



**Universidad de Jaén**

Escuela de Doctorado

**TESIS DOCTORAL**

**GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE  
BIOMASA EN PLANTAS DE GENERACIÓN  
ELÉCTRICA. FACTORES DETERMINANTES Y  
PROPUESTA DE UN MODELO DE  
ALMACENAMIENTO ÓPTIMO**

**PRESENTADA POR:**

**PEDRO JUAN LARA CHAVES**

**DIRIGIDA POR:**

**JULIO TERRADOS CEPEDA**

**JAÉN, 01 DE MARZO DE 2022**

**ISBN**





**Universidad de Jaén**

Escuela de Doctorado

## **TESIS DOCTORAL**

**GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE BIOMASA EN  
PLANTAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA. FACTORES  
DETERMINANTES Y PROPUESTA DE UN MODELO DE  
ALMACENAMIENTO ÓPTIMO**

**AUTOR**

**PEDRO JUAN LARA CHAVES**

**DIRECTOR**

**JULIO TERRADOS CEPEDA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS**

**UNIVERSIDAD DE JAÉN**

**JAÉN, 01 DE MARZO DE 2022.**



# UNIVERSIDAD DE JAÉN

## TESIS DOCTORAL

La memoria titulada “GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE BIOMASA EN PLANTAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA. FACTORES DETERMINANTES Y PROPUESTA DE UN MODELO DE ALMACENAMIENTO ÓPTIMO”, presentada por Pedro Juan Lara Chaves, aspirante al grado de Doctor en el Programa de Doctorado en Energías Renovables, ha sido realizada dentro del Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos de la Universidad de Jaén, en la línea de investigación: Evaluación y Aprovechamiento de Recursos Biomásicos, bajo la dirección del Doctor D. Julio Terrados Cepeda.

Jaén, 01 de Marzo de 2022.

El doctorando

Fdo. Pedro Juan Lara Chaves

El Director de la Tesis

Fdo. Julio Terrados Cepeda



Tesis Doctoral: Gestión del almacenamiento de biomasa en plantas de generación de energía eléctrica: Modelo Óptimo de Almacenamiento.

Autor: Pedro Juan Lara Chaves

Director: Julio Terrados Cepeda

El tribunal nombrado para juzgar el proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

**Presidente:**

**Secretario:**

**Voal:**

**Suplente:**

**Suplente:**

Jaén, 01 de Marzo de 2022.



# Agradecimientos

---

Y, por fin, llegó el momento...

Con este paso, culmino una de las etapas más duras, pero a la vez, más importantes y gratificantes de mi vida.

Han sido muchos momentos duros, montañas rusas de desánimos, noches largas de cafés de madrugada tras días duros de trabajo, en los que las ideas se nublan en la mente y no te dejan avanzar. Pero gracias a vuestro apoyo, ánimo y ayuda, he superado todos los obstáculos que se han presentado.

Quiero empezar agradeciendo a la persona, junto a la que inicié este largo camino. Recuerdo un día que me presenté en su despacho, allá por 2007, y le pedí ayuda para poder terminar mi proyecto final de carrera. Sin dudarlo ni un momento, hizo de mi trabajo el suyo y se puso a trabajar conmigo. Desde entonces no ha dejado de apoyarme y ayudarme en todo aquello que me he propuesto hacer: proyecto final de carrera, máster, TFM, investigación, doctorado. Muchas gracias Julio por creer en mí, por tu amabilidad, consejo, experiencia y conocimiento. Siempre tendrás en mí un amigo que te admira como persona y como profesional.

También quiero dar las gracias a aquellas personas que me han ayudado y que han puesto su granito de arena en este trabajo. Mis antiguos compañeros de trabajo de Sacyr Industrial, en especial Juan Miguel y Agustín. Su experiencia y conocimiento me han hecho crecer en el proyecto y resolver muchas dudas y problemas.

Como no, agradecer a mi familia, mis padres y hermana, por inculcarme sus valores de humildad, educación y trabajo, que me han conformado como la persona que soy. Gracias por vuestro apoyo incondicional y confianza plena en mí.

Y, por último, realizar un reconocimiento especial a aquella persona que me ha apoyado desde el primer día. Mi mujer Isabel. Si no hubiera sido por ella, en muchos momentos, me hubiera podido el desánimo. Hemos pasado muchos días duros, fines de semana en casa para avanzar, noches de espera e incertidumbre. A lo que se le suman dos embarazos, dos cambios de trabajo y dos mudanzas. Una guerrera sin igual, que ha liderado el frente de batalla para ganar esta guerra. Una madre especial y mujer genial. Mi mejor amiga y compañera. Muchas gracias por estar siempre ahí cuando se te necesita y por darme lo más importante de mi vida, nuestros hijos Alba y Gonzalo.

Gracias a todos de corazón.



***“El trabajo, la humildad y el respeto, te abrirán las puertas de tu destino”***

*Pedro Juan Lara Chaves*



*A mi mujer Isa,  
a mis hijos Alba y Gonzalo,  
a mis padres Aurora y Nono,  
a mi hermana Toñi y mi cuñado Javi,  
a mis sobrinos Javier y Guillermo.*



# Resumen

---

La biomasa es una fuente de energía renovable que, por su alta estacionalidad, necesita ser almacenada, manipulada y gestionada en condiciones adecuadas para su óptimo aprovechamiento. El almacenamiento sostenible es, por tanto, un proceso clave en el que la biomasa puede perder gran parte de sus cualidades como combustible. La presente tesis doctoral presenta una revisión bibliográfica exhaustiva de los factores que inciden en la calidad de la biomasa durante el almacenamiento y las interacciones que se producen entre ellos. Se analizan la humedad, el tipo de producto, la granulometría, el tamaño del acopio, el flujo de aire, la temperatura y la acción microbiana como los principales factores que inciden en la biomasa durante el almacenamiento, y se comparan los resultados con los ensayos reales que se han realizado en campo con biomasa del olivar e industria del aceite de oliva, principalmente. Con el análisis de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, se realiza una propuesta de un modelo de almacenamiento, basado en el control de los factores más determinantes, para optimizar el uso de la biomasa almacenada y se presentan recomendaciones para que, utilizando un método de almacenamiento correcto, se reduzcan las pérdidas, los riesgos de degradación y autoignición, y se pueda mejorar la calidad energética del combustible, aprovechando el proceso de almacenamiento para optimizar el rendimiento energético neto.



## Abstract

---

Biomass is a renewable energy source that, due to its high seasonality, needs to be stored, handled and managed in suitable conditions for its optimum use. Sustainable storage is, therefore, a key process in which biomass can lose much of its qualities as fuel. This doctoral thesis presents an exhaustive bibliographic review of the factors that affect the quality of biomass during storage and the interactions that occur among them. Humidity, type of product, granulometry, size of the stockpile, airflow, temperature, and microbial action are analysed as the main factors affecting biomass during storage, and the results are compared with the tests that have been carried out on biomass from olive groves and olive oil industry, mainly. With the analysis of the results obtained in the different tests, a proposal for a storage model is made, based on the control of the most determininig factors, to optimize the use of stored biomass and recommendations are presented so that, using a correct storage method, losses, degradation and self-ignition risks are reduced and the energy quality of the fuel could be improved, taking advantage of the storage process to optimize the net energy yield.



