

**Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
Industriales y de Telecomunicación**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Trabajo Fin de Grado***

**VALORIZACIÓN DE SERRÍN MEDIANTE  
PIRÓLISIS: OBTENCIÓN DE VINAGRE DE  
MADERA. REVISIÓN**

**(Valorisation of sawdust through pyrolysis:  
obtaining wood vinegar. A review)**

Para acceder al Título de  
**GRUADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**Autor: Eva Cuesta Astorga**

**Directora: Josefa Fernández Ferreras**

**Julio – 2019**

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	PIRÓLISIS.....	1
1.2	MADERA .....	1
<b>2</b>	<b>ALCANCE Y OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA EMPLEADA</b> .....	<b>3</b>
3.1	FUENTES DE CONSULTA .....	3
3.2	MATERIAL SELECCIONADO Y CLASIFICADO.....	5
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>6</b>
4.1	PROCESO DE PIRÓLISIS .....	6
4.1.1	Pirólisis lenta .....	11
4.1.2	Pirólisis rápida .....	12
4.1.3	Pirólisis Flash .....	14
4.2	MADERA .....	14
4.2.1	Estructura de la madera.....	17
4.2.2	Agentes bióticos que causan la degradación de la madera .....	22
4.2.3	Tratamiento de la madera frente a agentes bióticos .....	30
4.3	RENDIMIENTO DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA PIRÓLISIS DE LA MADERA .....	34
4.4	COMPOSICIÓN DE LAS FRACCIONES OBTENIDAS EN EL PROCESO DE PIRÓLISIS DE LA MADERA.....	38
4.4.1	Fracción Sólida .....	41
4.4.2	Fracción Gaseosa .....	43
4.4.3	Fracción Líquida .....	45

4.5	MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA .....	52
4.6	UTILIDADES DE FRACCIÓN LÍQUIDA OBTENIDA EN LA PIRÓLISIS DE LA MADERA....	55
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXO I_ Tabla 1.....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXO II_ Tabla 2.....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO III_ Tabla 3.....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO IV_ Tabla 4 .....</b>	<b>76</b>
	<b>ANEXO V_ Tabla 5 .....</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXO VI_ Tabla 6 .....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXO VII_ Tabla 7 .....</b>	<b>84</b>

## Índice de Tablas

**Tabla 1.** Características de los principales procesos de pirólisis [67]

**Tabla 2.** Características principales, condiciones de operación y rendimientos típicos de distintos reactores empleados en la pirólisis rápida de biomasa (adaptado de Bridgwater, 2012)

**Tabla 3.** Composición estructural (% peso) de varios tipos de biomasa [45]

**Tabla 4.** Especies más resistentes frente a los hongos e insectos [36]

**Tabla 5.** Resistencia de algunas maderas expuestas a la intemperie [25]

**Tabla 6.** Comportamiento de la madera frente a los álcalis [25]

**Tabla 7.** Comportamiento de la madera frente a los ácidos [25]

**Tabla 8.** Rendimientos de los diferentes procesos utilizados para la degradación de la biomasa

**Tabla 9.** Análisis Elemental de diferentes tipos de madera [55].

**Tabla 10.** Análisis Proximal de diferentes maderas

**Tabla 11.** Composición química del biocarbón obtenido en la pirólisis [64]

**Tabla 12.** Composición del gas obtenido por pirólisis convencional [64]

**Tabla 13.** Composición de las diferentes especies de madera [64]

**Tabla 14.** Componentes típicos del bioaceite [20]

**Tabla 15.** Compuestos químicos característicos del bioaceite [13]

**Tabla 16.** Características de la fracción líquida obtenida por pirólisis convencional y rápida de madera de eucalipto [16]

**Tabla 17.** Métodos aplicables a la caracterización fisicoquímica de los aceites [49]

## Índice de Figuras

**Figura 1.** Fuentes de la biomasa [80]

**Figura 2.** Curvas TG y DTG de madera de álamo, cortezas y madera entera (Madera + corteza) en atmósfera de argón [47]

**Figura 3a.** Curva TG de diferentes especies de madera [66]

**Figura 3b.** Curva DTG de diferentes especies de madera [66]

**Figura 4.** Curva TG de diferentes especies de madera [64]

**Figura 5.** Curva DTG de diferentes especies de madera [64]

**Figura 6.** Horno de colmena para la producción de carbón por medio de la pirólisis lenta

**Figura 7.** Diagrama del proceso de la pirólisis rápida [15]

**Figura 8.** Estructura microscópica de la madera en frondosas (izquierda) y en coníferas (derecha)

**Figura 9.** Estructura microscópica de la madera [42]

**Figura 10.** Estructura de la madera

**Figura 11.** Disposición de la celulosa, hemicelulosa y lignina [12]

**Figura 12.** Estructura de organización de la celulosa

**Figura 13.** Diferentes posibles monómeros en cadena principal y cadena lateral de hemicelulosa (adaptado de Fengel y Wegener)

**Figura 14.** Alcoholes p-hidroxicinámicos [70]

**Figura 15.** Degradación de la membrana de madera de pino por ataque de bacterias [50]

**Figura 16.** Coloración producida por los Hongos cromógenos en tabla de pino caribe [11]

**Figura 17.** Acción de la pudrición cúbica sobre un abeto [22]

**Figura 18.** Acción de la pudrición fibrosa o blanca [63]

**Figura 19.** Acción de la pudrición alveolar [62]

**Figura 20.** Pudrición blanda en un tronco de madera [40]

**Figura 21.** Acción de la pudrición carbonosa [52]

**Figura 22.** Líctidos [2]

**Figura 23.** Anóbidos [2]

**Figura 24.** Cerambícidos [2]

**Figura 25.** Madera atacada por colonias de termitas [2]

**Figura 26.** Gráfico circular de los rendimientos obtenidos en la pirólisis convencional, rápida y flash [33]

**Figura 27.** Correlación entre el contenido de volátiles y el rendimiento del líquido obtenido en la pirólisis de biomasa lignocelulósica [58]

**Figura 28.** Correlación entre el contenido de cenizas y el rendimiento del líquido obtenido en la pirólisis de biomasa lignocelulósica [58]

**Figura 29.** Fracción sólida generada durante la pirólisis [64]

**Figura 30.** Vinagre de pirólisis comercial [30]

**Figura 31.** Aceite de pirólisis rápida [60]

**Figura 32.** Esquema de fraccionamiento del líquido de pirólisis [57]

**Figura 33.** Distintas aplicaciones del bioaceite obtenido por pirólisis rápida [73]

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 PIRÓLISIS

La pirólisis es una reacción de degradación química de materia orgánica, causada únicamente por energía térmica, en ausencia de oxígeno (atmósfera inerte) y durante un tiempo determinado.

Es un proceso térmico de conversión en el que se emplea un material con alto contenido en carbono para producir compuestos que pueden ser empleados directamente como combustibles, o posteriormente, tras un tratamiento específico. Estos productos obtenidos son gases, líquidos y sólidos. La proporción y composición de los mismos depende en gran medida de la materia prima que se emplee.

Existen otros dos parámetros que van a condicionar el rendimiento de la pirólisis, como son la temperatura y la rampa de calentamiento.

## 1.2 MADERA

Una de las aplicaciones más relevantes de la pirólisis, que está siendo investigada y empleada por su gran versatilidad en los productos obtenidos es la Biomasa.

Al ser un concepto muy amplio (Figura 1), he decidido incluir la definición que aparece en la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 y es la siguiente: *la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales.* [83]



Figura 1. Fuentes de la biomasa [80]

## 2 ALCANCE Y OBJETIVOS

El presente trabajo profundizará en el conocimiento del proceso de pirólisis de la madera. Se realizará un estudio bibliográfico de los productos obtenidos y de cómo son empleados en diferentes áreas. Se incidirá en la valorización de la fracción líquida como insecticida, fungicida y/o bactericida, ya que, a demanda de una empresa de corte de madera ubicada en Cantabria, requiere realizar este estudio para poder reutilizar el líquido obtenido en la pirólisis del serrín de madera como tratamiento de la misma frente a los agentes patógenos que la atacan.

El estudio centra sus objetivos en los siguientes puntos:

- Estudio bibliográfico de la estructura y composición de la madera.
- Agentes bióticos que causan la degradación de la madera.
- Análisis del rendimiento, composición y propiedades de la fracción sólida, líquida y gaseosa que se obtiene en el proceso de pirólisis convencional, rápida y flash. Influencia de la temperatura, velocidad de calefacción y tiempo de residencia.
- Valorización de las fracciones obtenidas en el proceso de pirólisis, centrandolo estudio en la fracción líquida.



- Métodos de caracterización de la fracción líquida
- Análisis de los componentes de la fracción líquida con actividad insecticida, fungicida y/o bactericida.

### **3 METODOLOGÍA EMPLEADA**

Para el desarrollo del trabajo ha sido necesaria una intensa búsqueda bibliográfica para poder adquirir un mayor conocimiento del tema presentado y así poder revisar, recopilar y contrastar toda la información.

#### **3.1 FUENTES DE CONSULTA**

La búsqueda ha sido realizada a través de las siguientes plataformas web, se incluye una breve descripción de los materiales que podemos encontrar en cada una de ellas:

- Scopus. Es una base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas. Cubre áreas de ciencia, tecnología, medicina y ciencias sociales. Abarca más de 35.000 títulos de todas las áreas, aparte de revistas, contiene series monográficas, actas de congresos, libros o patentes.
- Dialnet. Es la mayor base de datos de artículos científicos hispanos accesible de forma gratuita en internet. Recopila y proporciona acceso fundamentalmente a documentos publicados en España en cualquier lengua. Los contenidos incluyen artículos de revistas, capítulos de monografías colectiva, tesis doctorales, libros, etc.
- Google académico. Es la versión en castellano de Google Scholar. Da acceso a artículos, tesis, resúmenes libros, manuales y en general a todo tipo de documentos de carácter académico. Estos proceden de muy diversas fuentes: asociaciones profesionales, universidades, editoriales académicas, repositorios de preprints, organizaciones académicas, etc.
- Ucrea. Repositorio institucional de la Universidad de Cantabria, que contiene: trabajos académicos elaborados por los alumnos de la universidad (Ucrea Académico) y

documentos elaborados por autores de la universidad de Cantabria que recogen resultados de investigación o divulgación científica (Ucrea Investigación)

- ResearchGate. Es una red social dirigida a los investigadores y científicos que permite realizar búsquedas bibliográficas en más de 70 millones de documentos. Facilitar el acceso al conocimiento, dando mayor visibilidad a las investigaciones (artículos de revista, conferencias, artículos inéditos, datos en bruto, patentes, archivos multimedia, etc.).
- ScienceDirect. Es una de las mayores fuentes de información para la investigación científica, técnica y médica. Ofrece el texto completo de las revistas científicas que publica Elsevier, así como capítulos de libros, procedentes de más de 2.500 revistas con revisión por pares y de más de 11.000 libros. En total, supera los 9 millones y medio de artículos y capítulos.
- Pyroligneous Acid. Buscador de artículos publicados por todo el mundo donde se analizan los usos del ácido piroleñoso en el sector agrícola. Se ha accedido a través de la página web dedicada al vinagre de madera de Australia:  
<http://www.woodvinegar.com.au/wood-vinegar/>
- SemanticScholar. Buscador de publicaciones científicas que se centra en la semántica y la comprensión textual artificial para la recuperación de información. Este motor de búsqueda permite a los usuarios encontrar artículos académicos alrededor del mundo usando como método particular la minería de datos.
- Redalyc. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Cuenta hasta la fecha con 1304 revistas científicas, 48 512 fascículos y algo más de 600.000 artículos científicos disponibles a texto completo.
- Único. Buscador perteneciente a la biblioteca de la Universidad de Cantabria que permite localizar documentos académicos de índice global con las colecciones impresas y electrónicas de la Biblioteca Universitaria y una selección de recursos de acceso público.

- Buscador de google
- Catálogo de la biblioteca de la Universidad de Cantabria

### **3.2 MATERIAL SELECCIONADO Y CLASIFICADO**

A medida que se realizaba la búsqueda de los documentos, éstos fueron clasificados en las siguientes carpetas: pirólisis, tipos de pirólisis, biomasa, madera, normativa, caracterización de productos, bioaceite, biogás, carbón, análisis, biocida. La búsqueda se centró en documentos que fueron creados o publicados a partir del año 2000.

Una vez recopilado el material, y tras ser clasificado, comenzó la lectura detenida y la redacción del presente trabajo.

Me ha parecido interesante, añadir un anexo en el trabajo que permitiera de forma más rápida acceder a los documentos más representativos de cada apartado. De esta forma, encontramos en el Anexo I, una división en los siguientes apartados:

- Proceso de pirólisis
- Tipos de pirólisis
- Estudio de la madera
- Análisis del rendimiento en el proceso de pirólisis
- Composición de las fracciones obtenidas en el proceso de pirólisis
- Métodos de caracterización de la fracción líquida
- Utilidades de la fracción líquida

En cada uno de ellos se ha creado una tabla que contiene: referencia, año, título, autor, publicación y enlace, este último, permite acceder al documento si se encuentra en línea.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 PROCESO DE PIRÓLISIS

Existe gran variedad de publicaciones dirigidas a la descripción del proceso de pirólisis de la madera, para su elaboración me ha parecido interesante e ilustrativo dividir el proceso en cuatro zonas diferenciadas.

Se han consultado varias publicaciones, las más representativas aparecen en el Anexo I\_ Tabla1:

- **Zona A.** Comprende un intervalo de temperatura de entre 20 y 120 °C. La superficie de la madera se deshidrata a esta temperatura.
- **Zona B.** Ocurre a temperaturas entre 120 y 400 °C. Se produce:

La descomposición de los extractivos, entre 100 y 250 °C. Como veremos más adelante los extractivos pueden ser: compuestos solubles en agua y en disolventes orgánicos y, compuestos insolubles como las cenizas y el almidón.

La degradación térmica de la **hemicelulosa**, se produce a temperaturas de entre 200 y 300 °C. En la hemicelulosa, el monómero más abundante es el xylano y su degradación produce principalmente: agua, metanol, ácido fórmico, ácido acético y propiónico, 1-hidroxipropanona, 1-hidroxibutanona y 2-furfuraldehído.

La degradación térmica de la **lignina** se produce entre aproximadamente los 120 °C y 875 °C. Se obtienen productos relacionados con el fenol (guayacol y 2,6-dimetoxifenol), metanol, ácido acético, acetona, acetaldehído y gases (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) e hidrocarburos ligeros.

La degradación térmica de la **celulosa** ocurre en un intervalo de temperatura de entre 300 y 400 °C. La celulosa sufre un proceso de despolimerización que da lugar a anhidro azúcares y oligómeros (levoglucosan, celobiosan, celotriosan, glucosa y otros). Esta celulosa es conocida como "celulosa activa".

Entre 300 y 400 °C se produce la mayor pérdida de peso (aproximadamente un 80 %), correspondiente a la liberación de volátiles. Se forma un residuo carbonoso conocido como char o biocarbón.

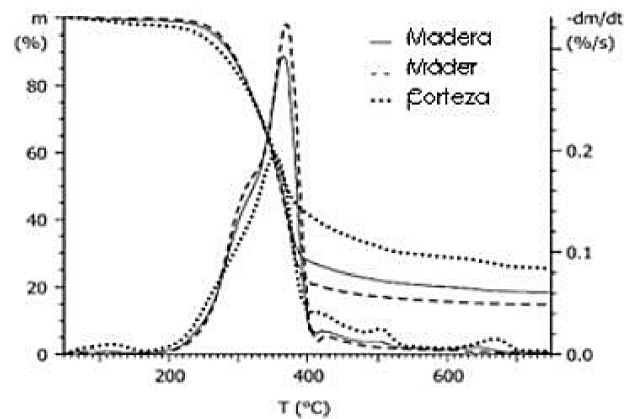
- **Zona C.** Temperatura entre 400 y 775 °C. Se produce la degradación del biocarbón, se libera CO, CO<sub>2</sub> y compuestos aromáticos provenientes de reacciones de despolimerización de la matriz carbonosa rica en lignina. En esta zona las reacciones son exotérmicas, y a no ser que se disipe el calor, la temperatura subirá rápidamente. Los productos primarios comienzan a reaccionar entre sí.
- **Zona D.** Temperatura superior a 775 °C. La temperatura de la superficie del carbón es suficiente para inducir reacciones secundarias como la combinación del carbono libre y CO<sub>2</sub> (asfixiante) para producir una gran cantidad de CO (tóxico e inflamable) La carbonización se completa a temperaturas de entre 675 y 875 °C.

En el proceso, los productos generados en un primer momento son vapores y aerosoles procedentes de la descomposición de la hemicelulosa, celulosa y lignina. Seguidamente, el líquido es obtenido por enfriamiento y aglomeración o coalescencia de los aerosoles. Por último, la fracción más pesada la conforma el denominado biocarbón.

Gráficamente encontramos diversas publicaciones que exponen el comportamiento de los componentes de la madera durante el proceso de pirólisis. Para ello, se realizan dos tipos de análisis:

- Análisis Termogravimétrico (TG), se obtiene la evolución de masa de la muestra a medida que aumenta la temperatura, bajo condiciones controladas de velocidad de calentamiento y de atmósfera de reacción.
- Análisis Termogravimétrico diferencial (DTG). Curva obtenida a través de la primera derivada de la masa con respecto al tiempo. Es en esta curva donde, al interpretar la forma que presenta, se determina el intervalo de degradación de cada uno de los componentes de la madera.

En el artículo publicado por Manals (2011), las curvas de TG y DTG son las que aparecen en la Figura 2. El estudio realizado se ha desarrollado con madera de álamo y cortezas con una velocidad de calentamiento de 20 °C/min.



**Figura 2.** Curvas TG y DTG de madera de álamo, cortezas y madera entera (Madera + corteza) en atmósfera de argón [47]

La protuberancia que aparece al comienzo del análisis DTG, es debido a la descomposición de los extractivos. El pico principal corresponde a la descomposición de la celulosa, la elevación que aparece a menor temperatura (300 °C) puede ser atribuido principalmente a la hemicelulosa, mientras que la descomposición de la lignina, como se ha descrito anteriormente, ocurre en un amplio rango de temperaturas.

El artículo publicado por Poletto (2012), el estudio se ha realizado sobre diferentes especies de madera. Cada especie se identifica con las siguientes abreviaturas:

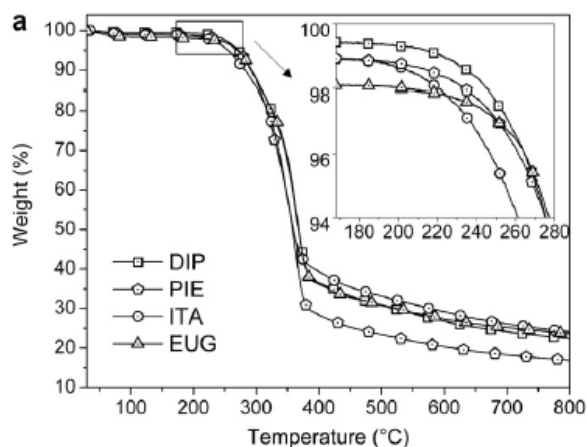
**ITA:** Mezilaurus itauba; **EUG:** Eucalyptus grandis; **PIE:** Pinus elliottii; **DIP:** Dipteryx odorata

La Figura 3a permite observar el porcentaje de peso perdido en función de la temperatura.

Si observamos el detalle extraído de la Figura 3a, a temperaturas de entre 180 y 190 °C, la madera de ITA muestra una significativa pérdida de peso. Este comportamiento puede ser asociado al alto contenido de extractivos en este tipo de madera (14 %). Los extractivos son componentes de bajo peso molecular comparados con la celulosa que pueden promover la ignición de la madera a bajas temperaturas como resultado de su alta volatilidad, y así,

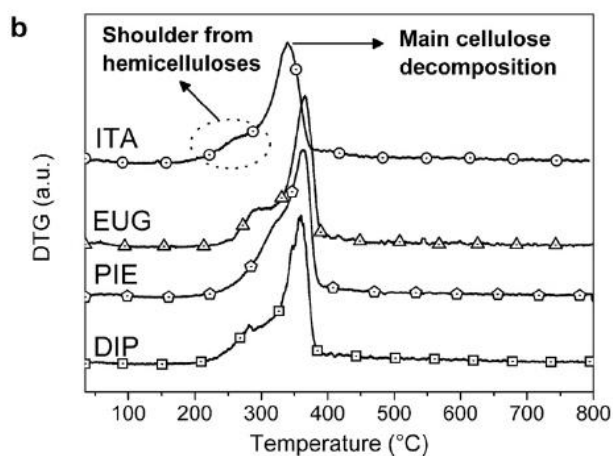
acelerar el proceso de degradación. De esta forma, la degradación de uno de los componentes puede acelerar la degradación de los otros componentes de la madera.

Sin embargo, la madera de DIP, también presenta un elevado contenido en extractivos\* (11 %) y no se comporta igual, esto es debido al elevado contenido de lignina de esta madera en comparación con la especie de ITA.



