



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Caracterización de la corteza de *Pinus pinaster* Ait. generada en los aserraderos de la provincia de Ávila para su uso energético como biomasa

Autor: Fernando Herráez Garrido

Institución: Universidad Católica de Ávila

e-mail: fernando.herraez@ucavila.es

Otros Autores: Javier Gutiérrez Velayos (Universidad Católica de Ávila); Alfonso Isidro López Díaz (Universidad Católica de Ávila); Cristina Mora Fernández de Córdoba (Universidad Católica de Ávila)

RESUMEN

La presente propuesta de comunicación / póster nace como consecuencia de la existencia y conclusión de un proyecto de investigación llevado a cabo en la Universidad Católica de Ávila. Puesto que la caracterización de una biomasa, sea la que fuere, pasa por el conocimiento de sus propiedades físicas y térmicas, ha sido necesaria la determinación de dichos parámetros (representados respectivamente por la densidad aparente y por los poderes caloríficos) de la corteza de *Pinus Pinaster Ait.*, que los distintos aserraderos de la provincia de Ávila generan; para de esta manera, determinar si ésta realmente podría llegar a convertirse en un recurso con potencial de explotación energética, y de ser así, conocer de qué modo y en qué medida, ya que el conocimiento de estos parámetros es requisito indispensable en el establecimiento de contratos de compraventa de biomasa entre productores, distribuidores y usuarios. La totalidad de los aserraderos, durante el proceso de transformación de la madera en rollo en madera aserrada, generan una serie de subproductos (corteza, serrín, costeros y astillas a partir de la trituración de recortes) de, a veces, complicada colocación en el mercado, pero, en cualquier caso, con un alto potencial de uso como fuente de energía. Además, la mayoría de las industrias de transformación de la madera, requieren que ésta sea descortezada previamente, por lo que en ocasiones tratan con categoría de 'residuo' al subproducto corteza. La industria del aserrado en la provincia de Ávila lucha día a día contra los problemas que implica la gestión de los subproductos generados durante el aserrado de la madera en rollo, especialmente el de la corteza, pasando a constituir un reto cada vez más importante. Dicha problemática de gestión radica en su necesidad de almacenamiento y en su elevado coste de transporte para ser distribuida. Sin embargo, el contenido energético del que goza la corteza de pino es prácticamente similar que el de la madera que rodea. Este hecho apunta a que este subproducto pueda suponer una fuente de energía autónoma, renovable y de reducido coste para los aserraderos. Si la corteza de los aserraderos se comenzara a emplear mayoritariamente como recurso 'biomásico', ésta pasaría a formar parte de manera casi inmediata del denominado sector de la bioenergía, puesto que se convertiría en un recurso más a partir del cual se pudiera extraer energía de forma habitual. En este sentido, mediante la presente comunicación se pretende proponer el empleo energético de la corteza que los aserraderos abulenses generan, como alternativa de uso y gestión de la misma.

Palabras Clave: biomasa, corteza, aserraderos

1. Introducción

El aprovechamiento energético de la biomasa o bioenergía, ha de ser contemplada como una salida a la fuerte dependencia de los combustibles fósiles, como prevención de los incendios forestales y mejora del estado de los bosques, como una herramienta para el mantenimiento de la población y el trabajo rural, o como un instrumento de gestión para el cumplimiento de los objetivos acordados en el Protocolo de Kyoto.

Con la sustitución de fuentes energéticas fósiles por bioenergía, se contribuye a reducir las emisiones de gases efecto invernadero tales como el dióxido de carbono (CO₂), y las emisiones ácidas. Así, nunca se deja de investigar lo suficiente para encontrar nuevas materias primas que alberguen energía con las que además se reduzcan las emisiones nocivas; y por ello, desde aquí se apuesta por la corteza.

Otro factor que alimenta la “moda” actual concerniente a este tipo de energía, está estrechamente relacionado con el uso de productos y residuos agrarios, forestales y urbanos en los procesos industriales de generación energética, lo que puede suponer un impulso a ciertas actividades agrícolas y forestales contribuyendo intensamente a la valorización de subproductos y residuos. Así, el fomento de la bioenergía puede ser considerado como una ayuda al desarrollo rural, segundo pilar de la Política Agrícola Común (PAC), que ha adquirido un protagonismo al alza en la búsqueda de alternativas que sostengan el tejido social y económico en las áreas rurales.

La provincia de Ávila se encuentra en el grupo de provincias que encabezan el ranking en I que a la producción de metros cúbicos de madera aserrada se refiere, albergando un notable número de instalaciones de aserrado. Estas industrias son todas empresas de tipo PYME o incluso microPYME, que se encuentran fuertemente comprometidas con el medioambiente que las rodea, ya que obtienen su materia prima del monte, por lo que la tan de moda gestión forestal sostenible no es un término nuevo para ellas, si no una realidad que practican desde antiguo (CONFEMADERA, 2.001); industrias que utilizan un recurso 100% renovable, generan residuos aprovechables por otro tipo de instalaciones y utilizan poca energía, que en algunas ocasiones incluso puede proceder de fuentes renovables.

Esta realidad, ampliamente contrastada en anteriores estudios y proyectos de investigación, es junto con el hecho de que la totalidad de los aserraderos durante el proceso de transformación de la madera en rollo en madera aserrada, generan una serie de subproductos (corteza, serrín, costeros y astillas a partir de la trituración de recortes) de, a veces, complicada colocación en el mercado, pero, en cualquier caso, con un alto potencial de uso como fuente de energía; es fundamental para la comprensión de la naturaleza y del enfoque de este proyecto de investigación, ya que esta situación resulta al menos paradójica, al, *a priori*, presentar los subproductos de más difícil comercialización (corteza y serrín en menor medida), un alto potencial energético como combustible en calderas de biomasa de instalaciones de distinta naturaleza, por lo que estos subproductos dejarían de ser subproductos “problemáticos” para los aserraderos y se convertirían en una materia prima de gran valor para, por ejemplo, el secado de la madera aserrada en los propios aserraderos mediante la utilización de los denominados secaderos de cámara mediante aire climatizado.

