

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y  
AGROINDUSTRIAL**

**APROVECHAMIENTO DE DESECHOS INDUSTRIALES DE ACEITE  
DE PALMA AFRICANA EN EL DESARROLLO DE POLÍMEROS  
COMPOSTABLES, COMPOSITES Y SISTEMAS DE  
BIOFILTRACIÓN.**

**ESTUDIO TERMOGRAVIMETRICO DE COMPOSITES  
FORMULADOS CON RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ACEITERA Y  
RESINA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**LUIS ALEJANDRO TORRES CALDERÓN**

**[luis.torres01@epn.edu.ec](mailto:luis.torres01@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: MSG. LAURO VLADIMIR VALLE ÁLVAREZ**

**[vladimir.valle@epn.edu.ec](mailto:vladimir.valle@epn.edu.ec)**

**DMQ, FEBRERO 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, LUIS ALEJANDRO TORRES CALDERÓN declaro que el trabajo de integración curricular 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.

---

LUIS ALEJANDRO TORRES CALDERÓN

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por LUIS ALEJANDRO TORRES CALDERÓN, bajo mi supervisión.

---

**MSG LAURO VLADIMIR VALLE ÁLVAREZ**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

LUIS ALEJANDRO TORRES CALDERÓN

MSG LAURO VLADIMIR VALLE ÁLVAREZ

## DEDICATORIA

Este del trabajo de integración curricular va dedicado a Dios y a la Virgencita, por brindarme salud, por iluminarme y guiarme, darme la sabiduría y la inteligencia que necesitaba en el camino, para lograr mis sueños.

A mi padre Jorge Saragosín quien, a través de su esfuerzo, paciencia y ánimo, me ayudo a trazar mi camino, como un hombre digno de respeto.

A mi madre Paulina Torres quien es mi motor y mi mayor inspiración para yo llegar lejos, que a través de su esfuerzo, de su amor, paciencia, buenos valores, ayudaron a enfocarme en cumplir mis sueños y metas, este del trabajo de integración curricular se la dedico con mucho amor a ella.

A mis hermanos, Cristina y Fernando que son mi apoyo, mi fuerza y el regalo que Dios me dio para que yo les de mi ejemplo de superación.

A mis abuelitos, Ana y Carlos que han sido mi apoyo, que con su amor y consejos y jaladas de orejas me han dado el ejemplo de que la familia es primero y siempre estará ahí para ti.

A mis tíos Carlos y Maribel que me brindaron sus consejos y comprensión cuando los necesitaba.

A Wilson Zurita, que durante la pandemia represento una ayuda muy grande en nuestras vidas, para que yo no deba dejar mis estudios.

A la Ing. María Cola, mi tía, que con todo su amor y apoyo emocional y mucha de las veces económico ha permitido que yo siga en el camino de convertirme en ingeniero

En fin este del trabajo de integración curricular se la dedico con mucho amor a todos ellos, a toda mi familia, que siempre ha estado ahí para mí.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a DIOS y la Virgen, pues se y confió que sus planes son perfectos, y me han llevado hasta donde estoy ahora, por guiarme con mucha sabiduría en el transcurso de esta carrera y por llenarme de fuerza en los momentos más difíciles.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por abrirme sus puertas para que me llene de conocimiento, el cual con la bendición de Dios podré compartirlo con mucha gente.

A mi director del trabajo de integración curricular Mg. Lauro Vladimir Valle por su paciencia, orientación y guía para que yo pueda culminar mi trabajo de investigación.

A todos los docentes que me acompañaron durante toda esta carrera universitaria. En especial al Ing. Salvador, al Ing. Taco, al Ing. Vargas, al Ing. Sinche, al Ing Roque. Que creyeron en mí y en lo que puedo lograr.

Por último, a mis amigos Javier, Giss, Ari, Majo, Santi, Katherine, Priscila, Sol, que me brindaron siempre su apoyo, aconsejándome y apoyándome donde mi familia no lo podía hacer, prestándome sus cuadernos, guías de estudio, amigos que nunca pusieron impedimento para que yo sea mejor, a Mario que represento una parte importante de mi vida estudiantil, motivándome a ser mejor cada día, ayudándome a cambiar mi modo de pensar, ayudándome siempre a ser un mejor hombre.

# 1. ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT .....	VII
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1    Objetivo general .....	2
1.2    Objetivos específicos.....	2
1.3    Alcance.....	2
1.4    Marco teórico.....	3
1.4.1    Estado del arte .....	4
1.4.1.1    Antecedentes .....	4
1.4.1.2    Caracterización Física Del Raquis.....	5
1.4.1.3    Técnicas de análisis térmico para caracterización de Materiales Poliméricos .....	6
2. METODOLOGÍA.....	9
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	12
3.1    Resultados .....	12
3.1.1    Análisis Estadístico.....	12
3.1.2    TGA.....	13
3.2    Conclusiones .....	17
3.3    Recomendaciones.....	17
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
5. ANEXOS.....	22

## RESUMEN

En las últimas décadas, la idea de reemplazar las fibras sintéticas por fibras naturales como cargas de refuerzo en composites de matriz polimérica es bastante prometedora, debido a su bajo costo, biodegradabilidad y propiedades térmicas aceptables (Barbosa, 2014). El proyecto de integración curricular tiene como objetivos la caracterización termogravimétrica de materiales compuestos elaborados con residuos industriales de raquis de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y resina acrílica, de muestras con intemperismo y sin intemperismo acelerado; además de una revisión estadística acerca de los mecanismos de evaluación de promedio de datos. Utilizando el método deductivo, con un enfoque cuantitativo y un método de investigación experimental para analizar los resultados obtenidos de las muestras pretratadas, trituradas, secadas y posteriormente embebidas durante 30 min bajo agitación mecánica, las cuales fueron secadas nuevamente a 103°C durante 3h y finalmente fueron moldeadas por compresión a temperaturas de 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, y 160°C, a una presión de 150 bar, durante 40 min, los resultados presentados del porcentajes de pérdida de peso obtenidos del análisis termogravimétrico de las muestras compuestas, para los ensayos sin intemperismo fueron de 3,09%, 29,5%, 49,9% y 3,7% respectivamente, y para los casos con intemperismo acelerado los porcentajes de pérdida de peso es este caso fueron de 3,4%, 14,2%, 20,5%, 49,7% y 3,2% respectivamente

**PALABRAS CLAVE:** raquis de palma africana, termogravimétrica, intemperismo.

## **ABSTRACT**

In recent decades, the idea of replacing synthetic fibers with natural fibers as reinforcing fillers in polymeric matrix composites is quite promising, due to its low cost, biodegradability, and acceptable thermal properties (Barbosa, 2014). The curricular integration project has as objectives the thermogravimetric characterization of composite materials made with industrial waste from African palm stems (*Elaeis guineensis* Jacq.) and acrylic resin, from samples with and without accelerated weathering; elsewhere do a statistical review about the mechanisms for evaluating data averages. Using the deductive method, with a quantitative approach and an experimental research method to analyze the results obtained from the samples pretreated, crushed, dried and subsequently embedded for 30 min under mechanical agitation, which were dried again at 103 ° C for 3h and finally they were compression molded at temperatures of 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, and 160°C, at a pressure of 150 bar, for 40 min, the results presented of the percentages of weight loss obtained of the thermogravimetric analysis of the composite samples, for the tests without weathering they were 3.09%, 29.5%, 49.9% and 3.7% respectively, and for the cases with accelerated weathering the percentages of weight loss in this case were 3.4%, 14.2%, 20.5%, 49.7% and 3.2% respectively

**KEYWORDS:** African palm stem, thermogravimetric, weathering



## 1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En las últimas décadas, los problemas ambientales han motivado la sustitución de materiales sintéticos por naturales. En particular, las fibras sintéticas están siendo reemplazadas cada vez más por fibras lignocelulósicas naturales, en el desarrollo de materiales compuestos de matriz polimérica. La idea de reemplazar las fibras sintéticas por fibras naturales como cargas de refuerzo en composites de matriz polimérica es bastante prometedora, debido a que las fibras naturales son más económicas, de baja densidad, biodegradables, renovables, reciclables y poseen propiedades mecánicas aceptables (Barbosa, 2014).

Por otra parte, el sector industrial del Ecuador genera al año miles de toneladas de biomasa como subproducto de sus procesos de manufactura. La industria del aceite de palma, por ejemplo, aprovecha solo el 35% de la materia prima que es la palma africana, el 10 % se volatiliza y el 55% restante es un producto de desecho (Potter, 2011). La disposición de estos residuos, entre ellos, el raquis de la palma representan un desafío para las empresas responsables, dado el constante crecimiento de la demanda de producción, por lo que la utilización de esta materia para la elaboración de materiales poliméricos compostables se presenta como una alternativa atractiva.

Es importante evaluar las propiedades térmicas de materiales poliméricos de origen natural para determinar su funcionalidad. Quddos (2012) sugiere el análisis termogravimétrico TGA como un método aceptado para estudiar las propiedades térmicas de los materiales poliméricos con relleno de fibras naturales. Este proporciona información sobre la naturaleza y el grado de degradación del material y se usa principalmente para la caracterización de materiales en lo que respecta a su composición. Estos estudios son de gran importancia a miras de implementar su utilización.

Con base en lo expuesto anteriormente, el proyecto de integración curricular tiene como objetivos la caracterización termogravimétrica de materiales compuestos elaborados con residuos industriales de raquis de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y resina acrílica; una revisión estadística extensa acerca de los mecanismos de evaluación de promedio de datos, con el objetivo de obtener una longitud promedio de fibra de raquis de palma molida y una discusión del método estadístico utilizado.

