

Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética

B. Velázquez Martí

Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera nº 14, Valencia. España

El presente informe ha servido de base para la realización del proyecto de investigación "Desarrollo de sistemas mejorados de extracción de biomasa forestal para su aprovechamiento energético dentro de una gestión sostenible del monte" que el autor ha desarrollado en el Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitwissenschaft de la Universidad Albert Ludwigs de Freiburg (Alemania) gracias a una beca postdoctoral concedida por el Ministerio de Educación y Ciencia del gobierno de España. En él se define lo que se entiende como residuo forestal, se describen los sistemas de extracción de biomasa forestal residual derivadas de las operaciones convencionales realizadas en la gestión del monte y se plantea la metodología empleada para su valoración. Se expone cómo se pueden estimar parámetros que permiten predecir la biomasa potencial que se puede obtener de un determinado monte en las operaciones habituales de su gestión: aprovechamiento maderero, limpieza de monte bajo, creación de cortafuegos, construcción caminos o pistas forestales.

This report has been the base for the research project "Development of improved systems for harvesting energy wood in the framework of a sustainable forest management" which has been carried out by the author in the Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitwissenschaft of the University Albert Ludwigs of Freiburg (Germany) by mean of a postdoctoral grant from the Ministry of Education and Science of Spanish government. In this report the concept of "forest residue" is defined. Systems for the extraction of forest residual biomass coming from conventional operations in the forest management are described, and a methodology for their appraisal is proposed. Procedures to estimate parameters for predicting the potential biomass that can be obtained in regular operations in the forest management: timber, thinning, firebreaks and construction of forest roads, are presented.

Introducción

En los últimos años los gobiernos de los países de la Unión Europea han promocionado el uso de energías renovables. Una de las principales fuentes de energía renovable es la combustión de biomasa, la cual es considerada neutral, desde el punto de vista ambiental en la emisión de CO_2 a la atmósfera (Protocolo de Kioto, 1997), proliferando la construcción de plantas destinadas a este fin.

Actualmente, la mayoría de estas plantas de generación energética se están abasteciendo de materiales que no pueden ser considerados como "residuos finales", es decir, residuos que ya no son aprovechables para ningún destino diferente que su utilización como fuente de energía, sino que se están abasteciendo principalmente de restos de la industria maderera que podrían reutilizarse como materia prima de otros subproductos; como tableros de fibra, tableros de partículas, tableros de virutas orientadas (OSB), conglomerados etc. (Heller *et al.*, 2004). Esto supone un planteamiento ambiental inadecuado dado que el CO_2 fijado en los procesos biológicos de producción agrícola y forestal debería ser devuelto a la atmósfera lo más tarde posible en la cadena productiva (Volk, 2004; Lemus y Lal, 2005). Además, en determinadas zonas donde los recursos madereros son escasos, como es el caso de España (Antolin *et al.*, 1996), esta situación supone que las plantas energéticas compitan con las industrias que usan estos residuos madereros existiendo para éstas problemas de abastecimiento. Un adecuado planteamiento ambiental consistiría en alargar lo máximo posible la utilización de la biomasa utilizando tan sólo residuos finales para la generación de energía (Bahia, 2003).

Por otra parte, mucha de la biomasa producida en los sistemas agrícola y forestal no es utilizada para la producción de bioenergía debido a que existen diversas dificultades técnicas en su extracción, manipulación y transporte, así como insuficiente información sobre la cantidad y calidad de estos residuos (Andersen *et al.*, 2005). Los residuos forestales o

