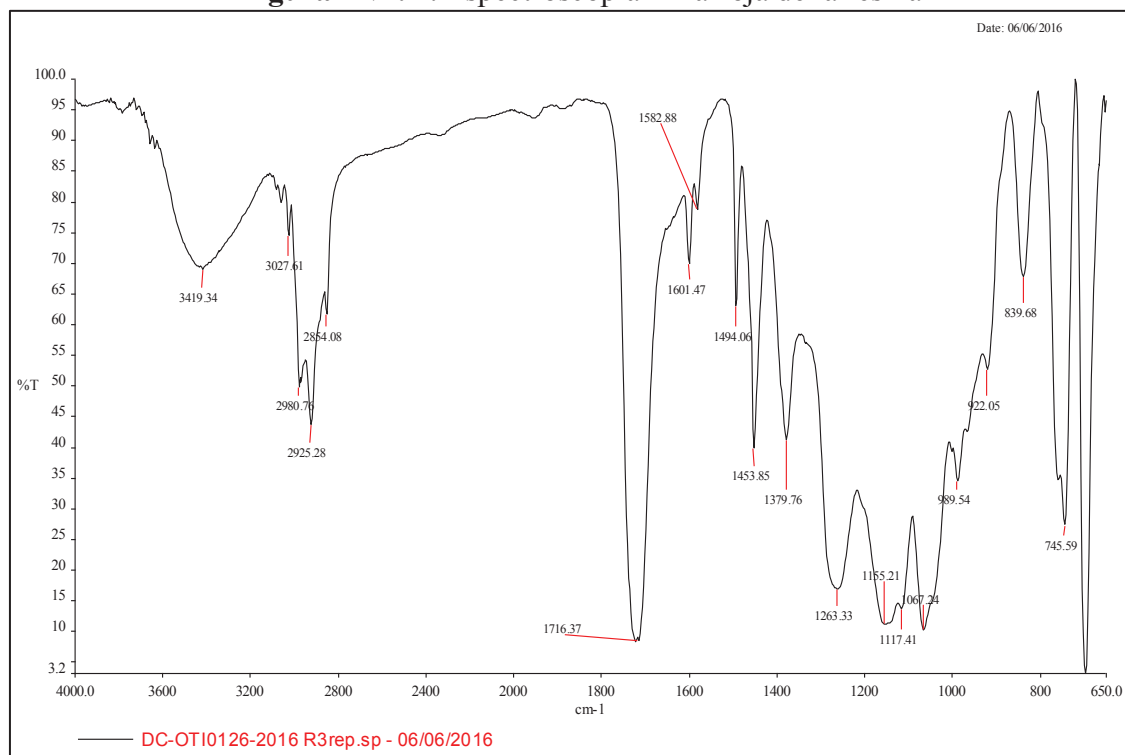


Figura AVI. 2. Espectroscopía infrarroja de la resina 3

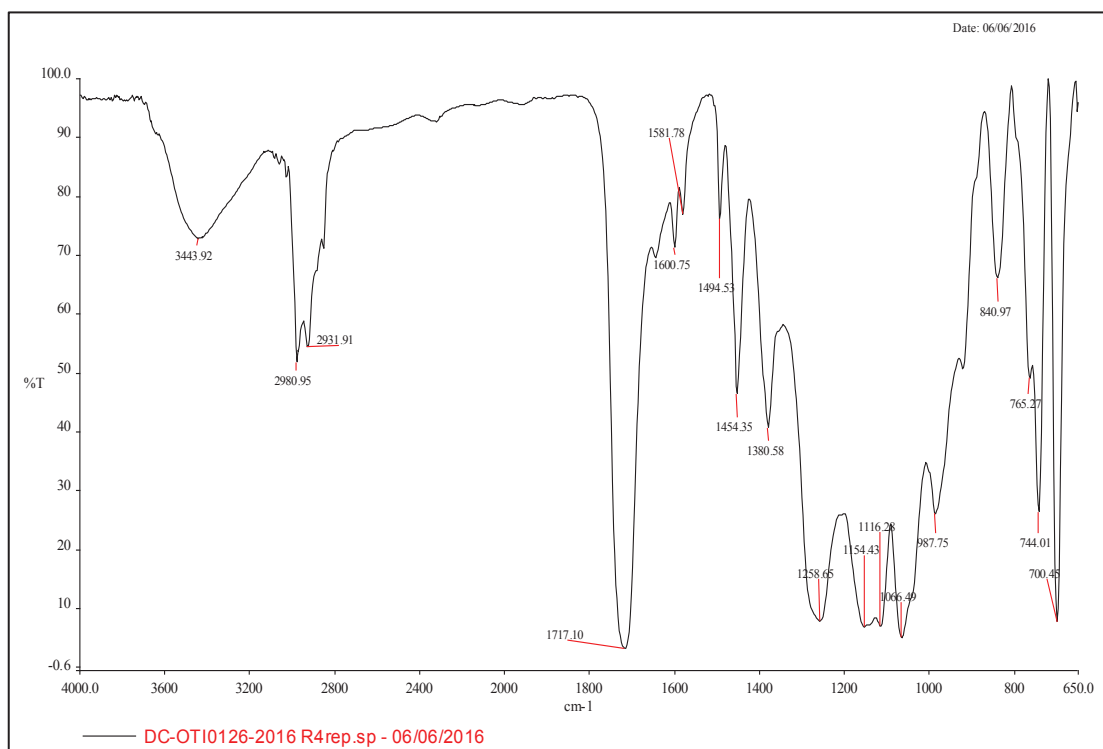


Figura AVI. 3. Espectroscopía infrarroja de la resina 4

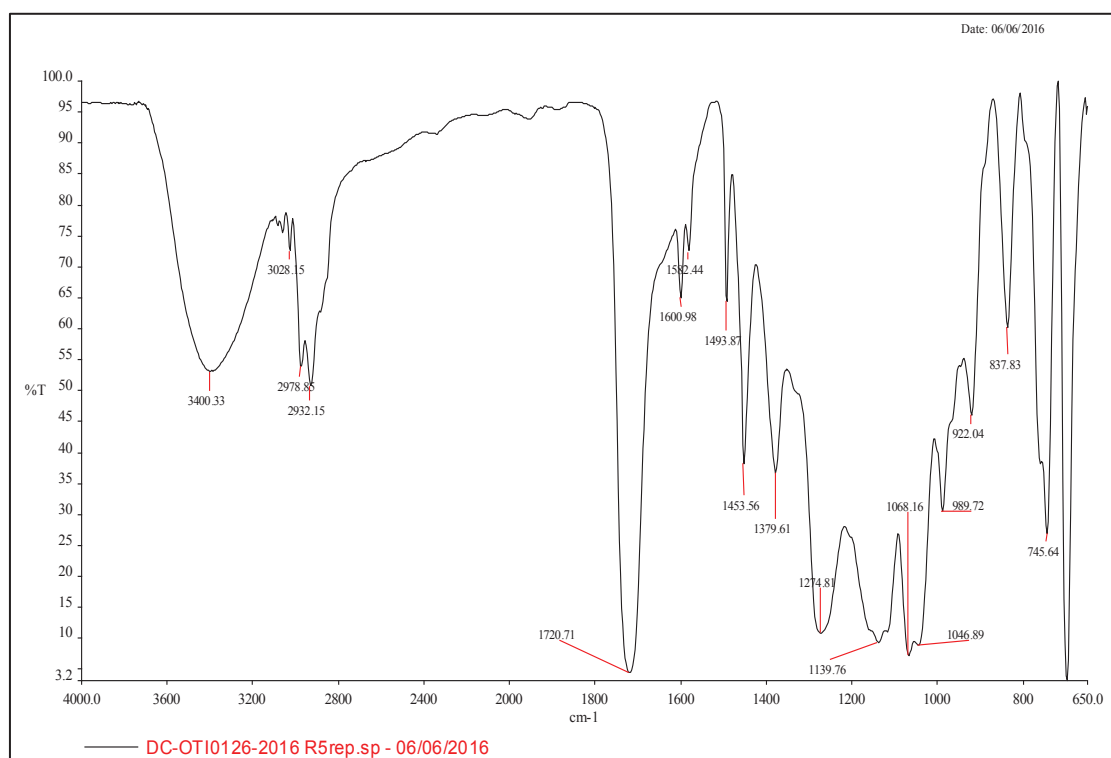


Figura AVI. 4. Espectroscopía infrarroja de la resina 5

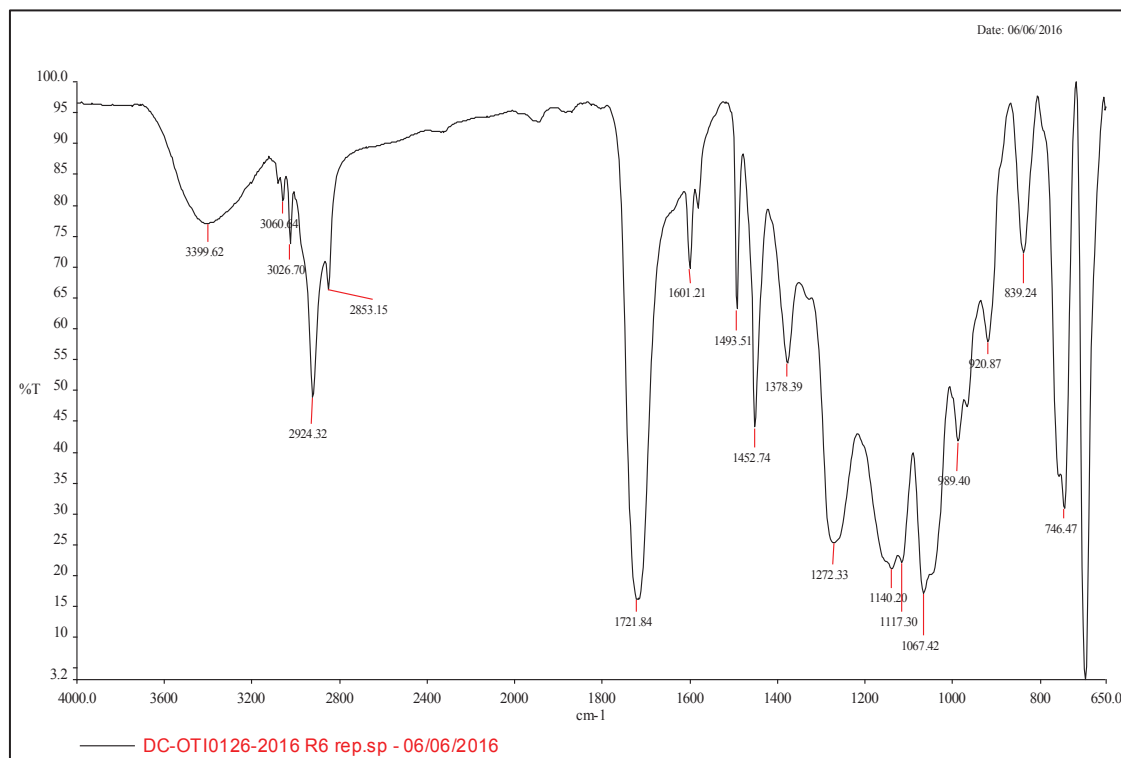


Figura AVI. 5. Espectroscopia infrarroja de la resina 6