Adicionalmente, este trabajo presenta una revisión bibliográfica acerca del estado del arte de: materiales compuestos de matriz polimérica con refuerzo de fibras lignocelulosas y una revisión bibliográfica acerca del TGA de los materiales compuestos mencionados anteriormente, con el objetivo de disponer de una línea base sobre la caracterización de

estos materiales; los resultados obtenidos del TGA del material compuesto y la discusión de los resultados obtenidos con las ventajas térmicas que posee la fibra de raquis de palma como agente de relleno en una resina acrílica.

## **1.1 Objetivo general**

El objetivo general de este estudio es evaluar el comportamiento termogravimétrico, de materiales compuestos elaborados con fibra de raquis de palma y resina acrílica.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Estudiar mediante una revisión bibliográfica los métodos estadísticos de promedio de datos de longitud de fibras y elegir el más adecuado para este estudio.
- Estudiar las fases de descomposición termogravimétrica del material compuestos con intemperismo acelerado y sin intemperismo.
- Evaluar las propiedades térmicas de las curvas del TGA obtenidas del material compuesto con intemperismo acelerado y sin intemperismo.

## **1.3 Alcance**

El alcance del proyecto consiste en discutir los resultados obtenidos de la caracterización térmica del material compuesto, es decir:

1. Plantear mediante una extensa revisión bibliográfica un mecanismo de análisis estadístico para la determinación del valor promedio de longitud de fibra molida, utilizada en la elaboración del material compuesto.
2. Mediante una revisión bibliográfica del estado del arte, se deberá analizar, discutir y concluir sobre los resultados obtenidos del TGA de las muestras compuestas con intemperismo acelerado y sin intemperismo.
3. Se elaborará un informe final, un póster del trabajo final el cual servirá como base para la socialización del proyecto.

## 1.4 Marco teórico

La idea de reemplazar las fibras sintéticas por fibras naturales como refuerzo en compuestos poliméricos ha tomado fuerza en estos días, puesto que las fibras naturales en comparación con las sintéticas, son más económicas, biodegradables, renovables, y ayudan a darle un nuevo uso a materiales que son considerados desecho. (Dong, 2012)

Ecuador es responsable del 15,1% de la producción total de aceite de palma crudo de América Latina. Esa es una cifra considerable, pero lo que llama más la atención es el enorme desperdicio que se produce en paralelo a la producción de aceite de palma, pues cada tonelada de aceite de palma crudo (APC) produce 1,1 toneladas de fibras de racimo de frutas vacías de palma aceitera (RFVPA) por día. En general las fibras se utilizan parcialmente como mantillo para jardinería, materia prima para la fabricación de fertilizantes y como abono para plantaciones. Sin embargo, los RFVPA son un recurso muy poco utilizado. Es por eso que la utilización de RFVPA ha despertado un gran interés como agente reforzante en materiales compuestos. (Potter, 2011)

Los RFVPA, están compuestos por raquis, fibra, cuesco y como toda fibra natural, contienen: celulosa, hemicelulosa y lignina. (Proaño, 2015).

- La hemicelulosa es el componente responsable de la absorción de humedad, inflamabilidad de la fibra. Actúa como aglutinante entre la celulosa y la lignina y contribuye a la resistencia, y también lo hace incompatible con alguna matriz polimérica.
- La lignina es responsable de la rigidez de la pared celular por lo que aporta resistencia mecánica bajo tensión a la fibra. Actúa como barrera protectora para prevenir el daño físico por ataque químico y microbiológico.
- La celulosa es el componente estructural principal que da fuerza y estabilidad a las paredes y fibras de las células. Por lo tanto, es la parte útil de RFVPA para ser utilizado como relleno de refuerzo en compuestos poliméricos. Dado que el uso de la parte de celulosa en la fibra RFVPA es importante para el refuerzo de compuestos poliméricos.

Sin embargo, la mala unión interfacial entre la fibra natural y la matriz polimérica, impide que se las pueda utilizar de manera eficiente. Esto se debe principalmente a la baja energía libre superficial tanto de la fibra como del polímero. Para superar este inconveniente, el tratamiento físico y químico de los rellenos naturales son métodos

comunes para mejorar la unión interfacial entre las fases de refuerzo y matriz. (Dong, 2012)

Uno de los métodos aceptados para estudiar las propiedades térmicas de los materiales poliméricos con relleno de fibras naturales es el análisis termogravimétrico (TGA). Este proporciona información sobre la naturaleza y el grado de degradación del material. (Quddos, 2012). Se usa principalmente para la caracterización de materiales en lo que respecta a su composición. Estos estudios son de gran importancia dado que el contenido de humedad y los componentes volátiles tienen un efecto de deterioro sobre las propiedades del material compuesto (Oushabi, 2017)

Dentro de este contexto, el proyecto de integración curricular tiene como objetivo la caracterización termogravimétrica de materiales compuestos elaborados con residuos industriales de raquis de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y resina acrílica.

### **1.4.1 Estado del arte**

#### **1.4.1.1 Antecedentes**

La necesidad de productos más amigables con el ambiente, sin mencionar la necesidad de las industrias de abaratar costos de producción ha generado que se desarrollen diversas investigaciones sobre como poder adquirir materia prima a menor costo, que no requieran de un procesamiento adicional para su degradación y no afecten al medio ambiente. Pues bien, de esta necesidad se han desarrollado muchos de los materiales de origen natural que convergen en una sinergia entre calidad y relación amigable con el ambiente. Pues es así, que hasta la fecha se han desarrollado, de manera más recurrente, una variedad de materiales en las industrias textilera, farmacéutica, cartonera, entre otras, que para sus procesos habituales han incorporado materias primas, elaboradas a base de residuos de procesos anteriores de industrialización. Un ejemplo destacable es el caso del bagazo de la caña de azúcar, mismo que se emplea en la elaboración del papel, pues si bien muchas de las materias resultantes en cada proceso industrial son distintas, se debe realizar un análisis completo de sus propiedades tanto físicas como químicas, para poder en base a ello determinar un posible uso ya sea de manera directa o como componente en algún a etapa de procesamiento. (Jaramillo, 2008)

### **1.4.1.2 Caracterización Física Del Raquis**

Si bien la palma africana se la conoce desde hace más de 5000 años y ya se la empleaba en África para obtención de aceite, actualmente se la sigue empleando en el mismo proceso de manera industrial, pero adicional a ello en la última década se han desarrollado varios proyectos de investigación mismos que permitan la reutilización, del raquis de palma como componente principal de materias primas (Pérez, 2019).

En la actualidad el raquis de palma ha sido empleado en varios usos, desde la remoción de tintes en aguas residuales, hasta la combinación de sus fibras para elaboración de ladrillos ecológicos. ¿Porque un producto puede tener varios usos?, es una interesante pregunta. Pues bien, sus características fisicoquímicas lo permiten, debido a que es un desecho fácil de transformar y combinar con componentes para la elaboración de productos que puedan ser biodegradables, y de esta manera se puedan disminuir el uso de materia prima sintética, misma que a la fecha es una problemática para su degradación. (Alvarez, 2020)

Es por eso que la Universidad de Dhaka, Bangladesh utilizó un TGA para evaluar la degradación de fibras vegetales como: abacá, curaua, fique, sisal, celulosa in natura, fibras de bagazo de caña de azúcar y paja, en compuestos de polipropileno (PP) reforzados con 15% en peso de fibras En conclusión el análisis termogravimétrico muestra que las fibras más ricas en celulosa brindan una estabilidad térmica superior a la matriz polimérica en comparación con PP puro. (Shahrizam, 2013)

La fibra de raquis de palma ha sido empleada para la formación de biocompuestos y los llamados bioplásticos en los cuales se combinan partículas de raquis y partículas de polímeros para la elaboración de materiales que brinden al producto final resistencia, durabilidad y al ser desechados estos productos puedan ser biodegradables y no generen contaminación. (Jaramillo, 2008)

Pues bien, la combinación de resina y raquis genera un composite homogéneo, mismo que por sus características de dureza y resistencia podrían constituir un material con propiedades similares a las de los bioplásticos en general solo que dotado de características tanto otorgadas por el polímero como aquellas que le otorgan las fibras vegetales. (Alvarez, 2020)

Para poder emplear el raquis en la elaboración del composte se debe considerar la densidad de la fibra ya que será mezclada con la resina motivo por el cual debe ser un tamaño pequeño para que pueda ser manejado y mezclado de manera homogénea con

el polímero. Las cualidades fisicoquímicas del raquis le otorgan variabilidad en el tamaño de sus partículas mismas que le facilitan la adherencia con polímeros, además de otros factores que se mencionaran más adelante. (Martínez, 2017). En este caso el presente estudio plantea la utilización de la resina para formar un biocomposite homogéneo junto con la fibra de raquis de palma.

Por otro lado Ahmad et al, 2019, estudió los cambios en las propiedades térmicas de biocompuestos de poliácido lactico reforzados con fibra de cáñamo moldeados por inyección de diferentes contenidos de fibra. Las muestras se sometieron a intemperismo acelerado, con exposiciones cíclicas de 12h de luz ultravioleta a 60 °C, rociado de agua y condensación a 50 °C. Se encontró que las propiedades térmicas de la poliácido lactico pura (PLA) disminuyen hasta un 50,6% después de 64 ciclos, lo mismo para los compuestos de diferentes contenidos de fibra, esto se debe a la absorción de agua, destrucción de la integridad de la fibra, degradación de la matriz PLA, y a la formación de grietas y poros que fueron las principales causas de la reducción de las propiedades mecánicas de los biocompuestos de PLA.

### **1.4.1.3 Técnicas de análisis térmico para caracterización de Materiales Poliméricos**

Las técnicas rutinarias de calorimetría diferencia de barrido (DSC) y TGA, utilizadas para caracterizar la estabilidad térmica de los polímeros, se han utilizado además para la evaluación de la temperatura comparativa de varios materiales poliméricos y para la predicción de la vida útil de los materiales. Se han utilizado técnicas de análisis térmico (TA) por muchos años para la caracterización de materiales poliméricos. Como: calorimetría diferencial de barrido (DSC), termogravimetría (TGA), análisis térmico diferencial (DTA), análisis termomecánico (TMA) y el análisis termodinámico (DMA) son ampliamente empleados en los sectores científico e industrial. (Rodríguez, 2012).