agrícolas no están generalmente concentrados, ofrecen unas características heterogéneas muy variables de unos sistemas a otros, al depender de condiciones no controladas como el clima, edafología, sistema de aprovechamiento etc.. Por tanto, la utilización de estos residuos encarece las operaciones de obtención y abastecimiento, teniendo además que homogeneizar el material utilizable (Askew y Holmes, 2002; McKendry, 2002). Por esta razón, las industrias generadoras de energía orientan su demanda exclusivamente hacia los residuos generados en la industria de primera y segunda transformación, que son materiales generalmente de alta calidad para la combustión, y además están preconcentrados en las diferentes empresas (McKendry, 2002). Por tanto, mediante un sistema de recogida bien organizado resulta fácil su obtención y logística. Pero provoca la existencia de una biomasa residual producida en las explotaciones del sector primario, aprovechamientos y operaciones forestales y explotaciones agrícolas que no están siendo utilizadas, dado que presentan las citadas dificultades técnicas. El aprovechamiento de estos residuos requiere optimizar los procesos de extracción, transporte, selección y transformación.

La explotación racional de la biomasa para la obtención de energía por parte de las plantas generadoras, pasaría, por una parte, por orientar a éstas hacia el uso de residuos finales, y por otra parte, utilizar biomasa que no se está movilizándose en la actualidad. Esta concepción requiere llevar a cabo una valoración global de la biomasa residual existente, que defina cual es el residuo final que no está siendo utilizado para la generación de energía, y qué residuos son reutilizables por los sectores industriales más importantes de los países europeos.

Este estudio permitirá:

- Orientar mejor las políticas de promoción del uso energético de la biomasa.
- Evaluar cuáles son los potenciales de biomasa residual procedente de los sistemas agrícola y forestal.
- Definir la tecnología apropiada para la extracción de biomasa potencial que todavía no ha sido utilizada.

Concepto de residuo forestal

Es necesario diferenciar previamente los conceptos de "biomasa", "biomasa forestal" y "residuos forestales", dado que son términos que se usan en ocasiones indistintamente, pero que poseen significados distintos desde el punto de vista técnico. Se denomina *biomasa* a la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía aunque puede tener otros usos industriales. Siendo la *biomasa forestal* aquella que es generada en los montes. La biomasa forestal es susceptible a ser aprovechada de forma industrial. Parte de ella se utiliza como materia prima para su transformación (madera, corcho, pasta de celulosa etc.), otra se utiliza como combustible. Generalmente la extracción de esta biomasa de los montes se denomina aprovechamiento forestal. De la biomasa extraída en el aprovechamiento que llega a la industria una parte se utiliza para obtener bienes manufacturados, la parte sobrante es residuo industrial. Este planteamiento se muestra en la **Figura 1**.

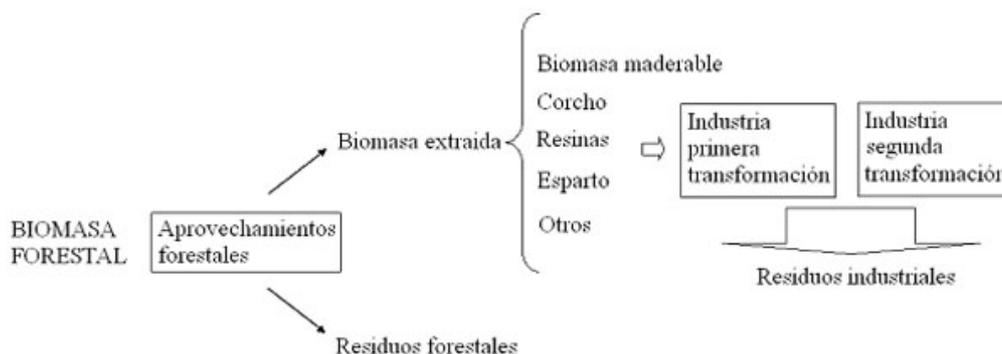


Figura 1. Clasificación de la biomasa forestal

La biomasa residual que procede de los procesos productivos vinculados a la cadena *aprovechamiento de los montes – industria* (**Fig. 2**), es generada en diferentes puntos de la misma, que son considerados fuentes de residuos:

1. Residuos generados directamente en las explotaciones forestales
2. Industria de aserrado
3. Industria de tableros y pasta
4. Aplicaciones de 2ª transformación