El descortezado previo de las trozas es un requerimiento de las industrias de transformación de la madera en lo que a su materia prima se refiere, por lo que se ha comenzado a considerar “residuo” a este subproducto, que es la corteza. Una vez descortezadas las trozas de madera en rollo que de manera habitual procesan los aserraderos de la provincia de Ávila, la corteza queda almacenada en sus patios o parques a la espera de encontrar salida en el mercado para la misma. Es por ello que la industria del aserrado en nuestra provincia lucha día a día contra los problemas que implica la gestión de los subproductos generados durante el aserrado de la madera en rollo, especialmente el de la corteza, pasando a constituir un reto cada vez más importante. Dicha problemática de gestión radica en su necesidad de almacenamiento y en ocasiones en el elevado coste de transporte de su distribución.

Ante esta situación, sería aconsejable que estas instalaciones pusieran en valor dicho recurso; por otra parte de propiedades y naturaleza muy diversas. Si se consiguiera este reto, no habría dudas de que éstas conseguirían mejorar su cuenta de resultados, lo que en buena lógica se traduciría en la mejora de su competitividad.

Según diversas investigaciones realizadas al efecto, la corteza requiere sistemas de transporte y de combustión de características especiales debido a la forma y dimensiones que puede presentar y sobre todo por su elevado porcentaje de humedad. Es por ello que requiere ser secada antes de introducirla en la caldera de combustión, así como que dicha combustión se lleve a cabo en un sistema de parrilla móvil con sistema de refrigeración para que la combustión de la corteza sea óptima. También se debe señalar que la corteza incluye un mayor porcentaje de elementos extraños que otros combustibles, lo que provoca que se genere una mayor cantidad de suciedad y de cenizas en las cámaras de combustión que otros materiales, por lo que ésta debe disponer de un sistema de limpieza automático.

En cualquier caso, el conjunto de todas estas limitaciones no consigue anular los beneficios que los aserraderos pueden obtener al pasar de tener un problema, a disponer de una materia prima de gran valor y de propiedades y características conocidas, que revierta (al convertirse en un subproducto demandado por el mercado), en el incremento de los beneficios obtenidos por los aserraderos de la provincia de Ávila y en consecuente desarrollo del medio rural abulense.

De esta forma, el presente proyecto pretende contribuir a la subsistencia y el desarrollo de la industria del aserrado de la madera en la provincia de Ávila; un sector cuyas instalaciones se encuentran en la totalidad de los casos en zonas rurales abulenses donde, a parte de generar flujos económicos de diversa naturaleza, pero en cualquier caso muy importantes para su zona de influencia, realizan una gran labor social.

2. Objetivo

El objetivo de la investigación sobre la que se fundamenta la presente comunicación, pasa por estudiar la caracterización y el aprovechamiento energético como biomasa de este subproducto del aserrado: la corteza. Determinando las propiedades físico-térmicas (poder calorífico y densidad aparente) de la corteza generada en los aserraderos de la provincia de Ávila.

3. Metodología

La metodología que se empleó para la realización del presente trabajo de investigación se divide en cuatro fases claramente diferenciadas:

1. Estudio bibliográfico y recopilación de normativa (principalmente UNE de tipo metrológicas y de ensayo).
2. Trabajos de campo:
 - a. Planificación y Programación de actividades.
 - b. Visita de instalaciones de aserrado de madera de la provincia de Ávila.
 - c. Toma de datos y muestras.
3. Trabajo de gabinete y laboratorio:
 - a. Análisis y procesado de la información obtenida.
 - b. Procesado y análisis de muestras.
 - c. Realización de pruebas y ensayos.
4. Obtención de resultados y conclusiones.

Asimismo, se planteó un cronograma de actuación con la función de control de tiempos.

3.1 Análisis bibliográfico y normativo

En el contexto temporal de la metodología aplicada para la realización de esta investigación, la primera fase llevada a cabo consistió en esencia en la búsqueda y recopilación de bibliografía obtenida tras la consulta de diversas fuentes, tales como: publicaciones, normativa, páginas web, artículos, ponencias, estadísticas, etc.

Una vez conseguida suficiente información, ésta fue adaptada y particularizada a los intereses de la investigación.

Paralelamente a la fase de recopilación bibliográfica, se fue adquiriendo el material necesario para las posteriores fases del proyecto.

3.2 Trabajos de campo

Concluido el estudio bibliográfico inicial, se dio paso a la planificación y programación de los trabajos de campo, cuyo inicio contempló la recopilación de la lista de las empresas dedicadas al aserrado en la provincia de Ávila, procediendo a la visita de aquellas que poseyeran descortezadora.

La siguiente fase pasó por tomar muestras de la corteza acumulada en los parques de madera de las industrias de aserrado. La pila de corteza en la totalidad de los casos se ubicaba a la intemperie, formando un montón que constituye una pila de subproducto de forma más o menos piramidal, y quedando expuesto a las inclemencias climáticas, de forma que la corteza situada hacia la parte más externa de la montaña es más proclive a sufrir de una forma más intensa las variaciones climáticas (exposición al

sol, subidas y bajadas de temperatura, lluvia, nieve, etc) que la corteza del interior de la misma, atenuándose este fenómeno conforme se penetra en el interior de la pila. Teniendo en cuenta esta realidad, la forma de tomar las muestras, estando ante la pila de corteza, fue la siguiente:

- 1º) Con ayuda de la brújula, se localiza la parte de la pila que quedaba al norte.
- 2º) Para evitar tomar corteza de la parte más externa, se procedía a excavar con la pala hasta la profundidad que se estimase pertinente (unos 30-40 cm), y desde la misma se extraían aproximadamente unos 2 kg de corteza.
- 3º) Con la ayuda de la pala se recogía la corteza en la bolsa de plástico.
- 4º) Estas operaciones se repetían en los tres puntos cardinales restantes de la pila de corteza.

De este modo se aseguraba conseguir aproximadamente unos 8kg de corteza del interior de la pila, de las zonas coincidentes con los cuatro puntos cardinales, para así obtener una muestra representativa, libre de las alteraciones que la climatología de la zona pudiera haber ocasionado sobre la misma.