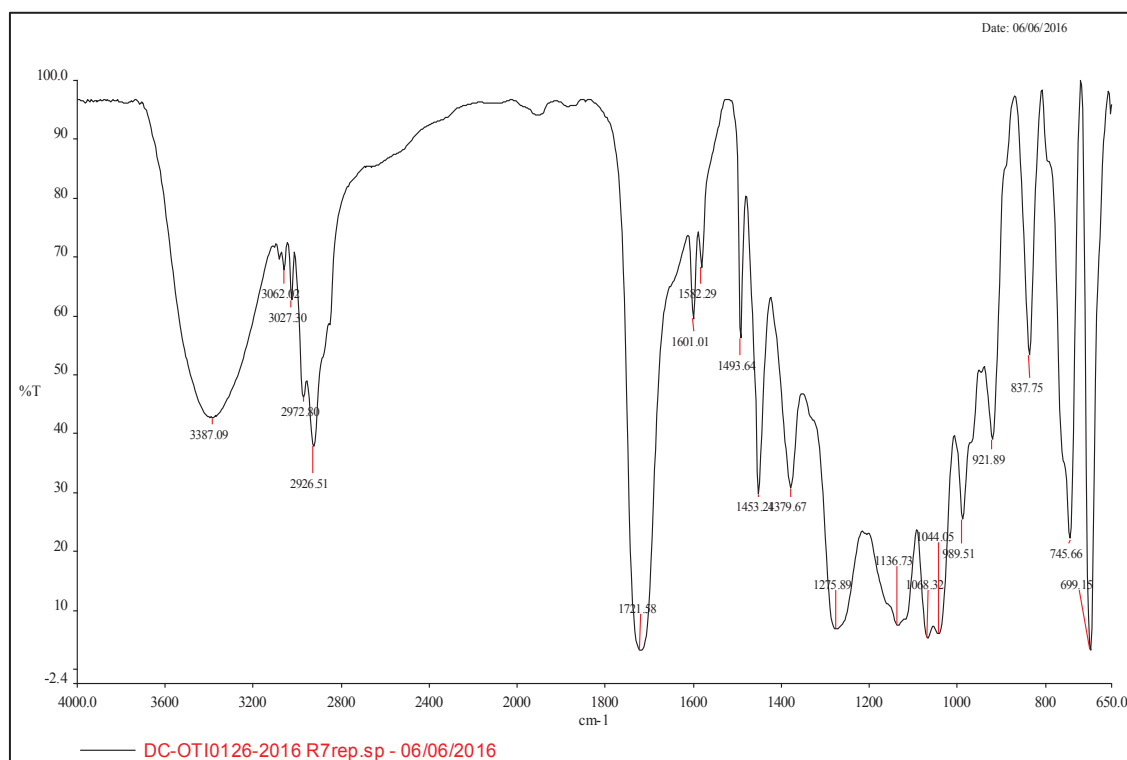


Figura AVI. 6. Espectroscopia infrarroja de la resina 7

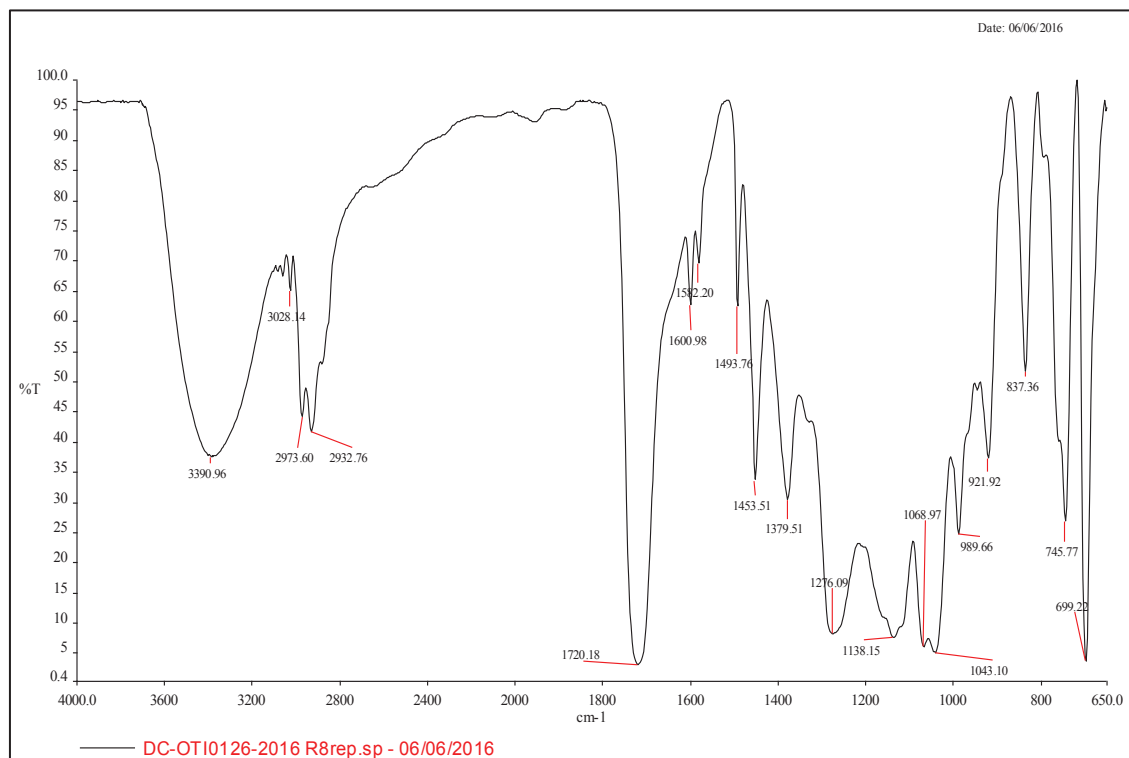


Figura AVI. 7. Espectroscopia infrarroja de la resina 8

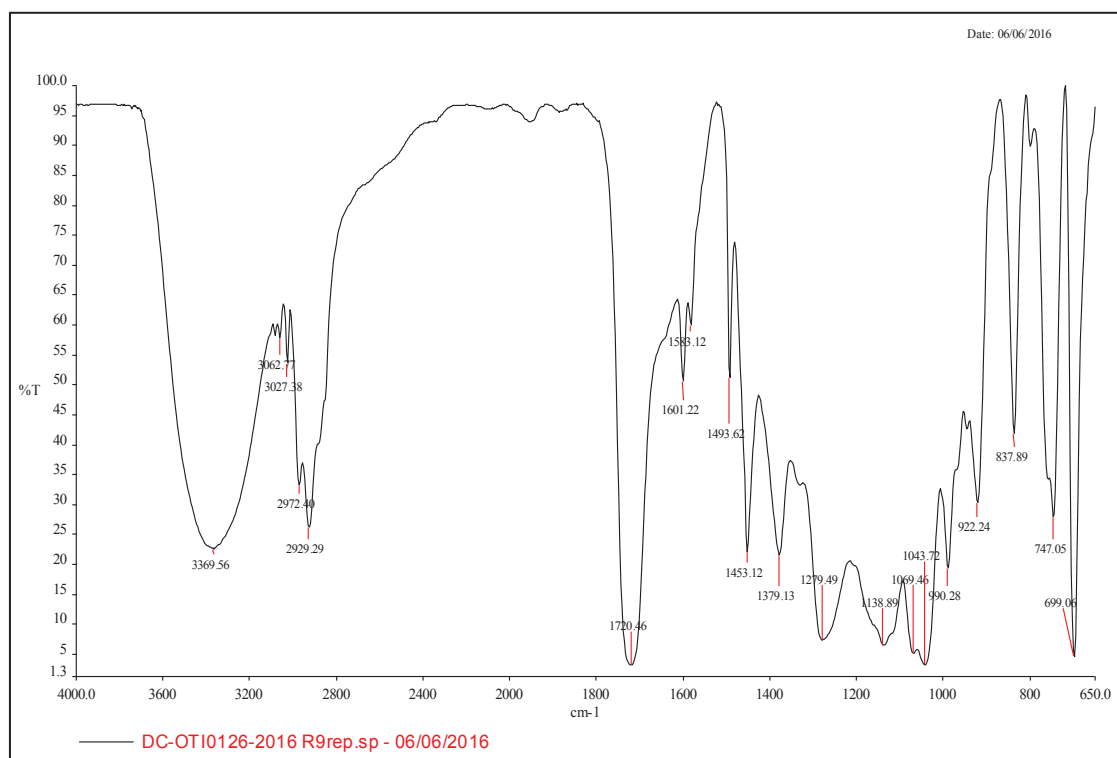


Figura AVI. 8. Espectroscopia infrarroja de la resina 9

ANEXO VII

TERMOGRAMAS OBTENIDOS POR CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE BARRIDO DSC DE LAS RESINAS 2 A LA RESINA 9