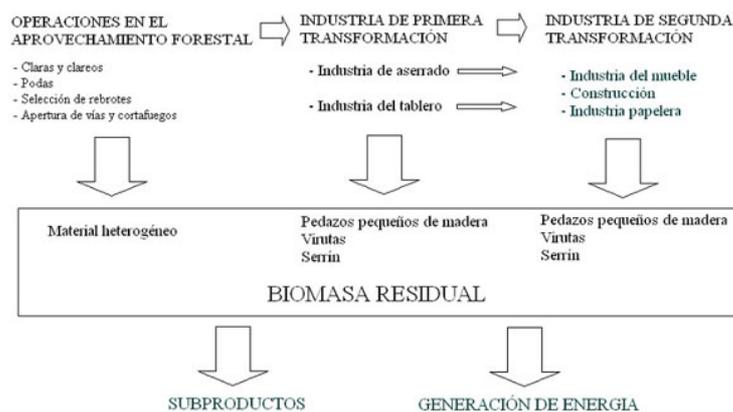


Figura 2. Cadena de aprovechamiento de los productos forestales

Los residuos generados en la industria de aserrado, tableros, pasta y segunda transformación, son materiales generalmente de alta calidad calorífica, si son densos y con baja humedad, además están concentrados en las diferentes empresas (Sanz y Pañero, 2003). Por estas razones, mediante un sistema de recogida bien organizado estos residuos son ampliamente utilizados, bien para la creación de subproductos o la generación de energía calorífica, empleada en las propias industrias o en plantas de generación de energía eléctrica. En la **Tabla 1** se muestra los residuos generados en cada uno de los posibles destinos de la biomasa forestal.

Tabla 1. Biomasa residual generada en la industria forestal de primera y segunda transformación.

Tipo de Residuo	Destino
A) Aprovechamiento de la biomasa en aserradero	
Fuste	Industria del tablero
Corteza	Aplicaciones energéticas Sustratos vegetales
Serrín blanco (procedente de coníferas, eucalipto, o mezcla de ambos)	Fabricación productos derivados de la madera
Serrín rojo (procedente de frondosas e especies tropicales)	Aplicaciones energéticas
Costeros y leñas	Industria de tableros derivados de la madera
B) Biomasa residual en la industria del tablero y chapa	
Corteza	Aplicaciones energéticas
Polvo de lijado	Aplicaciones energéticas
C) Biomasa residual en la industria de la celulosa	
Corteza	Aplicaciones energéticas
Lejías negras	
D) Biomasa residual en la industria de segunda transformación	
Serrines y virutas	Aplicaciones energéticas Industria de tableros derivados de la madera Cama animal en explotaciones agropecuarias
Tacos y recortes	Aplicaciones energéticas
E) Biomasa residual en la industria de palets, envases y embalajes	
Serrines y virutas	Aplicaciones energéticas Tableros de partículas Cama animal en explotaciones agropecuarias
Tacos y recortes	Aplicaciones energéticas
F) Residuos de madera urbana	
Residuos voluminosos	Aplicaciones energéticas Tableros de partículas

A pesar de que estos residuos tienen su origen en el monte, no pueden ser considerados residuos forestales. En sentido estricto, sólo son tales, aquellos que son generados directamente en el medio forestal. Definimos *residuo forestal* como aquellos materiales que se desprenden en los aprovechamientos madereros y no son extraídos habitualmente por no ser convertibles en subproductos pero que pueden ser utilizados como combustible orgánico. Los residuos generados directamente en aprovechamientos madereros pueden tener su origen en actividades diversas: claras y clareos, podas, selección de rebrotes etc. Actualmente la mayor parte de los residuos forestales procede de cortas finales. En estos casos este material está compuesto por ramas, despuntes, hojas y acículas. Los tratamientos más comunes de esta biomasa residual son la quema controlada o el amontonamiento del material en el monte. En raras ocasiones se trituran o astillan abandonándose en el monte para favorecer la rápida incorporación al suelo. El coste adicional que supone el tratamiento de estos residuos, hace que en la mayor parte de los casos el material quede disperso por la zona de corta. En algunas ocasiones, generalmente cuando se realiza una regeneración artificial, se realiza un desbroce o trituración in situ con el fin de facilitar las labores de plantación. El abandono de estos materiales en la superficie del monte supone un alto impacto ambiental. Esto es debido a que el elevado volumen de biomasa sobrante tiene una lenta descomposición, permaneciendo largo tiempo en el lugar. En la época calurosa estos residuos sufren un secado suponiendo posteriormente focos con alto riesgo de incendio. Por otra parte, ejerce un impacto paisajístico visual y sobre la fauna de la zona, que ve limitada su movilidad. Además, puede suponer una fuente de parásitos y plagas (Hakkila *et al.*, 1997).