Una vez recogida la muestra en una bolsa del tipo de las que habitualmente se emplean para albergar áridos de obra, se procedía a su pesado mediante una balanza convencional de muelle, y a la anotación de la temperatura ambiente del lugar donde se ubicaba la pila de corteza en el momento en el que se recogía la muestra.

Por último, la bolsa con la muestra de corteza en su interior era almacenada en el Laboratorio de Mecanización Agroforestal y Calidad Ambiental de la Universidad Católica de Ávila, donde se la dejaba reposar para que ésta adquiriera las condiciones ambientales imperantes en este habitáculo.

Este proceso se repitió en los seis aserraderos de la provincia de Ávila que procesan *Pinus pinaster Ait.*, (tomando una segunda muestra adicional de las dos industrias de aserrado más representativas de la provincia, es decir, aquellas con mayor capacidad procesadora de madera), y con los dos que procesan *Pinus sylvestris*, al objeto de establecer comparaciones en cuanto a las posibilidades energéticas de ambos tipos de corteza. Por tanto, a la finalización de esta fase de la metodología empleada se contaba con 8 muestras de corteza de pino resinero, y con 2 de pino silvestre.

3.3 Procesado y análisis de las muestras

La etapa siguiente a la obtención de las muestras de corteza, fue la de su procesado y análisis, mediante el cuál fue posible el cálculo de sus propiedades físico-térmicas, determinándose su poder calorífico (PCS y PCI, tanto en base seca como en base húmeda) y su densidad aparente.

Con carácter previo a la realización del ensayo en sí, la muestra debió ser correctamente preparada y procesada, llevándose ésta a cabo mediante el siguiente protocolo de actuación:

- 1º) Estabilización de la muestra para el análisis a las condiciones de humedad y temperatura del laboratorio.

2º) Trituración de la corteza: hasta conseguir un tamaño de partícula igual o menor a 1 mm para el ensayo de los poderes caloríficos y a 8 mm para la determinación de la densidad aparente.

3.3.1 Análisis energético

Según la Norma UNE 164001-EX “Biocombustibles sólidos: método para la determinación del Poder Calorífico”, el Poder Calorífico Superior (PCS) a volumen / presión constante se define como el calor desprendido por la combustión de una unidad de volumen, condensando el vapor de agua producto de dicha combustión. Por otro lado, el Poder Calorífico Inferior (PCI) a volumen / presión constante es el calor desprendido por la combustión de una unidad de volumen, sin condensación del vapor de agua producto de dicha combustión.

Este ensayo se llevó a cabo sobre 8 muestras de corteza de *Pinus pinaster*, y sobre 2 muestras de corteza de *Pinus sylvestris* para realizar comparaciones entre ambas especies.

El análisis del Poder Calorífico Superior en base húmeda se llevó a cabo mediante el uso de la bomba calorimétrica automática IKA-VERKE C-2000, siguiendo las instrucciones recogidas en la Norma UNE 164001-EX “Biocombustibles sólidos: método para la determinación del Poder Calorífico”.

Partiendo de la muestra preparada, el ensayo se realizó mediante la consecución de las siguientes etapas:

1. Pesada de la muestra a analizar: se requiere una muestra de 0,5g de peso, por lo que se coloca cierta cantidad de muestra, sobre un soporte cualquiera y se procede a pesarla mediante el uso de una balanza de precisión.
2. Introducción de la muestra en el crisol de cuarzo: una vez se obtengan los 0,5g de muestra, esta se mete en un crisol de cuarzo.
3. Conexión de los hilos a los dos electrodos de la bomba se conecta un trozo de hilo de ignición, asegurándose de que se produce adecuadamente el contacto. Cuando proceda se une al hilo metálico el hilo del algodón, colocándose sus extremos de forma que no tomen contacto con la muestra.
4. Colocación de 5 cm³ de agua destilada o desionizada en el fondo del calorímetro.
5. Introducción del crisol de cuarzo con la muestra en la bomba calorimétrica: mediante unos soportes metálicos, el crisol con la muestra se introduce de forma suspendida.
6. Carga de oxígeno de la bomba calorimétrica: se cierra la bomba y se carga de oxígeno automáticamente hasta una presión de 3 MPa.
7. Introducción de la bomba calorimétrica en el vaso del calorímetro.
8. Detección de fugas de oxígeno: lo realiza el calorímetro de forma automática.
9. Cálculo del Poder Calorífico: el calorímetro determina automáticamente el Poder Calorífico Superior (en kcal/kg) en base húmeda (puesto que la muestra de corteza no ha sido secada previamente) mediante un procedimiento interno, llevando a cabo la combustión de la biomasa en unas condiciones controladas de exceso de oxígeno.

Tanto el PCS en base seca, como el PCI (en base seca y en base húmeda) se calcularon por correlaciones existentes de acuerdo al PCS en base húmeda calculado, el contenido de hidrógeno de la muestra y el contenido de humedad de la misma.

3.3.2 Determinación de la densidad aparente de las muestras

La densidad aparente queda definida como “la magnitud aplicada en materiales porosos como el suelo, los cuales forman cuerpos heterogéneos con intersticios de aire u otra sustancia normalmente más ligera, de forma que la densidad total del cuerpo es menor que la densidad del material poroso si se compactase”. Por tanto, no es una propiedad intrínseca del material y depende de su compactación.

Para enriquecer aún más el presente proyecto de investigación, se tuvo en cuenta la posibilidad futura de que la gestión de este subproducto del aserrado pudiera realizarse de forma centralizada para toda la provincia, en una localización hipotética de la misma, donde se recibiera la corteza de las diferentes industrias de aserrado de Ávila. En tal hipotética situación, el patio donde se almacenase la corteza lógicamente recibiría más corteza de aquellos aserraderos que produjesen más cantidad, mientras que la aportación de corteza por parte de aserraderos que descortezan esporádicamente sería mínima.

Teniendo en cuenta este hecho, se procedió a desarrollar nuevas muestras de corteza fruto de la combinación de la corteza producida por distintos aserraderos, ponderando según la producción anual de corteza que poseen. De este modo, se ha intentado predecir cuál sería la “aportación” más probable en el caso de que este planteamiento de la gestión centralizada saliese adelante, determinando como más probables las siguientes dos mezclas de corteza.