A continuación se presenta la tabla 1.1 la cual presenta las técnicas de TA comúnmente utilizadas para la caracterización térmica de polímeros.

**Tabla 1.1** Técnicas de TA comúnmente utilizadas para la caracterización de polímeros (Rodríguez, 2012).

VALORES DETERMINADOS	MÉTODO DE ANÁLISIS TÉRMICO	GRÁFICA APLICADA
Transiciones térmicas: temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), fusión ( $T_m$ ), cristalización ( $T_c$ ), orden-desorden	DSC	$dH/dT$ vs $T$
Grado de cristalinidad ( $X_c$ )		
Degradación térmica ( $T_d$ ) y termooxidativa: Temperaturas características: $T_{di}$ , $T_{dmáx}$ , $T_{d50}$	TGA, DTG	$\Delta m$ vs $T$
Residuo (formación de carbón)		$dm/dT$ vs $T$
Energía de activación de descomposición		$\ln(\beta/T^2)$ vs $1/T$

El TGA es una técnica utilizada comúnmente con el objetivo de estudiar las reacciones de descomposición de materiales que poseen matriz polimérica y un refuerzo de fibra natural; así como también en la determinación de las características de la devolatilización, y parámetros cinéticos, tales como: el factor pre-exponencial, la energía de activación, la influencia que tiene la temperatura en materiales compuestos y la velocidad de calentamiento de las reacciones de descomposición térmica, además los mecanismos de reacción. (Jauhiainen, 2004)

En los procesos de termo-conversión la información obtenida y relacionada a la distribución de los productos y el desarrollo cinético, se obtiene, en general por dos vías clásicas:

- A partir de la curva de pérdida/degradación de masa, o curva termogravimétrica.
- A partir de la dinámica de formación de los productos en reactores de pirólisis a pequeña escala.

El análisis térmico se define como un grupo de técnicas donde una propiedad de una muestra compuesta es monitoreada en relación al tiempo o temperatura, (programadas según un régimen), en una atmósfera específica (White, 2011). En el TGA se registra la pérdida de peso de una muestra en la medida en que se incrementa la temperatura,

hasta temperaturas de 1200 °C, bajo condiciones controladas de velocidad de calentamiento y diferentes atmósferas de reacción; dando como resultado obtenido las curvas llamadas TG o termogramas y las curvas de análisis termogravimétrico diferencial (DTG, en sus siglas en idioma inglés). A continuación en la figura 1 se muestran resultados típicos de análisis termogravimétrico, reportados por Shahrizam et, al, los cuales realizaron el estudio de descomposición de diferentes tipos de fibras, obteniéndose las curvas TG y DTG. Los resultados corresponden a: polipropileno (PP) abacá, curaua, fique, sisal, celulosa, fibras de bagazo de caña de azúcar y paja y compuestos de PP reforzados con 15% en peso de fibras, pirolizadas a una velocidad de calentamiento de 5 °C/min. Según Shahrizam, et al, el pico principal es dominado por la descomposición de la celulosa; el hombro que aparece a menor temperatura (alrededor de 300 °C) puede ser atribuido principalmente a la descomposición de la hemicelulosa; mientras que la descomposición de la lignina se plantea que ocurre en un amplio rango de temperatura (200–600 °C) (Shahrizam, 2013) Las reacciones de descomposición de los extractables tienen lugar a baja temperatura lo cual es visible por el hombro ancho en la curva DTG aproximadamente desde los 50 °C hasta los 180 °C.

Sample	Weight Losses (%)					
	He			Air		
	200°C	400°C	600°C	200°C	400°C	600°C
Polypropylene	0	0	91.7	5.1	61.1	89.4
Abaca	5.2	66.7	72.2	2.6	67.3	87.8
Cellulose from bagasse	5.2	74.9	79.5	5.1	65.4	90.5
Cellulose from straw	2.9	70.0	73.7	3.7	72.9	88.0
Curaua	3.8	71.6	76.6	1.6	70.9	87.0
Fique	3.0	69.9	75.0	6.0	71.0	93.4
<i>in natura</i> sugarcane bagasse	2.2	67.2	72.8	5.1	68.0	90.9
<i>in natura</i> sugarcane straw	5.0	65.8	72.2	6.0	71.1	89.8
Sisal	3.2	62.4	68.4	0.9	67.0	86.6

**Figura 3.** Pérdida de peso de PP y otras fibras a diferentes temperaturas y atmósferas (Shahrizam, 2013)

Según Müller-Hagedorn, et al, la descomposición térmica de la fibras naturales, estudiada por TGA, revela dos regímenes de descomposición, el pico en la zona de descomposición a la menor temperatura está asociado con la pirolisis de la hemicelulosa, y el pico a alta temperatura, a la descomposición de la celulosa (Müller-Hagedorn, 2003). Sin embargo (Quddos, 2012) desarrolló estudios de la descomposición de residuos agrícolas como vaina de hoja corta de arcanut, distinguiendo cinco intervalos de temperatura en los cuales se plantea que tiene lugar la descomposición de los diferentes componentes de la biomasa lignocelulósica como se observa en la tabla 2. En este caso



se puede observar que la descomposición de la lignina se incluye en un amplio intervalo de temperatura, desde 350 °C hasta temperaturas superiores a los 500 °C.

**Tabla 2.** Intervalos de temperatura de la descomposición de materiales lignocelulósicos

<b>ZONA I</b>	<100 °C	Principalmente evaporación del agua
<b>ZONA II</b>	100-250 °C	Inicio de la descomposición de los extractables
<b>ZONA III</b>	250-350 °C	Predomina la descomposición de la hemicelulosa
<b>ZONA IV</b>	350-500 °C	Principalmente descomposición de la celulosa y lignina
<b>ZONA V</b>	>500 °C	Principalmente descomposición de la lignina

Las diferentes biomásas vegetales se caracterizan por su diversidad en cuanto a contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina y componentes extractables como terpenos, taninos, ácidos grasos, aceites y resinas; humedad y materia mineral (Oushabi, 2017). El contenido de estos componentes juega un papel fundamental en la distribución y composición de los productos de los procesos de termoconversión de la biomasa, que se alcanzan a determinadas condiciones de temperatura, régimen de calentamiento, atmósfera de reacción, entre otras. De ahí la importancia del análisis termogravimétrico, el cual constituye una vía para la caracterización térmica de los diferentes tipos de biomasa disponibles, y la evaluación de la reactividad y parámetros cinéticos. (Manals, 2011)

## 2. METODOLOGÍA

El método utilizado para desarrollo del trabajo de integración curricular es el método deductivo, el cual va de lo macro a lo micro, o de lo general a lo más específico, se trata de un pensamiento que lleva a definir conclusiones. (Moguel, 2005).

Los pasos que se siguieron para llegar a las conclusiones fueron:

- Observar el fenómeno en un ambiente a estudiar.
- Definir potenciales hipótesis que nos ayuden a explicar los fenómenos en el experimento.
- Deducir las consecuencias del estudio y verificación del experimento.

El enfoque utilizado fue el cuantitativo mediante la recolección, análisis y cuestionamiento de datos, que nos permitan dar respuesta al experimento en investigación y probar mediante conclusiones las hipótesis establecidas, la fortaleza de este método es que tenemos una medición numérica que nos permite definir con exactitud los patrones de comportamiento del experimento (Moguel, 2005).

El tipo de trabajo que sustenta este del trabajo de integración curricular está basado en un método de investigación experimental, ya que es muy utilizado en ciencias y tecnologías que permite analizar un fenómeno y poder replicarlo bajo las mismas u otras condiciones para lo cual se utiliza un laboratorio donde podemos controlar las variables que influye en el experimento. (Moguel, 2005).

Este trabajo de integración curricular nos ha demandado aplicar la observación como técnica de recolección de datos, ya que esta técnica tiene la capacidad de detallar y hacernos comprender el comportamiento al haber obtenido valores cuantitativos adecuados y fiables que nos permiten comprender el evento e identificar correctamente sus fenómenos. (Moguel, 2005).

Las fases que utilizamos para este método de observación fueron:

- Formulación de un problema: que mediante una observación exploratoria nos permitirá llegar a una investigación más sistematizada donde podamos controlar las variables del experimento.
- Levantamiento de datos y registros
- Interpretación cuantitativa de los datos observados
- Socialización de resultados

El análisis de datos cuantitativos es la técnica de información utilizada para el trabajo de integración curricular, esta técnica conlleva el análisis de eventos, situaciones, fenómenos del experimento que estamos estudiando y le permite al investigador recoger datos que tenga un contenido que nos permita definir conclusiones. (Moguel, 2005).

Este análisis se realiza mediante un conjunto de experimentos que nos lleve a la comprobación de los datos planteados en la hipótesis con el objetivo de extraer un resultado relevante del experimento. (Moguel, 2005).

Los pasos aplicados son los siguientes:

- La primera tarea para el tratamiento de la información se centra en la realidad del experimento al cual se debe hacer una selección de la información y simplificación de datos.
- La transformación de datos: que consiste en la organizase datos una vez que han sido recolectados, lo cual facilitará el entendimiento y análisis. Además nos permitirá encontrar relaciones y transiciones en el estudio del fenómeno.
- Análisis de contenido: nos permite familiarizarse con el tema.
- Obtención de resultados y análisis: consiste en dar un significado estructurado a los datos previamente analizados, y de esta forma llevarlo a conclusiones, afirmaciones, proposiciones en las cuales se detallará los nuevos conocimientos adquiridos por él investiga sobre el experimento.
- Verificación de conclusiones: una vez que llegamos a las conclusiones del experimento, se realiza una verificación de las mismas sometiéndole a una comparación con otros experimentos realizados por otros investigadores, para comprobar el valor de la verdad de los descubrimientos obtenidos en el experimento y garantizar su validez.