## Lista de símbolos y nomenclatura

---

Símbolo	Descripción	Unidades
A	Área	m <sup>2</sup>
CO <sub>2</sub>	Monóxido de Carbono	%
E	Energía	Kcal / h
G	Granulometría	Centímetros
%H	Porcentaje de humedad	%
H	Altura	Metros
L	Longitud	Metros
m	Peso	Kg
MW	Megawatio	MW
PCI	Poder Calorífico Inferior	Kcal / kg
PCS	Poder Calorífico Superior	Kcal / kg
T <sup>a</sup>	Temperatura	°C
t	Tiempo	Meses
Tn	Toneladas	Tonelada
V	Volumen	m <sup>3</sup>
ρ	Densidad	Kg / m <sup>3</sup>



# Terminología y Acrónimos

---

BOE	Boletín Oficial del Estado
CO <sub>2</sub>	Monóxido de Carbono
EAN	Número de Artículo Europeo
EOI	Escuela de Organización Industrial
FIFO	First In First Out
F / P	Fórmula / Pesaje en Báscula
H <sub>2</sub> O	Agua
LIFO	Last in First Out
O&M	Operación y Mantenimiento
PEN	Plan Energético Nacional
PER	Plan de Energías Renovables
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PVC	Policloruro de vinilo
RD	Real Decreto
SIG	Sistemas de Información Geográfica
UN	Naciones Unidas



# Índice de Contenido

---

<b>RESUMEN</b> .....	I
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>LISTA DE SINÓNIMOS Y NOMENCLATURA</b> .....	V
<b>TERMINOLOGÍA Y ACRÓNIMOS</b> .....	VII
1.- Introducción, Objetivos y Estructura.....	3
1.1.- Introducción.....	3
1.2.- Objetivos.....	6
1.3.- Estructura.....	7
2.- Estudio de los factores, técnicas y métodos que intervienen en la gestión y almacenamiento de la biomasa a gran escala, en plantas de generación eléctrica.....	11
2.1.- Introducción al capítulo.....	11
2.2.- Factores que influyen en el almacenamiento.....	12
2.2.1.- Humedad, granulometría, tamaño del acopio, componente herbácea. Relación con la temperatura.....	14
2.2.2.- Actividad microbiana. Relación con humedad y temperatura.....	28
2.2.3.- Emisiones. Relación con temperatura.....	36
2.2.4.- Otros factores.....	37
2.3.- Tipos de Almacenamiento. Su efecto sobre la humedad, temperatura y pérdida de materia seca y energía.....	38
2.3.1.- Introducción.....	38
2.3.2.- Clasificación de los tipos de almacenamiento.....	38
2.3.3.- Tipos de almacenamiento.....	40
2.4.- Métodos y prácticas de almacenamiento de biomasa.....	54
2.4.1.- Introducción.....	54
2.4.2.- Técnicas Pre-almacenamiento.....	56

2.4.3.- Sistemas de rotación de stock .....	57
2.4.4.- Métodos de almacenamiento.....	59
2.4.5.- Métodos de control de parámetros físico-químicos en los acopios.....	64
2.5.- Recomendaciones bibliográficas para un almacenamiento óptimo de biomasa .....	69
2.6.- Resumen y conclusiones del capítulo .....	73
3.- Estudio experimental de almacenamiento de biomasa. Pruebas y ensayos. Análisis de ensayos y determinación de los principales aspectos a tener en cuenta para realizar un almacenamiento óptimo.....	77
3.1.- Introducción al capítulo .....	77
3.2.- Generalidades en el almacenamiento de biomasa. Características de las biomosas utilizadas. ....	78
3.2.1.- Antecedentes .....	78
3.2.2.- Productos de ensayo. Características .....	81
3.2.3.- Acopios de Biomasa. Formas y tamaños.....	85
3.3.- Procedimiento utilizado para la realización de los acopios, seguimiento de los acopios y la realización de la toma de datos de los ensayos para su posterior evaluación .....	87
3.3.1.- Planteamiento Inicial .....	87
3.3.2.- Procedimiento de toma de datos en los acopios de biomasa .....	88
3.4.- Descripción de los ensayos y pruebas realizadas .....	93
3.4.1.- Método Pila Única.....	94
3.4.2.- Valoración .....	107
3.4.3.- Método Multi-Pila.....	108
3.4.4.- Pruebas y Ensayos de Campo.....	109
3.4.5.- Otras pruebas.....	170
3.4.6.- Tablas resumen de resultados de los ensayos de campo .....	182
3.5.- Resumen y conclusiones del capítulo .....	197
4.- Propuesta de un modelo de gestión para un almacenamiento óptimo de biomasa a gran escala.....	201
4.1.- Introducción al capítulo .....	201
4.2.- Propuesta del modelo de gestión .....	202
4.3.- Descripción del modelo propuesto. “Modelo Combinado” .....	203
4.3.1.- Formulación del Modelo Combinado .....	204
4.3.2.- Diagrama de bloques del uso del Modelo Combinado.....	218
4.4.- Resumen y conclusiones del capítulo .....	219
5.- Influencia del almacenamiento de biomasa en el régimen retributivo.....	223

5.1.- Introducción al capítulo .....	223
5.2.- Análisis de la evolución reglamentaria - legislativa en lo referente a energías renovables y biomasa .....	224
5.3.- Comprobación en los ensayos de campo más significativos .....	227
5.3.1.- Prueba nº6 .....	228
5.3.2.- Prueba nº12 .....	232
5.3.3.- Prueba nº22 .....	235
5.3.4.- Prueba nº27 .....	238
5.3.5.- Prueba nº49 .....	241
5.4.- Resumen y conclusiones del capítulo .....	245
6.- Conclusiones y Consideraciones Finales .....	249
6.1.- Conclusiones .....	250
6.2.- Líneas de investigación futuras .....	256
6.3.- Publicaciones generadas en el marco de la Tesis .....	258
6.3.1.- Artículos .....	258
6.3.2.- Aportaciones a congresos .....	259
Anexos .....	277
Anexo I: Pruebas y Ensayos .....	277
Anexo II: Análisis de la Legislación en materia de Energías Renovables .....	392
Anexo III: Otras tablas de resultados e información .....	443

# Índice de Tablas

---

Tabla 1.- Composición química de los típicos materiales lignocelulósicos. [Garstand, J. et al., 2002] .....	28
Tabla 2.- Rango de pérdida de materia seca según los diferentes tipos de almacenamiento. [Saxe, C., 2007].....	45
Tabla 3.- Resultados ensayo de almacenamiento con astillas de chopo. [Jirjis, R., 1995].....	46
Tabla 4.- Máxima altura recomendada para acopios de biomasa. [NordicInnovation Centre, 2008] .....	71
Tabla 5.- Tabla resumen de actuaciones en el almacenamiento de biomasa. [Fuller, W., 1985] .....	72
Tabla 6.- Principales Características de la biomasa como combustible. [Fuente: Elaboración Propia].....	85
Tabla 7.- Clasificación del tamaño de los acopios. [Fuente: Elaboración Propia] .....	86
Tabla 8.- Combinaciones planteadas para las pruebas de almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia].....	88
Tabla 9.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº6. [Fuente: Elaboración Propia].....	112
Tabla 10.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº6. [Fuente: Elaboración Propia].....	112
Tabla 11.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº7. [Fuente: Elaboración Propia].....	113
Tabla 12.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº7. [Fuente: Elaboración Propia].....	113
Tabla 13.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº8. [Fuente: Elaboración Propia].....	114
Tabla 14.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº8. [Fuente: Elaboración Propia].....	114
Tabla 15.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº9. [Fuente: Elaboración Propia].....	115
Tabla 16.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº9. [Fuente: Elaboración Propia].....	115
Tabla 17.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº10. [Fuente: Elaboración Propia].....	116