- Mezcla 1:
 - o Fabricación de Productos Forestales S.L. (30%)
 - o Maderas Almohalla S.A. (40%)
 - o Maderas García Jara S.L. (30%)
- Mezcla 2:
 - o Fabricación de Productos Forestales S.L. (25%)
 - o Maderas Almohalla S.A. (33%)
 - o Maderas García Jara S.L. (25%)
 - o Madecon S.A. (17%)

Es por ello que para la determinación de la densidad aparente de la corteza producida en los aserraderos de la provincia abulense, se tomase en consideración:

- Dos muestras puras procedentes respectivamente de los dos aserraderos con mayor capacidad procesadora de la provincia.
- Dos muestras desarrolladas por mezcla de corteza procedente de tres aserraderos (mezcla 1) y de cuatro aserraderos (mezcla 2) de la provincia.

La densidad aparente de la muestra de corteza se realizó siguiendo un procedimiento interno de determinación mediante un depósito normalizado de medida, para biomásas con un tamaño de partícula máximo de 100 mm. El procedimiento se basa en la Norma Europea CEN/TS 15401 de Biocombustibles Sólidos: “Métodos para la determinación de la densidad aparente”.

Este ensayo es sumamente sencillo, pero requiere mucha cantidad de muestra (del orden de 6 kg), pudiéndose resumir en dos etapas:

1. Llenado del densímetro: se llena la capacidad de 5 litros que posee el densímetro de corteza triturada a 8 mm.
2. Pesada del densímetro lleno: una vez lleno, se pesa el depósito para conocer la masa que ocupa esos 5 litros. Posteriormente, el resultado obtenido se traslada a kg/m^3 .

3.4 Tratamiento estadístico de los valores obtenidos en los análisis de laboratorio

Tras la obtención de estos resultados, se procedió a realizar su tratamiento estadístico mediante el apoyo de la hoja de cálculo *Microsoft Office Excel 2003*. En este sentido, se calcularon una amplia gama de estadísticos sobre los valores obtenidos en laboratorio de los poderes caloríficos (PCS y PCI ambos tanto en base seca como en base húmeda) y de la densidad aparente:

- Medidas de tendencia central: se trata de un análisis básico sobre una población muestral (10 muestras de corteza), mediante el cuál va a ser posible caracterizar a la totalidad de la población, que en el caso de este proyecto de investigación, sería el conjunto de la corteza generada por los aserraderos de la provincia de Ávila. Como estadísticos de posición se hallaron los siguientes:
 - o Media aritmética simple
 - o Media ponderada
 - o Media cuadrática
 - o Media armónica
 - o Media geométrica
 - o Mediana
 - o Cuartiles
 - o Percentiles
- Medidas de dispersión de la distribución: las medidas de amplitud valoran, por medio de un número, si los datos están próximos o alejados entre sí o respecto a un punto concreto (generalmente la media). Si dicho número es muy elevado, indicará que la variabilidad es también muy grande; y cuanto menor sea, más homogénea será a la media. Entre las medidas de amplitud de la distribución se, para el presente proyecto de investigación, han determinado las siguientes:
 - o Recorrido o rango
 - o Diferencias y desviaciones
 - o Varianza
 - o Cuasivarianza muestral o varianza muestral corregida
 - o Desviación típica
 - o Cuasidesviación típica muestral o desviación típica muestral corregida
 - o Recorrido intercuartílico
 - o Desviación cuartílica o recorrido semi-intercuartílico
 - o Desviación percentílica
 - o Coeficiente de variación de Pearson

3.4.1 Análisis de la varianza para los poderes caloríficos de la corteza: ANOVA

Tras la obtención de los resultados referentes al poder calorífico de la corteza generada por los aserraderos de la provincia de Ávila en los ensayos de laboratorio, se estimó oportuna la realización de un análisis de la varianza de dichos resultados. Dado que los análisis de laboratorio se obtuvieron tanto en base seca como en húmeda, son cuatro los análisis ANOVA que a priori se iban a elaborar:

- ANOVA para el PCS en base seca.
- ANOVA para el PCS en base húmeda.
- ANOVA para el PCI en base seca.
- ANOVA para el PCI en base húmeda.

Mediante los análisis ANOVA se pretende comparar los poderes caloríficos de la corteza de *Pinus pinaster* con la de *Pinus sylvestris*, comprobando si existen diferencias significativas en la energía obtenida dependiendo de si se quemó corteza de una u otra especie.

La hipótesis de partida se fundamenta en que las medias de los poderes caloríficos para ambas especies son iguales. Por tanto, se realizará un contraste de hipótesis de la siguiente forma:

- $H_0: m(\textit{Pinus pinaster})=m(\textit{Pinus sylvestris})$
- $H_1: \text{no } H_0$
 - Si $F_{l-1, n-l; 1-\alpha} > F_{\text{obs}} \rightarrow \text{se acepta } H_0$
 - Si $F_{l-1, n-l; 1-\alpha} < F_{\text{obs}} \rightarrow \text{se rechaza } H_0$

Siendo “ α ” el nivel de significación escogido.

Con carácter previo a la realización de los análisis de la varianza, se llevaron a cabo la denominada prueba de Shapiro (con ánimo de conocer si las observaciones seguían una distribución normal); y el test de Bartlett, para saber si los datos eran o no homocedásticos (en el caso de que resultaran ser varianzas distintas, habría que determinar el test de Kruskal-Wallis).

Resulta importante señalar, que todas las pruebas, test y ANOVAS realizadas se llevaron a cabo para un nivel de significación del 90% y con el programa informático de estadística R.

4. Resultados

4.1 Valores obtenidos en los ensayos

Los valores de Poder Calorífico Superior y de Poder Calorífico Inferior (ambos tanto en base seca como en base húmeda) que se obtuvieron tras la combustión de las muestras de corteza en la bomba calorimétrica se presentan en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Valores de PCS de la especie *Pinus pinaster*.