Estos residuos forestales en contraposición a los residuos de la industria de transformación, no han sido todavía aprovechados de forma eficaz, bien en la generación de energía, bien en la fabricación de productos derivados (FAO, 1997; FAO, 2003). Las razones han sido tanto económicas como técnicas, así como falta de información y conocimiento de los propietarios de las explotaciones forestales y de la sociedad en general. El aprovechamiento de estos residuos requiere optimizar los procesos de extracción, transporte, selección y transformación. El concepto debe ser económicamente atractivo, ecológicamente sostenible y aceptado por la sociedad. Esto significa que el aprovechamiento energético de los residuos forestales debe quedar supeditado al correcto manejo de las masas forestales. Un incorrecto planteamiento de las operaciones forestales sería tener como objetivo prioritario la obtención de combustibles, presentándose el riesgo de realizar un sistema de producción no sostenible (Camps y Marcos, 2002). Por otro lado, un correcto manejo de las masas forestales obliga a realizar podas, clareos y claras, operaciones selvícolas a veces no rentables económicamente. El aprovechamiento energético de los residuos forestales originados en estas labores puede rentabilizar estas tareas. Por tanto, la búsqueda de sistemas de extracción, selección, acopio y posterior tratamiento supone un importante reto a la investigación forestal. Este aprovechamiento debe ir asociado a la promoción de la instalación de calderas alimentadas con biomasa, dado que si no es así, el combustible obtenido carece de mercado.

El estudio del aprovechamiento de los residuos forestales comprende seis fases fundamentales (Schneider *et al.*, 2001):

1. Valoración de la biomasa residual procedente de los aprovechamientos forestales (y de la industria de transformación en su caso).
2. Estudio de las técnicas de recogida, selección y acopio adaptadas al medio forestal.
3. Caracterización de los residuos en sus diferentes fracciones.
4. Evaluación económica, dado que el aprovechamiento energético de los residuos debe compensar el coste económico de su retirada del monte.
5. Balance energético: La extracción de biomasa supone un consumo para energía en el uso de maquinaria (especialmente combustibles fósiles). Debe evaluarse el balance de energía obtenido por la combustión de cada tipo de residuo.
6. Evaluación del impacto ambiental vinculado a la recogida a los restos de corta.

Sistemas de extracción de biomasa forestal residual

La situación que corresponde a la mayor parte de las explotaciones existentes en la actualidad es que los restos de corta están extendidos de forma dispersa por la parcela (Sanz y Pañeiro, 2003). Un aspecto de crucial importancia en la optimización de la recogida de los restos de la corta es la integración de las operaciones de concentración de esta biomasa residual en el aprovechamiento convencional de las explotaciones forestales. Una vez concentrado el material la mayor limitación que afecta a la manipulación de la biomasa forestal residual es la baja densidad aparente, que dificulta y encarece el transporte. Por esta razón, las tecnologías de recogida se basan, bien en una trituración en astillas o la compresión de los residuos hasta formar unidades de alta densidad. Independientemente de los métodos de extracción utilizados para la biomasa maderable, existen actualmente tres opciones tecnológicas para extraer los residuos forestales.