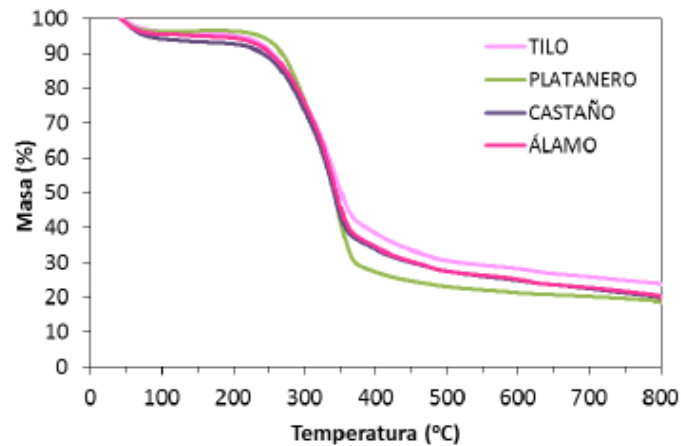
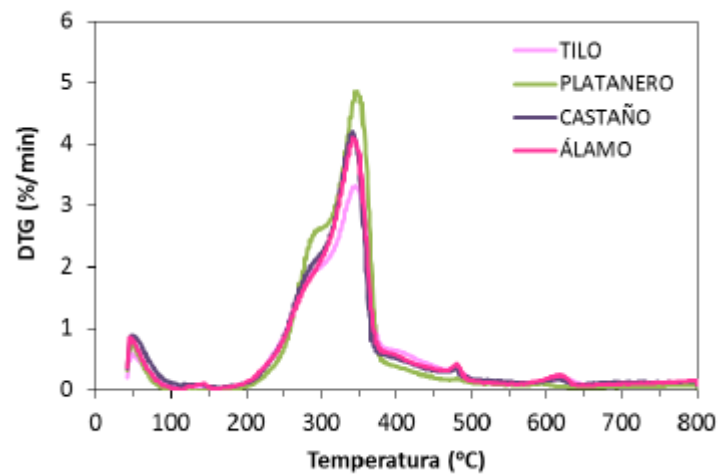
**Figura 3a.** Curva TG de diferentes especies de madera [66]

La Figura 3b representa las curvas obtenidas del DTG. Como aparece en el artículo descrito anteriormente, las curvas en ambos estudios son muy similares. La degradación de la hemicelulosa tiene lugar alrededor de los 300 °C, se puede observar un pequeño pico en la figura b en todas las especies de madera del estudio. Alrededor de los 350 °C ocurre la degradación de la celulosa, se puede observar en el pico más prominente que aparece en la Figura b.



**Figura 3b.** Curva DTG de diferentes especies de madera [66]

Otro ejemplo encontrado en la bibliografía es el trabajo realizado por Pérez (2016) donde encontramos un estudio de diferentes especies arbóreas (Tilo, Platanero, Castaño y Álamo). El proceso de pirólisis empleado es el convencional, a una velocidad de calentamiento de 5 °C/min en atmósfera de N<sub>2</sub>.

**Figura 4.** Curva TG de diferentes especies de madera [64]**Figura 5.** Curva DTG de diferentes especies de madera [64]

El pico principal, como en los estudios previos, corresponde a la descomposición de la celulosa a una temperatura de 342-348 °C. La protuberancia a una temperatura alrededor de 295 °C,



está asignada a la descomposición de la hemicelulosa a una velocidad menor que la celulosa. La lignina abarca un rango de temperatura más amplio, hasta 800 °C.

Atendiendo a los parámetros de operación, como son la temperatura, la rampa de velocidad de calentamiento o el tiempo de residencia en el reactor, la Tabla 1 muestra los principales tipos de pirólisis:

TIPO DE PIRÓLISIS	TIEMPO DE RESIDENCIA	VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO	TEMPERATURA FINAL (°C)	PRODUCTOS OBTENIDOS
Carbonización	Días	Muy lenta	400-500	Carbón vegetal
Convencional	5-30 min	Lenta	600	Carbón, líquido, gas
Rápida	< 2 s	Rápida	< 650	Bioaceite, carbón y gas
Flash	< 1 s	Muy rápida	1000	Gas/Bioaceite

**Tabla 1.** Características de los principales procesos de pirólisis [67]

A continuación, se realiza una descripción detallada de cada uno de ellos, para su desarrollo se han empleado, entre otros, los documentos que aparecen en el Anexo II\_Tabla 2

#### 4.1.1 Pirólisis lenta

La pirólisis convencional se ha utilizado durante miles de años y ha sido principalmente usada para la producción de carbón.

La siguiente figura muestra un boceto de un horno de colmena en el que se apilan y cubren grandes troncos con una capa de arcilla. En su interior el calor es proporcionado por una pequeña hoguera.



**Figura 6.** Horno de colmena para la producción de carbón por medio de la pirólisis lenta

Se pueden distinguir dos tipos de pirólisis lenta, dependiendo del tiempo de residencia del vapor:

- **Carbonización** (tiempo de residencia de días)

La biomasa es calentada lentamente en ausencia de oxígeno a temperaturas relativamente bajas (400-500 °C) y durante largos periodos de tiempo.

Debido a los largos tiempos de residencia, los componentes en fase vapor continúan reaccionando entre sí, como el carbón sólido y cualquier líquido que se esté formando, aumentando el rendimiento de la fracción sólida. Esta fracción sólida se denomina carbón vegetal (charcoal).

- **Convencional** (tiempo de residencia de minutos).

En el proceso de pirólisis convencional la velocidad de calentamiento se realiza de forma lenta, aunque más rápido que la carbonización, y la temperatura final es de 600 °C [7]. El tiempo de residencia varía desde 5 min a 30 min.

En el artículo de Goyal (2008), se muestran varios estudios experimentales en los que varía el tipo de biomasa, el tamaño de partícula y la temperatura, además se emplean diferentes reactores como el reactor de lecho fijo y el reactor tubular.

En cualquier proceso de pirólisis convencional se obtienen los tres tipos de productos de pirólisis (gas, líquido y carbón).

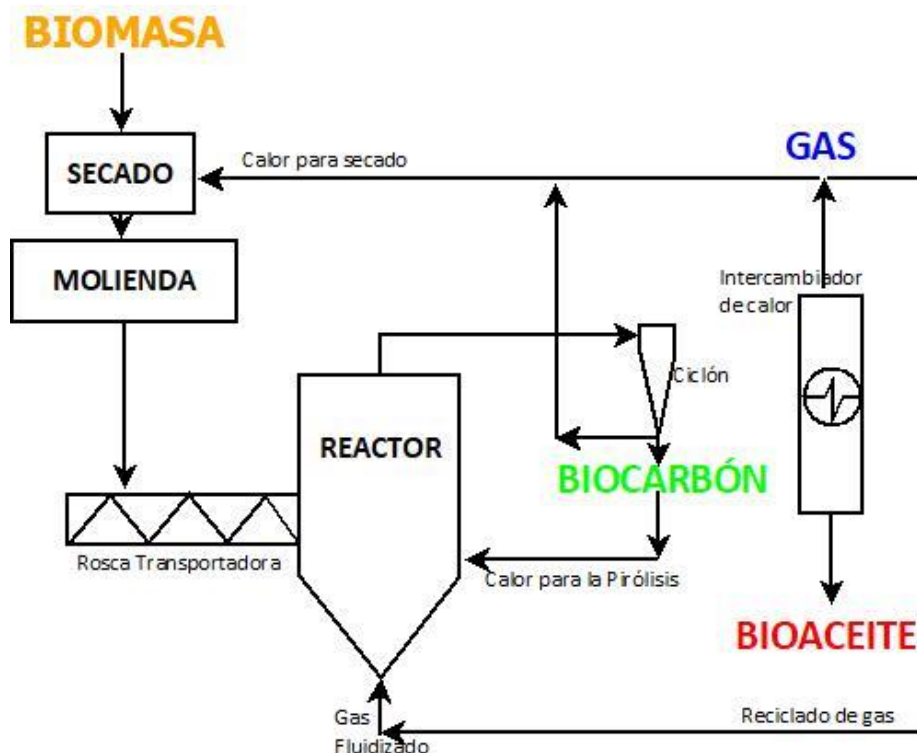
#### **4.1.2 Pirólisis rápida**

El objetivo principal de la pirólisis rápida es maximizar la producción de líquido o bioaceite.

La velocidad de calentamiento es elevada, del orden de 10 a 200 °C/s y la temperatura máxima debe ser inferior a 650 °C si el bioaceite es el producto deseado.

La alta velocidad de calentamiento y el rápido enfriamiento hacen que la condensación de la fracción líquida se produzca sin que se lleven a cabo reacciones de craqueo de los compuestos de elevado peso molecular.

El diagrama del proceso de pirólisis rápida se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Diagrama del proceso de la pirólisis rápida [15]

Para conseguir una velocidad de calentamiento rápida y un tiempo de residencia corto de la fracción volátil es necesario el empleo de reactores. Los primeros en utilizarse fueron los reactores de lecho fluidizado, sin embargo, dificultan la etapa de condensación del gas.

Los reactores de cono rotatorio, los reactores ablativos y los de tipo Auger, fueron desarrollados para evitar este problema.

La siguiente tabla muestra los diferentes tipos de reactores con las condiciones de operación y los rendimientos que se obtienen.

Tipo de reactor	Distribución de productos (% masa)			Temperatura de operación (°C)	Tamaño partícula alimentación (mm)	Coeficiente de transferencia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Capacidad máxima de planta (T/día)
	Aceites	Carbón	Gas				
Lecho fluidizado burbujeante	70	20	10	480	1-5	150-500	200

Lecho fluidizado circulante	65-70	15	15	450	1-10	200-650	100
Lecho en fuente	72	12	16	450	< 6	180-260	0.5
Cono rotatorio	60-70	15	14	550	< 1.0	500-1500	50
Ablativo de disco rotatorio	65	15	20	650	10-20	500-2000	6-50
Tornillo doble	53-78	12-34	8-20	500	1-10	100-200	12
Lecho fijo (en vacío)	35-50	26	18	475	6-30	85-150	85

**Tabla 2.** Características principales, condiciones de operación y rendimientos típicos de distintos reactores empleados en la pirólisis rápida de biomasa (adaptado de Bridgwater, 2012)

Los reactores más habituales empleados en la pirólisis rápida son los reactores de lecho fluidizado, ya que permiten obtener rendimientos elevados de la fracción líquida.

#### 4.1.3 Pirólisis Flash

En la pirólisis flash la temperatura alcanza los 1000 °C y el tiempo de residencia es más corto que en la pirólisis rápida. Las velocidades de calentamiento son muy elevadas, del orden de > 1000 °C/s.

En este caso se consigue un rendimiento elevado en la fracción gaseosa, sin embargo, puede ser una vía muy beneficiosa para la producción de bioaceite, ya que se podrían conseguir rendimientos de hasta el 70 %.

Además, debido a la rápida velocidad de calentamiento y al tiempo corto de reacción, es conveniente, para obtener un mejor rendimiento, un tamaño de partícula pequeño [28].

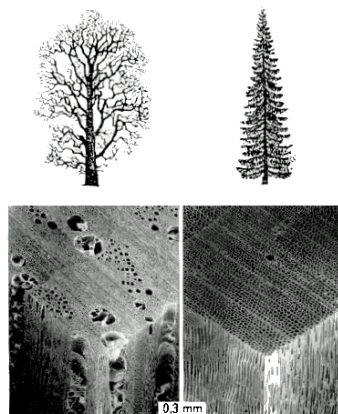
## 4.2 MADERA

En el desarrollo del estudio estructural de la madera las fuentes más representativas consultadas se muestran en el Anexo III\_Tabla 3.

El material a tratar mediante pirolisis va a ser la madera, por tanto, es conveniente conocer los rasgos distintivos que encontramos en los dos principales tipos de madera, así como, la estructura a nivel macroscópico y microscópico.

Nos encontramos numerosas clasificaciones de la madera. La estructura interna de la madera va a determinar los tipos de troncos y la forma posterior de su uso. Entre los distintos tipos de madera las clasificamos en función de su dureza en relación con el peso específico de la misma. De tal forma, podemos dividir la madera en dos grandes grupos: Maderas Duras (Fronosas) y Madera Blandas (Coníferas).

La mayor distinción entre coníferas y frondosas se encuentra a nivel microscópico, en la estructura de la madera y las células que las conforman (Figura 8).



**Figura 8.** Estructura microscópica de la madera en frondosas (izquierda) y en coníferas (derecha)

### **Madera de Frondosas o latifoliadas (angiospermas)**

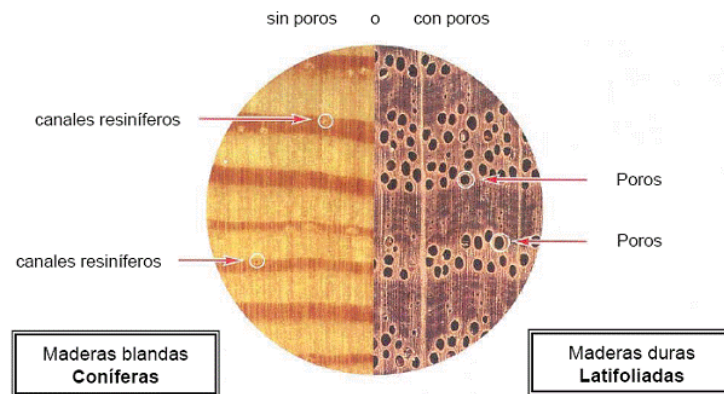
Los árboles de las frondosas presentan una copa ramificada con un tronco que varía bastante de tamaño y forma. Se ubican en zonas tropicales y subtropicales.

Su lento crecimiento hace que sean maderas más duras, oscuras y pesadas. Sus hojas son de tipo laminar pudiendo ser caducas o perennes, pero sin contener resina como en las coníferas.

Tienen una estructura de tejidos y una composición más compleja que las coníferas, ya que poseen muchos más tipos de células. Presentan más parénquima, este tejido está implicado

en una gran variedad de funciones como la fotosíntesis, almacenamiento, elaboración de sustancias orgánicas y regeneración de tejidos tanto en sentido transversal como longitudinal.

En la sección transversal de la madera aparecen como agujeros, como puede verse en la Figura 9, y es por esta razón, que las maderas duras se las conoce como “maderas porosas” en contraste con las “no porosas”, de las maderas blandas.



**Figura 9.** Estructura microscópica de la madera [42]

La elevada porosidad de las frondosas es esencial para el transporte de agua en la albura del árbol.

Como ejemplos de frondosa tenemos: roble, castaño, encina, nogal, olivo, etc.

### **Madera de Conífera (gimnospermas)**

Las coníferas son árboles de tronco recto, cónico hasta su ápice y revestido de ramas. En general forman bosques muy densos ubicados en zonas templadas y frías.

Al pertenecer a árboles de crecimiento rápido, su madera es blanda, liviana y recta, con lo que la convierte en maderas más comerciables.

Las hojas son de consistencia dura, escamosa y en forma de aguja, siendo en su mayoría perennes y presentan un elevado porcentaje de resina tanto en sus hojas como en sus tallos. Los frutos tienen forma de cono y las semillas están en su interior.

En cuanto a su estructura microscópica está constituida principalmente por las células encargadas del sostén y conducción de la savia.

Presentan canales resiníferos que, como se observa en la figura, tienen bordes irregulares cubiertos de células que producen resina.

Como ejemplos de coníferas se incluyen: abeto, cedro, pino, chopo, álamo, abedul, etc.

#### 4.2.1 Estructura de la madera

La estructura de la madera es un complejo sistema de capilares, que presenta diferencias entre frondosas y coníferas, duramen y albura, madera juvenil y madera tardía, madera de reacción y madera normal, diferencias entre especies, árboles de una misma especie y diferencias entre partes de un mismo árbol.

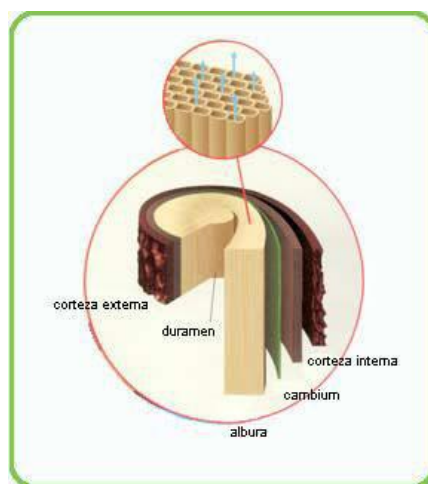


Figura 10. Estructura de la madera

#### Estructura macroscópica

En la madera se distinguen las siguientes partes como se muestra en la Figura:

- Médula o duramen. La conforman las células muertas muy lignificadas, por ello su aspecto es seco, tiene como función proporcionar resistencia para el soporte del árbol.

- Albura o leño. Está formado por las células vivas en su parte exterior, siendo el responsable de transportar el agua y las sales minerales de las raíces a las hojas. Durante el crecimiento del árbol éstas células van muriendo pasando a formar parte del duramen.
- Cambium. Capa fina y transparente que se encuentra entre la corteza y la albura. Cada año este tejido genera un nuevo conjunto de células hacia el interior del tronco que da lugar a un anillo de crecimiento. Estos formarán la madera de albura y con el paso de los años, estos anillos se desplazarán hacia el interior del tronco transformándose en duramen.
- Corteza interna. Es por donde circula la savia elaborada, las células que la conforman, con el tiempo, pasan a formar parte de la corteza externa.
- Corteza externa. Formada por células muertas que proporcionan la protección al árbol frente a agentes externos (inclemencias del tiempo, insectos, parásitos, etc..)

### **Estructura molecular y química de la madera**

Los principales constituyentes de la madera son la celulosa, hemicelulosa y lignina. La proporción de hemicelulosa y lignina difiere en si nos encontramos frente a madera blanda o dura, sin embargo, la celulosa es relativamente uniforme en todos los tipos de madera.

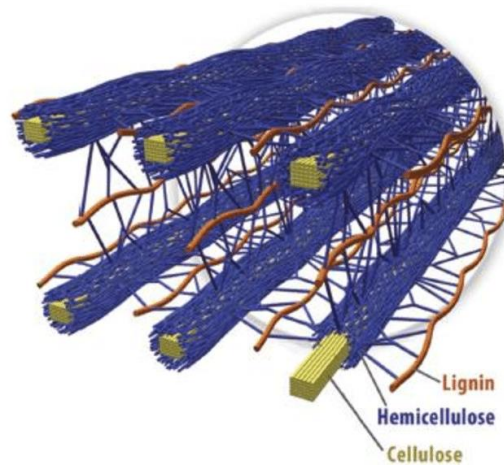
La Tabla 3 contiene las sustancias macromoleculares presentes en la pared celular de la madera.

<b>BIOMASA</b>	<b>Celulosa (%)</b>	<b>Hemicelulosa (%)</b>	<b>Lignina (%)</b>
<b>Conífera</b>	35-40	25-30	27-30
<b>Frondosa</b>	45-50	20-25	20-25
<b>Paja de Trigo</b>	33-40	20-25	15-20
<b>Pasto</b>	30-50	10-40	5-20

**Tabla 3.** Composición estructural (% peso) de varios tipos de biomasa [45]



La Figura 11, muestra la compleja estructura, en la cual, la celulosa está rodeada por una monocapa de hemicelulosa, e incluida en una matriz de hemicelulosa y lignina.



**Figura 11.** Disposición de la celulosa, hemicelulosa y lignina [12]

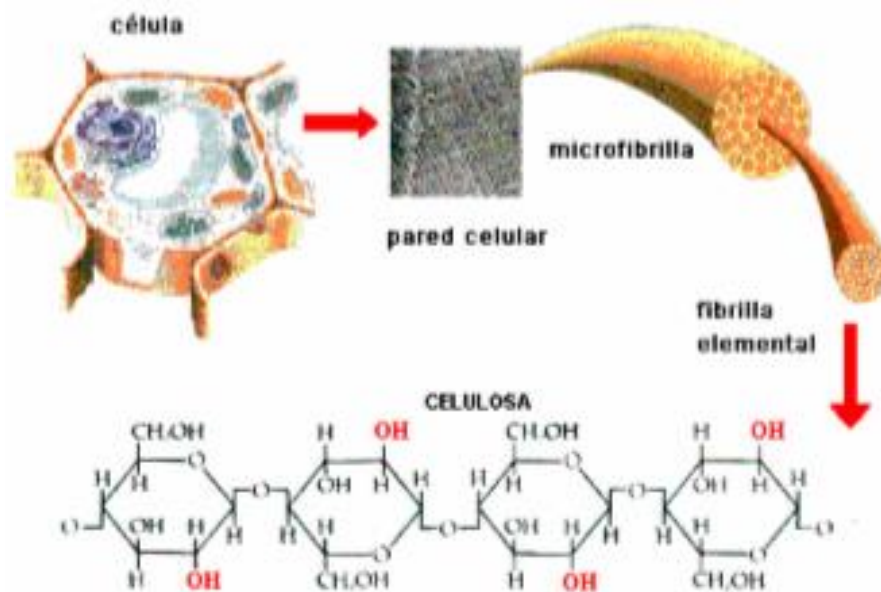
A continuación, se describe cada uno de los componentes de la madera:

- **Celulosa.** La celulosa es el componente mayoritario y constituye la base estructural de las células vegetales. Representa entre el 40 y 50 % en peso de la madera seca.

Presenta elevado grado de polimerización, con unidades  $\beta$ -D-glucopiranosas unidas entre sí por enlaces glicosídicos entre el carbono 1 y 4 del ciclohexano.

Los elementos estructurales fundamentales de la pared celular son las microfibrillas. Están formadas por 20 fibras elementales con los grupos -OH formando puentes de hidrógeno. La agregación de 250 microfibrillas constituye una microfibrilla y la agregación de 1500 microfibrillas constituye una fibra de celulosa.

Las fibras elementales o micelas, están formadas por entre 40 y 100 cadenas de celulosa. Están dispuestas de forma ordenada (cristalina) y en parte de forma desordenada, dando la primera un carácter elástico y protector al ataque de reactivos y la segunda un carácter plástico.

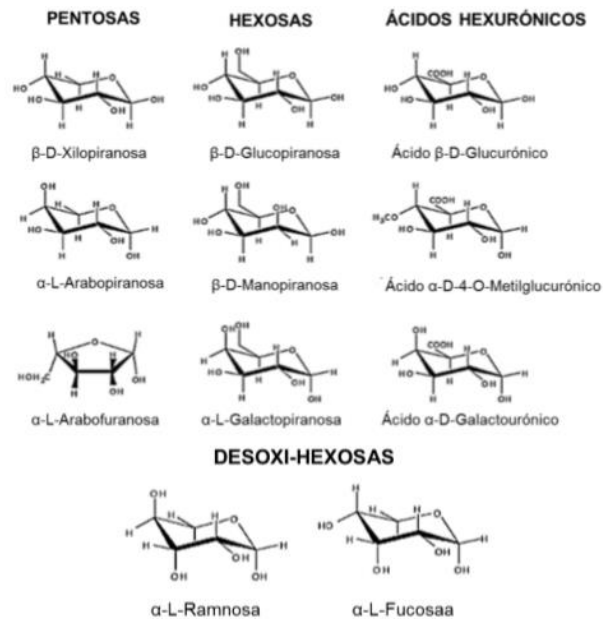


**Figura 12.** Estructura de organización de la celulosa

- **Hemicelulosa.** La hemicelulosa es el segundo constituyente de la madera.