A continuación se detalla la metodología para elaboración de material compuesto a partir de la fibra del raquis de la palma africana y resina acrílica.

- *Pretratamiento y embebido de la Fibra*

En primer lugar se realizó un corte manual del residuo, posteriormente secó los cortes al ambiente, a continuación se sometió las fibras a un molino de cuchillas, consecuentemente se secó nuevamente las fibras a una temperatura de 103 °C durante 3 horas. En segundo lugar se realizó un embebido de las fibras por 30 min con ayuda de un agitador mecánico, posteriormente se secó las fibras embebidas a una temperatura de 103 °C durante 3 h, luego se realizó una molienda de las fibras embebidas.

- *Moldeo por compresión*

En primer lugar se dispuso homogéneamente la fibra embebida en el molde, posteriormente se prensó las fibras embebidas y molidas en una prensa hidráulica a las temperaturas de: 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, y 160°C con un tiempo de precalentamiento de 15 min entre temperaturas, a una presión de 150 bar, durante 40 min respectivamente. Finalmente se enfrió el molde de cada una de las muestras a 85 bar durante 5 min.

- *Intemperismo Acelerado*

Se sometió las muestras de composites a ensayo de niebla salina con solución Cloruro de Sodio (NaCl) a un 6% de concentración en peso (w/w) durante 330 horas.

### 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 Análisis Estadístico

A continuación en la tabla 3.1, se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico de longitud de fibra de raquis de palma; métodos estadísticos robustos versus los métodos estadísticos tradicionales.

**Tabla 3.1.** Análisis Estadístico de datos

<b>Métodos Robustos</b>	<b>Longitud fibra (µm)</b>	<b>Métodos Tradicionales</b>	<b>Longitud fibra (µm)</b>
Método de Chauvenet	831,0	Promedio	839,5
Método de Desviaciones	<b>778,6</b>	Moda	855,0
Media Acotada	790,0	Mediana	737,0

Como se puede observar en la tabla 3.1 el *método de chauvenet* presenta una medida de tendencia central igual a 831,0 µm, esto se debe a que este método elimina de la muestra de datos un elemento (ANEXO III; EXCEL), ya que dicho elemento es superior al número de CHAUVENET (3), este número marca la referencia cuando se tienen un conjunto de datos igual a 200, por tal razón se ha procedido a desechar el dato. Por otro lado el método de *desviaciones* presenta una medida de tendencia central igual 778,6 µm, esto se debe a que este método elimina de la muestra de datos los elementos (OUTLIERS ALTOS), lo mismos que se encuentran dos desviaciones estándar hacia arriba, por lo tanto se procede a desechar 11 datos de la muestra (2-28-30-33-49-109-121-136-179-186-190)(ANEXO 4; EXCEL), Finalmente el método de media acotada excluye el 20% de los datos, es decir se procede a la eliminación de los extremos superiores pero a la vez se elimina los extremos inferiores con lo cual la medida de tendencia central es 790,0 µm. Entonces, se recomienda trabajar con el método de desviaciones, ya que mediante el análisis se pudo determinar que el 10% de los datos desviados o atípicos se encuentran en el extremo superior, además de acuerdo con el Anexo 1 este método nos da un error

relativo de 2,74 %, valor que es mucho menor en comparación con los métodos tradicionales.

### 3.1.2 TGA

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del TGA de cada una de las muestras con y sin intemperismo, presentadas en el Anexo 2 divididas en sus etapas predominantes de descomposición.

**Tabla 3.2.** Resultados de las pruebas realizadas

% PERDIDA DE PESO											
		SIN INTEMPERISMO				INTEMPERISMO					
MUESTRA	PESO MUESTRA (mg)	1°	2°	3°	4°	PESO MUESTRA (mg)	1°	2°	3°	4°	5°
143 (80C)	19,96	3,201	28,97	51,159	2,637	19,31	3,176	10,603	20,821	47,741	2,978
143 (100C)	11,52	2,541	80,470		3,779	15,70	3,158	6,859	20,078	51,694	3,575
143 (120C)	9,781	3,947	31,919	45,937	5,016	17,84	3,681	18,422	56,966	3,324	-
143 (140C)	15,61	3,031	29,275	50,955	3,437	15,15	3,435	26,148	51,732	2,711	-
143 (160C)	11,43	2,721	27,972	51,906	3,456	13,49	3,363	8,765	20,499	49,715	3,276

En la tabla 3.2 se presentan ensayos con muestras obtenidas a diferentes etapas de preparación. Se observan porcentajes de pérdida de peso semejantes, en cada etapa predominante de pérdida de peso, para todas las muestras, lo que indica que la temperatura de procesamiento de las muestras no influye significativamente en el porcentaje de pérdida de peso promedio.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 3.2 obtenidos del análisis TGA y DTG de las muestras compuestas, se puede observar que para las muestras *sin intemperismo* existen en común cuatro etapas del proceso de degradación. La primera etapa de degradación, como lo nombran en muchos trabajos de investigación, se le atribuye a la evaporación del agua residual y materiales extraíbles, coincidiendo con lo reportado por (Nabinejad, 2017), esta etapa de degradación se encuentra en un rango de temperaturas entre 20°C y 200°C y como se puede observar, en esta etapa en promedio

se degrada el 3,09% del material compuesto. La segunda etapa, es atribuida a la despolimerización térmica de celulosa y hemicelulosa por la ruptura de los enlaces glucosídicos, dando lugar a sus monómeros de glucosa y posteriormente en otros productos como agua, compuestos orgánicos volátiles, aldehídos y ácidos, estos últimos según sugiere Barbosa (2014) son responsables en gran parte de la degradación polimérica por hidrólisis ácida, que a su vez genera compuestos volátiles como tolueno y etilbenceno; esta descomposición se encuentra entre el intervalo de temperaturas de 180°C a 340°C, como se observa en la tabla 3.2 el promedio de pérdida de peso en esta etapa es de 29,5%, principalmente de celulosa y hemicelulosa, se podría decir que la resina acrílica en conjunto con el raquis de palma poseerá propiedades tales como fuerza y estabilidad dadas por el alto porcentaje de la celulosa presente en la fibra vegetal. A la tercera etapa que se encuentra entre el amplio rango de temperaturas de 350 °C a 500 °C se le atribuye la descomposición de la lignina; más estable térmicamente en comparación con la celulosa y hemicelulosa; los productos principales de esta etapa son: volátiles principalmente tolueno, etilbenceno, benzaldehído, furfural y 2-etilhexanol, además alquitrán y carbón. Como se puede observar en esta etapa se degrada en promedio el 49,9% de la muestra compuesta lo que indica que la muestra posee un porcentaje alto de lignina, en comparación con la etapa anterior, se podría decir que la muestra final poseerá buena estabilidad térmica. Adicionalmente para la muestra 143 (100C) se puede observar en la tabla 3.2 que la etapa dos y tres se combinan, esto se debe a que la temperatura de procesamiento es decir 100 °C a la que fue realizada la muestra el agua, presente en la muestra, se degrada con gran facilidad a esta temperatura. (Prada, 2010). Finalmente, el proceso de degradación se detiene lentamente a la temperatura promedio de 500 °C en adelante, significa que las fibras restantes se queman, y la pérdida de peso se asocia con el carbón restante que es típico de los compuestos de polímero de fibra natural pues la unión carbono-carbono presente en la esta etapa de la muestra posee un doble enlace que le confiere estabilidad térmica, en promedio se degrada el 3,7% de la muestra compuesta. (Geissman, 1973).

Los procesos de degradación ocurridos durante el intemperismo acelerado cambian las propiedades térmicas de los biocompuestos. Entre estos procesos se suelen incluir la degradación térmica, fotooxidación por radicales libres e hidrólisis (Azwa, 2013).

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 3.2, para las muestras con intemperismo acelerado con una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 6% w/w, se puede observar que, para este caso, existen en común cinco etapas del proceso de degradación. La primera etapa de degradación, coincidiendo con lo reportado por

(Nabinejad, 2017), se le atribuye a la evaporación del agua residual la cual se encuentra en un rango de temperaturas entre 20°C y 200°C, donde en promedio el 3,4% de la muestra se degrada, este porcentaje es mayor en comparación con las muestras sin intemperismo, esto se debe a que las muestras compuestas fueron expuestas a una niebla salina con alto contenido de humedad, durante un tiempo de 330 horas. Para la segunda etapa de degradación, la cual ocurre en un intervalo de temperatura entre 100 y 300 °C se podría decir que se le atribuye a una segunda vaporación de agua donde aproximadamente el 14,2% de la muestra se degrada. Esta etapa se da debido a que, cuando las fibras son expuestas a ciclos de intemperismo, el contenido de humedad en el ambiente incrementa así como el de la muestra compuesta ya que el agua ingresa a las *paredes celulares de la fibra*, aumentando también la velocidad y extensión del hinchamiento (Barrios, 2015). Los grupos hidroxilo del material lignocelulósico del raquis, son los principales responsables de la absorción de agua, lo que hace que las fibras se hinchen (Stark, 2008); y esto conduce a la aparición de micro-agrietamientos debido a la absorción de humedad (Guevara, 2019). Si bien la matriz polimérica otorga resistencia contra la absorción de humedad al material compuesto, una vez que la humedad ingresa a la fibra el desgaste es inevitable (Oushabi, 2017). Se genera una degradación interfacial entre fibra y matriz, lo que afecta en mayor medida a las propiedades térmicas del material (Stark, 2008). La tercera etapa de degradación se atribuye a la despolimerización térmica de celulosa y a la ruptura de los enlaces glucosídicos que forman parte de la estructura de la muestra, como se mencionó anteriormente los anillos glucósidos se rompen, disminuyendo la resistencia térmica de la muestra y generando gases, aldehídos y ácidos que son volátiles y se desprenden al ambiente (Barbosa, 2014). En este caso como la muestra fue expuesta a intemperismo acelerado, se produce una eliminación de la hemicelulosa presente en la fibra, tal como indica Yang (2015) en su investigación donde somete al material a intemperismo acelerado con una sal fuerte de NaCl. Como resultado, la celulosa es la única parte que se elimina de la fibra en esta etapa que se encuentra en el intervalo de temperaturas de 300°C a 380°C, Además como se puede observar, en esta etapa, se degrada en promedio el 20,5% de las muestras. No obstante, para las muestras 143 (120C), 143 (140C) con intemperismo, el porcentaje de degradación es de 56,9% y 51,7% respectivamente; lo que sugiere que a estas temperaturas de procesamiento de las muestras se da un comportamiento degradativo fuerte comparado con el caso sin intemperismo, dando como resultado una cuarta pseudoetapa producto de la degradación de celulosa, hemicelulosa pero adicionalmente con degradación de gran parte de la lignina, por eso se atribuye el porcentaje adicional de pérdida de peso a degradación de la lignina. A la cuarta etapa de degradación que se