a) *Extracción previo astillado con astilladoras transportables*: Son máquinas que van montadas sobre camiones que se sitúan en la pista forestal para realizar el astillado en posición fija. En montes de buena accesibilidad, baja pendiente y superficie poco abrupta, un tractor autocargador se va desplazando por la parcela para la recogida y posterior concentración de los residuos (**Fig. 3**). Estos son apilados a los lados de la pista forestal en una zona de acopio o cargadero. Mediante una grúa cargadora con pinzas la propia astilladora coloca los materiales en la plataforma de alimentación. Dado que el tractor que concentra los residuos a los pies de la pista forestal realiza diferentes pilas separadas una distancia variable entre 60-80

metros, la astilladora se ve obligada a desplazarse distancias cortas durante el tiempo de trabajo. Tras la trituración, estas máquinas poseen un sistema continuo de descarga, de forma que a medida que se va produciendo la astilla, se va depositando en un contenedor de transporte independiente gracias a una impulsión neumática. Los contenedores son transportados a las plantas energéticas mediante camiones (Fig. 4).



Figura 3. Tractor autocargador concentrando los residuos forestales



Figura 4. Astilladora transportable astillando residuos forestales.

En montes más abruptos con elevadas pendientes, como pueden ser los de la cuenca Mediterránea, el sistema organizativo para el astillado resulta similar, solo que en este caso la concentración de los materiales debe realizarse recurriendo a sistemas de extracción por cable. Estos sistemas consisten en desplazar un tractor arrastrador (*skidder*) por la cresta de la pendiente. Tras la operación forestal (limpieza de monte bajo, clareo, etc..) se realiza un extendido del cable del cabrestante en líneas paralelas cada 15-20 metros. Los operarios, de forma generalmente manual, realizan la concentración de residuos atándolos al cable mediante distintos dispositivos. En caso de desbroce de matorral el acercamiento de los materiales al cable requiere la ayuda de rastrillos. Otro posible sistema es el uso de cables aéreos suspendidos en torres móviles. Generalmente se usan un par de torres acopladas al enganche tripuntal de un tractor agrícola convencional (Fig. 5) o al bastidor de un camión rígido. Naturalmente estos métodos requieren buenas infraestructuras viarias en los montes, cosa que no es habitual en las áreas forestales españolas.



Figura 5. Torre de extendido de cable aéreo

b) *Extracción previo astillado con astilladoras móviles:* Son astilladoras capaces de desplazarse por el interior de las explotaciones hasta el punto donde se encuentran los residuos (**Fig. 6**). Diversos modelos disponen de carga mecanizada mediante grúa de pinzas, por tanto, no es necesario el uso de tractor autocargador para una previa concentración de los mismos. Estas astilladoras poseen un depósito propio de unos 15 a 20 m³ para el almacenamiento de la astilla producida, lo que permite realizar un trabajo continuado en un área más o menos grande. Posteriormente al llenado del depósito propio, es necesario vaciar la máquina en contenedores de acopio situados en las pistas forestales, por tanto la máquina debe interrumpir el astillado y desplazarse distancias variables hasta los contenedores para volver a comenzar el ciclo. Estos contenedores poseen una capacidad de unos 40 m³. Una vez llenos, son cargados por camiones de transporte hasta la planta de transformación o directamente a la industria.