MUESTRA	OBSERVACIONES	ASERRADERO DE PROCEDENCIA		ANÁLISIS ENERGÉTICO (kcal/kg)	
				PCS	
		NOMBRE	MUNICIPIO	B. seca	B. húmeda
M1	Landas (Francia)	Manso	El Tiemblo	5.083	4.521
M2	Ávila	González García	El Tiemblo	5.066	4.496
M3	Landas (Francia)	Madecon	Crespos	4.948	4.467
M4	Landas (Francia)	Almohalla	Ávila capital	5.024	3.334
M5	Ávila	García Jara	Ramacastañas (A. San Pedro)	4.832	2.687
M6	Ávila	La Bantera	Lanzahíta	4.985	3.746
M7	Ávila	García Jara	Ramacastañas (A. San Pedro)	5.024	3.125
M8	Landas (Francia)	Almohalla	Ávila capital	5.254	3.240
<i>Media aritmética simple</i>				5.027,000	3.702,000

Tabla 2: Valores de PCI de la especie *Pinus pinaster*.

MUESTRA	OBSERVACIONES	ASERRADERO DE PROCEDENCIA		ANÁLISIS ENERGÉTICO (kcal/kg)	
				PCI	
		NOMBRE	MUNICIPIO	B. seca	B. húmeda
M1	Landas (Francia)	Manso	El Tiemblo	4.814	4.216
M2	Ávila	González García	El Tiemblo	4.783	4.178
M3	Landas (Francia)	Madecon	Crespos	4.665	4.155
M4	Landas (Francia)	Almohalla	Ávila capital	4.756	2.960
M5	Ávila	García Jara	Ramacastañas (A. San Pedro)	4.581	2.288
M6	Ávila	La Bantera	Lanzahíta	4.724	3.404
M7	Ávila	García Jara	Ramacastañas (A. San Pedro)	4.736	2.724
M8	Landas (Francia)	Almohalla	Ávila capital	4.986	2.850
<i>Media aritmética simple</i>				4.755,625	3.346,875

La siguiente tabla refleja los resultados concernientes al ensayo de la densidad aparente de la corteza de pino resinero. Como ya se ha apuntado anteriormente, dichos resultados son muy útiles para determinar el volumen de los silos necesarios para albergar este subproducto de la industria del aserrado abulense.

Tabla 3: Valores de Densidad Aparente de la especie *Pinus pinaster*.

MUESTRA	OBSERVACIONES	ASERRADERO DE PROCEDENCIA		DENSIDAD APARENTE (kg/m ³)
		NOMBRE	MUNICIPIO	
M4	Landas (Francia)	Almohalla	Ávila capital	250
M5	Ávila	García Jara	Ramacastañas (A. San Pedro)	248
M9	Ávila	MEZCLA 1		262
M10	Ávila	MEZCLA 2		243
<i>Media aritmética simple</i>				250,750

4.2 Análisis de la Varianza

Antes de proceder al Análisis de la Varianza, se realizó la Prueba de Shapiro (para determinar si las observaciones seguían una distribución normal), y el Test de Bartlett (para conocer la homocedasticidad de los datos). Los resultados de dichas pruebas son los que se muestran a continuación.

Tabla 4: Valores de la Prueba de Shapiro y Test de Bartlett.

PODER CALORÍFICO	PRUEBA DE SHAPIRO	TEST DE BARTLETT
<i>PCS base seca</i>	0,431	0,042
<i>PCS base húmeda</i>	0,588	4,649
<i>PCI base seca</i>	0,343	0,041
<i>PCI base húmeda</i>	0,585	5,368

Al término de la prueba de Shapiro, los datos de los cuatro tipos de poderes caloríficos resultaron seguir una distribución normal ya que alcanzaron valores mayores de 0,1 (se recuerda que se escogió $\alpha = 0,1$).

Análogamente a la Prueba de Shapiro, el test de Bartlett se realizó al 90% (o lo que es lo mismo, $\alpha=0,1$). De esta forma, debemos atender a una distribución ji-cuadrado (χ^2) al 90% y con 1 grado de libertad, puesto que se cuenta con 2 especies de pino (g.l. $\rightarrow 2-1 = 1$). Si el resultado del test para un determinado poder calorífico era mayor que el valor que se extrae directamente de la consulta de la tabla de distribución ji-cuadrado (para esos grados de libertad y nivel de significación), entonces se rechaza la hipótesis de homocedasticidad, y por tanto, no es posible realizar la ANOVA.

Teniendo en cuenta esto, tan sólo dos de los cuatro tipos de poderes caloríficos eran homocedásticos, por lo que en análisis de la varianza se realizó, en su caso, mediante Test de Kruskal-Wallis (PCS y PCI ambos en base húmeda) y ANOVA (para PCS y PCI ambos en base seca).

Tabla 5: Análisis de la Varianza.

PODER CALORÍFICO	ANÁLISIS DE LA VARIANZA	
<i>PCS base seca</i>	ANOVA (F_{obs})	0,958
<i>PCS base húmeda</i>	Test de Kruskal-Wallis	0,350
<i>PCI base seca</i>	ANOVA (F_{obs})	1,123
<i>PCI base húmeda</i>	Test de Kruskal-Wallis	0,350

5. Discusión

5.1 Valores de los poderes caloríficos de la corteza de *Pinus pinaster* Ait.

A continuación se muestran los dos diagramas de cajas y bigotes elaborados con el programa informático de estadística *R*, para el PCS tanto en base seca como en base húmeda, y para las especies *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris*.

La línea gruesa en color negro de cada caja representa la mediana, y la línea en rojo la media del total de las observaciones (de ambas especies en conjunto).

Mediante el estudio de estos diagramas, se puede observar la variabilidad de los resultados obtenidos relativos al PCS para estas dos especies de pino. Al haber una mayor cantidad de muestras de pino resinero, en las que se analizó el PCS, que de pino silvestre, es más probable que los resultados sean más heterogéneos en esta primera especie.