Está formada por polisacáridos de diferentes azúcares con cadenas cortas y ramificadas. Presenta cinco monosacáridos. Por una parte, presenta tres hexosas: glucosa, manosa y galactosa y por otra parte dos pentosas: xilosa y arabinosa. Además de algunos ácidos urónicos.

Constituyen polímeros fácilmente hidrolizables, a diferencia de la celulosa, que nunca forman agregados, aunque pueden cocrystalizar con la celulosa.



**Figura 13.** Diferentes posibles monómeros en cadena principal y cadena lateral de hemicelulosa (adaptado de Fengel y Wegener)

Su función es suministrar la unión entre la lignina y la celulosa para dar rigidez a la pared celular. Son insolubles en agua.

- **Lignina.** La lignina, tras la celulosa y hemicelulosa, es el tercer componente fundamental de la madera.

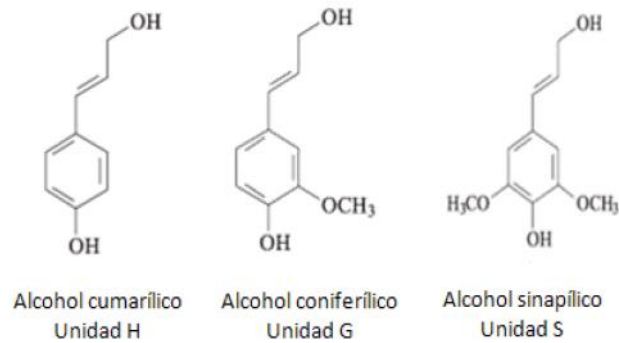
Está principalmente en la lámina media de la pared celular y en las capas de la pared celular formando junto con la hemicelulosa una matriz alrededor de las microfibras de la celulosa.

La lignina es un polímero aromático, distinguiéndose, por los sustituyentes del anillo aromático tres unidades repetidas a lo largo de su estructura ramificada:

Unidad H (hidroxifenilo), que deriva del alcohol p-cumárico

Unidad G (guayacilo), que deriva del alcohol coniferílico

Unidad S (siringilo), que deriva del alcohol sinapílico.



**Figura 14.** Alcoholes p-hidroxicinamílicos [70]

Se encarga de proteger a la celulosa del ataque microbiano, proporcionar resistencia e impermeabilidad y mantener unidas las fibras celulósicas.

- **Componentes secundarios o no estructurales (extractivos).** Son de dos tipos:

Solubles en agua y disolventes orgánicos: terpenos, resinas (grasas, ácidos grasos, alcoholes, resinas ácidas, fitoesteroides, etc.), fenoles (taninos), hidratos de carbono de bajo peso molecular, alcaloides y lignina soluble.

Insolubles: cenizas (carbonatos y oxalatos) y almidón, pectinas o proteínas en menor proporción.

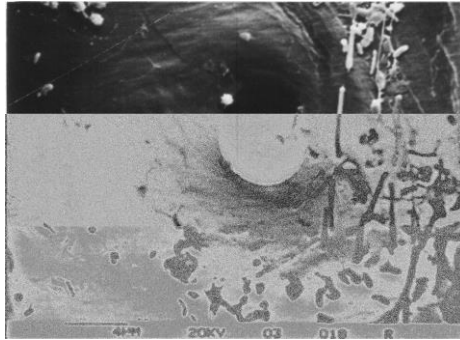
#### 4.2.2 Agentes bióticos que causan la degradación de la madera

La madera puede ser atacada tanto por animales (mamíferos, aves, crustáceos, moluscos e insectos), como por microorganismos (hongos y bacterias).

En el trabajo, me he centrado en el estudio de los organismos que atacan la madera una vez cortada y que puede ser tratada para prevenir o eliminar este tipo de ataques. Son los insectos, hongos y bacterias. A continuación, realizo una breve descripción de los mismos:

##### **Bacterias**

Son los primeros microorganismos en colonizar la madera expuesta a ambientes húmedos. Su efecto es menor que el de los hongos, pero, aunque es un proceso muy lento, pueden incrementar la permeabilidad y reblandecer la superficie de la madera.



**Figura 15.** Degradación de la membrana de madera de pino por ataque de bacterias [50]

### Hongos

Los hongos pertenecen a las talofitas, grupo de vegetales de organización muy primitiva.

El cuerpo vegetativo de los hongos de interés forestal está constituido por una serie de filamentos entrelazados llamados hifas, cuyo conjunto se denomina micelio. [68]

Los hongos se propagan por esporas que son arrastradas por el viento, agua o seres vivos.

Existen hongos que viven únicamente en la madera viva, otros perduran después que el ataque ha ocasionado la muerte de los tejidos, y por último existe otro tipo de hongos que sólo prosperan en la madera muerta, son los denominados hongos xilófagos.

Estos últimos, se clasifican en dos tipos dependiendo si modifican únicamente el aspecto de la madera (hongos cromógenos) o alteran las propiedades mecánicas y físicas de la misma (hongos de pudrición):

- **Hongos Cromógenos.** Pertenecen a este grupo los hongos que originan una coloración azulada-negrizca característica. Se alimentan de las sustancias de reserva de la madera y no degradan la pared celular, por lo que no afectan a las propiedades mecánicas. Únicamente cambian la coloración de la madera, aunque si es muy intensa reduce la velocidad de secado y aumenta el riesgo de pudrición.

Aparecen entre la corta y el almacenamiento, en condiciones de temperatura entre 24 y 35 °C y una humedad superior al 30%.



**Figura 16.** Coloración producida por los Hongos cromógenos en tabla de pino caribe [11]

- **Hongos de pudrición.** Penetran en la madera mediante hifas y permanecen ocultos en ella, lo que hace muy difícil reconocerla hasta que ya sea tarde, cuando ya se han dado cambios de color o manifestaciones micelares. [11]

Al alimentarse de la pared celular disminuyen la resistencia de la madera, afectando considerablemente las propiedades mecánicas, especialmente a la resistencia elástica y dinámica.

Existen cinco tipos de ataques a la madera por los hongos:

*Pudrición cúbica o parda.* Es la más grave y peligrosa. En este tipo de ataque la celulosa (blanca) es destruida y la lignina (color marrón) queda como residuo haciendo que la madera se vuelva parda, frágil produciéndose grietas en tres direcciones (radial, tangencial y transversal) dejando cubos o formas paralelepípedas, prismáticas laminares, etc. El ataque de estos hongos favorece el ataque posterior de los insectos de ciclo larvario, generalmente los anóbidos.



**Figura 17.** Acción de la pudrición cúbica sobre un abeto [22]

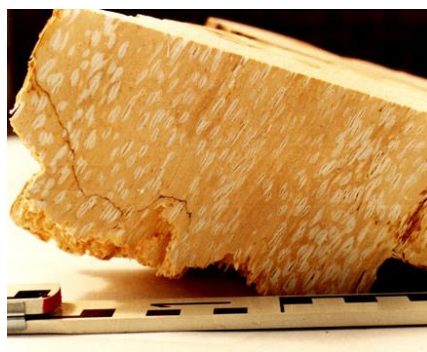
*Pudrición fibrosa o blanca.* Los hongos atacan la lignina por oxidación enzimática, pudiendo atacar en menor grado la celulosa. La madera toma una consistencia fibrosa y un color blanquecino (celulosa), dejándola muy reblandecida, con baja densidad. Como ejemplo podría citarse a *Fomes fomentarius* (hongo yesquero). Generalmente afecta más a las maderas de frondosas que a las de coníferas, debido a que estas últimas, tienen mayor contenido de lignina y ciertas hemicelulosas.

También se la suele llamar pudrición corrosiva o deslignificante.



**Figura 18.** Acción de la pudrición fibrosa o blanca [63]

*Pudrición alveolar.* Está caracterizada por la destrucción de la celulosa y de la lignina según los volúmenes tubulares dirigidos en el sentido de la madera que se ahueca con alveolos tapizados de micelio blanco. Como pueden ser el *Stereum songuinalentum* y *Ungulina annosa*.



**Figura 19.** Acción de la pudrición alveolar [62]



*Putridión blanda.* Se debe a los hongos que no pueden atacar la membrana primaria, rica en lignina, y que se sitúan en la membrana secundaria, donde sus hifas van desarrollándose siguiendo el trayecto de las fibras helicoidales de la celulosa. La madera se ablanda, tiene un aspecto esponjoso y cuando se seca se fisura según planos rectangulares. Este tipo de hongos suele atacar a madera rica con elevadas concentraciones de humedad, tanto en el ambiente como en la madera. Son frecuentemente los primeros en colonizar las maderas que hay en el suelo y están formados por especies de Ascomicetos.



**Figura 20.** Putridión blanda en un tronco de madera [40]

*Putridión carbonosa.* Está causado por hongos Ascomicetos (cerotocystis) que atacan sobre todo la madera de coníferas. La madera expuesta sin tratamiento previo a la intemperie presenta una tonalidad oscura, tornándose a un aspecto de madera quemada o carbonizada. La madera que se ve atacada por estos hongos posee una coloración característica, pero sus propiedades físicas no se ven muy modificadas.





**Figura 21.** Acción de la pudrición carbonosa [52]

En ambos tipos de hongos (cromógenos y de pudrición), el medio que necesitan para desarrollarse, debe presentar las siguientes condiciones:

- Humedad por encima del 18 %
- Temperatura por encima de 6 °C
- Oxígeno atmosférico

Aunque dependiendo del tipo de hongos, como de la madera, estos valores pueden variar.

Los factores que limitan el desarrollo de los hongos son:

- Medio ácido. Los hongos son muy resistentes a los ácidos, soportando PH que oscilan entre 2 y 7; sin embargo, son muy sensibles a los ácidos tánicos abundantes en las frondosas como el roble y castaño.
- Humedad. Vital para el desarrollo de los hongos, ya que la pérdida de humedad significa la muerte del hongo. Eso sí, el exceso también es mortal para ellos ya que necesitan oxígeno y no pueden vivir en maderas saturadas de humedad.
- Temperatura. El intervalo de temperatura para el desarrollo de un hongo es bastante amplio, iniciándose en 3 °C y llegando a los 40 °C, siendo el óptimo 20-25 °C.

## Insectos

Los insectos que atacan la madera se denominan insectos xilófagos. Pueden causar importantes daños debido a las galerías que originan.

Los insectos xilófagos, se clasifican según su ciclo biológico en:

- ***Insectos Xilófagos Larvarios.*** Se incluyen:

*Líctidos (polillas).* Son insectos que viven a expensas de las sustancias de reserva, especialmente del almidón, ya que no pueden desdoblar la celulosa de la madera [68]. De tal forma, que las especies más perjudicadas son las que presentan mayor contenido en almidón como son: el roble, castaño, nogal, fresno y olmo. Generalmente los daños que producen son estéticos y no estructurales.



**Figura 22.** Líctidos [2]

*Anóbidos (carcoma fina).* Las larvas se alimentan de la celulosa de la pared celular. En este caso atacan todo tipo de madera, tanto de coníferas como de frondosas. Los daños que originan son mayores que las polillas, pero no llegan a ser daños estructurales.



**Figura 23.** Anóbidos [2]

*Cerambycids (carcoma gruesa)*. Las larvas se alimentan de la celulosa de la pared celular. Las galerías que generan este tipo de insectos son de mayor tamaño que los anteriores (6 mm de diámetro), por lo tanto, los daños que producen afectan a la estructura de la madera, llegando a debilitarla.

**Figura 24.** Cerambycids [2]

- ***Insectos Xilófagos Sociales.*** Pertenecen este grupo:

*Termitas.* Se alimentan de la celulosa y de la lignina contenida en la albura y duramen, realizando galerías en dirección de la fibra. Son insectos que atacan de manera colectiva, por lo que los daños que producen son muy importantes, siendo la plaga más peligrosa de la madera. Al necesitar humedad para vivir, llevan esta desde el suelo o zonas húmedas hasta la madera, de tal forma que pueden atacar a maderas húmedas o secas.

**Figura 25.** Madera atacada por colonias de termitas [2]

Los factores que limitan el desarrollo de los insectos xilófagos son:

- Contenido de humedad de la madera: Los hay que atacan a las maderas secas, pero atacan sobre todo las maderas húmedas.
- Temperatura: Cuando más elevada sea la temperatura, mayor es la actividad de estos insectos
- Especie de madera: Existen insectos que atacan maderas de coníferas, otros de frondosas y otros indistintamente a ambas.
- Presencia de hongos: Algunos de estos insectos atacan a maderas que previamente han sido atacadas por hongos.

#### 4.2.3 Tratamiento de la madera frente a agentes bióticos

Se ha de tener presente que la madera cuanto más dura es menos sensible es al ataque de hongos e insectos. En la Tabla 4 encontramos las especies más resistentes frente a los hongos y los insectos:

NIVEL DE RESISTENCIA	TIPO DE MADERA
<b>Totalmente resistentes</b>	Palo de oro, Angelique, Palo de hierro, Guayacán, Greenheart, Sándalo, Asvark Arma, Red Serayah, Caoba de Tabasco, Teca
<b>Totalmente resistentes – Resistente en condiciones normales</b>	Acacia, Castaño, Cedro asiático, Pino Americano, Pino bronco, Bocapí, Caoba de Venezuela, Ciprés, Red Ciprés, Tejo, Taxo
<b>Resistente en condiciones normales</b>	Cedro del Atlas, Cedro de Oregón, Nogal venenoso, Ébano (Índico, Africano), Merbau, Ipil, Nogal negro, Enebro, Mora, Embero, Nogal de África, Sándalo rojo de India, Padouk, Palo rojo, Robinia, Caoba de Cuba, Tuya, Pino Hemlock
<b>Resistente en condiciones normales – Temporalmente resistente</b>	Nogal, Alerce, Abacchí, Samba
<b>Temporalmente resistente</b>	Abeto oloroso (americano), Chengal, Cedeira, Árbol de la niebla, Palo de Cuba, Palisandro, Mora, Alerce (Melis), Akoga, Tibikushi, Letterwood

**Tabla 4.** Especies más resistentes frente a los hongos e insectos [36]

Las maderas pertenecientes al primer nivel, son maderas muy duras.

Como la resistencia a la intemperie está relacionada con el ataque de los hongos e insectos, podemos clasificar las diferentes especies según su durabilidad si son expuestas a la intemperie:

DURACIÓN	TIPO DE MADERA	
<b>Muy duraderas</b>	Alerce	Ciprés
	Roble	Castaño
	Olmo	Morera
	Pino Oregón	Robinia
	Tejo	Nogal
	Cedro amarillo	Catalpa
	Ébano	Eucalipto
	Moa	
<b>Bastante duraderas</b>	Abeto rojo	Haya
	Pino silvestre	Fresno
	Pinabete	
<b>Poco duraderas</b>	Arce	Aliso
	Chopo temblón	Hicoria
	Abedul	Tilo
	Castaño de Indias	Chopo
	Sauce	

**Tabla 5.** Resistencia de algunas maderas expuestas a la intemperie [25]

### Composición de los tratamientos preventivos

Independientemente de los tratamientos químicos preventivos, han de considerarse una serie de medidas preventivas que potencian la durabilidad natural de la madera y así evitar o reducir trabajos posteriores de restauración y mantenimiento.

Estas medidas incluyen:

- Contenido en humedad inferior al 20-22 % Un porcentaje mayor tiene como consecuencia que se produzca un ataque por hongos de pudrición y/o termitas.
- Las maderas expuestas al sol van a deteriorarse antes que las no expuestas. El sol provoca la degradación superficial de la madera volviéndola grisácea.
- Sellar con resina las rendijas o uniones de la madera para evitar que entre suciedad o agua.

Los tratamientos químicos preventivos constan de un componente básico (resina) y un solvente. Se clasifican en:

- Protectores hidrosolubles (principios activos son sales minerales disueltos en una solución acuosa)
- Protectores hidropersables (principios activos son compuestos orgánicos no solubles en agua contenidos en disolventes derivados del petróleo). Se incluyen: compuestos nitrados, clorados, organometálicos, organonitrogenados.
- Protectores orgánicos naturales (generalmente son las creosotas). La creosota es una mezcla de muchos compuestos, contiene principalmente hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), algunos de los cuales han sido considerados por el Comité de Evaluación de Riesgos de la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos como persistentes, bioacumulativos y tóxicos. [62]. Se originan por la combustión de la madera, el carbón o la resina del arbusto “creosota”.
- Protectores en disolvente orgánico (principios activos son compuestos orgánicos de síntesis a los que se añaden resinas que van disueltos en disolventes orgánicos). Se incluyen: compuestos nitrados, clorados, organometálicos, organoestañosos y estañotributílicos.
- Protectores mixtos (principios activos son mezclas de sales minerales con productos de síntesis que se disuelven en agua).

La elección del tipo de protección depende del riesgo al que esté sometida la madera y de su durabilidad natural.

### **Composición de los tratamientos curativos**

El objetivo de los tratamientos curativos es detener la acción de los agentes que están provocando el deterioro y devolver, si es posible, las características originales de la madera, protegiéndola a su vez de ataques posteriores.

Generalmente estos tratamientos tienen un mayor coste que los preventivos, ya que es necesario una primera etapa de acción curativa y una posterior de carácter preventivo.

Los tratamientos curativos se clasifican según su composición química en:

- Protectores Hidrosolubles. Son los más empleados. Se incluyen: Arseniato de cobre cromado, cloruro de cinc cromado y los de boro.
- Protectores en disolvente orgánico. Se incluyen: fenoles clorados, ésteres de boro, estaño tributílico y compuestos de amonio cuaternario.

De forma general, tratamientos basados en cambio de PH o exposición a elevadas temperaturas podrían provocar la eliminación de muchos hongos o bacterias.

Sin embargo, el empleo de determinadas sustancias básicas o ácidas pueden disolver los elementos constitutivos (celulosa, lignina) y desfibrar la madera o degradarla de tal manera que quede inútil si no se controlan previamente. En la Tabla 6 y Tabla 7 se muestra la acción de los álcalis y los ácidos sobre la madera respectivamente.

<b>ÁLCALIS</b> <b>(la alcalinidad protege la madera contra los hongos)</b>	
Álcalis diluidos	- Resiste la acción pero se produce la disolución de algunos componentes: hidratos de carbono (maltosa, almidón) y saponificación de las posibles resinas
Álcalis concentrados	- Descomposición de pequeñas cantidades de lignina - Con el tiempo atacan las fibras leñosas
Álcalis concentrados + Altas Tº y Presiones	- Ataque rápido - Intensa hinchazón - Así se obtiene la celulosa

**Tabla 6.** Comportamiento de la madera frente a los álcalis [25]

En el ataque ácido, las coníferas son más resistentes que las frondosas [25].

<b>ÁCIDOS</b> <b>(Las fibras se destruyen a partir de un pH ≤ 2)</b>	
Tipo de ácido	Capacidad resistiva
Piroleñoso	No
Acético	Hasta 50-80 %
Carbónico	Si
Cítrico Tánico Láctico Oxálico Salicílico	Si
Clorhídrico	Hasta 5 % casi todas, pero a partir del 15 % se destruyen todas
Fluorhídrico	A los vapores
Nítrico	Las coníferas resisten hasta el 5 %. Al 25 % se destruyen todas rápidamente
Sulfúrico	Hasta el 6 %. La madera de teca y el pinus rigida hasta el 20 %. Al 40 % se destruyen todas

**Tabla 7.** Comportamiento de la madera frente a los ácidos [25]

Otras sustancias como ciclohexanol, etilenglicol, alcohol bencílico, acetona, butanol, etc. disuelven la lignina.

### **4.3 RENDIMIENTO DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA PIRÓLISIS DE LA MADERA**

El desarrollo del presente tema, se llevó a cabo consultando los documentos del Anexo IV\_Tabla 4.

Las fracciones de líquido, sólido y gas generadas en la pirólisis van a estar determinadas por el proceso llevado a cabo.



En general van a depender del diseño de la planta, de las características de la madera y de los parámetros que se pueden variar en el proceso como son: la temperatura de la pirólisis, la velocidad de calentamiento y el tiempo de residencia de la madera en el reactor.

Asimismo, son también importantes, la presión empleada en el proceso, la composición del gas ambiente y de la presencia o no de catalizadores.

En gran variedad de artículos y publicaciones nos encontramos con similares composiciones dependiendo del tipo de proceso.