Tabla 18.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº11. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	117
Tabla 19.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº11. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	117
Tabla 20.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	118
Tabla 21.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	118
Tabla 22.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº13. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	119
Tabla 23.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº13. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	119
Tabla 24.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº14. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	120
Tabla 25.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº14. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	120
Tabla 26.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº15. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	121
Tabla 27.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº15. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	121
Tabla 28.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº16. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	122
Tabla 29.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº16. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	122
Tabla 30.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº17. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	123
Tabla 31.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº17. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	123
Tabla 32.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº18. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	124
Tabla 33.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº18. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	124
Tabla 34.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº19. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	125
Tabla 35.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº19. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	125
Tabla 36.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº20. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	126
Tabla 37.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº20. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	126
Tabla 38.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº21. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	127
Tabla 39.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº21. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	127

Tabla 40.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	128
Tabla 41.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	128
Tabla 42.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº23. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	129
Tabla 43.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº23. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	129
Tabla 44.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº24. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	130
Tabla 45.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº25. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	131
Tabla 46.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº25. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	131
Tabla 47.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº26. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	132
Tabla 48.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº26. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	132
Tabla 49.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	133
Tabla 50.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	133
Tabla 51.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº28. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	134
Tabla 52.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº28. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	134
Tabla 53.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº29. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	135
Tabla 54.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº29. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	135
Tabla 55.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº30. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	136
Tabla 56.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº30. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	136
Tabla 57.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº31. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	137
Tabla 58.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº31. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	137
Tabla 59.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº32. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	138
Tabla 60.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº32. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	138
Tabla 61.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº33. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	139

Tabla 62.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº33. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	139
Tabla 63.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº34. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	140
Tabla 64.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº34. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	140
Tabla 65.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº35. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	141
Tabla 66.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº35. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	141
Tabla 67.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº36. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	142
Tabla 68.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº36. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	142
Tabla 69.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº37. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	143
Tabla 70.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº37. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	143
Tabla 71.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº38. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	144
Tabla 72.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº38. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	144
Tabla 73.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº39. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	145
Tabla 74.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº39. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	145
Tabla 75.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº40. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	146
Tabla 76.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº40. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	146
Tabla 77.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº41. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	147
Tabla 78.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº41. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	147
Tabla 79.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº42. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	148
Tabla 80.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº42. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	148
Tabla 81.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº43. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	149
Tabla 82.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº43. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	149
Tabla 83.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº44. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	150

Tabla 84.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº44. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	150
Tabla 85.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº45. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	151
Tabla 86.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº45. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	151
Tabla 87.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº46. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	152
Tabla 88.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº46. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	152
Tabla 89.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº47. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	153
Tabla 90.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº47. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	153
Tabla 91.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº48. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	154
Tabla 92.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº48. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	154
Tabla 93.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	155
Tabla 94.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	155
Tabla 95.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº50. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	156
Tabla 96.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio prueba nº50. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	156
Tabla 97.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº51. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	157
Tabla 98.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº51. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	157
Tabla 99.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº52. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	158
Tabla 100.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº52. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	158
Tabla 101.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº53. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	159
Tabla 102.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº53. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	159
Tabla 103.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº54. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	160
Tabla 104.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº54. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	160
Tabla 105.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº55. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	161

Tabla 106.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº55. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	161
Tabla 107.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº56. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	162
Tabla 108.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº56. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	162
Tabla 109.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº57. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	163
Tabla 110.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº57. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	163
Tabla 111.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº58. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	164
Tabla 112.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº58. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	164
Tabla 113.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº59. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	165
Tabla 114.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº59. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	165
Tabla 115.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº60. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	166
Tabla 116.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº60. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	166
Tabla 117.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº61. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	167
Tabla 118.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº61. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	167
Tabla 119.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº62. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	168
Tabla 120.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº62. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	168
Tabla 121.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº63. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	169
Tabla 122.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº63. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	169
Tabla 123.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº64. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	170
Tabla 124.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº64. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	170
Tabla 125.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº65. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	171
Tabla 126.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº65. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	171
Tabla 127.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº66. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	172

Tabla 128.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº66. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	172
Tabla 129.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº67. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	173
Tabla 130.- Datos de los acopios realizados en la prueba nº68 (Valores estimados). [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	175
Tabla 131.- Tabla de variación de PCS/PCI de los acopios de hueso de la prueba nº68. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	175
Tabla 132.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba tronco de pino. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	182
Tabla 133.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba tronco de pino. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	182
Tabla 134.- Tabla resumen de los datos obtenidos de las pruebas de almacenamiento de biomasa realizadas. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	183
Tabla 135.- Tabla resumen de los datos obtenidos de las pruebas de almacenamiento de biomasa realizadas. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	184
Tabla 136.- Tabla resumen de las pruebas de acopios de biomasa realizados por tipo de producto. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	196
Tabla 137.- Criterios de prioridad según la humedad de la biomasa. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	206
Tabla 138.- Importancia de la humedad inicial según el tipo de biomasa almacenada. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	206
Tabla 139.- Valores o criterios de prioridad según la humedad de la biomasa almacenada. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	207
Tabla 140.- Criterios de prioridad según el tiempo de almacenamiento. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	207
Tabla 141.- Importancia del periodo de almacenamiento según el tipo de biomasa almacenada. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	208
Tabla 142.- Criterios de prioridad según el tiempo de almacenamiento. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	208
Tabla 143.- Criterios de prioridad según la componente herbácea de la biomasa. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	209
Tabla 144.- Importancia de la componente herbácea de cada biomasa. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	210
Tabla 145.- Criterios de prioridad según la componente herbácea de cada biomasa. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	210
Tabla 146.- Criterios de prioridad según el tamaño del acopio. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	211
Tabla 147.- Importancia del factor tamaño del acopio según el tipo de biomasa. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	212
Tabla 148.- Criterios de prioridad de consumo del acopio según el tamaño del acopio. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	212
Tabla 149.- Criterios de prioridad según la temperatura del acopio. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	213
Tabla 150.- Importancia del factor temperatura del acopio según el tipo de biomasa. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	214

Tabla 151.- Criterios de prioridad de consumo del acopio según el aumento del factor temperatura. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	214
Tabla 152.- Criterios de prioridad según la granulometría del acopio. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	215
Tabla 152.- Cronograma legislación aplicada a las energías renovables. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	224
Tabla 153.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	229
Tabla 154.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	230
Tabla 155.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	230
Tabla 156.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	230
Tabla 157.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	230
Tabla 158.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº6. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	231
Tabla 159.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº6. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	231
Tabla 160.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº6. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	231
Tabla 161.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	233
Tabla 162.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	233
Tabla 163.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	233
Tabla 164.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	234
Tabla 165.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	234
Tabla 166.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	234
Tabla 167.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	234
Tabla 168.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº12. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	235
Tabla 169.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	236
Tabla 170.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	236