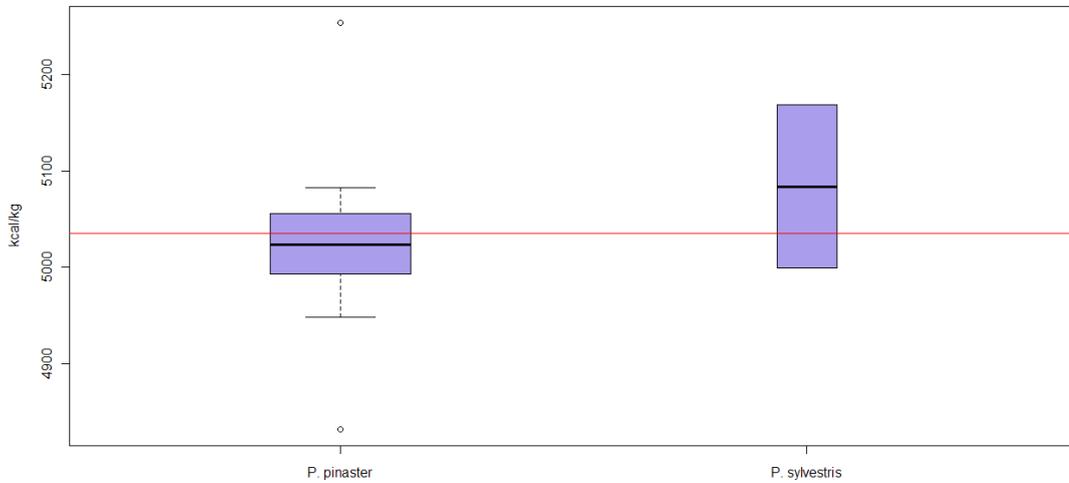


Figura 1: Diagrama de Cajas y Bigotes para el PCS en base seca.

Lógicamente, se constata que los datos de *Pinus sylvestris* poseen valores más próximos entre sí, por lo que aparecen más agrupados que los de *Pinus pinaster*, pues el diagrama de caja para esta especie posee bigotes (resultantes de valores atípicos) e incluso círculos (valores extremadamente anormales); bigotes de los que carece el diagrama del pino silvestre.

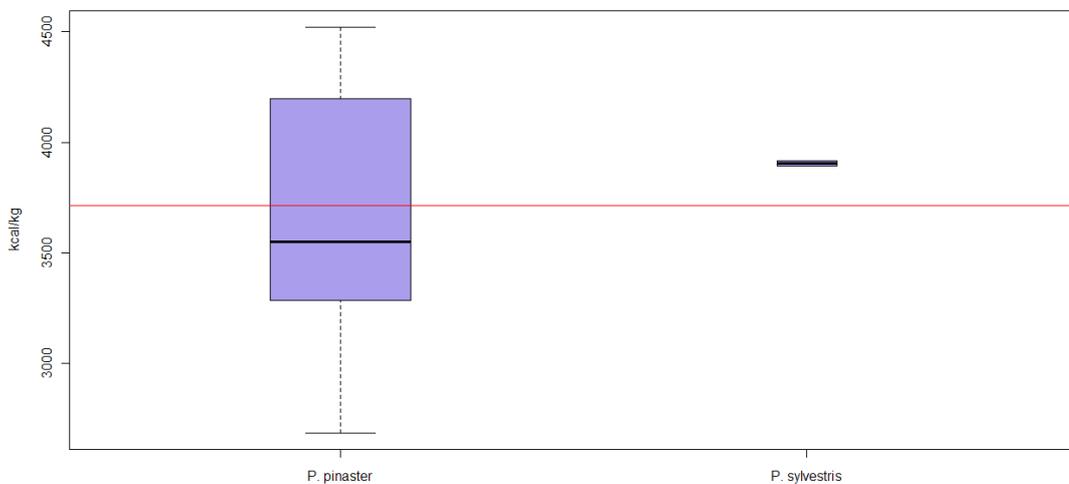


Figura 2: Diagrama de Cajas y Bigotes para el PCS en base húmeda.

Para el caso del PCS en base húmeda, se observa que existe mucha más variabilidad en los resultados para *Pinus pinaster*, que para la otra especie en cuestión (*Pinus sylvestris*). Además, al igual que ocurría con el PCS en base seca, el diagrama de caja del pino resinero posee ciertos valores que se salen fuera de lo considerado como típico (bigotes del diagrama).

Sin embargo, es perfectamente perceptible que los valores de PCS en base húmeda alcanzados por el pino silvestre han sido muy similares entre sí, hecho que se manifiesta por el notable estrechamiento de la caja, que pasa a ser prácticamente una línea.

Análogamente al PCS, se exponen seguidamente los dos diagramas de cajas y bigotes elaborados con el programa informático de estadística *R*, para el PCI tanto en base seca como en base húmeda, y de acuerdo a las especies *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris*.

De igual forma, la línea gruesa en color negro de cada caja representa la mediana, y la línea en rojo la media del total de las observaciones (de ambas especies en conjunto).

Estos diagramas muestran la variabilidad de los resultados obtenidos relativos al PCI para estas dos especies de pino. Se recuerda que al haberse analizado el PCI en una mayor cantidad de muestras de pino resinero que de pino silvestre, es más probable que los resultados sean más dispares en aquel.

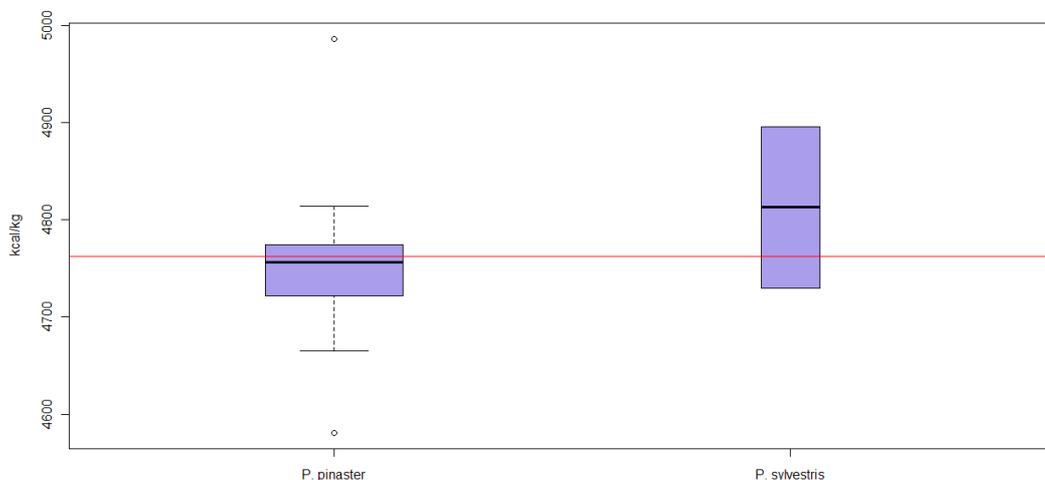


Figura 3: Diagrama de Cajas y Bigotes para el PCI en base seca.