La siguiente tabla, elaborada consultando las siguientes fuentes: [43] y [63], muestra los diferentes rendimientos de los productos obtenidos según las condiciones del proceso:

PROCESO		RENDIMIENTO DE PRODUCTOS (% en masa)			CONDICIONES
		Líquido	Carbón	Gas	
PIRÓLISIS	CARBONIZACIÓN	20-30	30-40	30-40	Tiempo de residencia: Días Velocidad de Calentamiento: Muy lenta (0.1-1 °C/s) Temperatura final: 400-500°C. Atmósfera inerte
	CONVENCIONAL	40-50	10-20	20-30	Tiempo de residencia: 5-30min. Velocidad de Calentamiento: Lenta (<2°C/s) Temperatura final: 600°C. Atmósfera inerte
	RÁPIDA	65-75	10-15	10-20	Tiempo de residencia: <2s Velocidad de Calentamiento: Muy rápida (10-200°C/s) Temperatura final: 650°C. Atmósfera inerte

	<b>FLASH</b>	5-10	20-30	50-70	Tiempo de residencia: <1s Velocidad de Calentamiento: Rápida (>1000°C/s) Temperatura final: 1000°C. Atmósfera inerte
	<b>GASIFICACIÓN</b>	0-5	5-10	85-95	Temperatura final: 800- 1000°C. Condiciones levemente oxidantes
	<b>COMBUSTIÓN</b>	0	0-5	95- 100	Temperatura final: 700- 900°C. Condiciones muy oxidantes

**Tabla 8.** Rendimientos de los diferentes procesos utilizados para la degradación de la biomasa

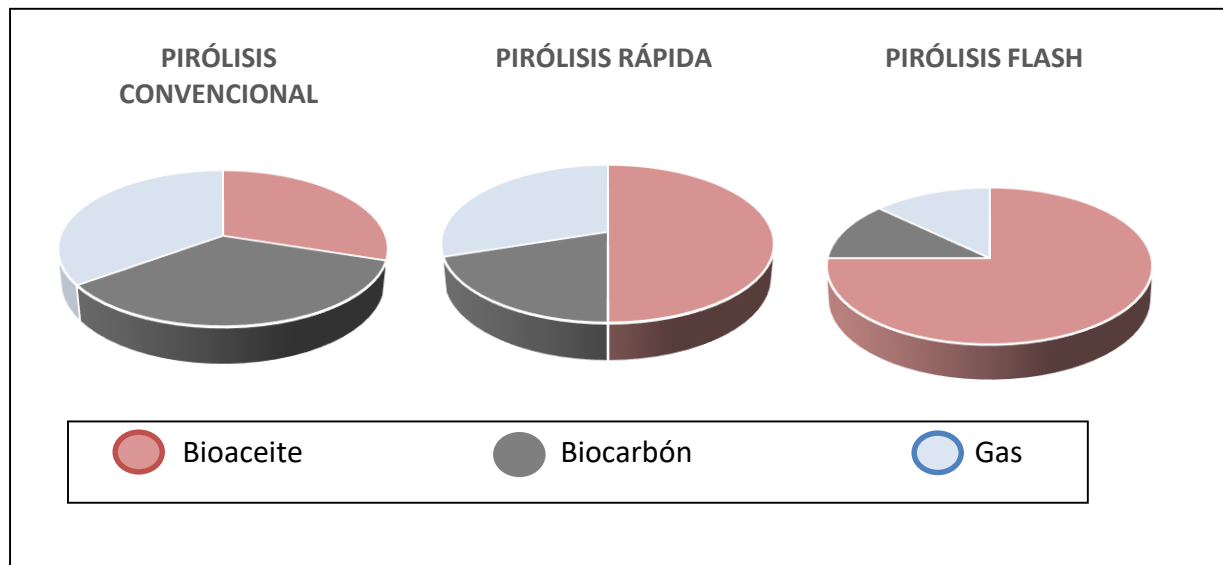
El objetivo de la carbonización es obtener un rendimiento elevado de producto sólido.

En la pirólisis convencional tiene lugar a una velocidad de calentamiento lenta, con una temperatura final de 600 °C, lo que da lugar a que los rendimientos de los tres productos sean similares.

La pirólisis rápida es el proceso más conveniente si lo que se quiere conseguir es un rendimiento elevado de líquido. Se lleva a cabo a una velocidad de calentamiento elevada, junto a un enfriamiento rápido lo que provoca que la condensación de la fracción líquida se produzca sin que se lleven a cabo reacciones de craqueo de los compuestos de elevado peso molecular [63].

Cuando el proceso se lleva a cabo a temperaturas muy elevadas (1000 °C) el rendimiento de los productos gaseosos es mucho mayor (pirólisis flash, gasificación y combustión).

De forma gráfica podemos observar los rendimientos obtenidos en los productos del proceso de pirólisis en la Figura 26:



**Figura 26.** Gráfico circular de los rendimientos obtenidos en la pirólisis convencional, rápida y flash [33]

Se observa que, variando la temperatura y velocidad de calentamiento, los rendimientos de los productos obtenidos cambian considerablemente. Así, en calentamientos rápidos y tiempos de residencia cortos, obtenemos elevados porcentajes líquidos. En cambio, velocidades de calentamiento menores y tiempos de residencia mayores darán como resultado porcentajes de sólidos muy elevados, el caso más extremo es la Torrefacción, con un 85-90 % de sólidos.

Si se desea maximizar la conversión de los gases combustibles resultantes, el proceso se realiza a altas temperaturas, baja rampa de calentamiento y largos tiempos de residencia de los gases.

Concretamente para aumentar la producción de líquido, se ha de partir de un proceso de pirólisis rápida, en ella se han de cumplir cuatro condiciones importantes: velocidad de calentamiento muy rápido, temperatura de reacción entre 425 a 650 °C, tiempo de residencia corto (< 2 s) del vapor en el reactor y enfriamiento rápido del gas.

La producción de líquido también se ve favorecida empleando tamaños de partícula pequeños, ya que ayudan a obtener altas velocidades de transferencia de energía hacia la

partícula y disminuyen la probabilidad de que se produzcan reacciones secundarias gas-sólido que tienden a la formación de gases no condensables.

Asimismo, debido a las diferencias estructurales de la madera, cada componente de la misma se descompone a intervalos de temperatura diferentes. La celulosa es más resistente a la descomposición térmica que la hemicelulosa, mientras que la lignina es más difícil de descomponer que la celulosa y la hemicelulosa. Por tanto, los rendimientos en la producción de biocarbón son mayores cuanto mayor proporción de lignina nos encontremos.

#### 4.4 COMPOSICIÓN DE LAS FRACCIONES OBTENIDAS EN EL PROCESO DE PIRÓLISIS DE LA MADERA

Para el desarrollo del contenido de este apartado, las fuentes consultadas más representativas se presentan en el Anexo V\_ Tabla 5.

Previo a la pirólisis, se realiza un análisis elemental para determinar la concentración de C, H, O, N y S que se encuentra en la madera sin tratar. Este análisis se realiza generalmente mediante un cromatógrafo de gases que determina los contenidos porcentuales de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre, como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> respectivamente.

La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de diferentes tipos de madera. Se han recogido de los siguientes artículos: [15] [28], [29], [59], [72]:

TIPO DE MADERA	ANÁLISIS ELEMENTAL				
	C (peso %)	H (peso %)	N (peso %)	O (peso %)	S (peso %)
MADERA DE EUCALIPO	48.65	6.16	0.28	44.91	-
MADERA DE HAYA	50.8	5.9	0.3	42.9	0.02
MADERA DE PAULOWNIA	44.73	6.12	0.87	48.28	-
MADERA DE PINO BRUTIA	50.18	5.41	0.45	43.96	-
MADERA DE PINO RADIATA	49.3	6.42	0.04	42.5	0.09
MADERA DE BAMBOO	39	6.1	0.6	54	0.018

**Tabla 9.** Análisis Elemental de diferentes tipos de madera [55].

Se observa que la madera, al igual que la biomasa en general, está formada en su mayor parte por C y O, y en menor medida por H, N y S.

Se ha de realizar también un análisis inmediato o proximal de la madera. Incluye:

- *Contenido de humedad.* Es la humedad higroscópica o absorbida que contiene la muestra.
- *Cenizas.* Son el residuo inorgánico (sustancias minerales como arcillas, sílice, óxidos de calcio y magnesio, etc..) que permanece después de la combustión. Estarán presentes en el biocarbón generado tras el proceso de pirólisis, y por ello son una medida de la calidad del mismo. Así, a mayor contenido de cenizas, menor poder calorífico.
- *Material volátil.* Componentes liberados en forma gaseosa al calentar la muestra a 900 °C en ausencia de aire durante 7 min.
- *Carbono fijo.* El carbono fijo o sin combinar, es la fracción residual de carbono pirolizado que queda después de la determinación de la humedad, material volátil y cenizas. Es de hecho, una medida del combustible sólido después de la eliminación de la materia volátil [79]. Es utilizado como base para la caracterización del carbón en relación a su utilización.

Se calcula por diferencia [35]:

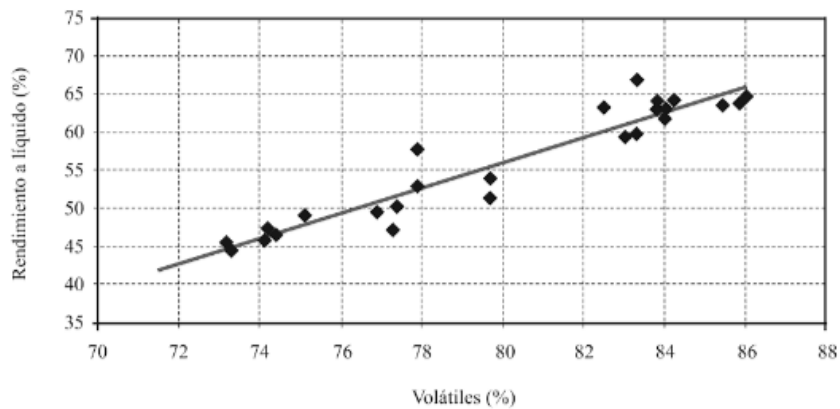
$$\text{Carbono Fijo} = 100 - \text{Humedad} - \text{Materias volátiles} - \text{Cenizas}$$

Un elevado porcentaje de carbón fijo y materia volátil incrementan el valor del poder del combustible [71].

El análisis inmediato o proximal, se realiza mediante análisis termogravimétrico (TGA), para ello la muestra se somete a una temperatura creciente en una termobalanza. Se va registrando el peso en función de la temperatura y el tiempo, generalmente en atmósfera inerte.

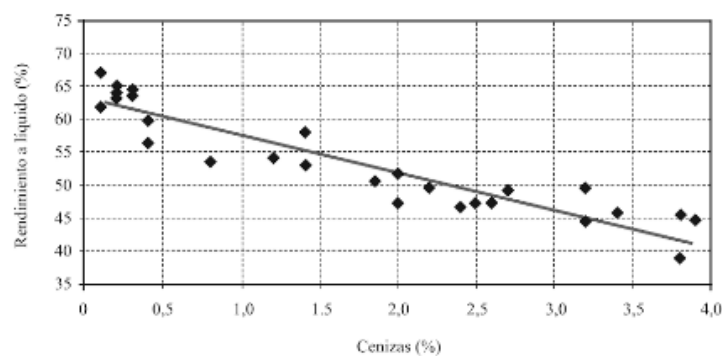
Este análisis, da una idea de los rendimientos que se van a obtener de los productos tras el proceso de pirólisis.

Así, el contenido en volátiles obtenido da idea del rendimiento de los líquidos y gases que se generará. Se obtendrá mayor rendimiento de líquido cuanto mayor sea la cantidad de volátiles [58] como aparece en la Figura 27.



**Figura 27.** Correlación entre el contenido de volátiles y el rendimiento del líquido obtenido en la pirólisis de biomasa lignocelulósica [58]

La presencia de un elevado contenido en cenizas, y en especial de metales alcalino y alcalinotérreos, favorece el craqueo catalítico de los vapores obtenidos en la pirólisis, disminuyendo el rendimiento de líquido [58]. (Figura 28)



**Figura 28.** Correlación entre el contenido de cenizas y el rendimiento del líquido obtenido en la pirólisis de biomasa lignocelulósica [58]

El contenido de carbono fijo y de cenizas, se estima el rendimiento del biocarbón obtenido.

A continuación, en la Tabla 10, se muestran algunos ejemplos de maderas en las que se ha realizado el análisis inmediato o proximal. Se han obtenido de los artículos: [18], [31], [32], [74], [92] y [94].

TIPO DE MADERA	ANÁLISIS PROXIMAL			
	Humedad madera seca (%)	Cenizas (%)	Mat. Volátil (%)	Carbono Fijo (%)
MADERA DE EUCALIPO	7.73	0.98	74.91	16.38
MADERA DE HAYA	6	0.4	85.3	14.3
MADERA DE PAULOWNIA	6.5	1.06	71.8	20.64
MADERA DE PINO BRUTIA	3	1.3	72	26.67
MADERA DE PINO RADIATA	7.1	0.4	84.6	13.9
MADERA DE BAMBOO	9.37	2.57	70.31	17.75

**Tabla 10.** Análisis Proximal de diferentes maderas

Un contenido en humedad reducido (10-15 %), evita problemas en la combustión y reduce la cantidad de energía necesaria en el proceso. Los datos mostrados en la tabla parten de una madera que ha sido sometida a un tratamiento previo de secado.

La composición de los tres productos tras el proceso de pirólisis se muestra a continuación.

#### 4.4.1 Fracción Sólida

La fracción sólida es el material que denominado biocarbón (procede de los términos en inglés: char y biochar).



**Figura 29.** Fracción sólida generada durante la pirólisis [64]

Aunque su obtención es similar a la producción de carbón vegetal, su finalidad es diferente, por ello no se suele definirse como tal. Es un material poroso, de color negro, resistente a la descomposición, (desmineralización), usualmente alcalino, con una superficie intrincada y desordenada, cuyas características estructurales varían por el tipo y tiempo de la pirólisis,

compuesto principalmente de carbono, materiales orgánicos, cenizas y alguna fracción de material volátil.

La degradación térmica de la celulosa (300-400 °C) origina una elevada pérdida de masa en forma de volátiles (vapores de agua y alquitrán, hidrocarburos, ácidos, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO y CO<sub>2</sub>) dejando una matriz rígida de carbono amorfo. A medida que aumenta la temperatura, se incrementa también la proporción de carbono aromático presente en el biocarbón, debido a la pérdida de materia volátil y la conversión de carbonos, de oxialquilos a arilos y oxiarilos cuyas estructuras son semejantes a la del furano.

En la caracterización de la fracción sólida, se emplean los mismos parámetros vistos en la madera en origen, se realiza un análisis elemental y un análisis proximal.

Como ejemplo la Tabla 11, ha sido extraída del trabajo realizado por Pérez, L. (2016). El proceso de pirólisis empleado ha sido el convencional, con unas condiciones de temperatura de 475 °C y una velocidad de calentamiento de 5 °C/min.

Se observa el análisis realizado al producto sólido de cuatro especies de madera diferentes. Incluye además el valor del poder calorífico del biocarbón obtenido.

	ESPECIE			
	Álamo	Castaño	Platanero	Tilo
<b>ANÁLISIS ELEMENTAL</b>				
<b>C (%)</b>	79.97	82.79	82.67	78.81
<b>H (%)</b>	2.85	2.60	3.10	2.80
<b>N (%)</b>	1.46	1.19	1.08	1.12
<b>O (%)</b>	8.61	10.61	6.36	5.30
<b>S (%)</b>	0.03	0.04	0.07	0.04
<b>ANÁLISIS PROXIMAL</b>				
<b>Humedad (%)</b>	4.07	5.43	4.21	4.80
<b>Cenizas (%)</b>	7.06	8.48	6.72	11.93
<b>Materia volátil (%)</b>	21.93	22.49	22.64	26.58
<b>Carbono fijo (%)</b>	71.0	69.03	70.6	61.49
<b>PODER CALORÍFICO</b>				
<b>PCS (kcal/kg)</b>	6918	6865	7242	6885

**Tabla 11.** Composición química del biocarbón obtenido en la pirólisis [64]



Destaca la madera de tilo por su elevado contenido en cenizas, en consecuencia, tiene una cantidad menor de materia orgánica, como se refleja en el carbono fijo.

Durante el proceso de pirólisis se produce un enriquecimiento en carbono, que conlleva al aumento del poder calorífico de estos productos sólidos respecto de la madera en origen [64].

El rendimiento de obtención del biocarbón disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura y la velocidad de calentamiento de la madera. [75]

Otro factor que influye es la proporción de hemicelulosa, celulosa y lignina en la madera. La lignina, como hemos visto anteriormente, es el componente más resistente a la degradación térmica, y, en consecuencia, el rendimiento de biocarbón será mayor con elevado contenido en lignina.

Por tanto, las condiciones favorables para obtener una mayor proporción de biocarbón son:

- Bajas temperaturas de proceso
- Velocidad de calentamiento lenta
- Mayor contenido en lignina (coníferas)

#### **4.4.2 Fracción Gaseosa**

Los gases que no han condensado en el proceso de pirólisis forman parte de la fracción gaseosa o biogás.

Durante la primera etapa de la pirólisis se produce la liberación progresiva de volátiles. Los principales compuestos se producen a partir de la ruptura térmica de los enlaces químicos de los componentes individuales de la biomasa, celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos [20], [48].

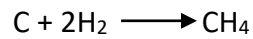
Los compuestos liberados incluyen:

- Gases ligeros: H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO y CH<sub>4</sub>
- Gases condensables: compuestos orgánicos y agua

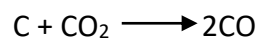
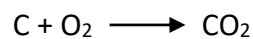
Si la pirólisis se produce a elevadas temperaturas algunos de los volátiles liberados dentro de la partícula pueden participar en gran variedad de reacciones secundarias.

La formación de gases ligeros se produce a través de las siguientes etapas:

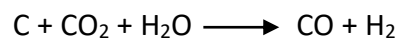
1ª Formación de CH<sub>4</sub> a partir del carbono del biocarbón:



2ª Formación de óxidos a partir del carbono del biocarbón:



3ª Formación de H<sub>2</sub> y CO a partir del carbono del biocarbón:



Estas reacciones forman el denominado Gas de Síntesis (mezcla de CO y H<sub>2</sub>).

La Tabla 12 muestra la composición del gas producido en una pirólisis convencional de diferentes especies de maderas a 475 °C y una velocidad de calentamiento lenta de 5 °C/min.

COMPOSICIÓN (% en volumen)	ESPECIE			
	Álamo	Castaño	Platanero	Tilo
CO	32.1	31.1	33.3	30.8
CO <sub>2</sub>	54.9	63.1	61.2	62.1
H <sub>2</sub>	0.6	0.4	0.2	0.3
CH <sub>4</sub>	8.2	3.4	3.4	4.3
Etano	1.4	0.6	0.5	0.7
Etileno	0.6	0.3	0.2	0.3
Propano	0.5	0.2	0.2	0.2
Propileno	0.5	0.2	0.2	0.3

**Tabla 12.** Composición del gas obtenido por pirólisis convencional [64]

Los óxidos de carbono, CO y CO<sub>2</sub>, son los compuestos mayoritarios de la fracción gaseosa, constituyendo entre un 80 y 90 % de la misma.

Los tres componentes de la madera, celulosa, hemicelulosa y lignina, contribuyen a la formación de gases no condensables, aunque en menor medida. [64]

En la Tabla 13, podemos si ver la composición de las diferentes especies:

BIOMASA	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Extraíbles (%)
Álamo	43.34	19.45	16.97	17.47
Castaño	41.71	24.37	18.16	12.28
Platanero	44.32	23.87	18.46	11.60
Tilo	48.05	21.55	15.66	11.59

**Tabla 13.** Composición de las diferentes especies de madera [64]

La presencia de CO<sub>2</sub> en la fracción gaseosa se debe sobre todo a hemicelulosa, se produce principalmente por la ruptura y reconstitución de los grupos carbonilo, ácidos carboxílicos, ésteres, anhídridos.

La presencia de CO, se debe sobre todo a la hemicelulosa, pero también, aunque en menor proporción a la celulosa por la ruptura de grupos tipo éter.

La lignina al descomponerse en un rango de temperaturas muy amplio, contribuye a la formación de H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e hidrocarburos con más átomos de carbono [8], [40], [46] [77].

Si nos centramos en el caso concreto de la madera de álamo, se observa que la proporción de hemicelulosa es menor en comparación con las demás maderas, y al ser el principal generador de CO<sub>2</sub>, vemos en la Tabla 11, que la concentración de éste es también menor.

#### 4.4.3 Fracción Líquida

Se han realizado varios estudios enfocados al análisis de la composición del líquido piroleñoso y se ha encontrado que este varía con el tipo de madera empleada y el proceso de pirólisis. De acuerdo con Mohan et al. (2006) existen otros parámetros que afectan a las características físicoquímicas de la fracción líquida como son, la especie, edad y la parte de la planta utilizada, además, aunque en menor medida influye el clima, la composición mineral del subsuelo y otras variables agroecológicas.

Los líquidos de pirólisis son mezclas de multitud de componentes de diferentes tamaños moleculares y derivados de la despolimerización y fragmentación de la celulosa, hemicelulosa y lignina [95]. Sin embargo, es importante destacar que la composición cualitativa del líquido es la misma, sea cual sea la madera o mezcla de maderas empleadas en el proceso.

Para realizar un estudio detallado que permita deducir el empleo del líquido de pirólisis en determinados campos, es necesario analizar su composición.

Sin embargo, los líquidos de pirólisis presentan una composición con más de 300 compuestos diferentes. De forma genérica, los componentes típicos se muestran en la siguiente tabla:

COMPONENTES	VALORES TÍPICOS (%)
Agua	27
<b>Orgánicos Solubles en éter</b> (Aldehídos, Cetonas y Monómeros de Lignina)	21
<b>Ácidos Volátiles</b> (principalmente acético)	5
<b>Orgánicos Insolubles en éter</b> (Anhidroazúcares, anhidrooligómeros, hidroácidos)	28
<b>Derivados de la lignina, productos de polimerización y sólidos</b>	15
<b>Extractivos</b> (orgánicos solubles en n-hexano)	4

**Tabla 14.** Componentes típicos del bioaceite [20]

El humo de pirólisis es condensado (enfriado) en forma de líquido. Entonces el condensado se separa y refina en alquitrán, vinagre de madera y Bioaceite:

- Alquitrán o Tar. Es la fracción sólida, formada por partículas de biocarbón.

- Vinagre de madera o Ácido piroleñoso. Es la fracción acuosa, depende de la humedad original de la madera, del tipo de pirólisis llevada a cabo, del agua de constitución y de los productos de reacción solubles en medio acuoso. La fase acuosa está formada por compuestos oxigenados como el ácido acético, ácido fórmico y otros compuestos de bajo peso molecular [43]
- Bioaceite. Presenta compuestos orgánicos insolubles de elevado peso molecular, como fenol, pirocatecol, guayacol, cresol, metilcresol, tolueno, xileno, naftaleno y otros hidrocarburos [43]

El color del bioaceite suele ser marrón oscuro, aunque puede ser negro dependiendo de la madera y de las variables del proceso. Este color es debido a la presencia de micro-carbón y la composición química. Tiene un olor acre característico del humo de madera debido a los aldehídos de bajo peso molecular y ácidos.

El ácido piroleñoso es la fase más abundante en la pirólisis convencional. Si se quieren separar ambas fases, el líquido de pirólisis es filtrado por decantación. [43]

Al consultar los documentos relativos al líquido de pirólisis, puede surgir gran confusión con las nomenclaturas que se utilizan:

- En varias publicaciones consultadas referidas a la pirólisis rápida como Bridgwater, A.V, (1999), Castillo, E.F. (2008), encontramos que se refieren al líquido de pirólisis como aceite de pirólisis, bioaceite o biocrudo.
- En otras publicaciones, referidas a la pirólisis convencional como son de Kung, C.C. (2013), Hernández Mena, L.E. (2014), Stamatov, V. (2005), el líquido de pirólisis es también definido como bioaceite.
- Aparecen también otras publicaciones, referidas al proceso de pirólisis convencional, donde el término empleado es ácido pirolítico o vinagre de madera.