Figura 6. Astilladora móvil

c) *Extracción previo empacado.* Las empacadoras forestales son equipos de recogida de restos forestales que tienen como principio de funcionamiento la compactación de los materiales (**Fig. 7**). De esta forma es posible optimizar el almacenamiento y transporte utilizando equipamiento forestal convencional. Las empacadoras son máquinas autónomas que recogen los residuos forestales previamente concentrados mediante un tractor autocargador en un lateral de la pista forestal o en el cargadero. La alimentación de las mismas se realiza a través de una pinza adaptada propia de la máquina que deposita los materiales en el dispositivo de compresión, donde, tras el aumento de la densidad, los materiales quedan ligados mediante una cuerda plástica, formando pacas de forma cilíndrica o prismática. Las pacas formadas son dispuestas, mediante la grúa de pinzas, en pilas, hasta la espera de un camión de transporte convencional. Los materiales transportados, al llegar a la planta de transformación pueden ser almacenados en una zona de recepción al aire libre, a la espera de que se necesite material combustible para las calderas de generación energética. Entonces, las pacas son previamente astilladas en máquinas estáticas, astilladoras instaladas en las plantas de transformación de forma permanente. Estas astilladoras son empleadas habitualmente para triturar los restos residuales de la producción industrial pero pueden también ser utilizadas para la trituración de residuos cuando son extraídos del campo mediante empacado.



Figura 7. Diferentes modelos de empacadoras forestales

Impacto y efecto sobre los ciclos biogeoquímicos

El mayor impacto que tienen los sistemas de extracción de biomasa forestal, tanto la de aprovechamiento industrial como la residual, es la erosión del suelo (Balboa *et al.*, 2003). El tráfico de la maquinaria sobre el terreno provoca compactación y esfuerzos de tracción que dificultan el arraigo posterior de las plantas y propician la pérdida de suelo. Para minorar este problema las técnicas habituales de extracción consisten en abrir vías aproximadamente cada 40 metros, de forma perpendicular a la pista forestal. Éstas permanecen y son utilizadas periódicamente después de cada turno, es decir, periodo de tiempo que es necesario esperar desde una extracción para realizar la siguiente.

Dentro de un manejo sostenible del monte, los ciclos biogeoquímicos no se ven en general alterados (Harte y Lonergan, 1995). Esto es debido a que en este tipo de gestión no se suelen eliminar todos árboles o cubierta vegetal en una zona, sino se realizan cortas selectivas con criterios selvícolas. La masa forestal que permanece, aporta la materia orgánica necesaria para la sustentación de la fertilidad del suelo y el mantenimiento de su parte biótica. Por otra parte, la masa que permanece, queda favorecida, al eliminar competencia, existir mayor luminosidad, creciendo con mayor vigor y calidad. También la limpieza de monte y la creación de infraestructuras, que son fuente de residuos forestales, son operaciones necesarias para un adecuado mantenimiento del monte: prevención y extinción de incendios, control de poblaciones y accesibilidad al mismo.

También es de destacar que los sistemas de extracción de residuos no son totalmente eficientes. Los sistemas de recogida mediante pinzas cargadoras utilizadas en los tractores autocargadores, astilladoras y empacadoras generalmente no atrapan de forma eficaz materiales de diámetro menor a 10 cm. Esto hace que aún habiendo extraído la parte de mayor tamaño de los residuos, una gran cantidad se queda todavía en el monte contribuyendo con su descomposición al aporte de materia orgánica en el suelo.

Determinación de la biomasa residual potencial de un determinado monte

El estudio pasa por tres fases:

1. Caracterización del sistema, dado que la cantidad de biomasa residual producida dependerá de las características productivas del mismo. El sistema queda definido por una serie de variables:

- Especie
- Edad
- Diámetro (en caso de especies arbóreas) y altura (en caso de especies herbáceas o arbustivas)
- Densidad de vegetación
- Pendiente

Los resultados obtenidos vienen asociados a estas características. Para determinar si dos zonas presentan las mismas características se seguirá el test de Welch para la comparación de poblaciones. Este test se basa en el estadístico:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{m}}}$$

Donde \bar{X}_i es la media de la variable comparativa de cada población, S_i^2 la varianza, y m y n el número de observaciones realizado en cada población. Este estadístico evalúa la hipótesis nula de considerar las dos poblaciones iguales, y seguirá una distribución t de Student con un número f de grados de libertad que dependerá de las varianzas muestrales según la expresión:

$$f = \frac{\frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{m}}{\frac{1}{n+1} \left(\frac{S_1^2}{n} \right) + \frac{1}{m+1} \left(\frac{S_2^2}{m} \right)} - 2$$

2. Determinación de la cantidad de residuos obtenido en cada opción tecnología posible. Cada sistema de trabajo proporciona unas pérdidas de material en la recogida, astillado o compresión. Este material no recogido eficientemente queda en la parcela.