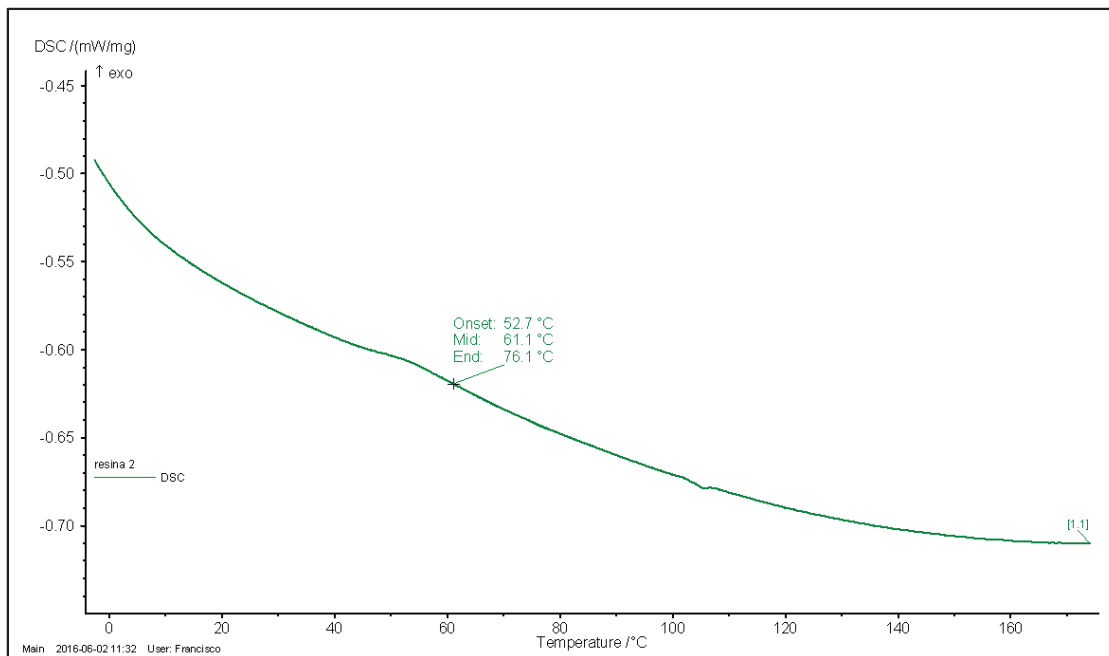


Figura AVII. 1. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 2

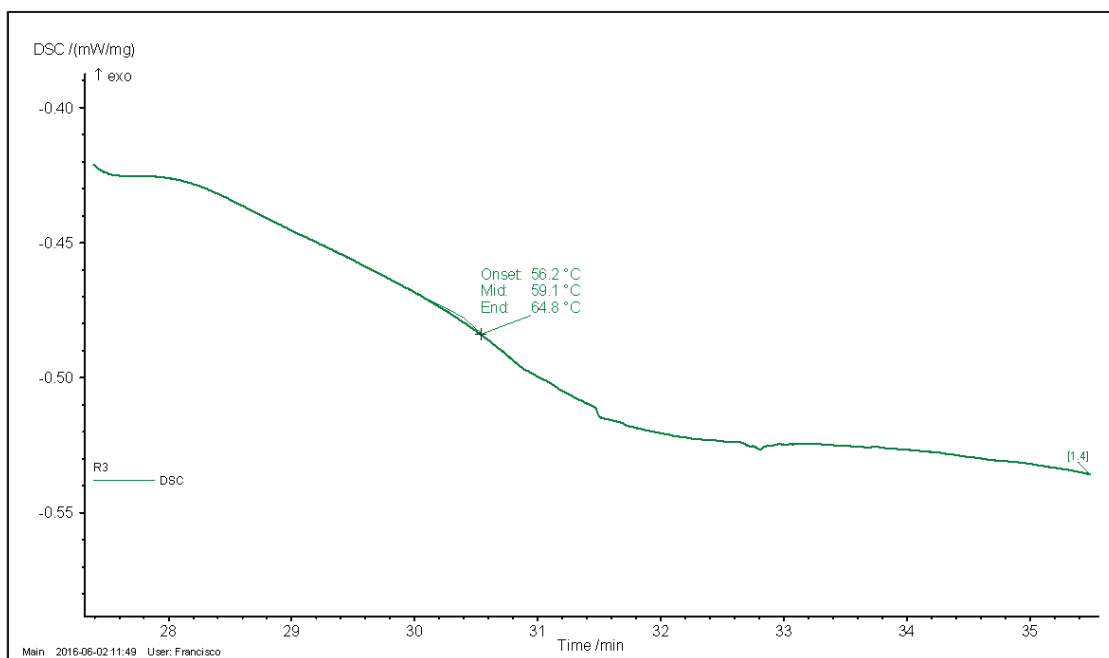


Figura AVII. 2. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 3

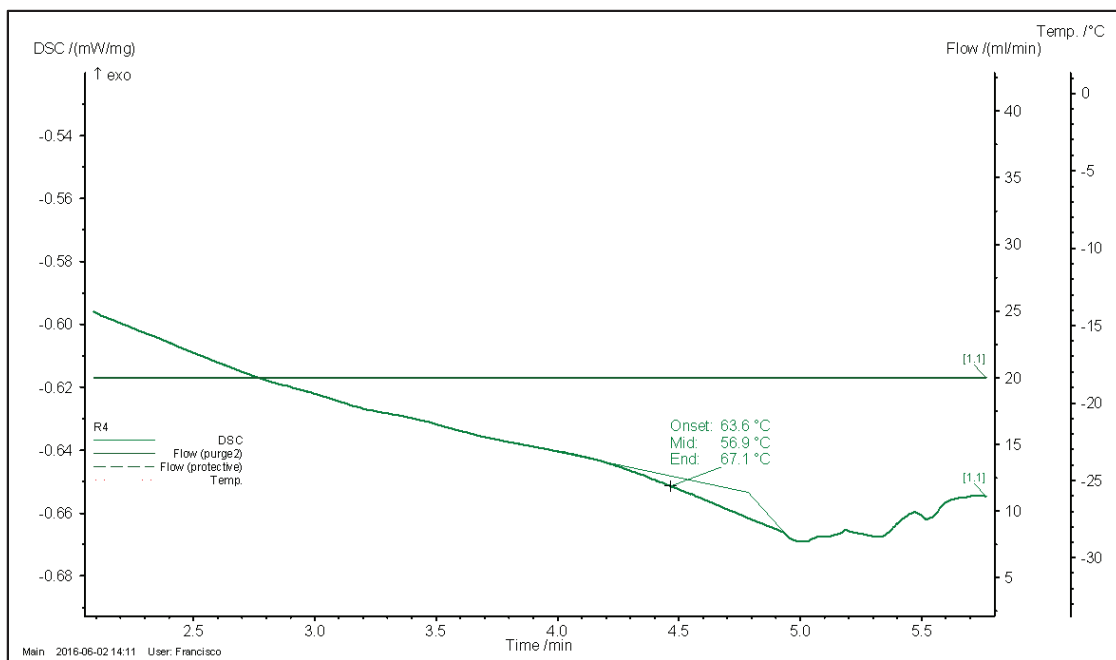


Figura AVII. 3. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 4

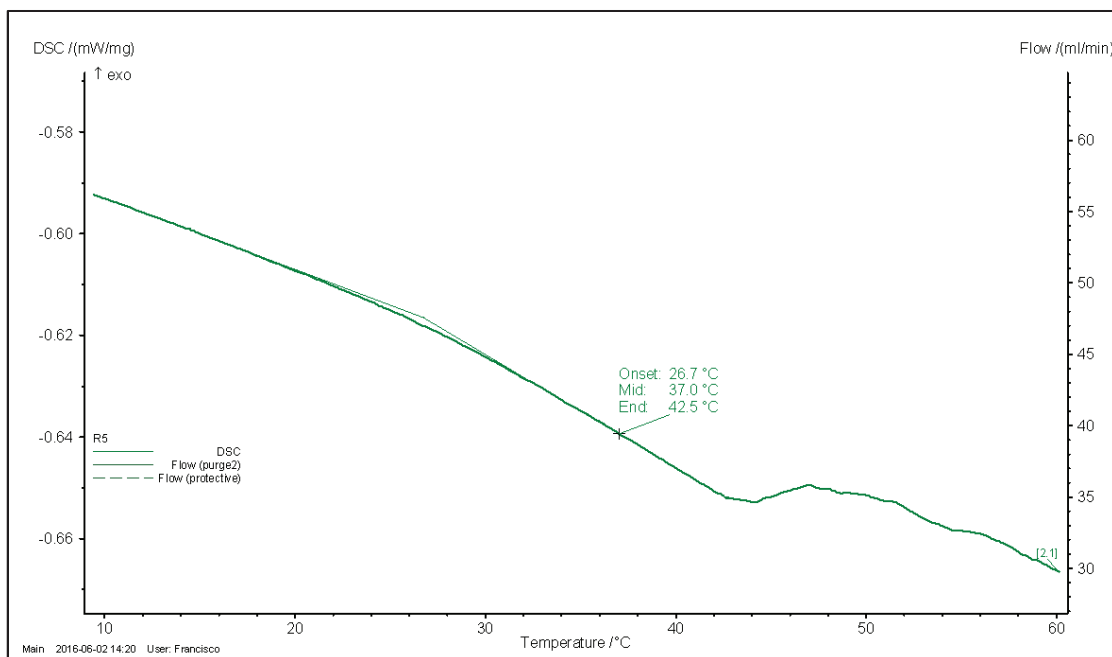


Figura AVII. 4. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 5