Se observa pues que se han obtenido en la mayoría de los datos del PCI en base seca de *Pinus pinaster* valores similares, puesto que la caja se achata notablemente. Sin embargo, también se determinaron ciertos valores atípicos que quedan representados por medio de los bigotes y los círculos.

En cambio, los valores calculados para *Pinus sylvestris* fueron más homogéneos, hecho que se manifiesta por la forma de rectángulo perfecto que toma su diagrama de caja.

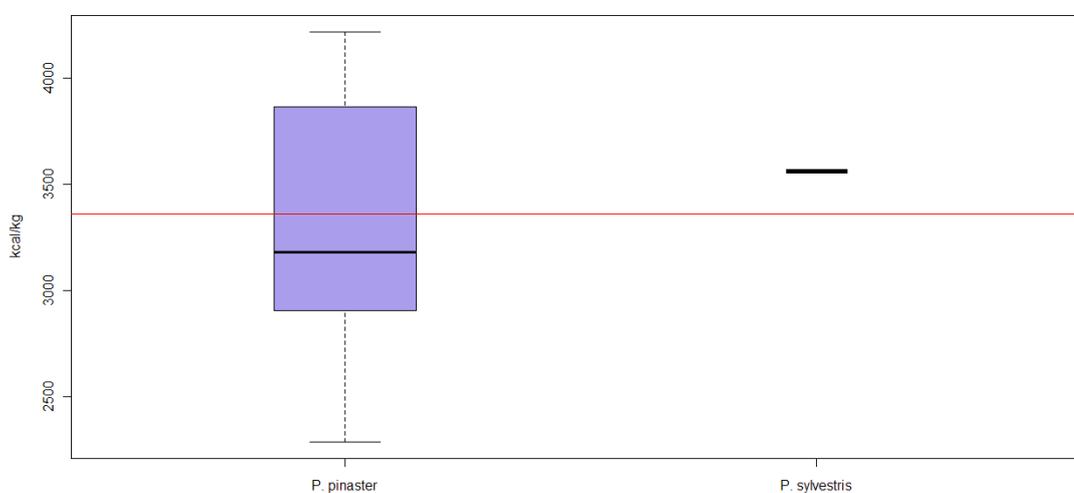


Figura 4: Diagrama de Cajas y Bigotes para el PCI en base húmeda.

Para el caso del PCI en base húmeda, se observa que existe mucha más variabilidad en los resultados para *Pinus pinaster*, que para la otra especie en cuestión (*Pinus sylvestris*). Además, al igual que ocurría con el PCI en base seca, el diagrama de caja del pino resinero posee ciertos valores que se salen fuera de lo considerado como típico (bigotes del diagrama).

En cuanto al PCI en base húmeda de *Pinus sylvestris*, el diagrama curiosamente se torna hacia un rectángulo tan estrecho que se confunde con una línea, debido a la extremada similitud de los valores de esta variable alcanzados.

5.2 Análisis de la Varianza

Los valores del test de Kruskal-Wallis alcanzados por el PCS y del PCI (ambas en base húmeda), ponen de manifiesto la aceptación de la hipótesis nula de igualdad de medias, por lo que se determina que a un nivel de significación del 90% las medias del PCS y del PCI (ambas en base húmeda) son iguales en *Pinus pinaster* y en *Pinus sylvestris*.

A la vista de los resultados referentes al PCS y PCI (ambos en base seca) obtenidos en sus ANOVAS, también la hipótesis nula es aceptada: puede decirse que a un nivel de significación del 90%, las medias del PCS y del PCI (ambas en base seca) de las especies *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris* son iguales.

Por tanto, a la conclusión de las pruebas, test, y análisis de las varianzas realizados, es posible deducir lo que ya se intuía desde un principio, y es que no existen diferencias significativas entre los poderes caloríficos de ambas especies. A pesar de que a simple vista se trata de cortezas totalmente diferentes en cuanto a su aspecto macroscópico, la corteza presenta la misma composición elemental, hecho que implica que se obtengan poderes caloríficos muy similares, ya que al fin y al cabo, la corteza es eso, corteza.

6. Conclusiones

A la conclusión de este trabajo de investigación, fue posible extraer una serie de conclusiones, tanto respecto de la metodología llevada a cabo para la consecución de los objetivos planteados, como de los resultados obtenidos en laboratorio.

Debido a que con la metodología se han logrado alcanzar los objetivos que se plantearon al principio del presente estudio, puede afirmarse que la misma es válida.

Respecto a los resultados de la búsqueda bibliográfica y de los ensayos realizados, se exponen las siguientes conclusiones:

1. El estudio bibliográfico llevado a cabo evidencia la falta de estudios como el que constituye este proyecto. Es mucha la información relativa al mundo generalista de la biomasa y bioenergía, pero muy escasos los estudios focalizados a un subproducto de una región determinada para conocer sus posibilidades energéticas.
2. Los aserraderos ubicados en la provincia de Ávila que fueron visitados, procesan de forma mayoritaria (y algunos en exclusiva) la especie pino negral (*Pinus pinaster* Ait.), también conocido como pino gallego, pino resinero o pino de las Landas. Algunos, aunque en menor medida, procesan pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y pino piñonero (*Pinus pinea* L.).
En cualquier caso el 100% de madera procesada en los aserraderos de la provincia de Ávila se corresponde con especies pertenecientes al grupo de las coníferas.
3. La procedencia de la materia prima que procesan los aserraderos de mayor tamaño de la provincia de Ávila, en el momento actual es madera procedente de la región de las Landas francesas.
Las empresas de menor tamaño o las ubicadas en lugares con peores vías de comunicación procesan madera procedente de cortas de montes cercanos generalmente pertenecientes a la provincia de Ávila.
4. El distinto tamaño y la desigual capacidad productiva o transformadora de los aserraderos de la provincia de Ávila, se traduce en la generación o producción de

cantidades o volúmenes de corteza de naturaleza muy dispar, que en numerosos casos ni se controlan.