Tabla 171.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	237
Tabla 172.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	237
Tabla 173.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	237
Tabla 174.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	237
Tabla 175.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	238
Tabla 176.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº22. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	238
Tabla 177.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	239
Tabla 178.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	239
Tabla 179.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	240
Tabla 180.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	240
Tabla 181.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	240
Tabla 182.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	240
Tabla 183.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	241
Tabla 184.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº27. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	241
Tabla 185.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	242
Tabla 186.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	242
Tabla 187.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	243
Tabla 188.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	243
Tabla 189.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	243
Tabla 190.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	243
Tabla 191.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ]	244

Tabla 192.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº49. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ].....	244
Tabla 193.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº8. [Fuente: <i>Elaboración Propia</i> ].....	285



# 1.- Introducción, Objetivos y Estructura

---



# 1.- Introducción, Objetivos y Estructura de la Tesis Doctoral

## 1.1.- Introducción

Hoy día, y desde hace varias décadas, el cambio climático es uno de los más serios problemas medioambientales que se está afrontando en el mundo. El Marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UN 1992, artículo 2) pide una “...estabilización de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera en un nivel que prevenga interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático...”. La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera continuará aumentando a menos que se realicen cambios en la manera de utilizar los combustibles fósiles en los diferentes servicios energéticos. [Berndes, G.; Hoogwijk, M. y Van den Broek, R., 2003]

Gran parte de las ciudades a lo largo del mundo están reconsiderando la biomasa como un recurso altamente potencial de energía renovable y sostenible. Se dice que la biomasa será la base de la futura bioeconomía. Existen muchos factores que han originado que se centre la atención en la biomasa, entre los más importantes: [Wood S. M. y Layzell, D.B., 2003]

- Cambio climático y la mitigación de los gases de efecto invernadero. La biomasa es un recurso renovable cuyas emisiones generadas durante su uso son prácticamente nulas.
- Suministro de energía y seguridad. La demanda energética y el crecimiento del precio de los combustibles fósiles hace que el suministro de energía sea cada vez más difícil y costoso, lo que hace plantearse otros sistemas o métodos de obtención de energías más baratas y seguras.
- Innovación. La tecnología progresa a gran velocidad y las nuevas tecnologías, en lo referente a la biomasa, hacen que muchas industrias puedan mejorar sus procesos productivos y así obtener mejores beneficios, tanto sociales como económicos.
- Desarrollo rural. La biomasa ayudará, ampliará y mejorará los mercados que ya están implantados aumentando el empleo y la economía en la región, además de generar nuevos debido a la acción indirecta de las necesidades de estas industrias.
- Calidad del Aire. Mejorará la calidad del aire, sobretodo en zonas industriales.

La biomasa es uno de los recursos renovables de energía en el que los responsables políticos se basan, en gran medida, para reducir las emisiones de gases efecto invernadero. La comunidad académica también ha estado muy interesada en la explotación energética de la biomasa. Muchos estudios han sido realizados con el fin de potenciar la contribución de la biomasa en el suministro de energía del futuro, tanto a nivel regional como nacional.

Las diferentes fases, que componen esta contribución de la biomasa mediante su aprovechamiento y uso, se ven afectadas por diversos factores que dificultan la gestión y manipulación del producto: [Garstand, J. et al., 2002]

- Tipo de biomasa. Cada producto tiene características diferentes, por lo que se trata de manera diferente. Ejemplos: Pino, Chopo, Poda de Olivo, Residuos de Jardín, Orujillo,...
- Características Físico – Químicas. Se podría decir que casi todos los trabajos destinados al aprovechamiento de la biomasa van a estar condicionados por estas características y que, en función del estado o valor de cada una de ellas, la biomasa será manipulada de una manera o de otra. Ejemplos: Humedad, PCI, Granulometría, Suciedad,...
- Clima y Localización. No solo las características de la biomasa pueden afectar al proceso de aprovechamiento sino el propio clima de la zona, donde se realice el proceso, puede modificar y empeorar estas características. Ejemplo: Ambiente húmedo, Temperatura, cercanía de humedales o zonas húmedas,...
- Aspectos Económicos. Coste del producto, retribución por la venta de energía, rentabilidad,...
- Aspectos Técnicos. Enfocados a la mejora de la producción y, por lo tanto, del rendimiento como por ejemplo, dependiendo del tipo de hogar y parrilla del hogar la combustión de un producto podrá ser mejor o peor, el transporte y mezcla de diferentes productos hasta el hogar pueden producir cambios en la producción,...
- Aspectos Legislativos. Los cambios legislativos afectan directamente al uso y precios de la biomasa.

En la actualidad, uno de los principales obstáculos que tiene la biomasa es el marco regulatorio o normativa a la que está sujeta. Este es un aspecto importante a tratar, ya que el rendimiento del uso de la biomasa va a estar influenciado por las pautas marcadas por la normativa establecida. Sobre todo, la que regula y controla las retribuciones y beneficios que se obtendrán del uso de la biomasa con fines energéticos. Los cambios legislativos han intervenido mucho en la forma de trabajar de las instalaciones, cambios de tecnología, utilización de diferentes tipos de productos, diferentes objetivos. Por lo tanto, para conseguir una optimización del proceso de aprovechamiento de la biomasa

habrá que estudiar la legislación vigente, sus efectos y repercusiones en el proceso productivo.

Una de las principales ventajas de la biomasa es que es una fuente de energía versátil, ya que no solo se puede generar electricidad y calor con ella, sino también biocombustibles para el sector del transporte. Es también una de las pocas fuentes de energía renovable que puede ser almacenada y ser utilizada posteriormente para generar energía bajo la demanda requerida. *[Rentizelas A. A.; Tatsiopoulos, I. P. y Tolis, A., 2009]*

La idea de que la biomasa pueda ser almacenada para su posterior uso, tanto a corto como a medio y largo plazo, también centra el interés de este estudio. La biomasa se genera de manera estacional, mientras que las necesidades de consumo de las diferentes instalaciones de aprovechamiento son, normalmente, a lo largo de todo el año. Esto hace que sea necesario almacenar biomasa para poder disponer de ella en periodos de tiempo en los que no existe producción o suministro de biomasa. *[Gold, S. y Suering, S., 2011] [Eriksson, A., 2011]*

Durante el proceso de aprovechamiento de la biomasa, concretamente, el uso de la biomasa para la producción de energía térmica o eléctrica, el almacenamiento es una de las fases más importantes debido a la repercusión que puede tener en la producción y, por lo tanto, en los beneficios que pueda obtener la empresa, no solo económicos sino también en temas de control, calidad y seguridad de los trabajos e instalaciones. Se considera muy importante esta fase porque es donde se produce el deterioro del material, originando pérdidas de calidad y, por lo tanto, pérdidas energéticas y económicas.