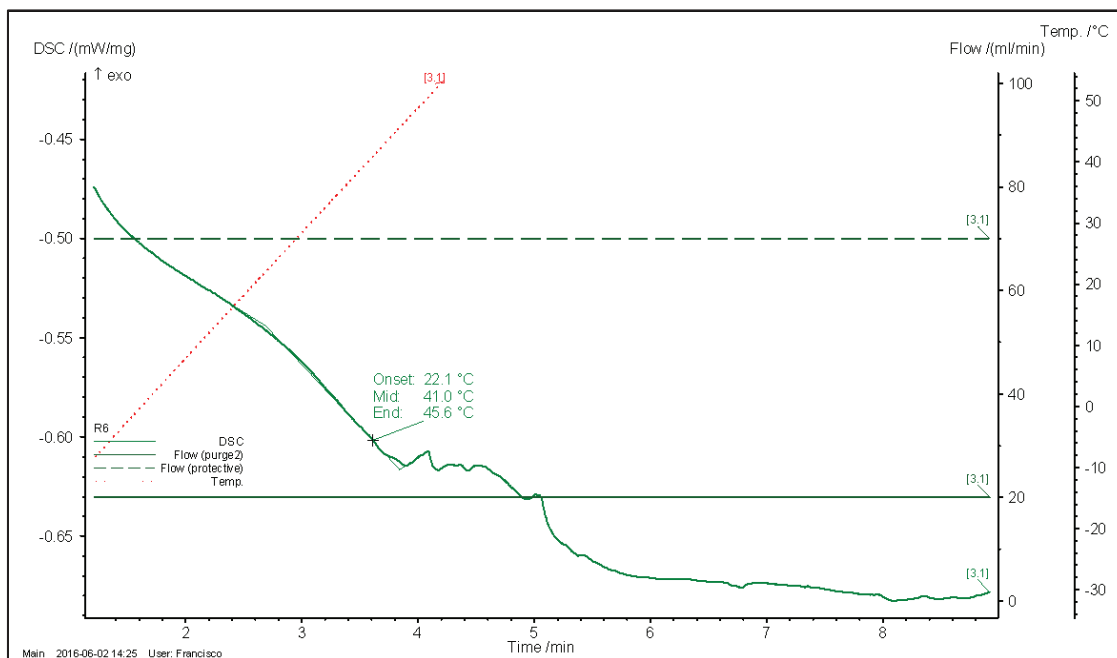


Figura AVII. 5. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 6

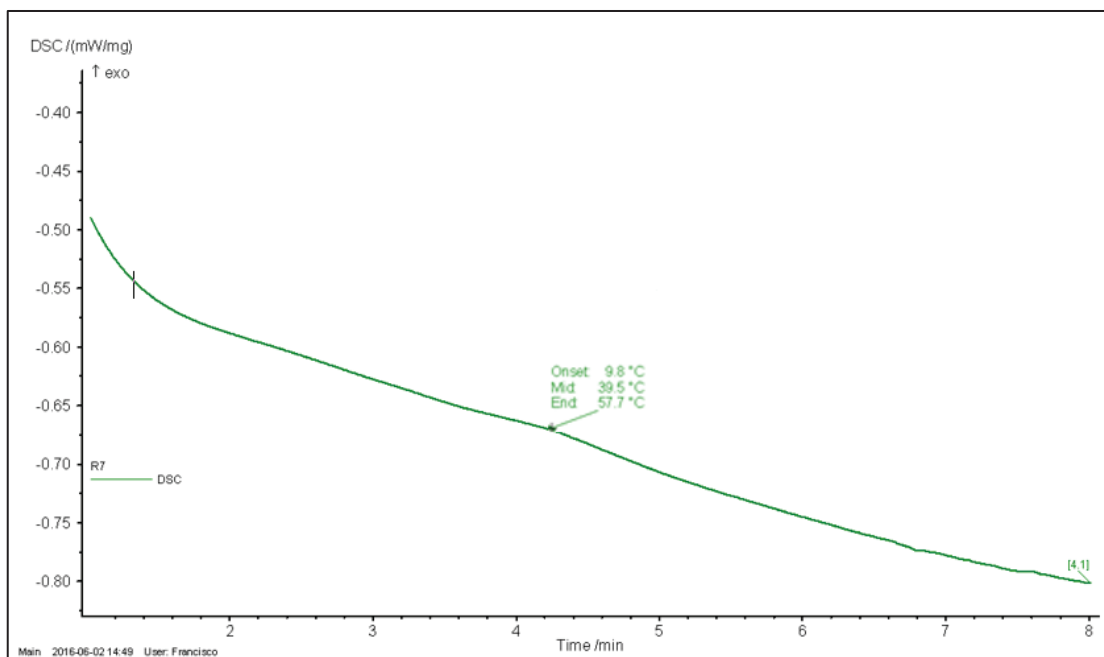


Figura AVII. 6. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 7

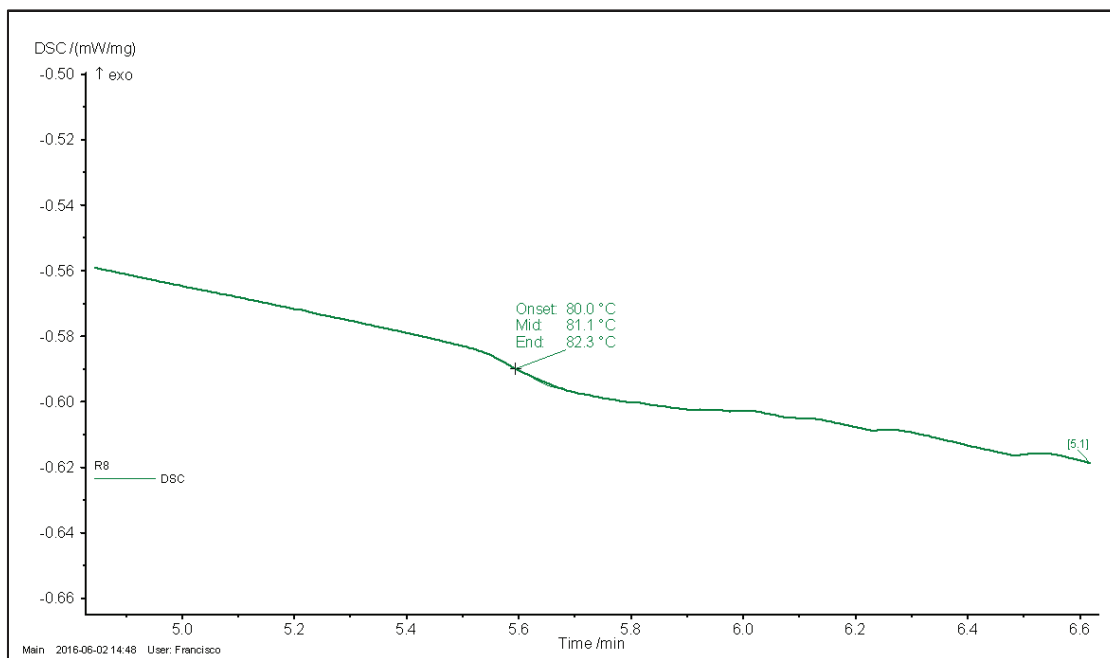


Figura AVII. 7. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 8

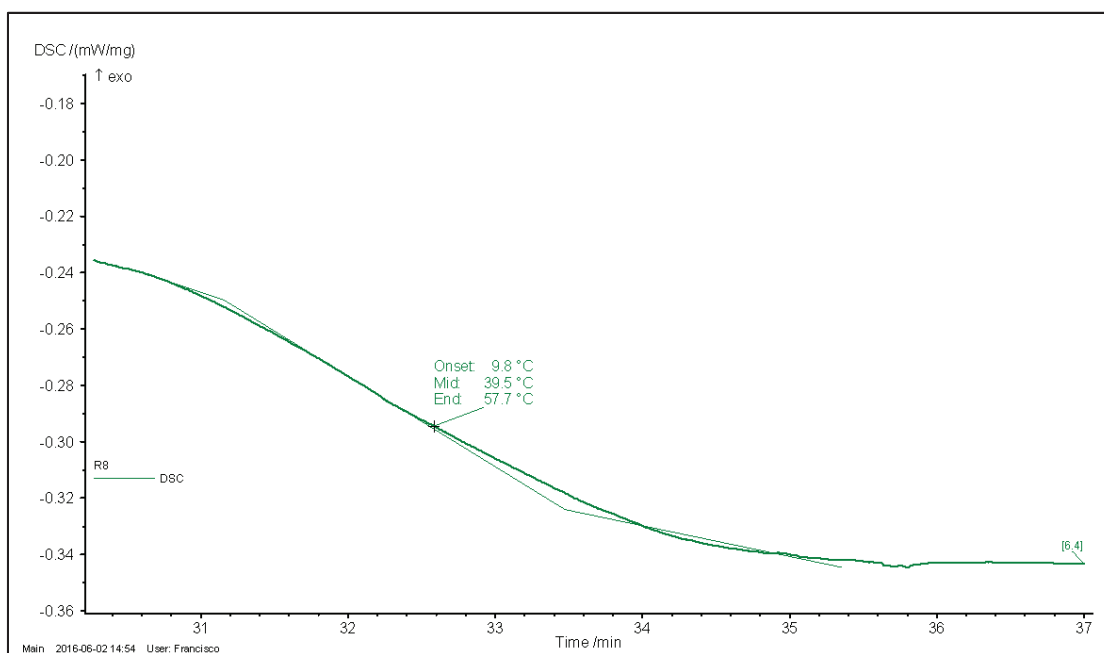


Figura AVII. 8. Termograma obtenido para la determinación de la temperatura de transición vítrea de la resina 9