encuentra entre el rango de temperaturas de 350 °C a 500 °C se le atribuye la descomposición de la lignina, tal como lo reportó (Manals, 2011) en uno de sus estudios. la cual se descompone para dar lugar a compuestos orgánicos volátiles como tolueno, etilbenceno, benzaldehído, furfural y 2-etilhexanol, además de alquitrán y carbón, como se puede observar en esta cuarta etapa se degrada en promedio el 49,7% de la muestra. Finalmente, como se mencionó anteriormente el proceso de degradación se detiene lentamente a la temperatura promedio de 500 °C en adelante, significa que las fibras restantes se degradan y la pérdida de peso se asocia con el carbón restante que es típico de los compuestos de polímero de fibra natural pues el carbono posee un doble enlace que le confiere estabilidad térmica, en promedio se degrada el 3,173% de la muestra compuesta (Geissman, 1973).

En términos generales el intemperismo con NaCl al 6% w/w ha demostrado ralentizar la pérdida de peso con respecto al incremento de temperatura. En la etapa de pérdida de humedad no se ha reflejado diferencia significativa entre los ensayos con y sin intemperismo. No obstante, la pérdida de peso atribuida a la celulosa y hemicelulosa si se ha retardado en el caso de los experimentos con intemperismo porque se ha presentado principalmente en el rango entre 300 °C y 380 °C, cuando en el caso de los experimentos sin intemperismo se dio entre 180 °C y 340 °C. Esto puede deberse a que, como se ha mencionado ya, la celulosa al ser expuesta al calor se degrada en compuestos, entre ellos ácidos que son precursores de la hidrólisis ácida que acelera la degradación misma y por ende la pérdida de peso. Pero en el caso de los ensayos con intemperismo se han ralentizado las reacciones de degradación y la pérdida de peso en esta etapa. Las etapas de pérdida de peso atribuidas a la lignina con y sin intemperismo se dieron de manera similar, entre 350 °C y 500 °C y sus porcentajes de pérdida de peso fueron de 49,7 % y 49,9 % respectivamente. La etapa final también ocurrió de manera similar, a los 500 °C donde se desprenden 3,17 % y 3,7 % del peso respectivamente.

Cabe analizar los casos concretos de las muestras 143 (120C), 143 (140C) con intemperismo, en las cuales, si se aprecia una aceleración en el proceso de pérdida de peso, para tales casos, se ha dado la pérdida casi total del peso entre los 300°C y 350°C, lo que sugiere que a estas temperaturas se ha dado la degradación tanto de la celulosa y la hemicelulosa como de la lignina y es desfavorable el procesamiento del material porque acelera la degradación del material.



## **3.2 Conclusiones**

Por medio del análisis estadístico de la longitud de fibra de raquis de palma, el método de desviaciones, permitió determinar la medida de tendencia central de la longitud, la cual fue 778,6  $\mu\text{m}$ . este método arrojó un error de 2,74% que es mucho menor respecto a los métodos de Chauvenet, media acotada y métodos tradicionales.

Para los ensayos sin intemperismo se obtuvieron 4 etapas del proceso de degradación. La primera etapa atribuida a la degradación de la humedad y compuestos volátiles, la segunda atribuida a la celulosa y hemicelulosa, la tercera etapa a la lignina y la cuarta etapa atribuida al carbón restante, los porcentajes de pérdida de peso fueron de 3,09%, 29,5%, 49,9% y 3,7% respectivamente.

Para los casos con intemperismo acelerado se obtuvieron 5 etapas del proceso de degradación. La primera atribuida a la pérdida atribuida a la degradación de la humedad externa y compuestos volátiles, la segunda atribuida a la degradación de la humedad interna de la muestra, la tercera etapa a la degradación de la celulosa, la cuarta etapa a la lignina y la quinta al carbón restante, los porcentajes de pérdida de peso en este caso fueron de 3,4%, 14,2%, 20,5%, 49,7% y 3,2% respectivamente.

## **3.3 Recomendaciones**

Los resultados de la influencia de la temperatura de procesamiento en la velocidad de degradación del material no son concluyentes, se recomienda realizar ensayos con muestras procesadas en un rango más amplio de temperaturas así como con intervalos más pequeños para evaluar este parámetro en el proceso térmico de degradación.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ahmad Sawpan, M., Islam, M. R., Beg, M. D. H. y Pickering, K. L. (2019) "Effect of accelerated weathering on physico-mechanical properties of polylactide biocomposites", *Journal of Polymers and the Environment*. Springer US, 27(5), pp. 942– 955. doi: 10.1007/s10924-019-01405-2.
- [2] Alvarez, L. V. V., Kreiker, J., Raggiotti, B., & Cadena, F. (2020). Materiales compuestos obtenidos a partir de residuos de raquis de palma africana, alcohol polivinílico y almidón modificado de oca. *AJEA*, (5).
- [3] Azwa, Z. N., Yousif, B. F., Manalo, A. C., & Karunasena, W. (2013). A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials & Design*, 47, 424-442
- [4] Barbosa, A. de P., Picanço Oliveira, M., Altoé, G. R., Margem, F. M., & Monteiro, S. N. (2014). Manufacturing of Epoxy Composites Incorporated with Buriti Fibers and Evaluation of Thermogravimetric Behavior. *Materials Science Forum*, 805, 460–465
- [5] Barrios-Guzmán, A. J., García-Enríquez, S., Manríquez-González, R., Rivera-Prado, J. de J. y Lomelí-Ramírez, M. G. (2015) "Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno", *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(28), pp. 26–41.
- [6] Dong, E. Y., Ren, Y. L., & Jin, Y. S. (2012). Evaluation of Flame Retardants on Wood-Flour/PE Composites. *Advanced Materials Research*, 627, 705–710.
- [7] Geissman, T. A. (1973). *Principios de química orgánica*. Reverte.
- [8] Gejo, G., Kuruvilla, J., Boudenne, A., & Sabu, T. (2010). Recent Advances in Green Composites. *Key Engineering Materials*, 425, 107–166.
- [9] Guevara-Castillo, A. M. (2019) "Análisis químico, morfológico y biodegradación de madera de fresno (*Fraxinus americana* L.) densificada", Tesis de Maestría en Ciencia de Productos Forestales. Universidad de Guadalajara, México.
- [10] Jaramillo Henao, G., & Zapata Márquez, L. M. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.

- [11] Jauhiainen, J., Conesa, J. A., Font, R., & Martín-Gullón, I. (2004). Kinetics of the pyrolysis and combustion of olive oil solid waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72(1), 9-15.
- [12] Luz, S. M., Gonçalves, A. R., Del'Arco Jr., A. P., Leão, A. L., Ferrão, P. M. C., & Rocha, G. J. M. (2010). Thermal Properties of Polypropylene Composites Reinforced with Different Vegetable Fibers. *Advanced Materials Research*, 123-125, 1199–1202.
- [13] Manals-Cutiño, E., Penedo-Medina, M., & Giralt-Ortega, G. (2011). Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología química*, 31(2), 180-190.
- [14] Manals-Cutiño, E., Penedo-Medina, M., & Giralt-Ortega, G. (2011). Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología química*, 31(2), 180-190.
- [15] Martínez González, S. (2017). Optimización y caracterización de propiedades mecánicas de un compuesto de raquis de palma y PLA aplicando la metodología Taguchi (Bachelor's thesis, Uniandes).
- [16] Moguel, E. A. R. (2005). Metodología de la Investigación. Univ. J. Autónoma de Tabasco.
- [17] Mohamed Omar, M. S., Ong, H. L., Akil, H. M., Nik Nur Azza, N. A., Safwan, M. M., & Sofiah, M. K. A. (2014). Thermal Properties of Polypropylene/Palm Kernel Shell Biocomposites: Effects of Amino Silane (APTES). *Materials Science Forum*, 803, 250–254.
- [18] Müller-Hagedorn, M., Bockhorn, H., Krebs, L., & Müller, U. (2003). A comparative kinetic study on the pyrolysis of three different wood species. *Journal of analytical and Applied Pyrolysis*, 68, 231-249.
- [19] Nabinejad, O., Debnath, S., & Mohsen Taheri, M. (2017). Oil Palm Fiber Vinylester Composite; Effect of Bleaching Treatment. *Materials Science Forum*, 882, 43–50.
- [20] Oushabi, A., Sair, S., Hassani, F. O., Abboud, Y., Tanane, O., & Bouari, A. E. (2017). The effect of alkali treatment on mechanical, morphological and thermal properties of date palm fibers (DPFs): study of the interface of

DPFepolyurethane composite. *South African Journal of Chemical Engineering*, 23(1), 116–123.