El almacenamiento de biomasa comenzó en los años 50 con el uso de los productos residuales de la madera como el mejor recurso para realizar astillas. La idea del almacenamiento aparece debido a la necesidad de manejar las intermitencias del flujo de astillas generadas por los molinos o trituradores. Los acopios de astilla surgieron para poder generar inventarios de stocks en periodos del año donde el suministro de madera era bajo, tales como invierno o tiempos de lluvias. En los primeros años del uso de almacenamiento de astilla en acopios o pilas, hubo pérdidas catastróficas como resultado de altas temperaturas en las pilas y de los incendios producidos en las mismas. *[Fuller, W., 1985]*

Numerosos estudios han determinado el mecanismo que causa esta deterioración y muchos métodos han estado desarrollados para controlar el deterioro de la materia prima y reducir las pérdidas económicas. En cada uno de ellos, se señala que unos de los principales factores que influyen en el almacenamiento es el tipo de producto almacenando *[Gislerud, O., 1990]*. La mayoría se centran en el almacenamiento de productos tales como los granos de maíz para la alimentación, astillas de madera para

la producción de energía, residuos orgánicos para la producción de compost o biogás, etc. Pero existen pocos estudios que se centren en el comportamiento de pilas de madera durante su almacenamiento, a medio – largo plazo, para su posterior uso en plantas de combustión de biomasa.

## **1.2.- Objetivos de la Tesis Doctoral**

En esta tesis doctoral se va a realizar un análisis de las prácticas y trabajos que se han realizado en los últimos años referentes al almacenamiento de biomasa a gran escala, encaminados a minimizar las pérdidas de calidad de la biomasa almacenada y, por lo tanto, a maximizar y optimizar la producción y generación de energía, haciendo una valoración comparativa entre diferentes biomosas.

Para ello, se va a realizar un análisis de diferentes biomosas, en especial, la poda de olivar, y de aquellos principales factores que afectan a su almacenamiento a gran escala, durante largos periodos de tiempo. El conocimiento y control de factores como la humedad, granulometría, componente herbácea, temperatura, son determinantes para la conservación de las características físico-químicas de la biomasa.

Se van a analizar los mejores y más eficientes métodos de gestión y control de almacenamiento de biomasa para conseguir mantener su contenido energético en la mayor proporción posible y, así, optimizar los rendimientos y eficiencia del proceso de aprovechamiento de la biomasa para la producción de energía eléctrica.

Por otro lado, se van a realizar ensayos de campo de donde se recopilará información para formular un modelo de almacenamiento óptimo que permita almacenar la biomasa de una manera segura y eficiente, reduciendo las degradaciones, pérdidas de propiedades y eliminación de otros riesgos como la fermentación y autocombustión.

En definitiva, los principales objetivos de este estudio son:

1. Analizar el comportamiento de la biomasa durante su almacenamiento a gran escala para la generación de energía. Factores determinantes.
2. Relación entre los factores determinantes de la biomasa en el almacenamiento. Su variación durante el almacenamiento y su efecto sobre el balance energético.
3. Estudiar las técnicas de almacenamiento de biomasa a gran escala para la generación de energía.
4. Realizar pruebas y ensayos de campo, detectando problemas y aportar propuestas de soluciones.
5. Optimización del aprovechamiento de la biomasa. Observar los efectos del almacenamiento en el proceso productivo.
6. Creación de un modelo de almacenamiento óptimo para minimizar pérdidas y maximizar beneficios.

7. Análisis de los diferentes modelos retributivos que se han ido sucediendo en los últimos años.
8. Analizar los efectos del almacenamiento sobre la retribución económica percibida por la generación de energía eléctrica con biomasa, basándose en la legislación vigente. RD 413/2014.

### **1.3.- Estructura del documento**

En la presente tesis doctoral se va a realizar un análisis de la gestión, manipulación y almacenamiento de biomasa a gran escala en plantas de generación de energía eléctrica.

En primer lugar, se va a realizar un análisis bibliográfico exhaustivo de aquellos factores, técnicas y métodos que intervienen en la gestión y el almacenamiento de la biomasa a gran escala. Se analizan los factores que influyen en el almacenamiento, los tipos de almacenamiento, sus efectos sobre la humedad, temperatura y pérdida de materia seca y energía y, finalmente, se revisan los métodos y prácticas de almacenamiento de biomasa comúnmente utilizados (Capítulo 2).

Posteriormente, se va a realizar un estudio experimental de sobre el almacenamiento de biomasa. El estudio se basa en un amplio número de pruebas de campo con diferentes tipos de biomasa de características físico-químicas diferentes. Estas pruebas de campo van a incluir el estudio y el seguimiento de la evolución de la biomasa almacenada en cada uno de los acopios durante un determinado periodo de tiempo. Con anterioridad, se va a realizar una breve descripción de las características de las diferentes biomasa estudiadas y de los materiales y procedimientos utilizados para la realización de los acopios y para la toma y registro de datos (Capítulo 3).

Una vez analizadas las pruebas de campo y en base a las conclusiones obtenidas, se va a proponer un modelo para la gestión óptima del almacenamiento de biomasa a gran escala que permita la conservación o mejora de las características físico-químicas iniciales de la biomasa, lo que repercutirá en la producción de la planta y, por lo tanto, en su rendimiento (Capítulo 4).

Además, se va a realizar un análisis de la evolución y situación actual de la legislación española en materia de biomasa. Analizando, en base a la normativa actual, como podría afectar la gestión de la biomasa almacenada en una planta a la retribución económica recibida por la generación de energía eléctrica con biomasa y, por lo tanto, a la rentabilidad de la planta (Capítulo 5).

Finalmente se presentan las principales conclusiones de la Tesis Doctoral, una propuesta de líneas de investigación futuras, y la reseña de las publicaciones generadas en el marco de la Tesis (Capítulo 6).



## 2.- Estudio de los factores, técnicas y métodos que intervienen en la gestión y almacenamiento de la biomasa a gran escala, en plantas de generación de energía eléctrica

---



## **2.- Estudio de los factores, técnicas y métodos que intervienen en la gestión y almacenamiento de la biomasa a gran escala, en plantas de generación eléctrica.**

### **2.1.- Introducción al capítulo**

La biomasa es una fuente de energía renovable muy heterogénea, de distintos tipos y de diversas composiciones cada uno. Esto hace que su manipulación sea diferente en función del tipo de biomasa que se esté utilizando o se vaya a utilizar, a lo que hay que añadir, no solo las condiciones en las que se trabaje tales como zonas húmedas, clima, espacios y superficies, sino también la forma o técnicas utilizadas para almacenar el producto, conservarlo, secarlo, trabajos de mecanizado, etc. Puesto que, las prácticas de manipulación también pueden influir en la calidad de la biomasa. [Janzé, P., 2011a]

La gran parte de los estudios realizados sobre aprovechamiento de biomasa coinciden en que la etapa de almacenamiento es muy importante y que durante la misma se produce pérdida de calidad en el producto y pérdida de materia seca, que será más grande cuanto peor se realice el almacenamiento [Alakoski, E. et al., 2016]. La utilización de un buen método de almacenamiento reducirá las pérdidas en gran medida [Emery, I.; Dunn, J. y Han, J., 2015]y, por lo tanto, las pérdidas económicas, tal y como se indica en un estudio realizado por Ronald González [González, R. et al., 2011], en el que asegura que durante el almacenamiento se generan grandes pérdidas económicas. También existen estudios europeos que han demostrado que la biomasa puede ser almacenada en el campo para mejorar la calidad del combustible. Por ejemplo, el estudio de Shuva Gautam demuestra que la calidad de la madera cambia durante su almacenamiento y también su rendimiento energético neto. [Gautam, S. et al., 2011]

Pocos estudios documentados han sido dirigidos a las prácticas a realizar en el almacenamiento de biomasa. La manipulación de la biomasa tiene un efecto sobre la calidad, por lo que es necesario tener un mayor conocimiento de los requisitos de almacenamiento requeridos. [Janzé, P., 2011a]

Para poder conocer cuál es el método de almacenamiento más adecuado, hay que conocer los tipos de biomasa que van a ser almacenados y de que factores depende la

conservación o no de sus características físico-químicas durante el periodo de almacenamiento.