ANEXO VIII

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS POR TERMOGRAVIMETRÍA (TGA) DE LAS RESINAS 2 A LA RESINA 9

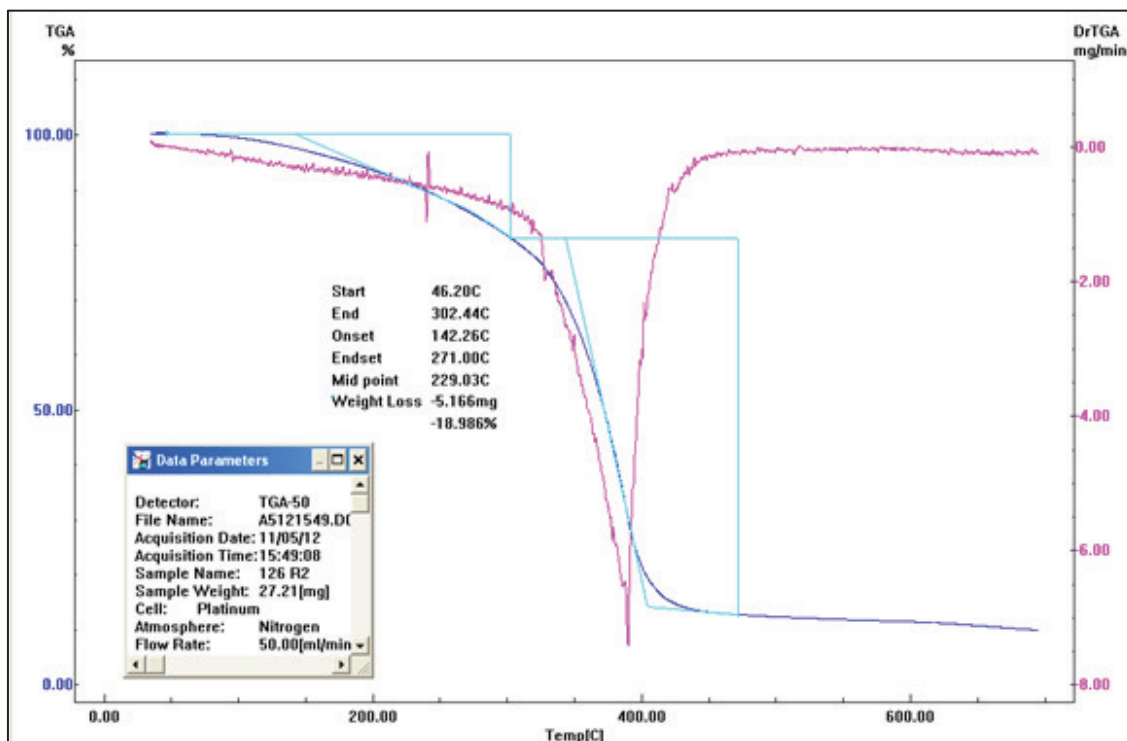


Figura AVIII. 1. Análisis TGA de la resina 2

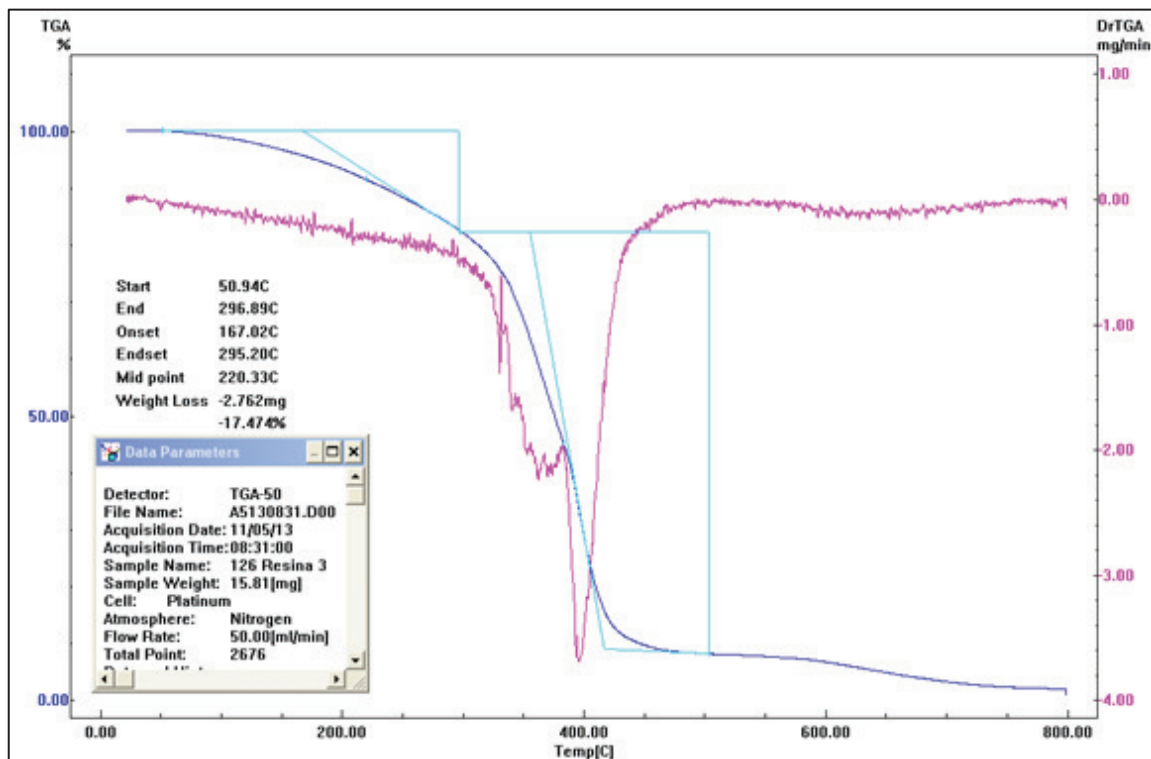


Figura AVIII. 2. Análisis TGA de la resina 3

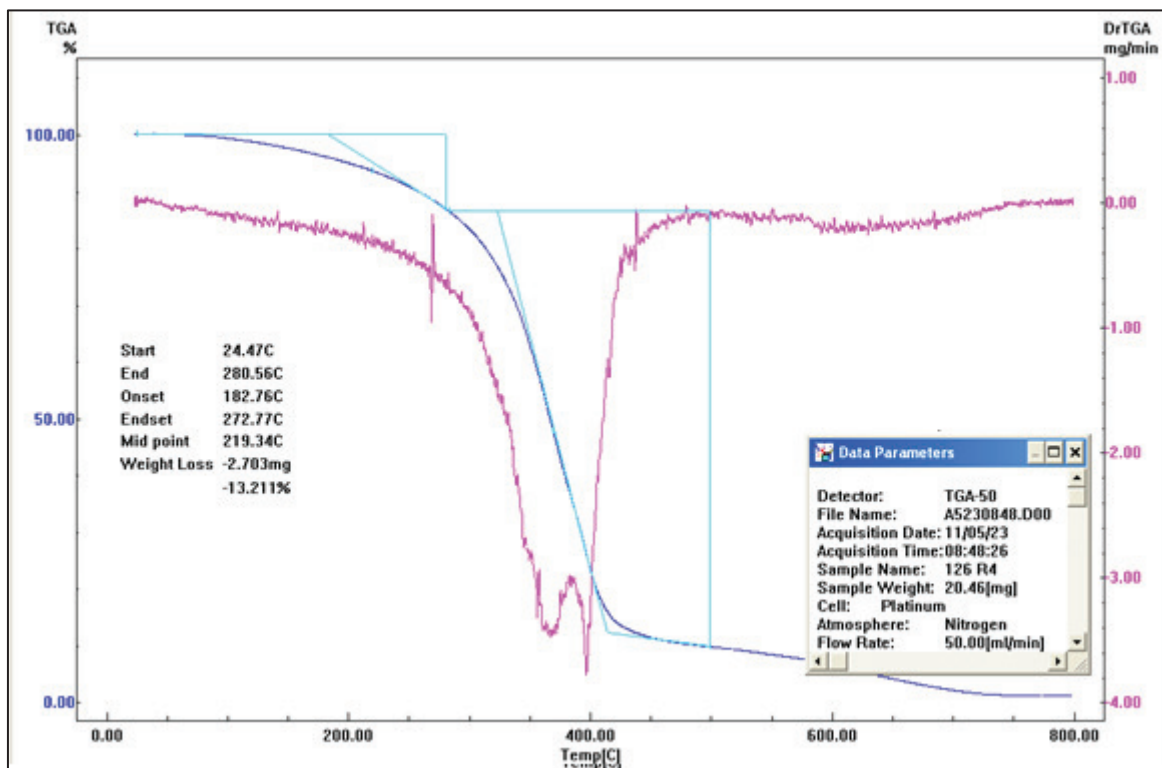


Figura AVIII. 3. Análisis TGA de la resina 4

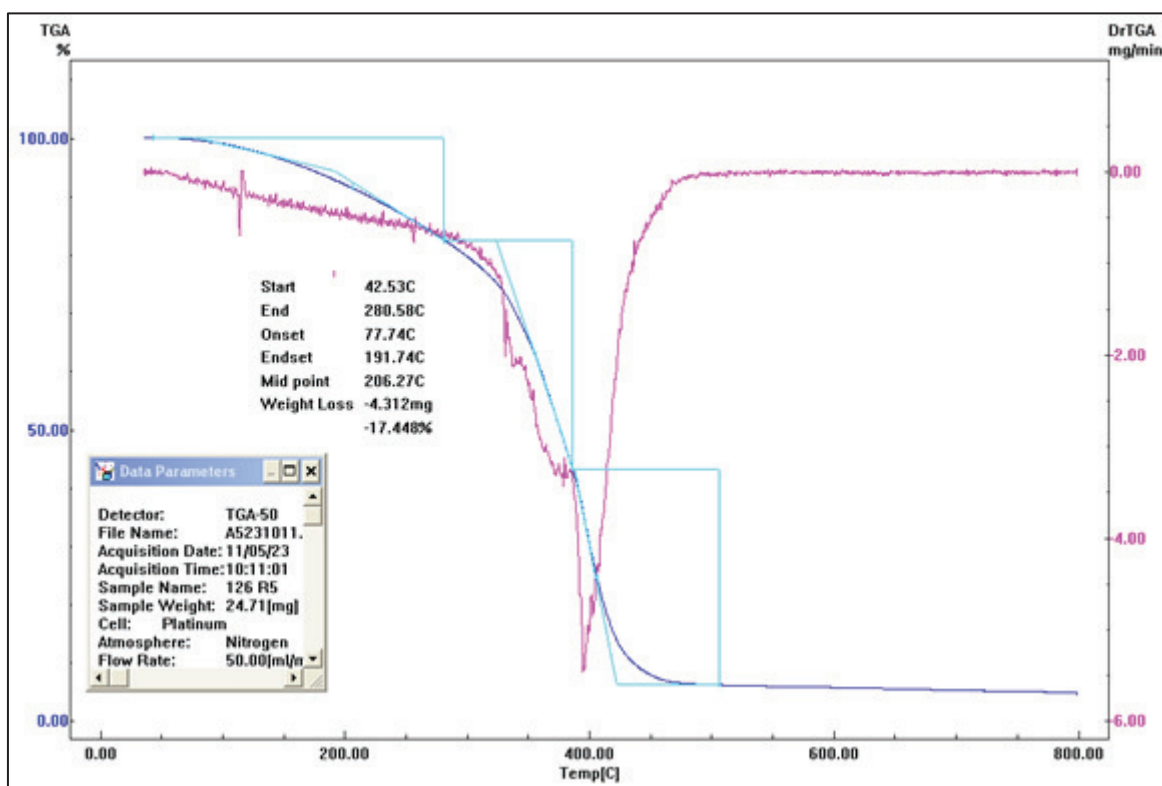


Figura AVIII. 4. Análisis TGA de la resina 5

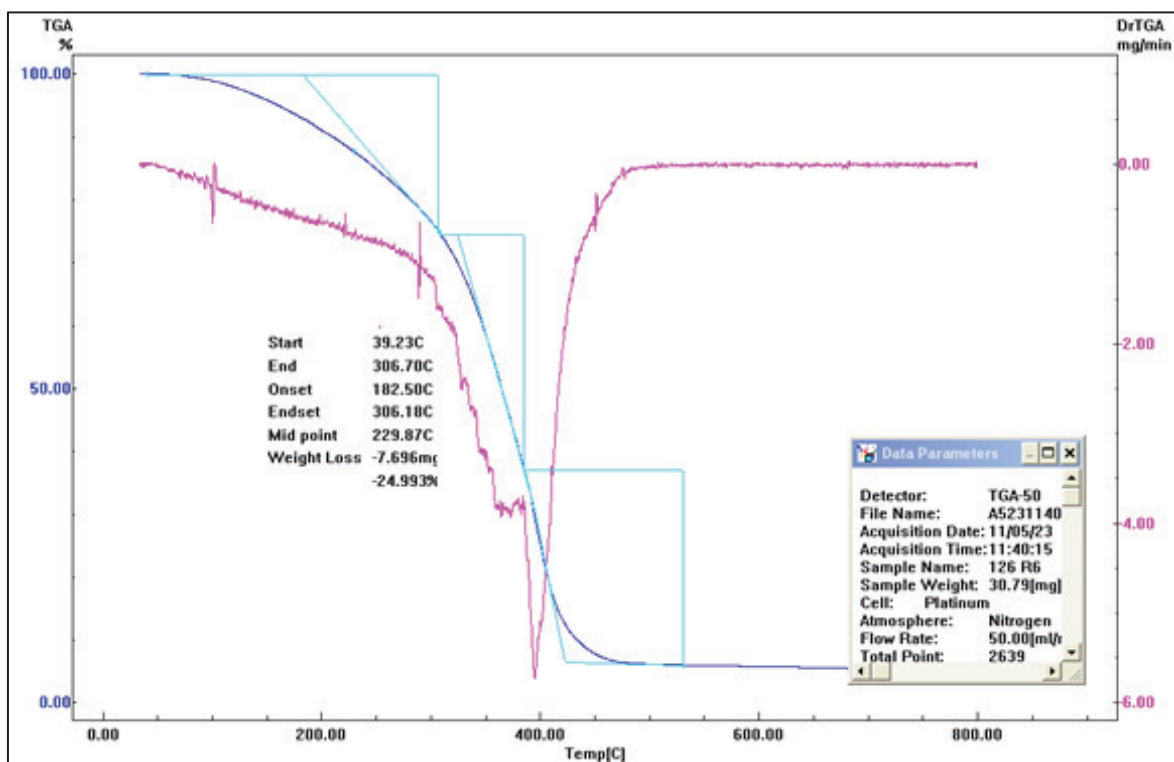


Figura AVIII. 5. Análisis TGA de la resina 6

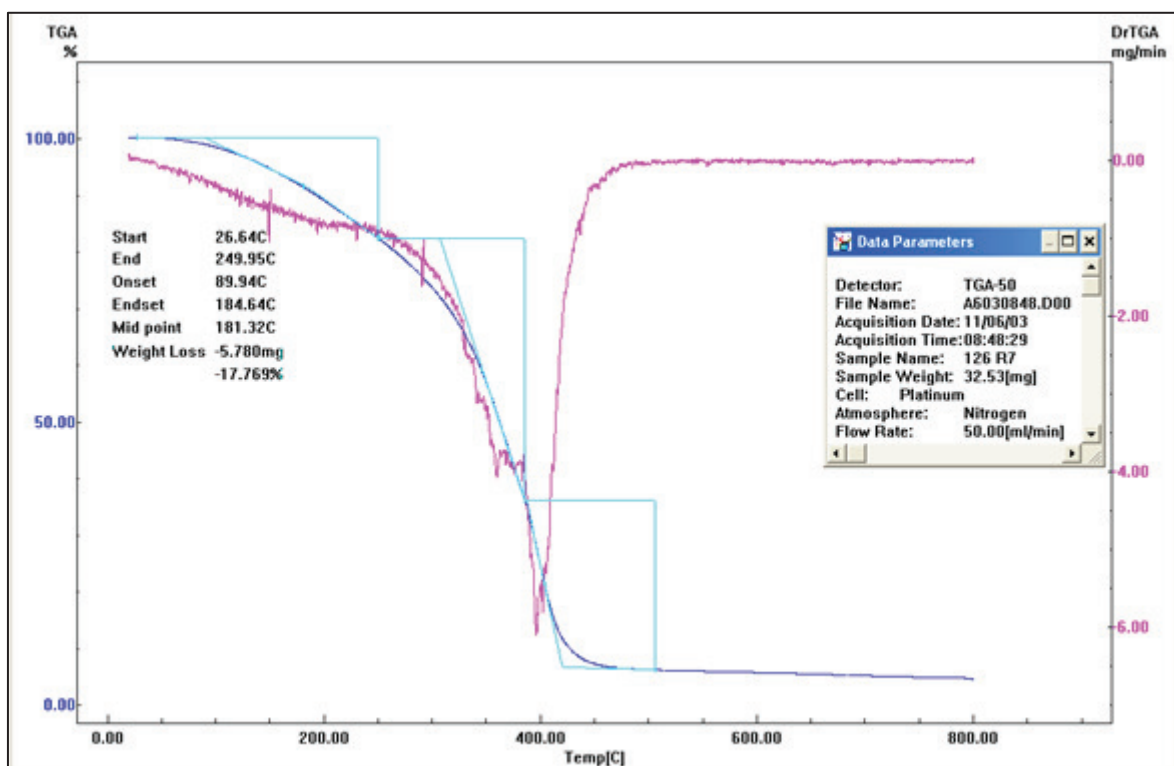


Figura AVIII. 6. Análisis TGA de la resina 7

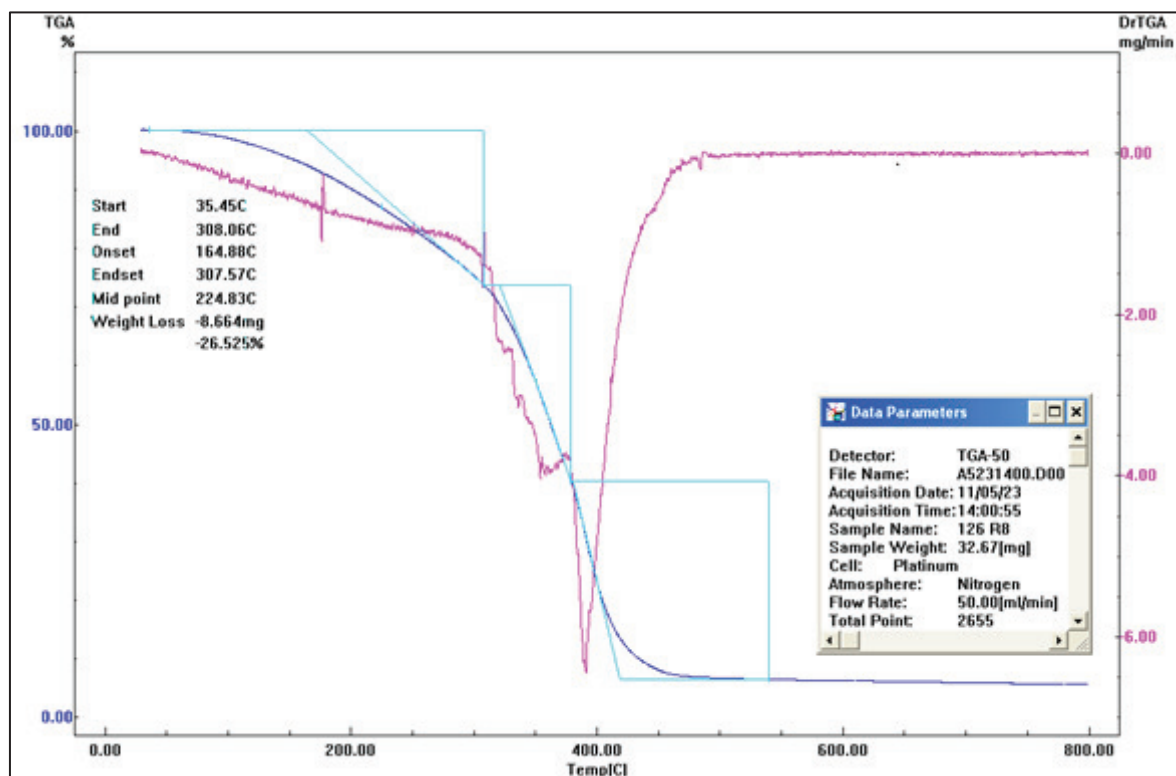


Figura AVIII. 7. Análisis TGA de la resina 8

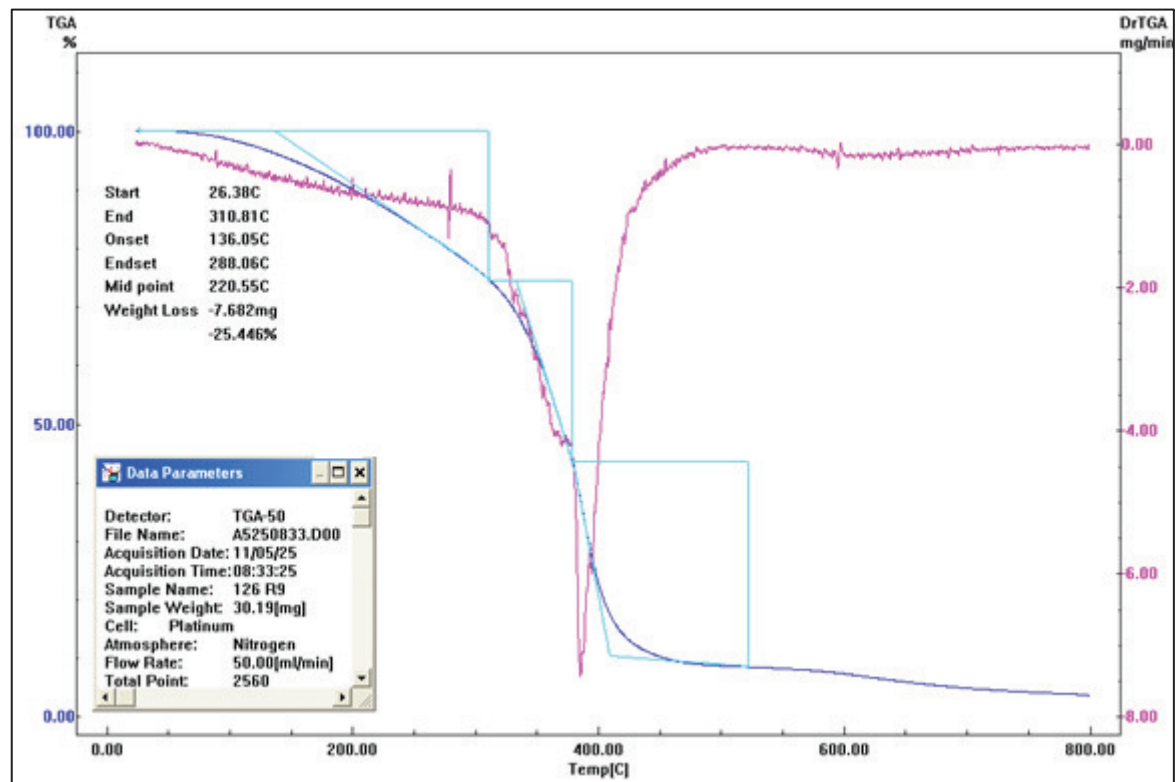


Figura AVIII. 8. Análisis TGA de la resina 9

ANEXO IX

CALCULO PARA EL ANÁLISIS DEL COSTO

Cálculo para el costo de la resina poliéster insaturada con savia de banano a escala del laboratorio, se empleó la siguiente ecuación

$$Costo_{Materia\ Prima} + Costo_{Energético} = Costo_{Bioresina} \quad [AIX. 1]$$

➤ Balance de masa

Se determinaron las masas de los reactivos utilizados para la síntesis de la resina 1, mediante los pesos de los reactivos y la siguiente expresión:

$$m_{AM} + m_{PG} + m_{SB} = m_{RSB} + m_{PA} \quad [AIX. 2]$$

Donde:

m_{AM} : Masa anhídrido maléico

m_{PG} : Masa del propilenglicol

m_{SB} : Masa savia de banano

m_{RSB} : Masa resina con savia de banano formada

m_{PA} : Masa de agua evaporada

Los resultados obtenidos en el balance de masa en la formación de la resina poliéster con savia de banano se muestran en la Tabla AIX. 1.

Tabla AIX. 1. Balance de masa

| Proceso | Entra | Sale | Observación |