5. El tamaño de la instalación condiciona la utilización o no utilización de la descortezadora o peladora en el proceso productivo del aserradero: las de mayor tamaño casi siempre cuentan con ella y la utilizan, mientras que las de tamaño más reducido aunque pueden poseerla, por diversos motivos no llegan a emplearla.
6. De acuerdo a la información relativa a la producción anual de corteza (más o menos fiable) suministrada por los aserraderos de la provincia de Ávila, si se acumulase toda la corteza generada por ellos, la cantidad resultante oscilaría entre las 4.000 y 5.000 toneladas anuales de corteza; lo que se traduce en unos 16.000 y 20.000m³.
7. El análisis de la Varianza (mediante ANOVA o test de Kruskal-Wallis) de los poderes caloríficos obtenidos, ponen de manifiesto que las medias de los poderes caloríficos de *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris* son iguales a un nivel de significación del 90%, por lo que es indiferente quemar corteza de una u otra especie para obtener una misma cantidad de energía.
8. El aprovechamiento energético de la totalidad de la corteza que los aserraderos de la provincia de Ávila producen, se traduciría en la posibilidad de generar entre 14 y 24 millones de kilocalorías anuales, en función de:
 - a. La reducción del contenido de humedad que se lograra en la misma antes de proceder a su combustión.
 - b. Los sistemas o la tecnología de combustión empleados (capaz o no capaz de aprovechar la energía liberada en los cambios de estado del agua contenida en esa corteza).
9. La imposibilidad de establecer comparativas “fiables” entre los poderes caloríficos publicados para la corteza de estas especies de pino en distintas fuentes bibliográficas, y los valores obtenidos en este estudio; puesto que los datos publicados se encuentran referenciados a muestras de muy variable estado y naturaleza que por lo general no se ajustan a norma, lo que imposibilita el establecimiento de cualquier de comparación.
10. Los ensayos de la densidad aparente, revelan que este parámetro es muy parecido en las muestras analizadas, por lo que a priori, no habría grandes diferencias en las dimensiones de los silos independientemente de que almacenasen un tipo u otro de corteza.
11. La gestión en la provincia de Ávila de este subproducto del aserrado difiere en cuanto al tamaño de la industria que lo genera. Así, las instalaciones de mayor tamaño y que se encuentran ubicadas en las inmediaciones de ejes o vías de comunicación de cierta importancia, consiguen poner en el mercado la corteza que generan; pero los aserraderos de menores dimensiones y aquellos ubicados en zonas con más difícil acceso tienen grandes problemas para desprenderse de

su corteza, encontrándose las pilas de corteza en un mayor o menor grado de fermentación.

12. En cualquier caso, en la actualidad la corteza que se genera en los aserraderos de la provincia de Ávila se utiliza principalmente para la fabricación de sustratos de jardinería en lugares bastante distantes a los de origen.

Para concluir, incidir una vez más en la importancia del presente proyecto de investigación, pues se ha demostrado sobradamente que este subproducto del aserrado de la madera en rollo sirve para algo más que para ser empleado como sustrato en jardinería.

Agradecimientos

Agradecer a todas las instalaciones de aserrado de la provincia de Ávila que han puesto su granito de arena en la consecución de los objetivos planteados al comienzo del presente proyecto de investigación, dedicando parte del tiempo de sus empleados en atender los requerimientos del mismo, así como el interés, entusiasmo y apoyo mostrados desde un primer momento para que esta investigación culminase con éxito.

Y de manera especial, a la ASOCIACIÓN DE AMIGOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ÁVILA y a CAJA MADRID, pues sin su apoyo, patrocinio y financiación no hubiese sido posible la realización del mismo.

Bibliografía

Camps Michelena, M; Marcos Martín F. (2008) Los Biocombustibles Sólidos. 2ª Edición. Ediciones Mundi- Prensa.

Consejo Económico y Social de Castilla y León. (2009) Expectativas del sector de la Bioenergía en Castilla y León (Informe a Iniciativa Propia IIP 2/09). Ediciones Gráficas Varona S.A.

Fernández-Golfín, J.I; Conde García, M. (2007) Manual técnico de secado de maderas. AITIM.

González Pérez, J.M. (2009) Ciencia y experiencia aplicadas al secado de maderas. Ediciones Tórculo Artes Gráficas S.A

IDAE. (2008) Biomasa: Experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético. Ediciones IDAE.

IDAE. (2008) Biomasa: Industria. Ediciones IDAE.

Montero, M; Ruiz-Peinado, R; Muñoz, M. (2005) Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: SERIE FORESTAL nº13-2005.

Ortiz Torres, L. (2008) Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad. E.U.I.T. Forestal. Ediciones Universidad de Vigo.

Velázquez Martí, B. (2006) Aprovechamiento de los residuos forestales para Uso Energético. Ediciones Universidad Politécnica de Valencia.

Normativa:

UNE-CEN/TS 14774-1:2007 EX. Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 1: Humedad total. Método de referencia.

UNE-CEN/TS 14774-2:2007 EX. Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 2: Humedad total. Método simplificado.

UNE-CEN/TS 14774-3:2007 EX. Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación del contenido en humedad. Método de secado en estufa. Parte 3. Humedad de la muestra para análisis general.

UNE-EN 13183-1/AC:2004. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.

UNE-EN 13183-1:2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.

UNE-EN 13183-1:2003 ERRATUM. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.

UNE-EN 14298:2006. Madera aserrada. Estimación de la calidad del secado.

UNE-EX 164001. Biocombustibles sólidos: Método para la determinación del poder calorífico.