Por lo tanto, en este capítulo se va a realizar una revisión bibliográfica de todos aquellos factores que afectan a la biomasa durante su almacenamiento y de cuales son los tipos y métodos de almacenamiento utilizados.

## 2.2.- Factores que influyen en el almacenamiento

El almacenamiento de astillas ha sido investigado a varios niveles durante años. Estas investigaciones han concluido en que existe un amplio rango de factores que afectan al almacenamiento. La biomasa no es un material fácil de manipular, ya que aparece en numerosas especies, formas, tamaños, características. [Janzé, P., 2011a]

Paul Janzé comenta en su artículo que, aunque las características de la biomasa son muchas y pueden variar considerablemente, hay 4 parámetros que deben conocerse y controlarse bien para realizar un almacenamiento óptimo de la biomasa:

- ✓ Contenido de humedad.
- ✓ Tamaño de partículas.
- ✓ Contaminación mínima para minimizar el contenido de cenizas.
- ✓ Poder calorífico.

Una biomasa con buena calidad es homogénea, bajo contenido en humedad, bajo contenido en cenizas, poco follaje y pequeñas partículas. Esta calidad es afectada por la forma, lugar, duración del almacenamiento y por las condiciones meteorológicas. [Pettersson, M. y Nordfjell, T., 2007] [Suadicani, K. y Gamborg, C., 1999]

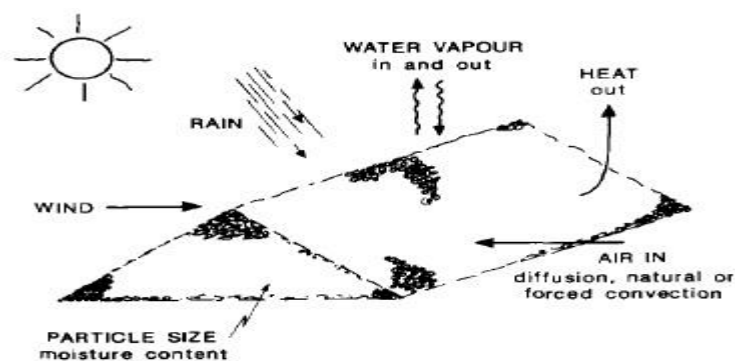


Imagen 1.- Factores que influyen en un acopio de biomasa. [Carras, J. y Youngt, B., 1994]

La velocidad o grado de pérdida de calidad del producto va a depender de:

- ✓ Tamaño del acopio y efectos del microclima del mismo.
- ✓ Tamaño del calentamiento y riegos de fuego en el acopio.

- ✓ Composición del material: madera dura, madera blanda, fracciones de hojas y cortezas, humedad inicial<sup>1</sup>.
- ✓ Distribución de ese contenido de humedad en la totalidad del acopio.
- ✓ Tamaño y distribución de las partículas.
- ✓ Distribución del acopio respecto a la incidencia del aire sobre él.
- ✓ Método de almacenamiento: compactado o suelto.
- ✓ Almacenamiento cubierto o descubierto, con o sin sistema de ventilación.
- ✓ Clima, lluvia, temperatura, incisión de sol.
- ✓ Humedad Relativa del Ambiente.
- ✓ Temperatura del aire ambiente o aire de ventilación.
- ✓ Microflora, Insectos y Bacterias.
- ✓ Velocidad y dirección del viento.

Todos estos factores interactúan con la composición química y, la mayoría están relacionados entre sí. [Garstand, J. et al., 2002] [Gislerud, O., 1990] [Eriksson, A., 2011] [Pari, L. et al., 2013] [LEA, 2007] [Hogland, W. y Marques, M., 2003] [Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A., 2001] [Gautam, S. et al., 2011] [Krzyżaniak, M. et al., 2016][Mills, J., 1989]

Se sabe que las pérdidas de almacenamiento en seco son mucho menores que las pérdidas de almacenamiento en húmedo. Por lo tanto, algunos estudios, como el de Isaac R. Emery y Nathan S. Mosier [Emery, I. R. y Mosier, N. S., 2012], consideran que las pérdidas son asociadas a:

- Contenido de humedad
- Exposición a la lluvia
- Contacto de la pila con el suelo

La mayor parte de las pérdidas en el almacenamiento parecen ocurrir durante la carga o manipulación inicial y el periodo de fermentación. En un estudio realizado por M. Pettersson [Pettersson, M. y Nordfjell, T., 2007], en el que analizan los cambios de la calidad del producto durante un tiempo de almacenamiento, se comenta que la calidad de la biomasa se ve afectada también por los métodos y maquinaria usada para la manipulación, triturado y transporte, siendo estos los principales causantes de pérdida de materia seca, llegándose a producir pérdidas de materia seca del 2% al 12% en una campaña. También comentan que la defoliación es una de las técnicas que origina mayor pérdida de materia seca en la biomasa. En definitiva, las pérdidas asociadas a la manipulación de la biomasa antes de su uso final van a depender del equipamiento y maquinaria utilizada. [Emery, I.; Dunn, J. y Han, J., 2015]

---

<sup>1</sup> La mayoría de los estudios coinciden en que la humedad es el principal factor a tener en cuenta en el almacenamiento de biomasa. Dependiendo de la humedad de la biomasa las condiciones de almacenamiento y la metodología a utilizar pueden variar en gran medida.

Estudios como el de Stefan Gold y Stefan Seuring [Gold, S. y Suering, S., 2011], añaden o amplían este rango de factores, proponiendo que existen otros que afectan a la pérdida de coste del producto durante el almacenamiento:

- La localización. El almacenamiento puede estar en las zonas cercanas al campo de cosecha o recogida, en la carretera o algunos centros más puntuales como pueden ser los silos del puerto.
- El tipo de almacén. Este puede variar desde almacenamientos al aire libre hasta almacenes de techo cerrado y con ventiladores. La elección del tipo de almacén va a depender del clima y de la etapa de procesado de la biomasa. Según Thornley [Thornley, P., 2008] y Rentizelas [Rentizelas A. A.; Tsiopoulos, I. P. y Tolis, A., 2009] para climas húmedos y climas mediterráneos, respectivamente, se pueden asumir instalaciones cubiertas, normalmente para almacenamientos de corta rotación.
- La actuación biológica. Disminuye la calidad de la biomasa y, por lo tanto, su rendimiento.
- Manipulación de la biomasa. La pérdida de materia seca está influenciada por el número de manipulaciones realizadas sobre la biomasa durante el almacenamiento.

Además, también afectarán el volumen y densidad de biomasa que vaya a ser almacenada y la duración del almacenamiento [Gold, S. y Suering, S., 2011] [Pari, L. et al., 2015] [Gautam, S. et al., 2011].