|----------|------------------------|---------------------------------------|--|
| Prensado | 1055,4 g pseudotallo | 785,8 g savia | 238,9 g de bagazo son desechados |
| | | 238,9 g bagazo | |
| Síntesis | 70,884 g Savia | 109,835 g agua 108,259 g bioresina | AM: Anhídrido maléico PG: Propilenglicol |
| | 46,110 g AM | | |
| | 101,100 g PG | | |
| Mezclado | 108,259 g Bioresina | 166,489g bioresina | Se incorpora estireno para diluir la resina poliéster |
| | 58,23 g Estireno | | |
| Curado | 166,489g Bioresina | 176,489 g bioresina curada | Bioresina obtenida a partir del pseudotallo de la variedad <i>Musa Cavendish I</i> |
| | 5 g Peróxido Mepk | | |
| | 5 g Octoato de cobalto | | |

Una vez obtenida la resina poliéster con savia de banano se procedió a añadir el monómero del estireno en la cantidad de 58, 23 g, obteniéndose un peso de la resina poliéster de 166,489 g.

Para el curado de la resina poliéster insaturada se empleó 1 g de Mepk y 1 g de octoato de cobalto por cada 25 g de resina, siendo el iniciador y acelerante respectivamente.

➤ Costo de la materia prima

Se va a considerar que la savia de banano no tiene ningún costo debido a que no existe ninguna distribución de manera comercial; de manera similar el pseudotallo, el raquis y la cáscara del fruto son considerados desechos.

Los costos de las materia primas se presentan en la Tabla AIX.1, estos valores se obtuvieron de las proformas que se muestran en el Anexo X.

Para la transformación de volumen a masa en el caso del iniciador y el acelerante se procedió a emplear la densidad de cada uno obtenido bibliográficamente, siendo

estos valores de 1,17 g/mL para el iniciador y 0,870 g/mL para el acelerante (Vargas, Sachsenheimer y Guthausen, 2011, p. 132)