- [21] Pérez Ramírez, B. (2019). Caracterización de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite en la industria PAPSA.
- [22] Potter, L. (2011). La industria del aceite de palma en Ecuador: ¿un buen negocio para los pequeños agricultores?. *Eutopía: Revista de Desarrollo Económico Territorial*, (2), 39-54.
- [23] Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 14(1), 155-170.
- [24] Proaño, A., Bonilla, O., & Aldás, M. (2015). Desarrollo de un material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra de raquis de palma africana. *Revista politécnica*, 36(2), 89-89.
- [25] Quddos, A., Khan, M. B., Khan, R. N., & Ghauri, M. K. K. (2012). Investigation of Fiber-Reinforced Modified Epoxy Resin Composites. *Key Engineering Materials*, 510-511, 577–584.
- [26] Rodríguez, E., & Villegas, E. (2012). Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. *Métodos y materiales*, 2(1), 25-32,
- [27] Sahari, J., Sapuan, S. M., Ismarrubie, Z. N., & Rahman, M. Z. A. (2011). Comparative Study of Physical Properties Based on Different Parts of Sugar Palm Fibre Reinforced Unsaturated Polyester Composites. *Key Engineering Materials*, 471-472, 455–460.
- [28] Shahrizam, S., Faizul, C. P., Mohd, M. A. B. A., Ruhuyuddin, M. Z., & Murizam, D. (2013). Effect of Pyrolysis Temperature on the Synthesis of Carbon Fiber from Natural Organic Waste. *Key Engineering Materials*, 594-595, 128–132.
- [29] Stark, N. M., & Gardner, D. J. (2008). Outdoor durability of wood–polymer composites. In *Wood–polymer composites* (pp. 142-165). Woodhead Publishing.
- [30] White, J. E., Catallo, W. J., & Legendre, B. L. (2011). Biomass pyrolysis kinetics: a comparative critical review with relevant agricultural residue case studies. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 91(1), 1-33.

- [31] Yang, T.-C., Hung, K.-C., Wu, T.-L., Wu, T.-M. y Wu, J.-H. (2015) "A comparison of annealing process and nucleating agent (zinc phenylphosphonate) on the crystallization, viscoelasticity, and creep behavior of compression-molded poly(lactic acid) blends", *Polymer Degradation and Stability*. Elsevier Ltd, 121, pp. 230–237. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.09.012

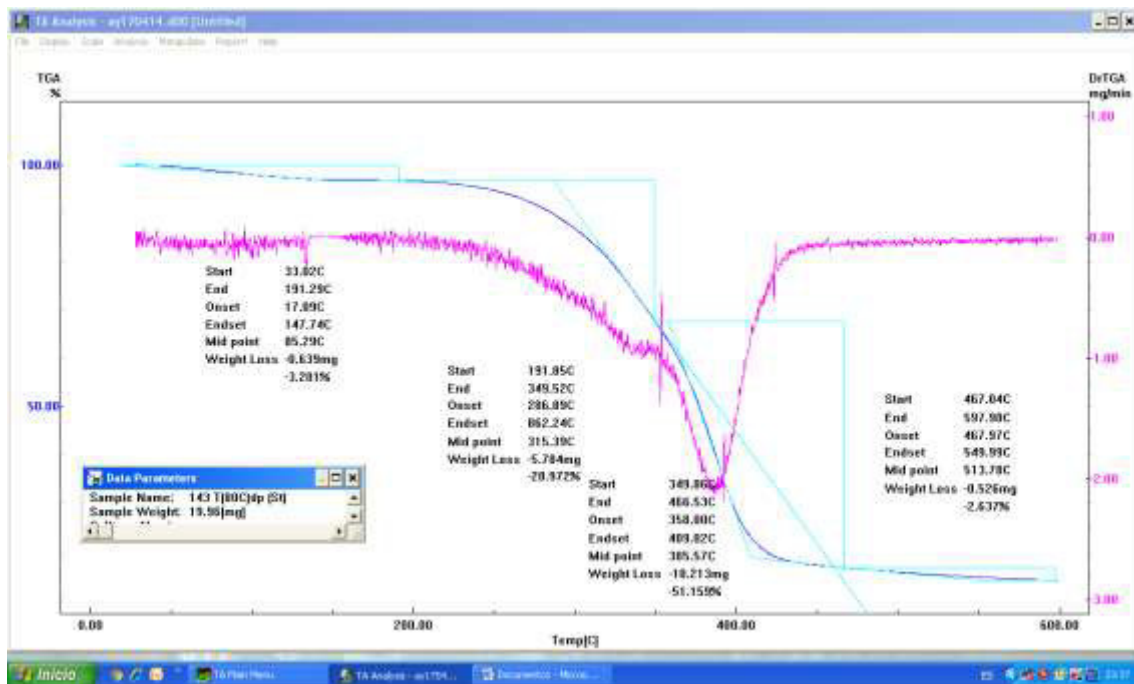
## 5. ANEXOS

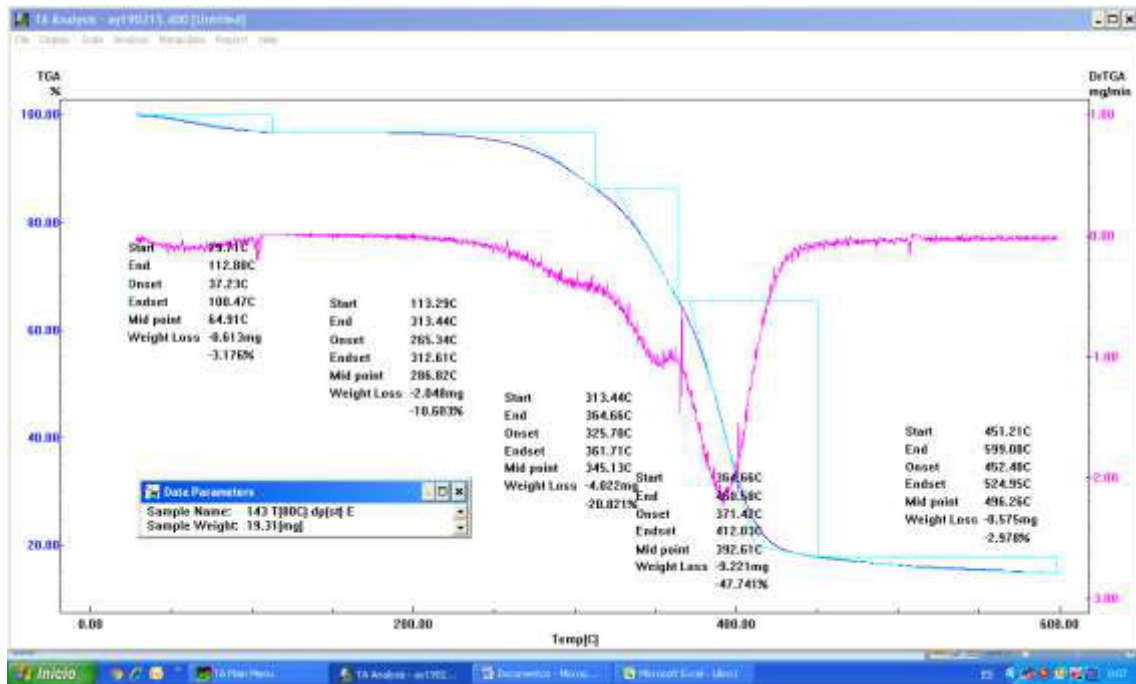
**ANEXO I.** Tabla de resultados del cálculo del error relativo de la muestra de datos