La proporción de madera, corteza o follaje, así como la proporción de tallos, ramas y finos están ligados a estos factores. También lo están el tipo de astillado y el estado de las cuchillas o martillos. La materia prima que, generalmente, no ha sido buscada por la industria tal como hojas, ramas, corona, corteza, son los componentes con más poder calorífico por unidad de peso. El problema es que dependiendo de la técnica o de cómo se recolecta, estas partes del árbol pueden llegar a ser muy costosas. Además de su alto contenido en humedad. [Nurmi, J., 1993] [Nurmi, J., 2014]

Haciendo un amplio sondeo, según la relación de estudios existentes en el área del almacenamiento de biomasa, los principales factores causantes de la aparición del resto de factores son: humedad, componente herbácea, granulometría de la biomasa, tipo y tamaño del acopio de almacenamiento.

### 2.2.1.- Humedad, granulometría, tamaño del acopio, componente herbácea. Relación con la temperatura

La mayoría de los estudios existentes, revelan que estos factores interactúan entre sí y que la variación en los parámetros de uno de ellos origina cambios en el resto. Una vez cortada, la madera verde va tomando gradualmente un estado de equilibrio con la

temperatura y humedad relativa del ambiente. Es la naturaleza higroscópica de las paredes de las células la que permite que este equilibrio fluctúe. [Gautam, S. et al., 2011]

Según M. Pettersson, la característica más importante de la biomasa es su contenido en humedad, ya que afecta al poder calorífico, a las propiedades de almacenamiento y a los costes de transporte, lo que afecta al precio del biocombustible. Aunque en algunos estudios se constata que la humedad media de la totalidad del acopio de biomasa apenas sufre cambios con el tiempo, pudiendo llegar incluso a incrementarse. [Pettersson, M. y Nordfjell, T., 2007] [López, I., 2008].

Una de las 2 siguientes condiciones debe mantenerse para que las pérdidas sean las menores posibles y la fibra se mantenga en buenas condiciones: [Atchison, J. y Hettenhaus, J., 2003]

- ❖ Humedad por debajo del 20%, para que la actividad microbiana sea nula.
- ❖ El material debe mantenerse húmedo, cerca del 80%.

Un contenido alto de la humedad produce disminución en la eficiencia, descomposición y pérdida de materia seca. La humedad es mayor en las hojas, después en la corteza, después en las ramas y, por último, en el tronco. La humedad es mayor en árboles de crecimiento rápido que en árboles de crecimiento lento. Normalmente, la humedad de un árbol recién cortado suele ser de 50%, aproximadamente. [Suadicani, K. y Gamborg, C., 1999]

La humedad de la biomasa puede variar entre 4% - 50%, en función del tipo de biomasa, de la época del año, de la campaña. Normalmente las plantas de generación termoeléctrica requieren unos valores de humedad de la biomasa bajos. Huisman indica que el máximo de humedad permitida es 10%, excepto para calderas de combustión que pueden asimilar hasta el 40% [Huisman, W., 2003]. Chaoui and Eckhoff reconocen que, si se van a utilizar métodos de almacenamiento en seco, la biomasa debe ser secada primero en el campo o terreno por debajo del 25% [Chaoui, H. y Eckhoff, S.R., 2014]. Por otro lado, humedades por debajo del 15% inhiben la actividad microbiana y permiten la seguridad de almacenar por largos periodos de tiempo. Humedades por encima del 20% lleva al crecimiento de hongos y bacterias. El calentamiento espontáneo se produce a partir del 25% de humedad, a no ser que se aplique ventilación continua. El humedecimiento de la biomasa durante el almacenamiento podría llevar a la putrefacción de la misma. La degradación de la biomasa está muy estrechamente ligada a la humedad. [Rentizelas, A. A., 2016]

Biomásas con alto contenido de humedad tienen una mayor actividad en el interior del acopio durante el almacenamiento. Si durante este almacenamiento no se genera un intercambio de calor entre el interior y el medio exterior, el incremento de temperatura, además, incrementa el ratio de las reacciones internas y el producto se vuelve cada vez más caliente (calentamiento). [Ramírez, A.; García-Torrent, J. y Tascón, A., 2010]

La humedad del aire siempre influencia al contenido de humedad de la biomasa. Los cambios en la humedad están gobernados por la relación de equilibrio entre la madera y el aire. Comparada con la humedad, la temperatura del aire no es un factor tan significativo. Si puede serlo cuando se trata de almacenamientos para cortos periodos de tiempo, sin embargo, otros factores toman más importancia cuando se trata de almacenamientos para largos periodos de tiempo. [Lin, Y. y Pan, F., 2012]

Pentti Hakkila añade, en el Programa de Tecnología Energética de la Madera Sueco, que la humedad es el factor más importante de la madera debido a que influye en: [Hakkila, P., 2004]

- ✓ Precio. Mayor humedad, menor precio.
- ✓ Poder Calorífico. Mayor humedad, menor poder calorífico.
- ✓ Trituración y/o Manipulación. Dependiendo del tipo de maquinaria, será más fácil triturar o manipular un producto seco o mojado.
- ✓ Transporte. Menor humedad, menor peso transportado en un mismo camión.
- ✓ Almacenamiento. Mayor humedad, mayor degradación de las propiedades de la biomasa a lo largo del periodo de almacenamiento.
- ✓ Producción<sup>2</sup>. La pérdida de las propiedades de la biomasa afecta directamente a la producción.
- ✓ Rentabilidad. Efectos negativos en la producción se trasladan a la rentabilidad.
- ✓ Emisiones. Mayor humedad, mayor posibilidad de combustiones incompletas y de emisiones de monóxido de carbono.

Los árboles vivos adquieren su humedad a través del suelo. El contenido de humedad varía de unas partes a otras del árbol, siendo a menudo más baja en los tallos, aumentando hacia las raíces y la corona. EL poder calorífico en las ramas y hojas es mayor que en el tronco. El problema es la gran diferencia de humedad entre ellos, además de la capacidad de absorción de agua de las ramas y hojas, además de lo rápido que se degradan y descomponen por las bacterias. [Suadicani, K. y Gamborg, C., 1999]

Esta humedad también varía según la campaña. En algunas especies la humedad es más alta en primavera, justo antes de la ruptura de los brotes, y más baja en verano. Cuando un árbol es cortado ya no puede obtener más humedad del suelo, por lo que su variación de humedad va a depender de las prácticas de manipulación y condiciones de almacenamiento. [Nurmi, J., 2014]

La variación de humedad de la biomasa está muy ligada a la temperatura y humedad relativa del aire ambiente. Esta variación de humedad puede estar entre 3% - 63%, pero puede llegar en algunos casos a humedades del 91% [Vassilev, S.; Vassileva, C. y Vassilev,

---

<sup>2</sup> Plantas pequeñas son muy susceptibles a las variaciones y aumentos de humedad en el combustible, mientras que plantas grandes son más tolerantes. Aunque, en la práctica, la variación de humedad en el combustible se ve bien reflejada en la producción. [Hakkila, P., 2004]

V., 2015]. El decaimiento de la madera puede iniciarse con humedades por encima de 26% - 32% [Gautam, S. et al., 2011].