Tabla AIX. 2. Costo de las materias primas empleadas en la síntesis de la resina poliéster con savia de banano

| Reactivo | Cantidad proformada | Costo (\$) | Cantidad empleada | Costo (\$) |
|--------------------|---------------------|------------|-------------------|------------|
| Anhídrido Maléico | 1 kg | 2,28 | 46,11 g | 0,11 |
| Propilenglicol | 1 kg | 2,46 | 101,10 g | 0,25 |
| Estireno Monómero | 1 kg | 2,66 | 58,23 g | 0,15 |
| Peróxido Mekk | 60 mL | 0,61 | 4,3 mL | 0,04 |
| Octoato de cobalto | 60 mL | 1,49 | 5,7 mL | 0,14 |
| | | | Total | 0,69 |

- Costo energético requerido para la obtención de la resina poliéster con savia de banano.

Se determinó el costo del consumo de energía eléctrica para la preparación de la resina poliéster insaturada en base a las capacidades de los equipo empleados como al tiempo de operación de los mismos, esto se presenta en la Tabla AIX.3.

No se consideró el aporte energético por parte de la prensa debido a que se trataba de una prensa manual.

Tabla AIX. 3. Costo energético requerido para la síntesis de la bioresina

| Equipo | Potencia (W) | Horas de funcionamiento | Energía requerida (kW-h) |
|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------|
| Motor de agitación | 100 | 2,5 | 0,250 |
| Camisa de calentamiento | 150 | 2,5 | 0,375 |
| TOTAL | | | 0,625 |

Se consideró que 1 kW-h tiene un valor de \$ 0,10, obteniéndose como resultado:
Costo energético: \$ 0,06.

Finalmente se empleó la ecuación AIX. 1. y se determinó que el costo de 176,489 g de bioresina curada es de \$ 0,75

Realizando la conversión a 1kg se tiene que el costo de la bioresina con savia de banano es de $\$4,25 \frac{\text{dólares}}{\text{kg bioresina}}$