La Figura 30, muestra la imagen del líquido de pirólisis comercial obtenido con la pirólisis convencional.



**Figura 30.** Vinagre de pirólisis comercial [30]

La diferencia de la intensidad de color que va del amarillo al marrón amarillento, se debe al incremento de la temperatura y al tipo de madera empleada [3].

La Figura 31, muestra el líquido obtenido por pirólisis rápida, como se observa tiene una densidad mayor que el líquido obtenido por pirólisis convencional.



**Figura 31.** Aceite de pirólisis rápida [60]

Ambas fases forman una mezcla heterogénea. Esta mezcla, contiene gran cantidad de compuestos oxigenados, producto de la desfragmentación de la celulosa, hemicelulosa y lignina. Los productos de degradación de la celulosa incluyen ácidos orgánicos, como el ácido fórmico y ácido acético que son los que dan al líquido de pirólisis un pH bajo.

He seleccionado un artículo de Părpăriță (2014), donde cita los principales componentes identificados en la fracción líquida mediante cromatografía de gases/masas (GC-MSD) de varios ejemplos de biomasa. Aparecen en la Tabla 15.

Para simplificar las nomenclaturas de las biomásas estudiadas, se han empleado las siguientes abreviaturas: Serrín de Eucalyptus globulus (EG), Abeto de Noruega (NS), Hierba (EnG), Brassica rapa (planta) (BR), Piñas (PC), Semillas de uva (GS).

Compound	Rt (min)	Area (%)					
		EG	NS	EnG	BR	PC	GS
<b>Acids</b>		<b>19.93</b>	<b>9.31</b>	<b>18.95</b>	<b>2.56</b>	<b>4.19</b>	<b>2.01</b>
Acetic acid	2.89	18.72	8.62	16.50	2.20	3.80	1.92
Propanoic acid	3.673	0.82	0.33	0.05	1.66	0.29	0.09
Butanoic acid	4.929	0.19	0.21	0.79	0.15	0.10	–
Crotonic acid	5.614	0.20	0.15	–	0.16	–	–
<b>Aldehydes</b>		<b>8.12</b>	<b>3.24</b>	<b>4.05</b>	<b>2.35</b>	<b>2.20</b>	<b>0.50</b>
Propanal	4.573	0.44	–	–	–	–	–
Furfural	5.514	7.68	3.24	4.05	2.35	2.20	0.50
<b>Non-aromatic ketones</b>		<b>3.48</b>	<b>3.57</b>	<b>6.69</b>	<b>1.61</b>	<b>1.73</b>	–
<b>Furans</b>		<b>4.24</b>	<b>5.21</b>	<b>6.04</b>	<b>3.45</b>	<b>2.09</b>	<b>3.04</b>
3-Furaldehyde	5.127	0.19	0.38	0.18	0.19	0.13	–
2-Furanmethanol	5.891	1.70	2.37	4.40	2.49	0.32	0.53
1-(2-Furyl)ethanone	6.871	0.29	0.40	0.52	0.41	0.22	–
5-Methyl-2(5H)-furanone	7.414	0.07	–	–	–	–	–
5-Methyl-2-furan carboxaldehyde	7.798	1.33	1.39	0.43	0.36	0.93	0.17
2-Pentyl-furan	8.260	–	–	–	–	–	1.33
2-Acetyl-5-methylfuran	9.058	0.08	–	–	–	0.07	–
7-Methylbenzofuran	10.151	0.18	0.54	0.28	–	0.22	–
2-Methylbenzofuran	10.231	0.10	0.13	0.23	–	0.20	1.01
<b>Phenols</b>		<b>2.91</b>	<b>7.53</b>	<b>7.43</b>	<b>4.16</b>	<b>5.36</b>	<b>9.85</b>
Phenol	8.099	0.12	1.40	2.61	0.77	1.56	2.17
2-Methylphenol	9.328	0.57	1.18	1.26	0.70	0.07	1.78
3-Methylphenol	9.670	0.90	1.94	2.01	1.25	1.94	2.52
2,6-Dimethylphenol	10.189	0.29	0.65	0.27	0.36	0.19	–
2-Ethylphenol	10.677	–	0.31	0.86	0.16	0.19	2.24
3,5-Dimethylphenol	11.127	0.48	1.52	–	0.43	0.74	–
2,3-Dimethylphenol	11.276	0.19	0.42	0.23	0.26	0.49	0.81
2,3,6-Trimethylphenol	11.684	0.36	0.11	0.19	0.23	0.18	0.33
<b>Guaiacols</b>		<b>4.86</b>	<b>7.72</b>	<b>3.78</b>	<b>5</b>	<b>5.64</b>	<b>4.74</b>
Guaiacol	9.920	0.72	2.42	1.44	1.43	1.83	3.69
4-Methylguaiacol	11.525	0.80	2.20	0.52	0.67	1.65	2.07
4-Ethylguaiacol	12.781	0.60	1.47	0.83	0.88	1.04	1.42
Syringol	13.797	2.38	–	0.59	1.38	–	0.21
Eugenol	13.871	–	0.61	–	0.32	0.44	–
Vanillin	14.480	0.16	0.62	0.16	0.32	0.28	–
5-(1-Propenyl)guaiacol	14.546	0.20	0.40	0.24	–	0.40	0.35
<b>Catechols</b>		<b>3.49</b>	<b>3.97</b>	<b>1.46</b>	<b>2.89</b>	<b>3.84</b>	<b>0.25</b>
Catechol	11.588	1.07	1.71	0.73	1.19	1.63	–
3-Methylcatechol	12.508	0.62	0.69	0.24	–	0.45	–
3-Methoxycatechol	12.563	1.02	–	0.15	0.90	–	–
Hydroquinone	12.723	0.14	0.06	–	–	0.12	–
4-Methylcatechol	12.923	0.41	1.27	0.22	0.42	1.45	–
3,5-Dihydroxytoluene	13.688	0.23	0.24	0.12	0.38	0.19	0.25
<b>Total area (%)</b>		<b>47.35</b>	<b>40.55</b>	<b>49.4</b>	<b>22.02</b>	<b>25.05</b>	<b>20.39</b>

**Tabla 15.** Compuestos químicos característicos del bioaceite [13]

La biomasa forestal (eucalipto y abeto) se obtiene una mayor cantidad de ácidos carboxílicos, cetonas y furanos y menor cantidad de fenoles que la biomasa procedente de la agricultura (Hierba (EnG), Brassica rapa). La distribución de los componentes en el líquido de pirólisis depende en gran medida del tipo de biomasa utilizada.

Se observa que los principales productos obtenidos son ácidos carboxílicos, cetonas, furanos, fenoles, guaiacoles, catecoles y sus derivados.

El ácido acético y el ácido furfural aparecen en cantidades más altas en eucalipto, abeto y hierba.

Los fenoles son encontrados en altas cantidades en hierba, Brassica rapa y semillas de uva.

Los catecoles se encuentran en mayor cantidad en el eucalipto, abeto y piña. Estos compuestos provienen de la degradación de lignina [13]

Además, como se ha visto anteriormente, el rendimiento y por tanto la composición obtenida del líquido de pirólisis difiere si se ha realizado una pirólisis lenta o rápida. En la siguiente tabla se realiza esta comparación:

Las características físicoquímicas del líquido de pirólisis se muestran en la Tabla 16:

PARÁMETRO	Fracción líquida obtenida por Pirólisis convencional a 500°C	Fracción líquida obtenida por Pirólisis rápida a 500°C
Fracción líquida (%)	52.8	75.0
Fracción sólida (%)	31.9	8.5
Fracción gaseosa (%)	11.3	10.9
Velocidad de calentamiento (°C/min)	13.7	-
Contenido en humedad (% peso)	48.2	20.8
PH	2.5	2.4
Viscosidad (cP)	1.1	53.8
Análisis Elemental (% masa base seca)	C	28
	H	9.38
	N	-
		0.07



	<b>O</b>	62.7	48.6
<b>Poder Calorífico Superior (MJ/kg)</b>		6.4	14.4

**Tabla 16.** Características de la fracción líquida obtenida por pirólisis convencional y rápida de madera de eucalipto [16]

La mayor diferencia se observa en la proporción de agua y en la densidad. El líquido obtenido por pirólisis lenta tiene un contenido mucho mayor de agua y, por tanto, su viscosidad se ve reducida considerablemente.

El agua es el componente fundamental del líquido de pirólisis, la mayor parte proviene de la humedad que presenta en origen la madera y hay otra parte originada en las reacciones del proceso de pirólisis. Esta humedad no se puede extraer por evaporación, por ello, es muy importante reducir ésta a un 8 - 10 % en la madera original.

La viscosidad es una medida de la resistencia a fluir de un líquido. En el caso de los bioaceites, es elevada, y aumenta con el tiempo, por lo que, normalmente se ha de reducir por calentamiento a temperaturas moderadas o por adición de disolventes polares, tales como metanol, etanol o acetona, que a su vez conllevan una disminución en el punto de inflamación del bioaceite.

Un parámetro a tener presente es la inestabilidad química que presenta [73]. Con el tiempo va aumentando la viscosidad, se incrementa el tamaño molecular medio y se produce una separación de ambas fases. Las reacciones de degradación que se producen son:

- Recombinación por reacción entre hidrocarburos insaturados
- Esterificación entre grupos carboxilos y carbonilos
- Esterificación entre grupos carbonilo e hidroxilo

La adición de disolventes polares (etanol, metanol) reduce esta inestabilidad química, permitiendo almacenar el bioaceite durante más tiempo.

La acidez del líquido de pirólisis se debe fundamentalmente a los ácidos volátiles, como son el ácido acético y el ácido fórmico. No hay ácidos fuertes como ácido clorhídrico o sulfúrico, sin embargo, los compuestos fenólicos incrementan también la acidez del líquido. [37]

El poder calorífico se correlaciona con el contenido en agua, el bioaceite, con menor contenido en agua, tiene un mayor poder calorífico que el vinagre de madera.

Como hemos visto anteriormente, para favorecer el rendimiento de producción de la fracción líquida, las condiciones del proceso deberán ser:

- Altas velocidades de calentamiento
- Temperatura media
- Tiempos de residencia de los vapores en el reactor del orden de 2 seg. Para evitar reacciones de craqueo de productos condensables.

#### **4.5 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA**

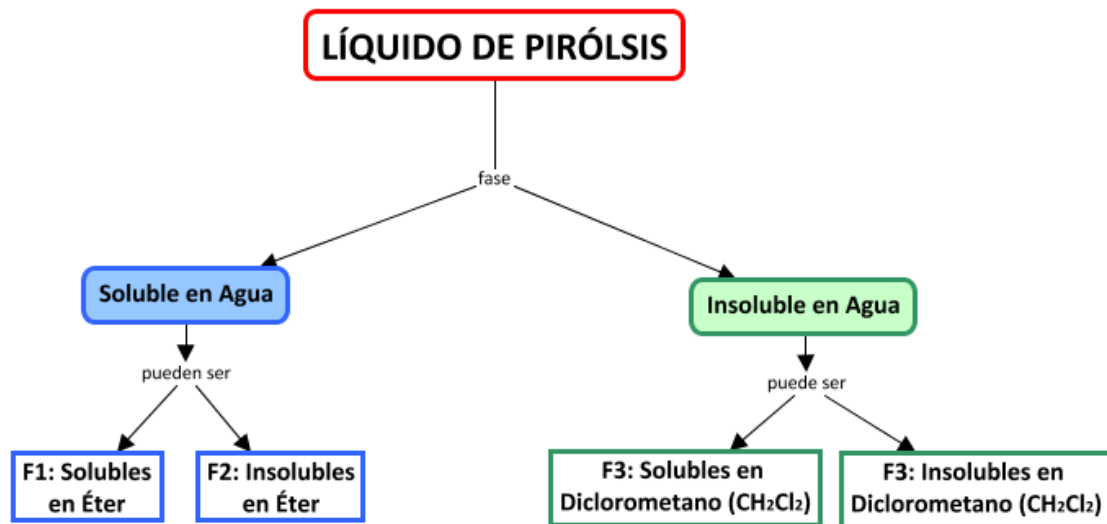
El contenido de este apartado se ha desarrollado consultando el material que se encuentra en el Anexo VI\_ Tabla 6.

Los compuestos orgánicos presentes, como el ácido acético, alcoholes, fenoles, furanos, aldehídos representan aproximadamente el 40 % del peso de la materia orgánica del líquido de pirólisis y son detectados comúnmente por técnicas de Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). [46]

En el 60 % restante emplean técnicas más complejas como son FT-ICR-MS (espectrometría de masas de resonancia ión-ciclotrón con transformada de Fourier) TGA-GC-MS (Cromatografía de gases y espectrofotómetro de masas), Py-GC-MS (Cromatógrafo de gases con detector de espectrometría de masas. [8], [27], [78].

Los carbohidratos, principalmente anhidroazúcares, son identificados por cromatografía líquida de alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS).

El siguiente esquema fue desarrollado [57], [77] para disponer de un método de comparación y seguimiento de los cambios químicos del líquido de pirólisis.



**Figura 32.** Esquema de fraccionamiento del líquido de pirólisis [57]

- Fracciones F1 (compuestos solubles en agua y en dietiléter)
- Fracciones F3 (compuestos insolubles en agua y solubles en diclorometano)

Ambas fracciones se pueden analizar por GC-MS.

- Fracción F2 (principalmente anhidroazúcares) se pueden analizar por HPLC-MS o por GC-MS previa transformación en sus TMS-derivados.
- Fracción F4 (compuestos de elevado peso molecular como biocarbón y lignina pirolítica) se pueden caracterizar con un pirolizador analítico acoplado a un GC-MS (Py-GC/MS)

De forma más general, se puede determinar:

- La distribución de los pesos moleculares, mediante cromatografía de permeación en gel (GPC)

- Los grupos funcionales, mediante espectroscopía de infrarrojos con transformada de Fourier (FTIR)
- Los tipos de hidrógeno, átomos de carbono o enlaces de determinados grupos estructurales, mediante resonancia magnética nuclear (RMN) [65].

Los ensayos normalizados para la caracterización físicoquímica del bioaceite, se muestran en la siguiente tabla. Se incluyen los valores de referencia para la clasificación de los bioaceites en grados G y D.

PROPIEDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS (ASTM)	GRADO G	GRADO D
Calor de combustión (MJ/kg) mín	ASTM D240	15	15
Contenido en agua (% masa) máx.	ASTM E203	30	30
Contenido en sólidos (% masa) máx.	ASTM D7579	2.5	0.25
Viscosidad cinemática a 40 °C (mm <sup>2</sup> /s) máx.	ASTM D445	125	125
Densidad a 20 °C (kg/dm <sup>3</sup> )	ASTM D4052	1.1-1.3	1.1-1.3
Contenido en azufre (% masa) máx.	ASTM D4294	0.05	0.05
Contenido en cenizas (% masa) máx.	ASTM D482	0.25	0.15
pH	ASTM DE70		
Punto de inflamación (°C) mín.	ASTM D93	45	45
Punto de fluidez (°C) máx.	ASTM D97		
Residuo de carbón	ASTM D189		
Análisis elemental CHN	ASTM D5373-93		
Contenido en azufre	ASTM 4239		
Contenido en oxígeno	Por diferencia de CHNS		
Acidez	ASTM D664		

**Tabla 17.** Métodos aplicables a la caracterización físicoquímica de los aceites [49]

Los grados G y D se refieren a una medida estandarizada de la calidad del bioaceite producido. Observando la Tabla 17, tenemos por ejemplo, un bioaceite de grado D, que tiene su máximo contenido en sólidos en 0.25 que uno de grado G con un máximo de 2.5. Por tanto, el bioaceite de grado D será de mejor calidad que el de grado G.

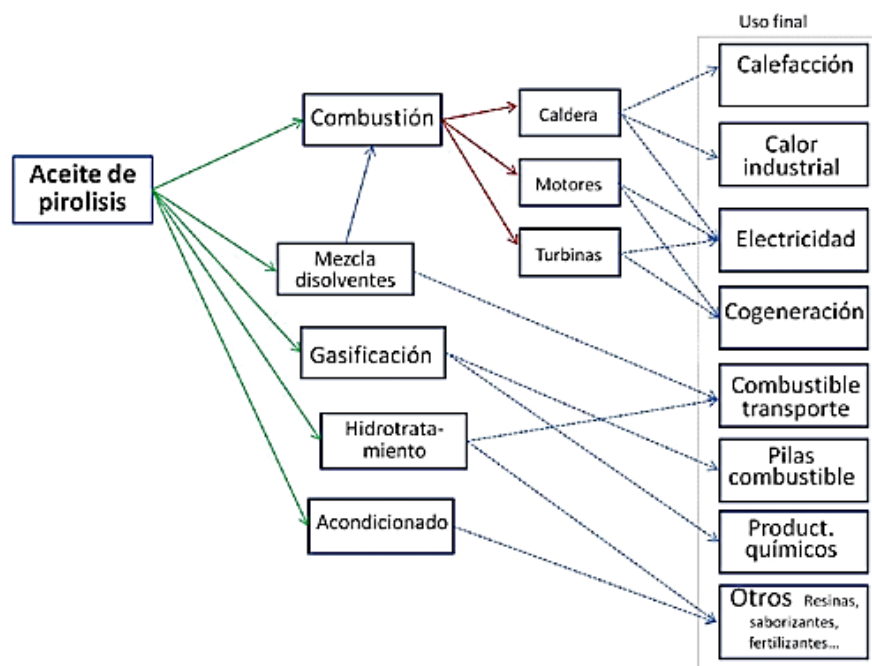
## 4.6 UTILIDADES DE FRACCIÓN LÍQUIDA OBTENIDA EN LA PIRÓLISIS DE LA MADERA

De acuerdo con el objetivo del trabajo, se van a describir las utilidades de la fracción líquida que hasta ahora encontramos en la bibliografía. La parte más representativa de ésta, se encuentra en el Anexo VII\_Tabla 7.

Las utilidades son función de la composición:

### Aplicaciones en la industria

- Los aceites de pirólisis contienen elevado contenido en oxígeno, alta humedad, poder calorífico bajo y alta acidez, estas características provocan que no se pueda utilizar directamente en la industria. La Figura 33 muestra las aplicaciones con mayor potencial de consumo y su tratamiento para su posterior utilización.



**Figura 33.** Distintas aplicaciones del bioaceite obtenido por pirólisis rápida [73]

### Aplicaciones en la agricultura

- En el líquido de pirólisis, la presencia de algunos terpenoides y fenoles, pueden actuar como insecticidas y fungicidas, previniendo la aparición de hongos.

Concretamente, en aplicación foliar, el fenol, cresol, alcoholes, ácido fórmico, ácido acético, formaldehído, metanol, tienen acción repelente frente a insectos, como ácaros y pulgones por su olor a humo. Tiene efecto como fungicida para los hongos oídio, moho gris, mildiu, pudrición blanda, podredumbre por clerotinia y marchites bacterial y activa el crecimiento de la planta. [39]

- El ácido fórmico de metilo y acetato de metilo, acelera la germinación y ayuda al desarrollo de los microorganismos que mejoran el suelo y la calidad del abono orgánico [34], [39].
- Aplicado al suelo, tiene la capacidad de reducir drásticamente el PH durante una semana actuando como fungicida, evitando la proliferación de nematodos, virus, moho gris, bacterias, etc. En esta elevada acidez el contenido en metanol y fenol tiene un fuerte efecto bactericida a elevada concentración. [10]
- En la generación de compost, se ha demostrado que aumenta el contenido de nitrógeno y acelera la fermentación. [56]
- Si se adiciona junto a un pesticida, se consigue obtener la misma capacidad, pero con la mitad de dosis de pesticida. [56]

### Aplicaciones en la Industria alimentaria

- La fracción soluble en agua del líquido de pirólisis es empleada por la empresa Red Arrow Products Company, como aditivo alimentario. También esta fracción puede ser utilizada para producir sales de calcio empleadas para deshelar carreteras. [53]
- Una fracción acuosa del líquido de pirólisis, el vinagre de madera, es empleado en el ahumado artificial y controlado de carnes. [53]

- Empleo del líquido de pirólisis para producir calor y electricidad en calderas, hornos, motores y turbinas de gas. [53]

Atendiendo a las fases más densas del líquido de pirólisis, nos encontramos con el alquitrán. Tiene una composición más simple, por lo que se han encontrado más aplicaciones [1]:

- El alquitrán procedente de la madera resinosa (color pardo y pardo anaranjado), que se distingue del alquitrán de madera no resinosa porque contiene además productos procedentes de la destilación de la resina (terpenos, aceites de resina, etc) es viscoso. Se emplea en marina para impregnar jarcias (cables y cabos), en la industria del caucho como plastificante, en la preparación de mástiques (tipo de masilla) y en farmacia.
- El alquitrán de madera no resinosa (líquido espeso de color pardo negruzco), se emplea principalmente para la obtención por destilación u otros procedimientos gran variedad de subproductos (creosota de madera, guayacol, etc.,)

Si se produce la destilación del alquitrán de madera se forma el aceite de alquitrán de madera. Está formado por [1]:

- Aceites ligeros que contienen hidrocarburos alifáticos, terpenos y cetonas superiores. Se emplean para la preparación de baños de desinfección del ganado lanar y de productos de pulverización para la horticultura.
- Aceites pesados, formados por hidrocarburos alifáticos y aromáticos, cetonas y fenoles superiores se utilizan para la impregnación de la madera y extracción de la creosota de madera.

El metileno extraído del bioaceite, es un líquido de color amarillento que contiene entre un 70 y 90 % de alcohol metílico, cantidades variables de acetona y de otras cetonas, además de impurezas (acetato de metilo, alcoholes superiores, productos alquitránados, etc.) Algunos tipos se emplean para desnaturalizar el alcohol etílico [1].

Como se observa, existe gran número de utilidades en diferentes ámbitos. Al ser muy compleja y numerosa la composición del líquido de pirólisis se continúa investigando sobre nuevas posibles aplicaciones.