3. Realización de un análisis físico y químico de los residuos para obtener información sobre la calidad, tamaño de las partículas, humedad, poder calorífico etc. Con esa información es posible optimizar los procesos de secado, astillado, tecnología del transporte. Será también posible estimar los problemas para la mezcla de diferentes residuos (madera con cáscara de arroz por ejemplo), cómo el material tiene que ser secado y compactado o cómo desarrollar los estándares que garantizan cierta calidad calorífica etc.

La evaluación de las opciones tecnológicas se realizará en base a tres criterios (Attiwill y Ovington 1968):

- **Criterio técnico.** Un análisis de tiempos, capacidades de trabajo, logística, necesidad de infraestructuras (caminos, vías etc.), daños ambientales (principalmente al suelo y las especies vegetales que permanecan el en sistema).
- **Balance económico.**
- **Balance energético.** La extracción de biomasa supone un consumo de energía en el uso de maquinaria (especialmente combustibles fósiles). Se debe evaluar el balance de energía obtenido por la combustión de cada tipo de residuo.

Como parámetros de predicción de la biomasa residual potencial para cada tipo de monte o sistema agrícola se definen los coeficientes de potencialidad λ y V_j de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2).

$$PB_j = V_j \times \lambda_j \quad (1) \quad \text{y} \quad PB_j = S_j \times \delta_j \quad (2)$$

PB_j : Es la biomasa potencial obtenida en un sistema biológico de características j en t/año.

V_j : Es la cantidad de recurso obtenido en un sistema productivo de características j cada año. (m^3 /año ó t/año).

λ_j : Es el coeficiente de potencialidad másica de producción de biomasa en un sistema de características j . (tonelada de biomasa residual por cantidad de biomasa aprovechable de forma industrial: m^3 madera, toneladas de fruta etc.).

S_j : Es la superficie del sistema de características j (ha).

δ_j : Es el coeficiente de potencialidad superficial de producción de biomasa en un monte de características j . (t de biomasa residual/ha y operación)

El subíndice j hace referencia a la especie dominante, edad, número de árboles por hectárea, diámetro medio de los árboles, altura media de la vegetación, determinada operación realizada en su gestión (clareo, poda, corta final selectiva, apertura de camino, limpieza etc.) y tecnología empleada en la extracción de la biomasa residual generada. Dependiendo de los

sistemas estudiados debe usarse la ecuación (1) ó (2) como mejor aproximación, conociendo λ y δ respectivamente. Por ejemplo, en operaciones de limpieza de monte, apertura de caminos etc. se utilizará la ecuación (2) para determinar la biomasa residual que se puede obtener en esa operación. En sistemas de aprovechamiento maderero, clareos, podas etc. la ecuación (1) se utilizara para obtener el volumen de biomasa residual que se produce en ese tipo de aprovechamiento.

Para la obtención de λ y δ se siguió el esquema experimental mostrado en la **Figura 8**.

Los factores λ y δ serán obtenidos experimentalmente mediante las ecuaciones (3) y (4):

$$\lambda_j = \frac{V_{astillasX}}{V} \quad (3) \quad \text{y} \quad \delta_j = \frac{V_{astillasX}}{S} \quad (4)$$

Siendo $V_{astillasX}$ la masa de astillas obtenida en cada una de las variantes posibles. Se valorará el transporte atendiendo a las vías de acceso y caminos. Finalmente se obtendrá el rendimiento energético de los productos obtenidos mediante calorímetro. Se ha analizado diferentes posibilidades de secado, formación de *pellets* o briquetas, mezcla con otros productos etc..