TRECX S.A. RUC:1791812484001
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL
 Resolución 9170104 PCGR - 0590
 S.R.L. 08-NOV-2004
 Rumihuroo 084-365 y P. Freije Teff. 022530912

LOCAL / Telf: 022690839 / Av. Maldonado casa 349-69 (diagonal a Nueva Aurora)

Ciente: PROFORMA PROFORMA

CEDULA N° 12345
 Dirección: Telefono: 2350912
 Fecha: No. 30/05/2017 12:26:55

Ticket: 631916 Caja/Cajero: 3/Fernanda

Proforma N° 631-916-631916

Observ.:

| CANT | ITEM DESCRIPCION | PRECIO | TOTAL. |
|-----------------|--|------------|--------|
| 1 | RPDE-1K RESINA TRNSP ENV 1KG | 3.02 | 3.02 |
| | Desc.Total: (0%,0%,0%) | | 0.00 |
| | Total Itms: | | 3.02 |
| 1 | ESM-1K ESTIRENO MONOMERO ENV 1KG | 2.80 | 2.80 |
| | Desc.Total: (5%,0%,0%) | | 0.14 |
| | Total Itms: | | 2.66 |
| 1 | MP60 MECK PEROXIDO EN 60CC | 0.61 | 0.61 |
| | Desc.Total: (0%,0%,0%) | | 0.00 |
| | Total Itms: | | 0.61 |
| 1 | CB60 COBALTO 12% 60 CC. | 1.49 | 1.49 |
| | Desc.Total: (0%,0%,0%) | | 0.00 |
| | Total Itms: | | 1.49 |
| 1 | D375-2M FIBRA VIDRIO 375X2LX 1/2 DUTRAN | 3.37 | 3.37 |
| | Desc.Total: (12%,0%,0%) | | 0.40 |
| | Total Itms: | | 2.97 |
| Subtotal Bruto: | | 11.29 | |
| Total Desc: | | 0.54 | |
| Subtotal Neto: | | \$10.75 | |
| Int: | | \$0.00 | |
| I.V.A. 14%: | | \$1.50 | |
| Tot.Factura: | | \$12.25 | |
| Com. 2%: | | 0.00 | |
| Cambio 0.00 | | A pagar: | 12.25 |
| Forma de Pago | Valor | Vence | |
| ALTA 10m I | 12.25 | 30/05/2017 | |

En esta compra su ahorro es: 0.54

P R O F O R M A

Valido por 24 h Sin valor tributario.

Acepto que he sido informado con claridad y que entiendo sobre el uso, manejo, aplicacion de los productos que se indican en esta factura. así

Figura AXI. 2. Proforma de resina poliéster comercial y sus implementos