Centrando el análisis en la fracción líquida obtenida por pirólisis convencional, hay publicaciones que demuestran la utilidad del vinagre de madera como fungicida, bactericida e insecticida. Sin embargo, son estudios que emplean diferentes tipos de biomasa. Los artículos de investigación que encontramos son los siguientes:

- Artículo realizado por Navas (2003). En el artículo se demuestra la actividad fungicida del ácido piroleñoso frente a varios tipos de hongos de pudrición de la madera. Así como la protección de la misma frente al ataque de termitas.
- Artículo realizado por Lee, et al. (2007). En este artículo se demuestra la actividad fungicida e insecticida del ácido piroleñoso procedente de madera de bambú y de madera de manglar.
- Artículo realizado por Wititsiri (2011). Encontramos un estudio realizado sobre la posible actividad pesticida y termítica del vinagre de madera obtenido de la cáscara de coco. Se encontró que el vinagre obtenido, con diferentes diluciones mantenía actividad termítica y pesticida, y además que la madera tratada con el vinagre y el alquitrán obtenido de pirólisis presentaba una acción `preventiva frente a las termitas.
- Artículo realizado por Salim, et al. (2014). Se demuestra la efectividad del vinagre de madera contra hongos cromógenos y moho presentes en madera de pino rojo japonés. Expone la mayor eficacia conseguida contra los hongos cromógenos que contra los mohos, de tal forma que con una dilución 1:1 se consigue su inhibición durante 8 semanas.
- Artículo realizado por Okutucu, et al. (2011). Demuestra la actividad fungicida de las cáscaras de pistacho en la madera en una concentración de 10–50mg/ml.



## 5 CONCLUSIONES

Como se ha visto, existen numerosos estudios y una extensa bibliografía que permite obtener una idea de todo el proceso de pirólisis, así como de la gran variedad de utilidades del producto líquido que se obtiene por su diversa composición.

Por otro lado, como el objetivo del estudio es obtener un líquido de pirólisis abundante, hemos comprobado que el proceso más conveniente sería la pirólisis rápida. Sin embargo, la pirólisis convencional, supone un menor coste y atendiendo a la composición de la fracción líquida acuosa obtenida, responde a las características del ácido piroleñoso con actividad insecticida, bactericida y fungicida descrita. Por tanto, se considera el proceso pirolítico más conveniente para este efecto.

Se han mostrado otros factores que mejoran el rendimiento del líquido:

- Tamaños de partícula pequeños.
- Mayor cantidad de volátiles
- Menor contenido de cenizas
- Reducción de la humedad de la madera original al 8- 10 %

Y se ha de tener en cuenta además del tipo de madera a tratar:

- Las maderas duras (frondosas) son más resistentes al ataque de hongos e insectos.
- Las maderas blandas (coníferas) presentan un mayor contenido de lignina. Ésta al tardar más tiempo en descomponerse, provoca que el rendimiento de la fracción sólida sea mayor.
- Las maderas blandas ofrecen mayor facilidad estructural a la impregnación de líquidos de tratamiento.

Además, se han descrito los agentes bióticos más perjudiciales para la madera, y se ha demostrado que son los hongos de pudrición. Dentro de ellos nos encontramos los hongos

de pudrición cúbica o parda, éstos además de provocar que la madera se vuelva más blanda y quebradiza, facilitan la colonización de cierto tipo de insectos. Por otro lado, los insectos que producen daños estructurales muy graves son las termitas.

Finalmente, se puede concluir, viendo los estudios presentados, que el empleo del líquido de pirólisis obtenido de la pirólisis convencional como tratamiento preventivo (mediante el alquitrán obtenido) y como tratamiento curativo (contra mohos, hongos e insectos) es el adecuado para la demanda que solicita la empresa. Sin embargo, aunque en la búsqueda no se han encontrado estudios que emplearan la misma materia prima que la empresa en cuestión, la composición del vinagre de madera es muy similar en todos ellos y la acción es de prever que también lo será. Sería de gran utilidad, realizar un estudio experimental empleando la materia prima específica de la empresa maderera para así determinar los rendimientos y las dosis necesarias para el tratamiento.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ADUANAS MÉXICO. Disponible en: [http://www.aduanas-mexico.com.mx/cgi-bin/ctarnet/notas\\_ex/not\\_3807.html](http://www.aduanas-mexico.com.mx/cgi-bin/ctarnet/notas_ex/not_3807.html)
- [2] AIDIMA. 2013. Disponible en. <http://blog.simbolocalidad.com/patologias-madera-tratamiento>
- [3] ASHARI, H.; YOSHIMURA, T. 2013. Antifungal and antitermitic activities of wood vinegar from *Vitex pubescens* Vahl. *Journal of Wood Science*, **59**, pp. 344-350. ISSN: 1611-4663. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10086-013-1340-8>
- [4] BALDOCK, J.A.; SMERNIK, R.J. 2002. Chemical Composition and Bioavailability of Thermally Altered *Pinus resinosa* (Red Pine) Wood. *Organic Geochemistry*, **33**, pp. 1093-1109. ISSN: 0146-6380. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00062-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00062-1)
- [5] BARAY, M.R. 2016. *Pirólisis a Baja Temperatura de la Pomasa de Manzana para la Producción de Biocombustibles*. V. Hidolina; A. López (directores). Tesis doctoral, Centro de investigación en materiales avanzados. Disponible en Cimav: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/363/1/Tesis%20María%20del%20Rosario%20Baray%20Guerrero.pdf>
- [6] BARREIRO, S. 2011. *Protección de la madera*. T. Hirsch. Tesina, Universidad de la República Uruguay. Disponible en Fadu: [http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2012/08/Silvana-Barreiro-Tatiana-Hirsch\\_TESINA\\_Protección-de-la-Madera\\_aprobado-7.pdf](http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2012/08/Silvana-Barreiro-Tatiana-Hirsch_TESINA_Protección-de-la-Madera_aprobado-7.pdf)
- [7] BASU, P., 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis. Practical design and theory*. Burlington: Elsevier. ISBN: 978-0-12-374988-8.
- [8] BAYERBACH, R.; NGUYEN, V.; SCHURR, U.; MEIER, D. 2006. Characterization of the water-insoluble fraction from fast pyrolysis liquids (pyrolytic lignin): Part III. Molar mass characteristics by SEC, MALDI-TOF-MS, LDI-TOF-MS, and Py-FIMS. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. **77** (2), pp. 95-101. ISSN: 0165-2370. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2006.02.002>
- [9] BECIDAN, M.; SKREIBERG, O.; HUSTAD, J.E. 2007. Products distribution and gas release in pyrolysis of thermally thick biomass residues samples. *Journal of Analytical*

- and Applied Pyrolysis*, **78** (1), pp. 207-213. ISSN: 0165-2370. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2006.07.002>
- [10] BENZON, H.R.L.; RUBENECIA, M.R.U.; ULTRA, V.U.; CHUL, S. 2015. Chemical and biological properties of paddy soil treated herbicides and pyroligneous acid. *Journal of agricultural science*, **7** (4), pp. 20-29. ISSN: 1916-9752. Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.5539/jas.v7n4p20>
- [11] BERROCAL, A. 2007. Damage classification due to wood biodeterioration agents. *Revista Forestal Mesoamericana Kuru*, **4** (10), pp. 1-9. [ISSN: 2215-2504. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/276834370>
- [12] BRANDT, A.; GRÄSVIK, J.; HALLETT, J. P.; WELTON, T. 2013. Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids. *Green chemistry*, **15**, pp. 550-583. ISSN: 1463-9262. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C2GC36364J>
- [13] BREBU, M.; SPIRIDON, I. 2012. Co-pyrolysis of LignoBoost lignin with synthetic polymers. *Polymer Degradation Stability*, **97** (11), 2104-2109. ISSN: 0141-3910. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.08.024>
- [14] BRENNAN, M.; MONTOYA, J.I.; GARCÍA, M.; CHEJNE, F. 2019. Progress in understanding the four dominant intra-particle phenomena of lignocellulose pyrolysis: chemical reactions, heat transfer, mass transfer, and phase change. *Green chemistry*, **21**, pp. 2868-2898. ISSN: 1463-9270. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1039/C9GC00585D>
- [15] BRIDGWATER, A.V.; PEACOCKE, G.V.C. 2000. Fast pyrolysis processes for biomass. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, **4** (2000), pp. 1-73. ISSN: 1364-0321. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(99\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00007-6)
- [16] BRIDGWATER, T.; COULSON, M.; CARSON, P. 2007. A comparison of fast and slow pyrolysis liquids from mallee. *International Journal of Global Energy Issues*, **27** (2), pp. 204-216. ISSN: 1741-5128. DOI: 10.1504/IJGEI.2007.013655.
- [17] CASTELLS, X.E. 2012. La pirólisis. En: X.E. Castells (ed.) *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Madrid: Ediciones Díaz Santos, pp. 478-537. ISBN: 978-84-9969-141-1.
- [18] CETIN, E.; GUPTA, R; MOGHADERI, B. 2005. Effect of pyrolysis pressure and heating rate on radiata pine char structure and apparent gasification reactivity. *Fuel*, **84** (10),

pp. 1328–1334. ISSN: 0016-2361. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.07.016>

- [19] CRESPO, N. 2012. *Estudio de la Degradación Térmica de los pelets de madera*. M.B. Folgueras. Trabajo fin de máster. Universidad de Oviedo. Disponible en UNIOVI: [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/3939/7/TFM\\_Nerea%20Crespo%20Fernández.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/3939/7/TFM_Nerea%20Crespo%20Fernández.pdf)
- [20] DE WILD, P.; REITH, H.; HEERES, H.J. 2011. Biomass pyrolysis for chemicals. *Biofuels*, 2 (2), pp. 185-208. ISSN: 1759-7269. Disponible en: [https://www.rug.nl/research/portal/files/14501511/01\\_c1.pdf](https://www.rug.nl/research/portal/files/14501511/01_c1.pdf)
- [21] DERMIBAS, A. 2000. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42 (2001), pp. 1357-1378. ISSN: 0196-8904. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00137-0)
- [22] DESINSECTADOR. 2018. Disponible en: <https://desinsectador.com/2018/08/30/pudricion-parda-cubica-o-el-arte-de-degradar-la-madera/>
- [23] DONAHUE, W.S. 2009. *Pyrolysis: Types, processes and industrial sources and products*. J.C. Brandt. Nueva York: Nova Science Publishers. ISBN: 978-1-60741-669-2.
- [24] GARCÍA, C. 2014. *De Residuo a Recurso. El camino hacia la Sostenibilidad*. J.G. Rosas; M.E. Sánchez; J.A. Pascual; M.T. Hernández. Madrid: Mundi-Prensa. ISBN: 978-84-8476-692-6.
- [25] GARCÍA, J.J. 2010. *La Madera y Materiales derivados en la fabricación de soportes artísticos: aportación estructural y estética*. M. Huertas (dir). Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Disponible en UCM: <https://eprints.ucm.es/12301/1/T27141.pdf>
- [26] GARCÍA, R. 2014. *Modelización cinética y optimización de parámetros de Combustión en Calderas de Biomasa*. A. Gutiérrez; C. Pizarro (directores). Tesis doctoral, Universidad de Oviedo. Disponible en Uniovi: <http://hdl.handle.net/10651/28947>

- [27] GARCÍA-PÉREZ, M. CHAALA, A; PAKDEL, H.; KRETSCHMER, D. 2007. Characterization of bio-oils in chemical families. *Biomass and Bioenergy*, **31** (4), pp. 222-242. ISSN: 0961-9534. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.02.006>
- [28] GIMÉNEZ, A.M. 2005. *Anatomía de la madera*. J.G. Moglia; P. Hernández; R. Gerez. 2ª Edición. Santiago del Estero: Universidad nacional Santiago del Estero. ISBN: 978-987-1676-08-8. Disponible en UNSE: <http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>
- [29] GOYAL, H.B.; SEAL, D.; SAXENA, R.C. 2008. Bio-fuels from thermochemical conversión of renewable resources: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, **12** (2), pp. 504-517. ISSN: 1364-0321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.014>
- [30] GRUPO TOROYAL. Disponible en: [www.cngoodshutter.com/natural-organic-fertilizer/wood-vinegar/liquid-wood-vinegar-agricultural-use-for.html](http://www.cngoodshutter.com/natural-organic-fertilizer/wood-vinegar/liquid-wood-vinegar-agricultural-use-for.html)
- [31] GUERRERO, M.; RUIZ, M.P.; ALZUETA, M.U.; BILBAO, R. 2005. Pyrolysis of eucalyptus at different heating rates: studies of char characterization and oxidative reactivity. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **74** (1-2), pp. 307-314. ISSN: 0165-2370. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.12.008>
- [32] HERNÁNDEZ-MENA, L.; PECORA, A. 2014. Slow Pyrolysis of Bamboo Biomass: Analysis of Biochar Properties. *Chemical engineering transactions*, **37**, pp. 115-120. ISSN: 2286-9216. Disponible en: DOI: 10.3303/CET1437020
- [33] IEA (Agencia Internacional de Energía). 2007. World Energy Outlook 2007. Disponible en: <https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2007>
- [34] INFOAGRO. 2009. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr/Infoagro/Desplegables/Usos%20del%20Ácido%20Piroleño%20oso.pdf>
- [35] JARA, F. 2016. *Espectroscopia de Emisión Óptica de Plasma Inducido por Láser (libs) para el Análisis del Carbón Mineral*. J.C. Díaz (dir). Tesis doctoral, universidad nacional de ingeniería de Lima. Disponible en Cybertesis: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/5317/1/jara\\_cf.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/5317/1/jara_cf.pdf)
- [36] KRAEMER, G. 1958. Compendio de la conservación de la madera. *ABC*, pp. 22. ISSN: 1136-0143.

- [37] LEHTO, J.; OASMAA, A.; SOLANTAUSTA, Y. 2013. Fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils. *VTT Technology*, **87**. ISSN: 2242-122X. Disponible en: <https://www.vtt.fi/Documents/T87.pdf>
- [38] LEE, S.H.; H'NG, P.S.; CHOW, M.J. 2011. Effectiveness of pyrolytic acids from vapour released in charcoal industry against biodegradable agent under laboratory condition. *Journal of Applied Sciences*, **11** (24), pp. 3848-3853. ISSN: 1812-5654. Disponible en: <https://doi.org/10.3923/jas.2011.3848.3853>
- [39] LÓPEZ, O.J.; MARTÍNEZ, H.E.; ROJAS, R. 2007. Uso del humo líquido (ácido piroleñoso) en el manejo de plagas insectiles del cultivo de Chil Tomo (*Capsicum Annuum*).
- [40] LULEY, C.J. 2006. Identificación del tipo de pudrición de la madera y hongos xilófagos en árboles urbanos. ISA Hispana. Disponible en: <https://www.isahispana.com/treecare/articles/decay-fungi>
- [41] MACELA, B. 2006. Fungicidal value of wood tar from pyrolysis of treated wood. *Waste Management*, **27** (4), pp. 461–465. ISSN: 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.011>
- [42] MADEREA. 2015. Disponible en: <https://www.maderea.es/madera-al-microscopio/>
- [43] MANALS, E.; PENEDO, M.; GIRALT, G.; BELTRÁN, Y. 2009. Cromatogramas gram-schmidt del ácido piroleñoso obtenido en la pirolisis de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología Química*, **XXIX** (3), pp.27-37. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760004>
- [44] MANALS, E.; PENEDO, M.; GIRALT, G. 2011. Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología Química*, **XXXI** (2), pp.36-43. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543773005>
- [45] MCKENDRY, P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology*, **83** (1), pp. 37-46. ISSN: 0960-8524. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- [46] MEIER, D. 2002. *Fast pyrolysis of biomass: A handbook*. Bridgwater, A.V.; Czenik, S.; Diebold, J.M.; Oasmaa, D. 2ª Edición. Pyra. ISBN: 1872691471.
- [47] MÉSZÁROS E.; JAKAB E.; VÁRHEGYI G.; SZEPESVÁRY P. 2004. Comparative study of the thermal behavior of wood and bark of young shoots obtained from an energy

- plantation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72 (2), pp. 317-328. ISSN: 0165-2370. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.07.009>
- [48] MOHAN, D.; PITTMAN, C.U.; STEELE, P.H. 2006. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*. **20** (3), pp. 848-889. ISSN: 0887-0624. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ef0502397>
- [49] MONTOYA, J.I., et al. 2014. *Pirólisis rápida de biomasa*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. ISBN: 978-958-761-774-0.
- [50] MORA, N.; ENCINAS, O. 2006. Biodegradación de maderas. Centro Editorial Litorama. Mérida, Venezuela. 11 p.
- [51] MORALES, S. 2015. *Hidrólisis Ácida de la Celulosa y Biomasa Lignocelulósica Asistida con Líquidos Iónicos*. J. M. Campos (dir). Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en CSIC: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales\\_de\\_la\\_rosa\\_silvia.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf)
- [52] MORENO, A. 2017. *Control de plagas y enfermedades forestales*. Madrid: Mundi-Prensa. ISBN: 978-84-8476-732-9.
- [53] MÜLLER, N. 2013. *Pirólisis rápida de biomasa*. Tessini, C.; Segura, C.; Grandón, H. Bioenergía & Biorrefinaria: cana-de-açúcar & espécies florestais. ISBN: 978-85-8179-031-2. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/309733974>
- [54] NAVAS, S. 2003. Evaluación fungicida y antitermítica preliminar del líquido piroleñoso. *Tecnología en Marcha*, **16** (3), pp. 12-30. ISSN: 0379-3962. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835714>
- [55] NEVES, D.; THUNMAN, H.; MATOS, A.; TARELHO, L. 2011. Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. *Progress in Energy and Combustion Science*. 37 (5), PP. 611-630. ISSN: 0360-1285. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.01.001>
- [56] NOGUÉS, F.S. 2010. *Energía de la Biomasa*. D. Galindo.; A. Rezeau. Zaragoza: Prensas universitarias de Zaragoza. ISBN: 978-84-92774-91-3.
- [57] OASMAA, A.; KUOPPALA, E. 2003. Fast pyrolysis of forestry residue. 3. Storage stability of liquid fuel. *Energy & Fuels*, **17** (4), pp. 1075-1084. ISSN: 0887-0624. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ef030011o>



- [58] OASMAA, A.; SOLANTAUSTA, Y.; ARPIAINEN, V.; KUOPPALA, E. 2009. Fast pyrolysis Bio oils from wood and agricultural residues. *Energy & Fuels*, **24** (2), pp. 1380-1388. ISSN: 0887-0624. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ef901107f>
- [59] OKUTUCU, C.; DUMAN, G.; UCAR, S., YASA, I. 2011. Production of fungicidal oil and activated carbon from pistachio Shell. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **91** (1), pp. 140–146. ISSN: 0165-2370. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.02.002>
- [60] PALMOLIGO. Disponible en: [http://palmoligo.com/?page\\_id=23](http://palmoligo.com/?page_id=23)
- [61] PĂRĂRÎȚĂ, E.; BREBU, M.; UDDIN, MD. A.; YANIK, J. 2014. Pyrolysis behaviours of various biomasses. *Polymer Degradation and Stability*. **100**, pp. 1-9. ISSN: 0141-3910. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.005>
- [62] PATOLOGÍA FORESTAL. 2013. Disponible en: [http://www.patologiaforestal.com/descargas/Pudriciones\\_2013.pdf](http://www.patologiaforestal.com/descargas/Pudriciones_2013.pdf)
- [63] PERAZA, F. 2002. *Protección preventiva de la madera*. Madrid: Aitim. ISBN: 9788487381225.
- [64] PÉREZ, L. 2016. *Valorización de residuos biomásicos de poda forestal en energía y medio ambiente*. M.A. Díez Díaz Estébanez, B. Ruiz Bones, J. Ruiz Encinar, directores. Trabajo fin de máster. Universidad de Oviedo. Disponible en Uniovi: <http://hdl.handle.net/10651/39009>
- [65] PYROLIGNEOUS ACID. 2015. Disponible en: <http://www.pyroligneousacid.com.au/>
- [66] POLETTO, M.; ZATTERA, A.J.; FORTE, M.M.C.; SANTANA, R.M.C. 2012. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. *Bioresource Technology*, **109**, pp. 148-153. ISSN: 0960-8524. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.122>
- [67] RINCÓN, J.M. 2014. *Bioenergía: Fuentes, Conversión y Sustentabilidad*. Bogotá: Cytel. ISBN: 978-958-58880-0-5.
- [68] ROMO, N.; TORO, A.F.; FLORES, L.M.; CAÑAS, A. 2011. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de tallos de café y su análisis económico para la producción de pellets como biocombustible sólido. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, **10**, pp. 79-91. ISSN 1692-9918. Disponible en Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231122666007>

- [69] RONCERO, M.B. 2001. *Obtención de una secuencia "TCF" con la aplicación de ozono y enzimas, para el blanqueo de pastas madereras y de origen agrícola. Optimización de la etapa Z. Análisis de los efectos en la fibra celulósica y sus componentes*. T. Vidal (dir). Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/93800>
- [70] SACCARELLO, M.V. 2010. *La madera: De su Conocimiento a su Conservación*. Contribución de B. Borgioli. Bolivia: Gente Común. ISBN: 978-99954-751-9-9.
- [71] SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E.A; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M.S. 2011. A review on biomass as fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15** (5), pp. 2262-2289. ISSN: 1364-0321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015>
- [72] SALIM, S.; SHAHOMLAIL, S.; CHOI, Y.S.; KIM, M.J. 2014. Laboratory evaluation of the anti-stain efficacy of crude wood vinegar for Pinu densiflora. *BioResources*, **9** (1), pp. 704-709. ISSN: 1930-2126. Disponible en: <https://doi.org/10.15376/biores.9.1.704-709>
- [73] SAN MIGUEL, G.; GUTIÉRREZ, F. 2015. *Tecnologías para el uso y Transformación de Biomasa Energética*. Madrid: Mundi Prensa. ISBN 978-84-8476-674-2.
- [74] ŞENSÖZ, S. 2002. Slow pyrolysis of wood barks from Pinus brutia Ten. and product compositions. *Bioresource Technology*, **89** (3), pp. 307–311. ISSN: 0960-8524. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00059-2)
- [75] SEPTIEN, S.; ESCUDERO, F.J.; SALVADOR, S.; VALIN, S. 2018. The effect of pyrolysis heating rate on the steam gasification reactivity of char from woodchips. *Energy*, **142**, pp. 68-78. ISSN: 0360-5442. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.114>
- [76] SINAG, A., USKAN, B.; GÜLBAY, S. 2011. Detailed characterization of the pyrolytic liquids obtained by pyrolysis of sawdust. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, **90** (1), pp. 48-52. ISSN: 0165-2370. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2010.10.003>
- [77] SIPILÄ, K.; KUOPPALA, E.; FAGERNÄS, I.; OASMAA, A. 1998. Characterization of biomass based flash pyrolysis oils . *Biomass and Bioenergy*, **14** (2), pp. 103-113. ISSN: 0961-9534. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10024-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10024-1)