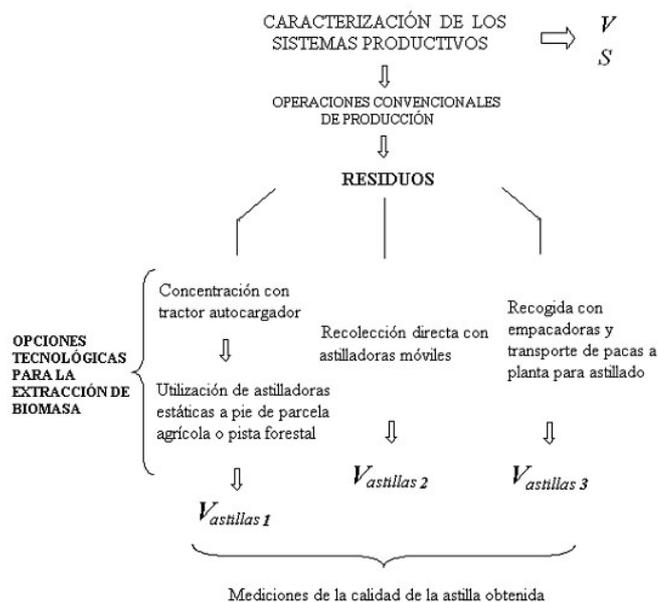


Figura 8. Esquema e los experimentos para la obtención de λ y δ

Por ultimo, con la información recogida se puede generar un Sistema de Información Geográfica que localice las áreas productoras de los residuos anteriores, contabilice volúmenes de producción, modelado de sistemas de recogida y transporte, junto los costes de abastecimiento, para poder planificar y gestionar adecuadamente el destino de estos residuos.

Referencias

- Andersen, R., Towers, W. y Smith, P. 2005. Assessing the potential for biomass energy to contribute to Scotland's renewable energy needs. *Biomass & Bioenergy* 29(2): 73-82.
- Antolin, G., Irusta, R., Velasco, E., Carrasco, J., Gonzalez, E. y Ortiz, L. 1996. Biomass as an energy resource in Castilla y Leon (Spain) *Energy* 21(3): 165-172.
- Askew, M. y Holmes, C. 2002. The potential for biomass and energy crops in agriculture in Europe, in land use, policy and rural economy terms (Reprinted from *Aspects in Applied Biology*, vol 65, pg 365-374, 2001), *International Sugar Journal* 104 (1247): 482.
- Attiwill, P. y Ovington, J. 1968. Determination of forest biomass. *Forest Science* 14: 13-15.

- Bahia, R. 2003. The role of natural gas in electricity generation and the CO₂ forest ecosystem balance in clean sustainable development. *Journal of Canadian Petroleum Technology* 42 (9): 11-17.
- Balboa M., Alvarez, J., Rodriguez-Soalleiro, R., Merino A. 2003. Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria. Parte II: Cuantificación e Implicaciones ambientales. *CIS-Madera* 10: 27-37.
- Camps, M. y Marcos, F. 2002. Los Biocombustibles. Ed. Mundi-Prensa: 348 pp.
- FAO. 1997. The role of wood energy in Europe and OECD, WETT-Wood Energy Today for Tomorrow. Rome: FOPW, Forestry Department. 87 pp.
- FAO. 2003. WISDOM, Wood Integrated Supply/Demand Overview Mapping: 52 pp.
- Hakkila, P., Heino, M. y Puranen, E. 1997. Forest management for bioenergy, Finish Forest Research Institute.
- Harte, M. y Loneragan, S. 1995. A multidimensional decision-support approach to sustainable development-planning. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 2(2): 86-103.
- Heller, M., Keoleian, G., Mann, M. y Volk, T. 2004. Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass. *Renewable Energy* 29 (7): 1023-1042.
- Lemus, R. y Lal, R. 2005. Bioenergy crops and carbon sequestration. *Critical Reviews in Plant Sciences* (1): 1-21.