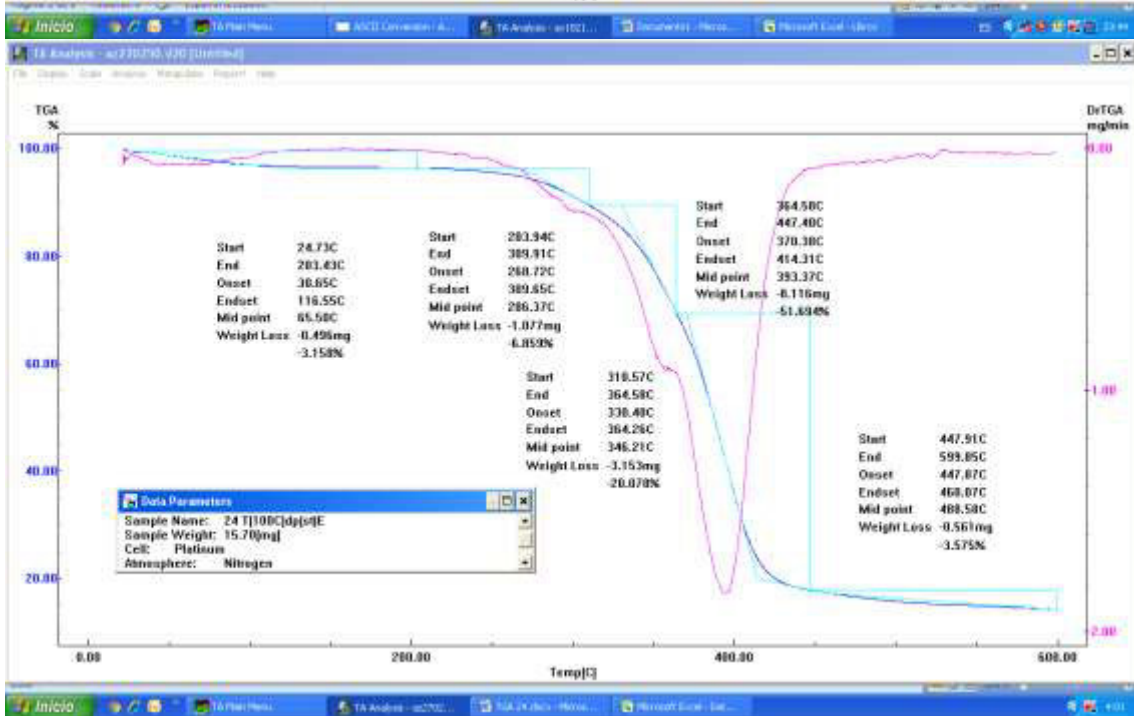
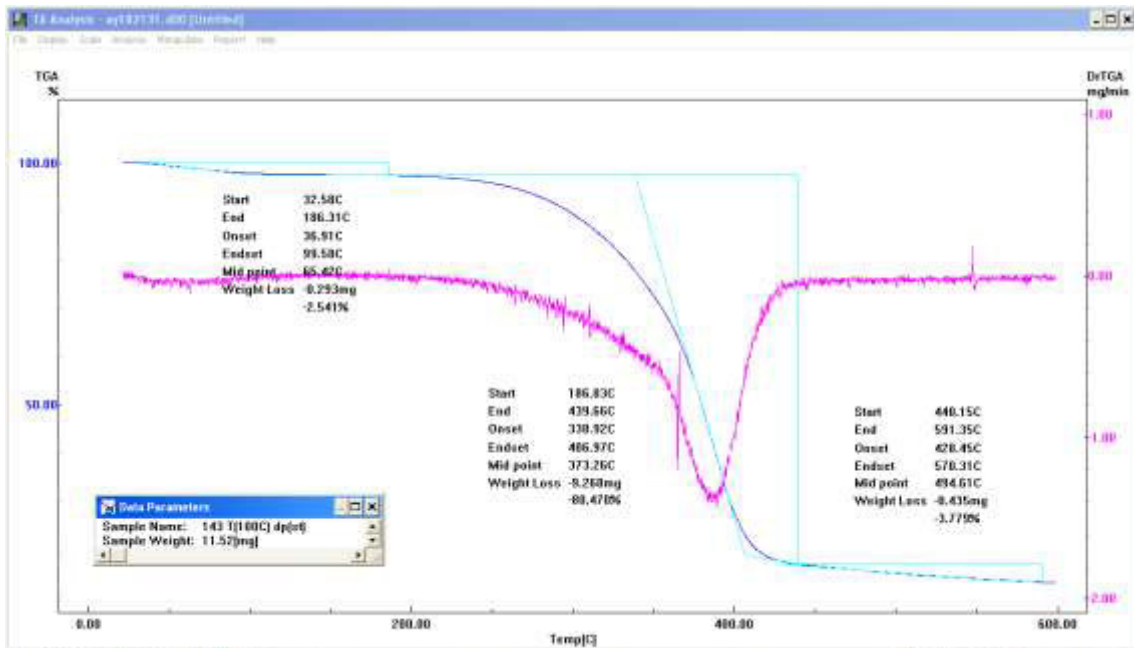
Método de Referencia (Desviaciones)	Valor	Métodos tradicionales
	778,6	778,6
<b>Promedio</b>	799,9	810,5
<b>Desviación Estándar</b>	27,58	64,12
<b>Error relativo</b>	2,74	4,10

**ANEXO II.** Curvas TG y DTG del TGA de las muestras compuestas con y sin intemperismo acelerado.

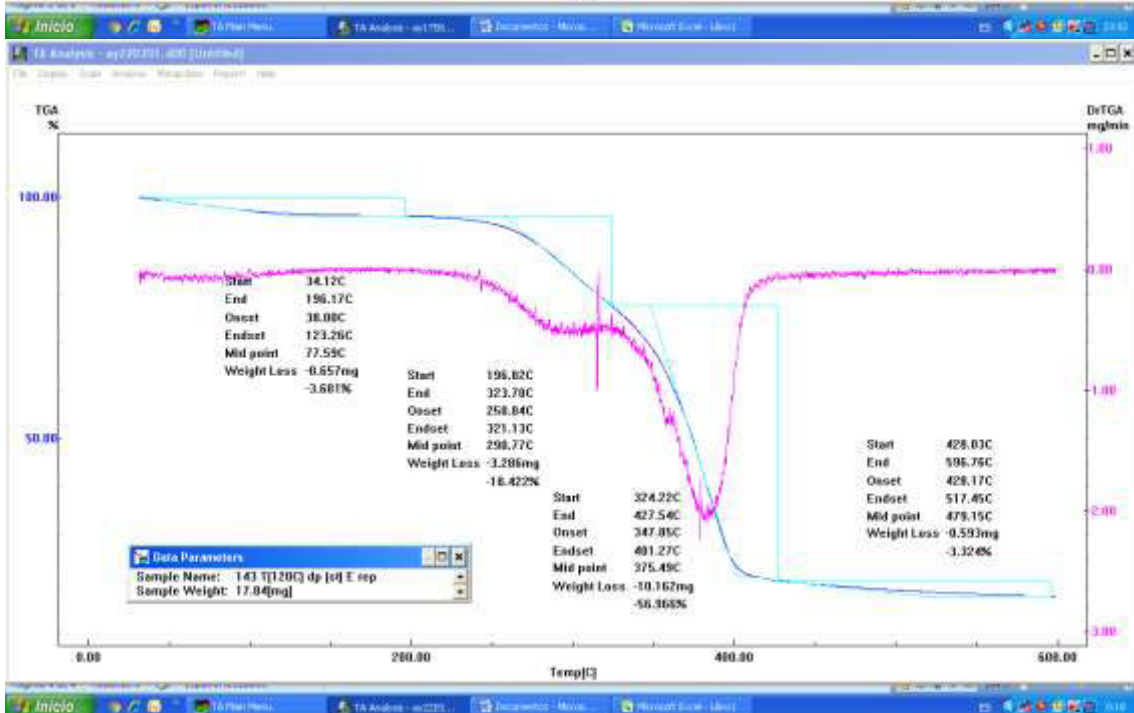
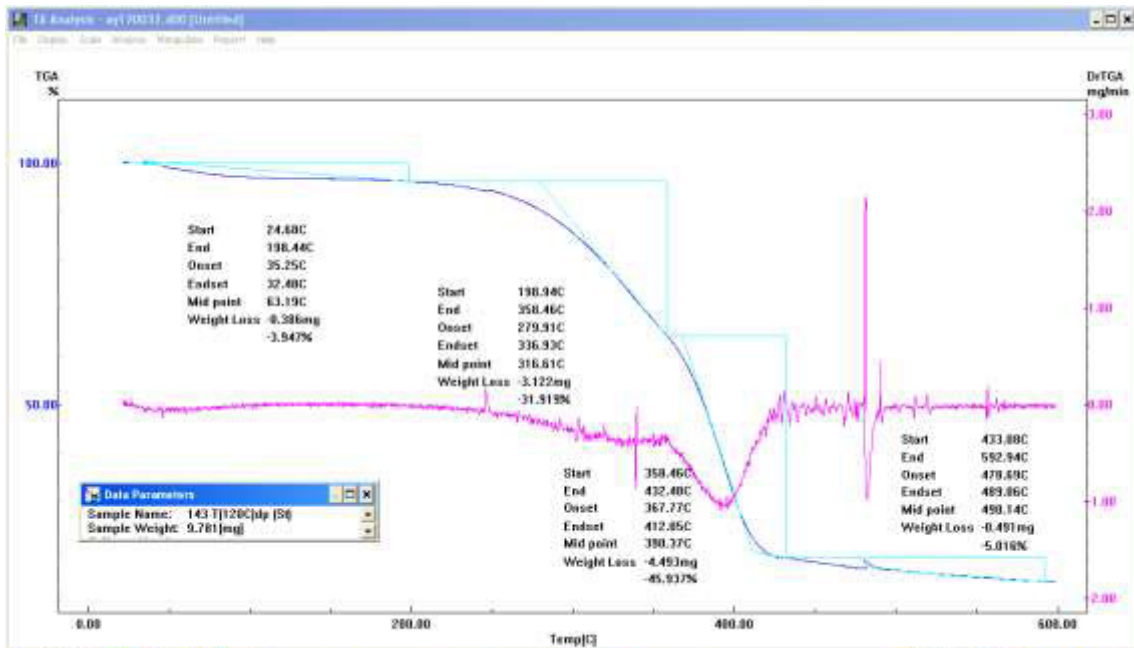
A continuación se muestra una captura de las curvas TG y DTG de las muestras 143(80C); 143 (100C); 143 (120C); 143 (140C); 143 (160C) y 143(80C)E; 143 (100C)E; 143 (120C)E; 143 (140C)E; 143 (160C)E. (La E indica las muestras expuesta a intemperismo acelerado)