- [78] SMITH, E.A.; LEE, Y.J. 2010. Petroleomic analysis of bio-oils from the fast pyrolysis of biomass: Laser desorption ionization linear ion trap orbitrap mass spectrometry approach. *Energy & Fuels*, **24** (9), pp.5190-5198. ISSN: 0887-0624. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ef100629a>
- [79] SPEIGHT, J.G. 2005. *Handbook of coal analysis*. Nueva York: John Wiley & Sons. Inc. ISBN: 0-471-52273-2.
- [80] THE SITE ABOUT BIOMASS ENERGY. Disponible en: <http://prosandconsbiomassenergy.org>
- [81] TIILIKKALA, K; FAGERNÄS, L.; TIILIKKALA, J. 2010. History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product. *The open Agricultural Journal*, **4** (1), pp. 111-118. ISSN: 1874-3315. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/274861748>
- [82] UNICAN. 2001. Disponible en: [https://grupos.unican.es/acanto/aep/bolpas/la\\_madera\\_bmvp-2001.htm#\\_ftn5](https://grupos.unican.es/acanto/aep/bolpas/la_madera_bmvp-2001.htm#_ftn5)
- [83] UNIÓN EUROPEA. 2009. Directiva (UE) 2009/28 del Parlamento y del Consejo Europeo relativa al *fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables* y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Diario oficial de la Unión Europea, L 40/16, de 23 de abril de 2009.
- [84] UNIÓN EUROPEA. 2011. Directiva (UE) 2011/71 del Consejo Europeo por la que se modifica la Directiva 98/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de forma que incluya la creosota como sustancia activa. Diario oficial de la Unión Europea, L 195/46, de 26 de julio de 2011.
- [85] URIEN, A. 2013. *Obtención de Biocarbones y Biocombustibles mediante Pirólisis de Biomasa Residual*. D. Picón (tutor), F. A. López, F. J. Alguacil (directores). Trabajo fin de máster, Universidad Nacional de Educación a Distancia. Disponible en CSIC: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES\\_CENIM\\_CSIC.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf)
- [86] VELÁZQUEZ, B. 2018. *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Barcelona: Reverté. ISBN: 978-84-291-4754-4.
- [87] VENTURELLI. 2019. Disponible en: <https://www.venturelli.cl/diferencias-entre-coniferas-y-latifoliadas/>

- [88] VIGNOTE, S. 2006. *Tecnología de la madera*. I. Martínez. 3ª edición. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-263-7.
- [89] WITITSIRI, S. 2009. Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata*. *Songklanakarín Journal of Science and Technology*, **33** (3), pp. 349-354. ISSN: 0125-3395. Disponible en: <http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/33-3/0125-3395-33-3-349-354.pdf>
- [90] WOOD VINEGAR AUSTRALIA. 2014. Disponible en: <http://www.woodvinegar.com.au/wood-vinegar/>
- [91] YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; ZHENG, C. 2006. In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. *Energy & Fuels*, **20** (1), pp. 388-393. ISSN: 0887-0624. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ef0580117>
- [92] YORGUN, S.; YILDIZ, D. 2015. Slow pyrolysis of paulownia wood: Effects of pyrolysis parameters on product yields and bio-oil characterization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **114** (2015), pp. 68-78. ISSN: 0165-2370. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.05.003>
- [93] ZANNI, E. 2008. *Patología de la madera: Degradación y rehabilitación de estructuras de madera*. Córdoba: Brujas. ISBN: 987-1142-58-7.
- [94] ZENG, K.; GAUTHIER, D.; PHAM, D.; WEISS-HORTALA, E. 2017. Characterization of solar fuels obtained from beech wood solar pyrolysis. *Fuel*, **188**, pp. 285-293. ISSN: 0016-2361. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.036>
- [95] ZHANG, Y.-H.P.; DING, S.-Y.; MIELENZ, J.R., CUI, J.-B. 2007. Fractionating recalcitrant lignocellulose at modest reaction conditions. *Biotechnology and Bioengineering*, **97**, (2), pp. 214-223. ISSN: 1097-0290. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bit.21386>

## ANEXO I\_ Tabla 1

- Proceso de pirólisis

REFERENCIA	AÑO	TÍTULO	AUTOR	PUBLICACIÓN	ENLACE
2014Montoya	2014	Pirólisis rápida de biomasa	Montoya, J.I., (et al.)	Cap. 3: Procesos de Conversión Energética (P.35-43). Cap. 4: Pirólisis Rápida (P.45-78)	<a href="https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirólisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAIQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirólisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAIQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false</a>
2013Urien	2013	TFM: Obtención de Biocarbones y Biocombustibles mediante Pirólisis de Biomasa Residual	Urien, A.	Cap.1.4: Tecnologías de Conversión de la Biomasa (P. 18-21) Cap.1.8: Características y Propiedades de los ácidos Piroleñosas (P. 25-28) Cap.1.9: Características y formación de los Gases (P. 28)	<a href="http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf">http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf</a>
2012Crespo	2012	Estudio de la Degradación Térmica de los pelets de madera	Crespo, N.	Cap.3.2: Análisis Termogravimétrico (P. 4)	<a href="http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/3939/7/TFM_Nerea%20Crespo%20Fernández.pdf">http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/3939/7/TFM_Nerea%20Crespo%20Fernández.pdf</a>
2015San Miguel	2015	Tecnologías para el uso y Transformación de Biomasa Energética.	San Miguel, G., Gutiérrez F.	Cap. 6: Pirólisis y carbonización de biomasa	<a href="https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=k9ISCgAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PA161&amp;dq=composicion+del+bioaceite&amp;ots=wN2-F9Zr19&amp;sig=PCwq6xNY34Do3gAn6W3V3QuGcWE#v=onepage&amp;q=composicion%20del%20bioaceite&amp;f=false">https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=k9ISCgAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PA161&amp;dq=composicion+del+bioaceite&amp;ots=wN2-F9Zr19&amp;sig=PCwq6xNY34Do3gAn6W3V3QuGcWE#v=onepage&amp;q=composicion%20del%20bioaceite&amp;f=false</a>

## ANEXO II\_ Tabla 2

- Tipos de pirólisis

REFERENCIA	AÑO	TÍTULO	AUTOR	PUBLICACIÓN	ENLACE
2010Basu	2010	Biomass Gasification and Pyrolysis. Practical design and theory	Basu, P.	Cap. 3: Pyrolysis and Torrefaction. (P. 65-73)	<a href="https://books.google.es/books?id=QSypbUSdkikC&amp;pg=PA65&amp;dq=pyrolysis+and+torrefaction+chapter+3&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjTuefZppjiAhWi0eAKHW5DDxUQ6AEIMDAB#v=onepage&amp;q=pyrolysis%20and%20torrefaction%20chapter%203&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=QSypbUSdkikC&amp;pg=PA65&amp;dq=pyrolysis+and+torrefaction+chapter+3&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjTuefZppjiAhWi0eAKHW5DDxUQ6AEIMDAB#v=onepage&amp;q=pyrolysis%20and%20torrefaction%20chapter%203&amp;f=false</a>
2006Mohan	2006	Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review	Dinesh Mohan, Charles U. Pittman, Jr., Philip H. Steele	Energy & Fuels 2006, 20, 848-889	<a href="https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef0502397">https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef0502397</a>
2009Walker	2009	Pyrolysis. Types, Processes, and Industrial Sources and Products	Donahue, Walker S.	Cap. 8: Wood Pyrolysis: Influence of Pyrolysis Temperature and Heating Rate on Charcoal. Properties and Pyrolysis Process (P. 239-247)	Libro físico
2008Goyal	2008	Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review	Goyal, H.B.; Seal, D.; Saxena, R.C	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.014">https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.014</a>
2016Pérez	2016	TFM: Valorización de residuos biomásicos de poda forestal en energía y medio ambiente	Pérez, L.		<a href="http://hdl.handle.net/10651/39009">http://hdl.handle.net/10651/39009</a>

### ANEXO III\_ Tabla 3

- Estudio de la madera

REFERENCIA	AÑO	TÍTULO	AUTOR	PUBLICACIÓN	ENLACE
2006Mohan	2006	Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review	Dinesh Mohan, Charles U. Pittman, Jr., Philip H. Steele	Energy & Fuels 2006, 20, 848-889	<a href="https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef0502397">https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef0502397</a>
2015Morales	2015	Tesis: Hidrólisis Ácida de la Celulosa y Biomasa Lignocelulósica Asistida con Líquidos Iónicos	Morales, S.	Cap. 1.3: Composición química de la biomasa Lignocelulósica (p. 19-26)	<a href="http://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf">http://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf</a>
2016Pérez	2016	TFM: Valorización de Residuos Biomásicos de Poda Forestal en Energía y Medio Ambiente	Pérez Riesgo, L.	Cap. 1.1.3 Componentes de los Materiales Lignocelulósicos (P. 3-6) Cap. 1.4: Pirólisis (P. 10-14)	<a href="http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/39009/3/TFM_Loreto%20P%20Riesgo.pdf">http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/39009/3/TFM_Loreto%20P%20Riesgo.pdf</a>
2010Saccarello	2010	La madera. De su Conocimiento a su Conservación	Saccarello, M.V.	Cap. 2: La Estructura de la Madera (P. 19-38)	<a href="https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=sDqPpCGdjTcC&amp;oi=fnd&amp;pg=PA2&amp;dq=madera+de+coniferas+y+latifoliadas&amp;ots=aJxgpeoa5J&amp;sig=OnAOqma46SgTtdal76naXBQctJE#v=onepage&amp;q=madera%20de%20coniferas%20y%20latifoliadas&amp;f=false">https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=sDqPpCGdjTcC&amp;oi=fnd&amp;pg=PA2&amp;dq=madera+de+coniferas+y+latifoliadas&amp;ots=aJxgpeoa5J&amp;sig=OnAOqma46SgTtdal76naXBQctJE#v=onepage&amp;q=madera%20de%20coniferas%20y%20latifoliadas&amp;f=false</a>
2002Mckendry	2002	Energy production from biomass (part 1): overview of biomass	Mckendry, P.	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/S09060-8524(01)00118-3">https://doi.org/10.1016/S09060-8524(01)00118-3</a>
2008Zanni	2008	Patología de la Madera	Zanni, E.	Cap. 6: Patología de la madera (P. 77-114)	<a href="https://books.google.es/books?id=tmGpBJ2S31UC&amp;printsec=frontcover&amp;hl=es&amp;source=gbs_ge_summary_r&amp;cad=0#v=onepage&amp;q&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=tmGpBJ2S31UC&amp;printsec=frontcover&amp;hl=es&amp;source=gbs_ge_summary_r&amp;cad=0#v=onepage&amp;q&amp;f=false</a>
2010GarcíaG	2010	Tesis: La Madera y Materiales derivados en la fabricación de soportes artísticos: aportación estructural y estética	García Garrido, J.J	Cap. 2: La madera como material. Propiedades(P. 141-145)	<a href="https://eprints.ucm.es/12301/1/T27141.pdf">https://eprints.ucm.es/12301/1/T27141.pdf</a>

<b>2010Nogués</b>	2010	Energía de la Biomasa	Nogués, F.S., D. Galindo.; A. Rezeau	Cap. 3: Cultivos energéticos lignocelulósicos (P. 97-120) Cap. 4: Caracterización de los biocombustibles sólidos (P. 125-128)	<a href="https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&amp;pg=PA128&amp;lpg=PA128&amp;dq=Composici%C3%B3n+estructural+(%25+peso)+de+varios+tipos+de+biomasa+(McKendry,+2002)&amp;source=bl&amp;ots=GAO4uSzVmy&amp;sig=ACfU3U0Vd7PDY6reOhBF2ThPn_hkWBtZ9Q&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwjExLa58tLiAhWxxoUKHU9HABIQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&amp;q=Composici%C3%B3n%20estructural%20(%25%20peso)%20de%20varios%20tipos%20de%20biomasa%20(McKendry%2C%202002)&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&amp;pg=PA128&amp;lpg=PA128&amp;dq=Composici%C3%B3n+estructural+(%25+peso)+de+varios+tipos+de+biomasa+(McKendry,+2002)&amp;source=bl&amp;ots=GAO4uSzVmy&amp;sig=ACfU3U0Vd7PDY6reOhBF2ThPn_hkWBtZ9Q&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwjExLa58tLiAhWxxoUKHU9HABIQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&amp;q=Composici%C3%B3n%20estructural%20(%25%20peso)%20de%20varios%20tipos%20de%20biomasa%20(McKendry%2C%202002)&amp;f=false</a>
<b>2006Vignote</b>	2006	Tecnología de la madera	Vignote, S.	Cap. 3: Anatomía y estructura (P. 91-102) Cap. 4: Propiedades de la madera (P. 107-137)	<a href="https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=Jn-sFcOqCzwC&amp;oi=fnd&amp;pg=PA3&amp;dq=+estructura+microscopica+madera&amp;ots=NcTFAg-bg5&amp;sig=1n601NfzssXsD-hUB7SMcq39tGo#v=onepage&amp;q=estructura%20microscopica%20madera&amp;f=false">https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=Jn-sFcOqCzwC&amp;oi=fnd&amp;pg=PA3&amp;dq=+estructura+microscopica+madera&amp;ots=NcTFAg-bg5&amp;sig=1n601NfzssXsD-hUB7SMcq39tGo#v=onepage&amp;q=estructura%20microscopica%20madera&amp;f=false</a>
<b>2015Maderea</b>	2015			Web de consulta	<a href="https://www.maderea.es/madera-al-microscopio/">https://www.maderea.es/madera-al-microscopio/</a>
<b>2019Venturelli</b>	2019			Web de consulta	<a href="https://www.venturelli.cl/diferencias-entre-coniferas-y-latifoliadas/">https://www.venturelli.cl/diferencias-entre-coniferas-y-latifoliadas/</a>
<b>2007Berrocal</b>	2007	Damage classification due to wood biodeterioration agents	Berrocal, A.	Artículo	<a href="https://www.researchgate.net/publication/276834370">https://www.researchgate.net/publication/276834370</a>
<b>2008Zanni</b>	2008	Patología de la Madera	Zanni, E.	Cap. 6: Patología de la madera (P. 77-114)	<a href="https://books.google.es/books?id=tmGpBJ2S3lUC&amp;printsec=frontcover&amp;hl=es&amp;source=gbs_ge_summary_r&amp;cad=0#v=onepage&amp;q&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=tmGpBJ2S3lUC&amp;printsec=frontcover&amp;hl=es&amp;source=gbs_ge_summary_r&amp;cad=0#v=onepage&amp;q&amp;f=false</a>
<b>2001Fernández</b>	2001	La madera: Composición, Alteraciones y Restauración	Fernández Ibáñez, C.	Boletín del Museo de las Villas Pasiegas	<a href="https://grupos.unican.es/acanto/aep/bolpas/la_madera_bmvp-2001.htm#_ftn5">https://grupos.unican.es/acanto/aep/bolpas/la_madera_bmvp-2001.htm#_ftn5</a>
<b>2011Barreiro</b>	2011	Tesina: Protección de la Madera	Barreiro, S., Hirsch, T.	Agentes degradantes (P. 9-12) Protecciones (P. 13-34)	<a href="http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2012/08/Silvana-Barreiro-Tatiana-Hirsch_TESINA_Protección-de-la-Madera_ aprobado-7.pdf">http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2012/08/Silvana-Barreiro-Tatiana-Hirsch_TESINA_Protección-de-la-Madera_ aprobado-7.pdf</a>
<b>2005Giménez</b>	2005	Anatomía de la Madera	Giménez, A.M., Moglia, J.G.	Cap. 2: Estructura macroscópica del tronco. (P. 6-9) Cap. 4. Anatomía de la madera. (P. 25)	<a href="http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf">http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf</a>
<b>2002Peraza</b>	2002	Protección preventiva de la madera	Peraza, F.	Cap. 1: Agentes degradadores de la madera (P. 43-66)	<a href="https://books.google.es/books?id=oUFigwweJ5sC&amp;pg=PT12&amp;lpg=PT12&amp;dq=Generalmente+afecta+m%C3">https://books.google.es/books?id=oUFigwweJ5sC&amp;pg=PT12&amp;lpg=PT12&amp;dq=Generalmente+afecta+m%C3</a>



					<a href="#">%A1s+a+las+maderas+de+frondosas+que+a+las+de+con%C3%ADferas,+debido+a+que+estas+tienen+mayor+contenido+de+lignina+y+ciertas+hemicelulosas.&amp;source=bl&amp;ots=W2FDXvnZeZ&amp;sig=ACfU3U1v DX3G0Awvo1PcmCF YbmK5875w&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwjlonPg9PiAhVELBoKHSsLD68Q6AEwAXoECAkQAQ#v=onepage&amp;q=Generalmente%20afecta%20m%C3%A1s%20a%20las%20maderas%20de%20frondosas%20que%20a%20las%20de%20con%C3%ADferas%2C%20debido%20a%20que%20estas%20tienen%20mayor%20contenido%20de%20lignina%20y%20ciertas%20hemicelulosas.&amp;f=false</a>
<b>1958Kraemer</b>	1958	Compendio de la conservación de la madera	Kraemer, G.	pp. 22 ABC	
<b>2018Desinsectador</b>	2018	Desinsectador		Web de consulta	<a href="https://desinsectador.com/2018/08/30/pudricion-parda-cubica-o-el-arte-de-degradar-la-madera/">https://desinsectador.com/2018/08/30/pudricion-parda-cubica-o-el-arte-de-degradar-la-madera/</a>
<b>2013Patología</b>	2013	Patología forestal		Web de consulta	<a href="http://www.patologiaforestal.com/descargas/Pudriciones_2013.pdf">http://www.patologiaforestal.com/descargas/Pudriciones_2013.pdf</a>
<b>2013Aidima</b>	2013	Aidima		Web de consulta	<a href="http://blog.simbolocalidad.com/patologias-madera-tratamiento">http://blog.simbolocalidad.com/patologias-madera-tratamiento</a>

## ANEXO IV\_ Tabla 4

- **Análisis del rendimiento en el proceso de pirólisis**

REFERENCIA	AÑO	TÍTULO	AUTOR	PUBLICACIÓN	ENLACE
<b>2013Urien</b>	2013	TFM: Obtención de Biocarbones y Biocombustibles mediante Pirólisis de Biomasa Residual	Urien, A.	Cap.1.4: Tecnologías de Conversión de la Biomasa (P. 18-21) Cap.1.8: Características y Propiedades de los ácidos Piroleñosas (P. 25-28) Cap.1.9: Características y formación de los Gases (P. 28)	<a href="http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOC_ARBONES_CENIM_CSIC.pdf">http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOC_ARBONES_CENIM_CSIC.pdf</a>
<b>2010Nogués</b>	2010	Energía de la Biomasa	Nogués, F.S., García Galindo, D., Rezeau, A.	Cap. 11: Pirólisis de Biocombustibles sólidos (P. 366-377)	<a href="https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&amp;pg=PA368&amp;lpg=PA368&amp;dq=pirólisis+convencional+rendimientos&amp;source=bl&amp;ots=GAO3tWzVmy&amp;sig=ACfU3U1_CYyYrT7jyKpSYaERvn361A0jEA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwiAkf3RhbTiAhU7AGMBHQqNCq44ChDoATAAegQICRAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20convencional%20rendimientos&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&amp;pg=PA368&amp;lpg=PA368&amp;dq=pirólisis+convencional+rendimientos&amp;source=bl&amp;ots=GAO3tWzVmy&amp;sig=ACfU3U1_CYyYrT7jyKpSYaERvn361A0jEA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwiAkf3RhbTiAhU7AGMBHQqNCq44ChDoATAAegQICRAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20convencional%20rendimientos&amp;f=false</a>
<b>2014GarcíaC</b>	2014	De Residuo a Recurso. El camino hacia la Sostenibilidad	Moreno, J. Moral, R., García Morales, J.L., Pascual, J.A., Bernal, M.P.	Cap. 1: Producción de Biochar mediante Tecnología de Pirólisis (P. 15-33)	<a href="https://books.google.es/books?id=JBINBQAAQBAJ&amp;pg=PA27&amp;dq=características+del+biochar+pirólisis&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwiAhLaLnvDhAhWvx4UKHe2HCuoQ6AEIKDAA#v=onepage&amp;q=características%20del%20biochar%20pirólisis&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=JBINBQAAQBAJ&amp;pg=PA27&amp;dq=características+del+biochar+pirólisis&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwiAhLaLnvDhAhWvx4UKHe2HCuoQ6AEIKDAA#v=onepage&amp;q=características%20del%20biochar%20pirólisis&amp;f=false</a>
<b>2011Neves</b>	2011	Characterization and prediction of biomass pyrolysis products	Neves, D., Thunman, H., Matos, A., Tarelho, L., Gómez Barea, A.	Artículo	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128511000025">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128511000025</a>
<b>2016Jara</b>	2016	Tesis. Espectroscopia de Emisión Óptica de Plasma Inducido por Láser (libs) para el Análisis del Carbón Mineral	Jara Cayturo, F.	Cap. 1: Procedimiento para el análisis del carbón mineral	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/5317/1/jara_cf.pdf">http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/5317/1/jara_cf.pdf</a>

<b>2014García</b>	2014	Tesis: Modelización cinética y optimización de parámetros de Combustión en Calderas de Biomasa	García Fernández, R.	Cap. 2. Selección de materias primas. Caracterización de la biomasa (P. 39-46)	<a href="http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/28947">http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/28947</a>
<b>2016Baray</b>	2016	Tesis: Pirólisis a Baja Temperatura de la Pomasa de Manzana para la Producción de Biocombustibles	Baray, M.R.	Cap. 2: biomasa (P. 26-30)	<a href="https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/363/1/Tesis%20María%20del%20Rosario%20Baray%20Guerrero.pdf">https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/363/1/Tesis%20María%20del%20Rosario%20Baray%20Guerrero.pdf</a>
<b>2011Romo</b>	2011	Evaluación de las Propiedades Físicoquímicas y Térmicas de Tallos de Café y su análisis Económico para la Producción de Pellets como Biocombustible Sólido	Romo, N., Toro, A.F., Flores, L.M., Cañas, A.	Artículo	<a href="https://www.redalyc.org/html/2311/231122666007/">https://www.redalyc.org/html/2311/231122666007/</a>
<b>2014Parparita</b>	2014	Pyrolysis behaviors of various biomasses	Parparita, E., Mihai, B., Azhar, Md., Yanik, J., Vasile, C.	Polymer Degradation and Stability 100 (2014) 1e9	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139101400007X?via%3Dihub">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139101400007X?via%3Dihub</a>
<b>2014Rincón</b>	2014	Bioenergía: Fuentes, Conversión y Sustentabilidad	Rincón, J.M., Silva, E.E.	Cp. 5: Procesos Termoquímicos (P. 165-216)	<a href="https://books.google.es/books?id=YpnxCAAAQBAJ&amp;pg=PA205&amp;dq=biocarbon+y+carbon+vegetal+diferencias&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjhlaOm9fDhAhVBzIUkHWCCEIQ6AEIKDAA#v=onepage&amp;q=biocarbon%20y%20carbon%20vegetal%20diferencias&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=YpnxCAAAQBAJ&amp;pg=PA205&amp;dq=biocarbon+y+carbon+vegetal+diferencias&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjhlaOm9fDhAhVBzIUkHWCCEIQ6AEIKDAA#v=onepage&amp;q=biocarbon%20y%20carbon%20vegetal%20diferencias&amp;f=false</a>
<b>2012Castells</b>	2012	Tratamiento y Valorización Energética de Residuos	Castells, X.E, Velo, E.	La Pirólisis. (P. 532-533)	<a href="https://books.google.es/books?id=29VI_0lqInoC&amp;pg=PA530&amp;lpg=PA530&amp;dq=composicion+liquido+pirólisis+rapida&amp;source=bl&amp;ots=-0YbsCnfPS&amp;sig=ACfU3U3wZHpvbyRuH-G3R5INVvICh2cOkA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwiehlz9ybniAhUSDWMBHe0ZA_44FBDoATADegQICRAB#v=onepage&amp;q=composicion%20liquido%20pirólisis%20rapida&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=29VI_0lqInoC&amp;pg=PA530&amp;lpg=PA530&amp;dq=composicion+liquido+pirólisis+rapida&amp;source=bl&amp;ots=-0YbsCnfPS&amp;sig=ACfU3U3wZHpvbyRuH-G3R5INVvICh2cOkA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwiehlz9ybniAhUSDWMBHe0ZA_44FBDoATADegQICRAB#v=onepage&amp;q=composicion%20liquido%20pirólisis%20rapida&amp;f=false</a>
<b>2014Montoya</b>	2014	Pirólisis rápida de biomasa	Montoya, J.I., (et al.)	Cap. 3: Procesos de Conversión Energética (P.35-43). Cap. 4: Pirólisis Rápida (P.45-78)	<a href="https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirólisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAlQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirólisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAlQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false</a>

<b>2015San Miguel</b>	2015	Tecnologías para el uso y Transformación de Biomasa Energética.	San Miguel, G., Gutiérrez F.	Cap. 6: Pirólisis y carbonización de biomasa	<a href="https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=k9ISCgAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PA161&amp;dq=composicion+del+bioaceite&amp;ots=wN2-F9Zr19&amp;sig=PCwq6xNY34Do3gAn6W3V3QuGcWE#v=onepage&amp;q=composicion%20del%20bioaceite&amp;f=false">https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=k9ISCgAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PA161&amp;dq=composicion+del+bioaceite&amp;ots=wN2-F9Zr19&amp;sig=PCwq6xNY34Do3gAn6W3V3QuGcWE#v=onepage&amp;q=composicion%20del%20bioaceite&amp;f=false</a>
<b>2016Pérez</b>	2016	TFM: Valorización de Residuos Biomásicos de Poda Forestal en Energía y Medio Ambiente	Pérez Riesgo, L.	Cap. 1.1.3 Componentes de los Materiales Lignocelulósicos (P. 3-6) Cap. 1.4: Pirólisis (P. 10-14)	<a href="http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/39009/3/TFM_Loreto%20P%20Riesgo.pdf">http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/39009/3/TFM_Loreto%20P%20Riesgo.pdf</a>
<b>2007IEA</b>	2007	[27] IEA (Agencia Internacional de Energía)		Web de consulta	<a href="https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2007">https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2007</a>

## ANEXO V\_ Tabla 5

- Composición de las fracciones obtenidas en el proceso de pirólisis

REFERENCIA	AÑO	TÍTULO	AUTOR	PUBLICACIÓN	ENLACE
2014Montoya	2014	Pirólisis rápida de biomasa	Montoya, J.I., (et al.)	Cap. 3: Procesos de Conversión Energética (P.35-43). Cap. 4: Pirólisis Rápida (P.45-78)	<a href="https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirólisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKFwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAlQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirólisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKFwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAlQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false</a>
2005Guerrero	2005	Pyrolysis of eucalyptus at different heating rates: studies of char characterization and oxidative reactivity	Guerrero, M.; Ruiz, M.P.; Alzueta, M.U.; Bilbao, R	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.12.008">https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.12.008</a>
2011Neves	2011	Characterization and prediction of biomass pyrolysis products	Neves, D.; Thunman, H.; MatoS, A.; Tarelho, L.	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.01.001">https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.01.001</a>
2005Cetin	2005	Effect of pyrolysis pressure and heating rate on radiata pine char structure and apparent gasification reactivity	Cetin, E.; Gupta, R; Moghtaderl, B	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.07.016">https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.07.016</a>
2014Hernández	2014	Slow Pyrolysis of Bamboo Biomass: Analysis of Biochar Properties	Hernández-mena, L.; Pecora, A	Artículo	<a href="https://doi.org/10.3303/CET1437020">https://doi.org/10.3303/CET1437020</a>
2002Şensöz	2002	Slow pyrolysis of wood barks from Pinus brutia Ten. and product compositions.	Şensöz, S.	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00059-2">https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00059-2</a>
2015Yorgun	2015	Slow pyrolysis of paulownia wood: Effects of pyrolysis	Yorgun, S.; Yildiz, D.	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.05.003">https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.05.003</a>

		parameters on product yields and bio-oil characterization			
<b>2005Speight</b>	2005	Handbook of coal analysis	Speight, J.G.	Cap. 1. Coal Analysis (P. 3-19)	<a href="https://books.google.es/books?id=IBmixug6EUC&amp;pg=PA60&amp;lpg=PA60&amp;dq=vol%C3%A1til+(Speight,+1999,+2001).&amp;source=bl&amp;ots=ixBgaOqx28&amp;sig=ACfU3U1i2lv1Kb7ShnaZoB_s6-9bPAz_Gg&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKewiZ2LTznOviAhVMzRoKHaI_CcEQ6AEwCHoECAUQAQ#v=onepage&amp;q=vol%C3%A1til%20(Speight%2C%201999%2C%202001).&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=IBmixug6EUC&amp;pg=PA60&amp;lpg=PA60&amp;dq=vol%C3%A1til+(Speight,+1999,+2001).&amp;source=bl&amp;ots=ixBgaOqx28&amp;sig=ACfU3U1i2lv1Kb7ShnaZoB_s6-9bPAz_Gg&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKewiZ2LTznOviAhVMzRoKHaI_CcEQ6AEwCHoECAUQAQ#v=onepage&amp;q=vol%C3%A1til%20(Speight%2C%201999%2C%202001).&amp;f=false</a>
<b>2014GarcíaR</b>	2014	Modelización cinética y optimización de parámetros de Combustión en Calderas de Biomasa	García, R.	Cap. 2.2 Caracterización físico-química y tecnológica (P. 46-48)	<a href="http://hdl.handle.net/10651/28947">http://hdl.handle.net/10651/28947</a>
<b>2016Baray</b>	2016	Pirólisis a Baja Temperatura de la Pomasa de Manzana para la Producción de Biocombustibles.	Baray, M.R.	Cap. 2.2.2. Composición química y propiedades físico-químicas de la biomasa (P. 22-31)	<a href="https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/363/1/Tesis%20María%20del%20Rosario%20Baray%20Guerrero.pdf">https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/363/1/Tesis%20María%20del%20Rosario%20Baray%20Guerrero.pdf</a>
<b>2011Saidur</b>	2011	A review on biomass as fuel for boilers.	Saidur, R.; Abdelaziz, E.A; Demirbas, A.; Hossain, M.S	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015">https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015</a>
<b>2010Nogués</b>	2010	Energía de la Biomasa	Nogués, F.S.; Galindo, D.; Rezeau, A.	Cap. 11: Pirólisis de biocombustibles sólidos (P. 365-396)	<a href="https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&amp;pg=PA368&amp;lpg=PA368&amp;dq=pirólisis+convencional+rendimientos&amp;source=bl&amp;ots=GAO3tWzVmy&amp;sig=ACfU3U1_CYyYrT7jyKpSYaERvn361A0jEA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKewiAkf3RhbTiAhU7AGMBHQqNCq44ChDoATAAegQICRAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20convencional%20rendimientos&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&amp;pg=PA368&amp;lpg=PA368&amp;dq=pirólisis+convencional+rendimientos&amp;source=bl&amp;ots=GAO3tWzVmy&amp;sig=ACfU3U1_CYyYrT7jyKpSYaERvn361A0jEA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKewiAkf3RhbTiAhU7AGMBHQqNCq44ChDoATAAegQICRAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20convencional%20rendimientos&amp;f=false</a>
<b>2009Oasmaa</b>	2009	Fast pyrolysis Bio oils from wood and agricultural residues	Oasmaa, A.; Solantausta, Y.; Arpiainen, V.; Kuoppala, E	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1021/ef901107f">https://doi.org/10.1021/ef901107f</a>

<b>2016Pérez</b>	2016	TFM: Valorización de residuos biomásicos de poda forestal en energía y medio ambiente	Pérez, L.		<a href="http://hdl.handle.net/10651/39009">http://hdl.handle.net/10651/39009</a>
<b>2011Romo</b>	2011	Evaluación de las Propiedades Físicoquímicas y Térmicas de Tallos de Café y su análisis Económico para la Producción de Pellets como Biocombustible Sólido	Romo, N., Toro, A.F., Flores, L.M., Cañas, A.	Artículo	<a href="https://www.redalyc.org/html/2311/231122666007/">https://www.redalyc.org/html/2311/231122666007/</a>
<b>2014GarcíaC</b>	2014	De Residuo a Recurso. El camino hacia la Sostenibilidad	Moreno, J. Moral, R., García Morales, J.L., Pascual, J.A., Bernal, M.P.	Cap. 2: Biochar : un nuevo carbono para suelos	<a href="https://books.google.es/books?id=JBINBQAAQBAJ&amp;pg=PA27&amp;dq=caracteristicas+del+biochar+pirolisis&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKewiAhLaLnvDhAhWvx4UKHe2HCUoQ6AEIKDAA#v=onepage&amp;q=caracteristicas%20del%20biochar%20pirolisis&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=JBINBQAAQBAJ&amp;pg=PA27&amp;dq=caracteristicas+del+biochar+pirolisis&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKewiAhLaLnvDhAhWvx4UKHe2HCUoQ6AEIKDAA#v=onepage&amp;q=caracteristicas%20del%20biochar%20pirolisis&amp;f=false</a>
<b>2014Rincón</b>	2014	Bioenergía: Fuentes, Conversión y Sustentabilidad	Rincón, J.M., Silva, E.E.	Cp. 5: Procesos Termoquímicos (P. 165-216)	<a href="https://books.google.es/books?id=YpnxCAAQBAJ&amp;pg=PA205&amp;dq=biocarbon+y+carbon+vegetal+diferencias&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKewjhlaOm9fDhAhVBzIUkHWC CEIQ6AEIKDAA#v=onepage&amp;q=biocarbon%20y%20carbon%20vegetal%20diferencias&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=YpnxCAAQBAJ&amp;pg=PA205&amp;dq=biocarbon+y+carbon+vegetal+diferencias&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKewjhlaOm9fDhAhVBzIUkHWC CEIQ6AEIKDAA#v=onepage&amp;q=biocarbon%20y%20carbon%20vegetal%20diferencias&amp;f=false</a>
<b>2018Septien</b>	2018	The effect of pyrolysis heating rate on the steam gasification reactivity of char from woodchips	Septien, S.; Escudero, F.J.; SalvadoR, S.; Valin, S	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.114">https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.114</a>
<b>2013Urien</b>	2013	TFM: Obtención de Biocarbones y Biocombustibles mediante Pirólisis de Biomasa Residual	Urien, A.	Cap.1.9: Características y formación de los Gases (P. 28)	<a href="http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOC ARBONES_CENIM_CSIC.pdf">http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOC ARBONES_CENIM_CSIC.pdf</a>
<b>2014Montoya</b>	2014	Pirólisis rápida de biomasa	Montoya, J.I., (et al.)	Cap. 3: Procesos de Conversión Energética (P.35-43). Cap. 4: Pirólisis Rápida (P.45-78)	<a href="https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirolisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKewjlq4zw6l7iAhUEJBoKHRGbcAlQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirolisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirolisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKewjlq4zw6l7iAhUEJBoKHRGbcAlQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirolisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false</a>
<b>2014Wood</b>	2014	Wood vinegar Australia		Web de consulta	<a href="http://www.woodvinegar.com.au/wood-vinegar/">http://www.woodvinegar.com.au/wood-vinegar/</a>

<b>2013Müler</b>	2013	Pirólisis rápida de biomasa	Tessini, C.; Segura, C.; Grandón, H	Artículo	<a href="https://www.researchgate.net/publication/309733974">https://www.researchgate.net/publication/309733974</a>
<b>2012Castells</b>	2012	Tratamiento y Valorización Energética de Residuos	Castells, X.E, Velo, E.	La Pirólisis. (P. 532-533)	<a href="https://books.google.es/books?id=29VI_0lqInoC&amp;pg=PA530&amp;lpg=PA530&amp;dq=composicion+liquido+pirolisis+rapida&amp;source=bl&amp;ots=-0YbsCnfPS&amp;sig=ACfU3U3wZHpvbyRuH-G3R5INVvICh2cOkA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwiehlz9ybniAhUSDWMBHe0ZA_44FBDoATADegQICRAB#v=onepage&amp;q=composicion%20liquido%20pirolisis%20rapida&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=29VI_0lqInoC&amp;pg=PA530&amp;lpg=PA530&amp;dq=composicion+liquido+pirolisis+rapida&amp;source=bl&amp;ots=-0YbsCnfPS&amp;sig=ACfU3U3wZHpvbyRuH-G3R5INVvICh2cOkA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwiehlz9ybniAhUSDWMBHe0ZA_44FBDoATADegQICRAB#v=onepage&amp;q=composicion%20liquido%20pirolisis%20rapida&amp;f=false</a>
<b>2014Parparita</b>	2014	Pyrolysis behaviors of various biomasses.	Părpăriță, E.; Brebu, M.; Uddin, MD. A.; Yanik, J	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.005">https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.005</a>
<b>2013Lehto</b>	2013	Fuel oil quality and combustión of fast pyrolysis bio-oils.	Lehto, J.; Oasmaa, A.; Solantausta, Y	Artículo	<a href="https://www.vtt.fi/Documents/T87.pdf">https://www.vtt.fi/Documents/T87.pdf</a>



## ANEXO VI\_ Tabla 6

- Métodos de caracterización de la fracción líquida

REFERENCIA	AÑO	TÍTULO	AUTOR	PUBLICACIÓN	ENLACE
2014Montoya	2014	Pirólisis rápida de biomasa	Montoya, J.I., (et al.)	Cap. 3: Procesos de Conversión Energética (P.35-43). Cap. 4: Pirólisis Rápida (P.45-78)	<a href="https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirolisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKFwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAIQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirolisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirolisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKFwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAIQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirolisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false</a>

## ANEXO VII\_ Tabla 7

- Utilidades de la fracción líquida

REFERENCIA	AÑO	TÍTULO	AUTOR	PUBLICACIÓN	ENLACE
<b>2014Montoya</b>	2014	Pirólisis rápida de biomasa	Montoya, J.I., (et al.)	Cap. 3: Procesos de Conversión Energética (P.35-43). Cap. 4: Pirólisis Rápida (P.45-78)	<a href="https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirólisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAlQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false">https://books.google.es/books?id=GHYRAwAAQBAJ&amp;pg=PA94&amp;dq=pirólisis+de+madera+celulosas&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjlg4zw6I7iAhUEJBoKHRGbcAlQ6AEILTAB#v=onepage&amp;q=pirólisis%20de%20madera%20celulosas&amp;f=false</a>
<b>2015San Miguel</b>	2015	Tecnologías para el uso y Transformación de Biomasa Energética.	San Miguel, G., Gutiérrez F.	Cap. 6: Pirólisis y carbonización de biomasa	<a href="https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=k9ISCgAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PA161&amp;dq=composicion+del+bioaceite&amp;ots=wN2-F9Zr19&amp;sig=PCwq6xNY34Do3gAn6W3V3QuGcWE#v=onepage&amp;q=composicion%20del%20bioaceite&amp;f=false">https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=k9ISCgAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PA161&amp;dq=composicion+del+bioaceite&amp;ots=wN2-F9Zr19&amp;sig=PCwq6xNY34Do3gAn6W3V3QuGcWE#v=onepage&amp;q=composicion%20del%20bioaceite&amp;f=false</a>
<b>2007López</b>	2007	Uso del humo líquido (ácido piroleñoso) en el manejo de plagas insectiles del cultivo de Chil Tomo (Capsicum Annum)	López, O.J.; Martínez, H.E.; Rojas, R	Cp. 4.5. Ácido piroleñoso	<a href="http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/974/1/204266.pdf">http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/974/1/204266.pdf</a>
<b>2009Infoagro</b>	2009	Infoagro		Web de consulta	<a href="http://www.infoagro.go.cr/Infoagro/Desplegables/Usos%20del%20Ácido%20Piroleñoso.pdf">http://www.infoagro.go.cr/Infoagro/Desplegables/Usos%20del%20Ácido%20Piroleñoso.pdf</a>
<b>2015Benzon</b>	2015	Chemical and Biological Properties of Paddy Soil Treated with Herbicides and Pyrolygneous Acid	Benzon, H.R.L, et al.	Artículo	<a href="http://dx.doi.org/10.5539/jas.v7n4p20">http://dx.doi.org/10.5539/jas.v7n4p20</a>
<b>2010Nogués</b>	2010	Energía de la Biomasa	Nogués, F.S.; Galindo, D.; Rezeau, A.	Cap. 11: Pirólisis de biocombustibles sólidos (P. 386-392)	<a href="https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&amp;pg=PA368&amp;lpg=PA368&amp;dq=pirólisis+convencional+rendimientos&amp;source=bl&amp;ots=GAO3tWzVmy&amp;sig=ACfU3U1_CYyYrT7jyKpSYaERvn361A0jEA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwiAkf3RhbtAhU7AGMBHQqNCq44ChD">https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&amp;pg=PA368&amp;lpg=PA368&amp;dq=pirólisis+convencional+rendimientos&amp;source=bl&amp;ots=GAO3tWzVmy&amp;sig=ACfU3U1_CYyYrT7jyKpSYaERvn361A0jEA&amp;hl=es&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKEwiAkf3RhbtAhU7AGMBHQqNCq44ChD</a>

					<a href="http://oATAAegQICRAB#v=onepage&amp;q=pirolisis%20conven%20cional%20rendimientos&amp;f=false">oATAAegQICRAB#v=onepage&amp;q=pirolisis%20conven%20cional%20rendimientos&amp;f=false</a>
<b>2013Müler</b>	2013	Pirólisis rápida de biomasa	Tessini, C.; Segura, C.; Grandón, H	Artículo	<a href="https://www.researchgate.net/publication/309733974">https://www.researchgate.net/publication/309733974</a>
<b>AduanasMex</b>		Aduanas México		Web de consulta	<a href="http://www.aduanas-mexico.com.mx/cgi-bin/ctarnet/notas_ex/not_3807.html">http://www.aduanas-mexico.com.mx/cgi-bin/ctarnet/notas_ex/not_3807.html</a>
<b>2015Pyroligneosus</b>	2015	Pyroligneous Acid		Web de consulta	<a href="http://www.pyroligneousacid.com.au/">http://www.pyroligneousacid.com.au/</a>
<b>2003Navas</b>	2003	Evaluación fungicida y antitermítica preliminar del líquido piroleñoso	Navas, S.	Artículo	<a href="https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835714">https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835714</a>
<b>2011Lee</b>	2011	Effectiveness of pyroligneous acids from vapour released in charcoal industry against biodegradable agent under laboratory condition	Lee, S.H. et al.	Artículo	<a href="https://doi.org/10.3923/jas.2011.3848.3853">https://doi.org/10.3923/jas.2011.3848.3853</a>
<b>2009Wititsiri</b>	2009	Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, <i>Odontotermes</i> sp. and striped mealy bugs, <i>Ferrisia virgata</i>	Wititsiri, S.	Artículo	<a href="http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/33-3/0125-3395-33-3-349-354.pdf">http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/33-3/0125-3395-33-3-349-354.pdf</a>
<b>2014Salim</b>	2014	Laboratory evaluation of the anti-stain efficacy of crude wood vinegar for <i>Pinu densiflora</i>	Salim, S. et al.	Artículo	<a href="https://doi.org/10.15376/biores.9.1.704-709">https://doi.org/10.15376/biores.9.1.704-709</a>
<b>2011Okutucu</b>	2011	Production of fungicidal oil and activated carbon from pistachio Shell	Okutucu, C. et al.	Artículo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.02.002">https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.02.002</a>