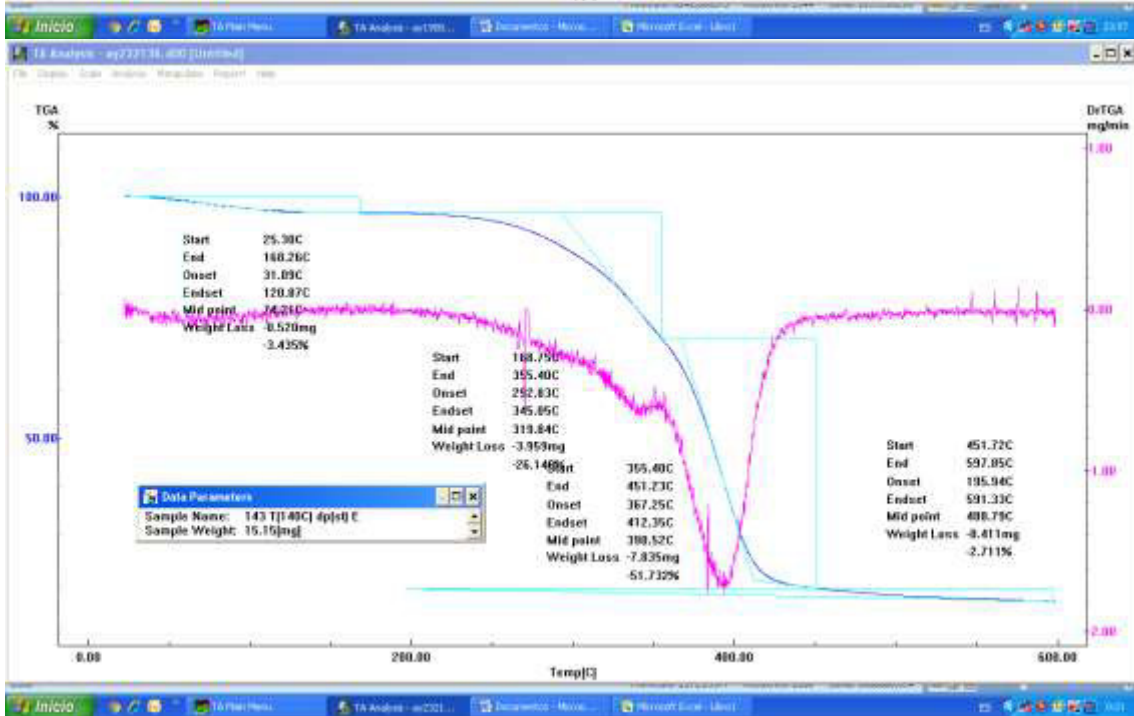
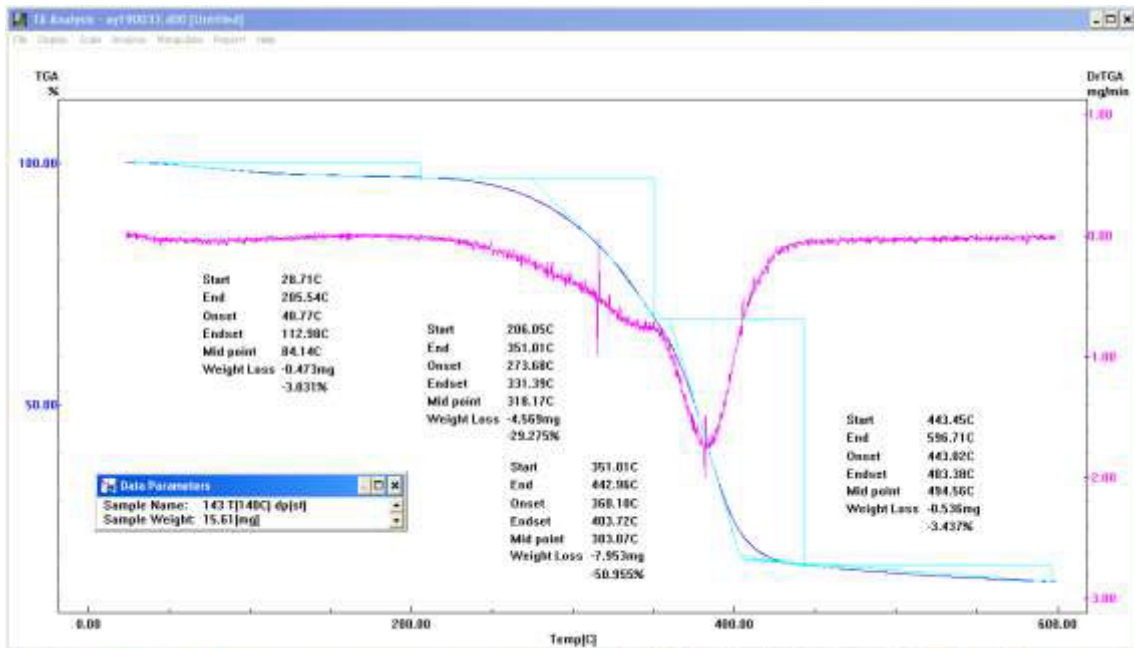


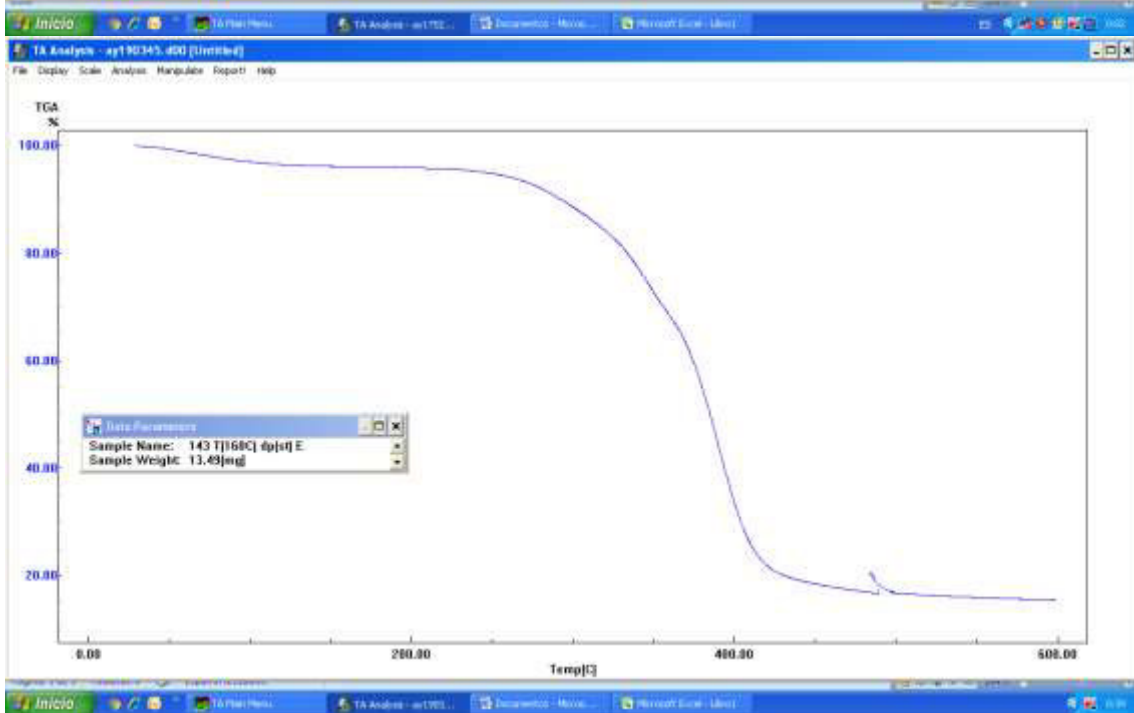
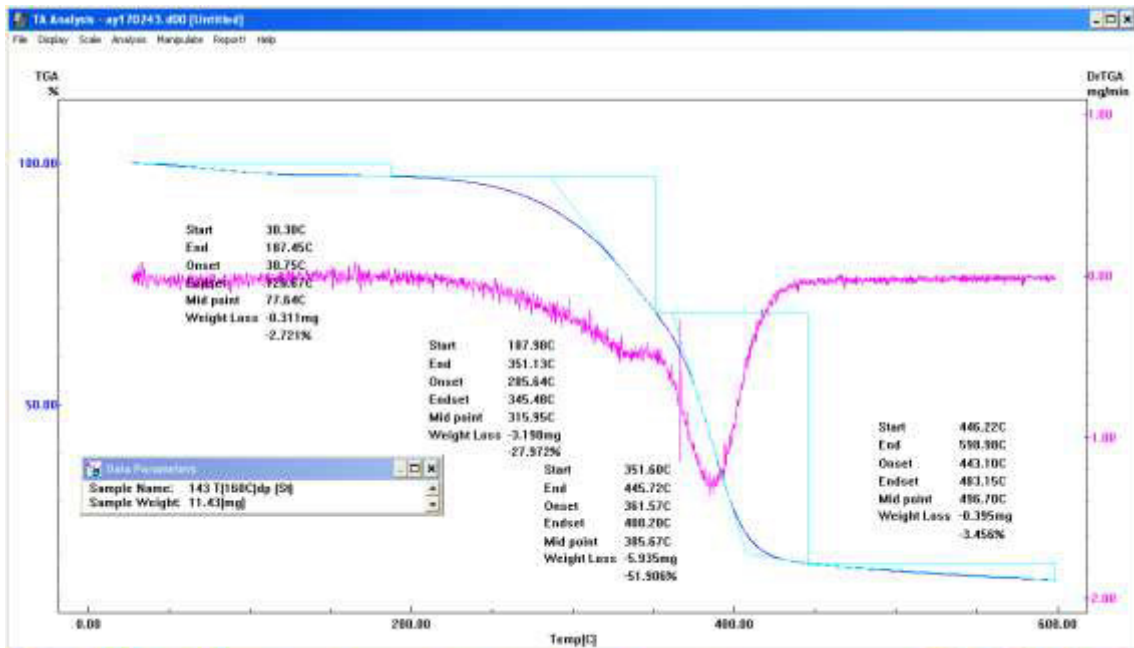












### ANEXO III.

A continuación se presenta el enlace del archivo de Excel, que presenta el análisis estadístico realizado para la obtención de la longitud de fibra.

[Análisis estadístico para el cálculo de longitud fibra - Referencias.xlsx](#)

## ANEXO IV

### NOMENCLATURA UTILIZADA.

A continuación se presenta la tabla AIV, la cual muestra la nomenclatura utilizada que no fue especificada previamente en el documento.

**Tabla AIV.** Nomenclatura

<b>Nomenclatura</b>	<b>Significado</b>
$dH/dT$	Diferencial de entalpia/ diferencial de temperatura
$\Delta m$	Variación de masa
$dm/dT$	Diferencial de masa/ diferencial de temperatura
$\beta$	Constante de interacción
DTG	Termogravimetría derivada