En el estudio de A. Yasuhara, se llegó a la conclusión, entre otras, de que no solo el contenido en agua de la biomasa era el causante de la auto-ignición, sino que también son factores indicativos la temperatura inicial y el tamaño de las partículas [Yasuhara, A.; Amano, Y. y Shibamoto, T., 2010].

El tamaño de partículas en la pila también tiene un gran efecto en la absorción de humedad, el calor disipado, la generación de calor y pérdida de fibra seca. Una pila que contiene alta cantidad de finos absorbe más rápidamente y en gran medida la humedad, genera un aumento de calor más rápido debido a la acción de las bacterias, restringe los movimientos del aire a través del acopio, incrementa las pérdidas de fibra y posibilita la combustión espontánea. Con partículas de mayor tamaño ocurre lo contrario. [Janzé, P., 2011a]

Según un estudio realizado por Hannes Lenz, la diferencia más significativa entre acopios con tamaños de partículas finos y gruesos es que las pilas de gruesos se pueden almacenar por más de 5 meses y con una humedad de hasta el 30%, reduciéndose los costes de almacenamiento y de compra. Comenta además que a los 3 – 4 meses las temperaturas interior y exterior del acopio se igualan, lo que se traduce en una reducción de la pérdida de materia seca. [Lenz, H. et al., 2015]

Acopios más gruesos pierden humedad más lentamente, pero las astillas más finas la pierden más rápidamente, debido a la mayor área superficial. Por lo contrario, las astillas más finas tienen más pérdida de materia seca y, por lo tanto, más pérdida de energía [Pari, L. et al., 2015]. En definitiva, es la granulometría del material la que afecta a la circulación del aire a través del acopio.

La humedad del producto, el tamaño de las partículas y el lugar donde esté almacenado el producto afecta significativamente a la inflamabilidad del mismo [Ramírez, A.; García-Torrent, J. y Aguado, P.J., 2009]. Se observan diferencias significativas en el almacenamiento causadas por la diferencia de tamaño de las partículas. La mayor porosidad del acopio compuesto por partículas más grandes mejora la aireación natural del almacenamiento [Pecenka, R. et al., 2014]. Trazas más grandes secan mucho mejor. Cuanto mayor es el tamaño del combustible, mejor se seca. Los tamaños más pequeños no se secan realmente, ya sean cubiertos o no. El tamaño pequeño de partículas resulta en una alta superficie de acción para las bacterias, hongos, etc., aumentando la temperatura y la pérdida de materia seca. [Kofman, P., 2012]

Otros estudios, como el de John Garstand [Garstand, J. et al., 2002], estudiaron los cambios de humedad en acopios de 4,5 - 6 metros de altura y 450 toneladas, compuestos por una mezcla de maderas blandas y duras, durante 3 meses y medio. Se tomaron muestras a diferentes alturas 2, 4,5 y 6 metros, obteniéndose que la media de

la humedad de la superficie aumentó del 50% al 65%, mientras que la media de humedad de la muestra a 4,5 metros disminuyó a 35%, al final del estudio.

Según dice en el estudio de Thomas Thörnqvist [*Thörnqvist, T., 1985*], en los primeros 2 – 4 meses se produce un incremento de humedad, pero después de 6 – 9 meses el contenido de humedad va a ser el mismo que cuando se realizó el acopio. Con tiempos largos de almacenamiento la media de humedad incrementa. Si se tapa el acopio con un techo con circulación de aire la humedad disminuye. Pero si se tapa con una lona, la humedad aumenta. En relación a esta variación de humedad, en el almacenamiento de pilas pequeñas durante periodos medio – largos (9 meses), se recupera un 4% de energía por pérdida de humedad. El tiempo de almacenamiento es decisivo para la humedad [*Erlandsson, J., 2008*]. El contenido en humedad y la temperatura son los principales factores que determinan el periodo de almacenamiento. [*Mills, J., 1989*]

Un estudio realizado por M. Ernstson [*Ernstson, M. y Rasmuson, A., 1992*] analiza la permeabilidad de una pila de madera en función del flujo de aire y llega a la conclusión de que depende de la porosidad del material y de la compactación de la pila. Shuva Gautam comenta en su estudio que la interacción entre el medio y el acopio va a estar muy influenciada por la compactación del mismo. Compara entre maderas duras y blandas, donde los acopios de maderas duras tienen un mayor espacio vacío que los acopios de maderas blandas. La ramificación más pronunciada de maderas duras permite una menor compactación, por lo tanto, hay un porcentaje mayor de espacio libre, lo cual se traslada a una menor resistencia al paso del aire al interior de la pila de madera dura. En maderas blandas, los espacios vacíos son menores y, por lo tanto, hay mayor resistencia al flujo de aire, especialmente cuando la forma del acopio no es en hilera. [*Gautam, S. et al., 2011*]

También observa que la forma del acopio es un efecto significativo para el contenido de humedad del mismo. Demuestra en su estudio que acopios en hileras tienen mayor área expuesta al aire ambiente, lo que favorece el secado, enfriamiento y pérdida de humedad. [*Gautam, S. et al., 2011*]

En pilas grandes ocurre lo contrario, se reduce la energía en un 3% y en menos periodo de tiempo (6 meses). El aumento de humedad disminuye la permeabilidad del producto, por lo que se absorbe más energía que cantidad de líquido que se consigue evaporar [*Moqbel, S.; Reinhart, D. y Chen, R., 2010*]. Las mayores pérdidas se producen en pilas grandes y en aquellas donde el tamaño de la partícula sea pequeño. La altura ideal para pilas de madera no compactadas es de 6 a 16 metros, mientras que para pilas compactadas es de 4 a 12 metros. [*Hogland, W. y Marques, M., 2003*]

La humedad, en el tamaño de las partículas también tiene su efecto, sobre todo a la hora de triturarlas. Para triturar con cuchillas es mejor el producto húmedo y para triturar con martillos es mejor que el producto esté seco. [*Pari, L. et al., 2013*]

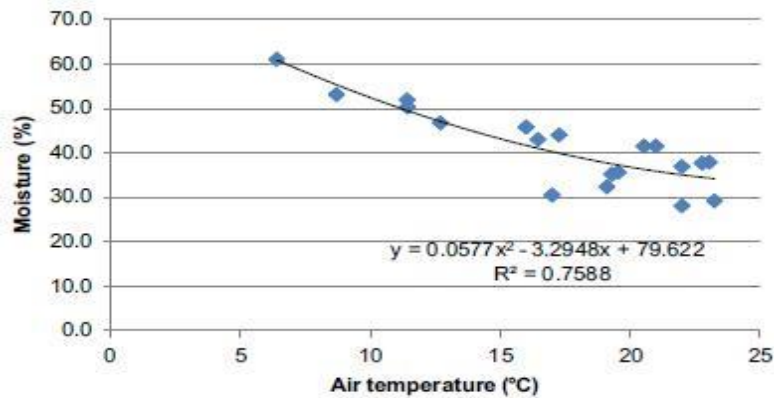


Gráfico 1.- Relación entre la humedad de la madera y la temperatura del aire. [Pari, L. et al., 2013]

Según estudios realizados con el carbón, existe una relación entre el aumento de la humedad y la temperatura que corresponde a 1:17. Es decir, por cada punto de humedad que haya de aumento, la temperatura se verá incrementada en 17°C [Mendoza A. D., 2009]. La temperatura en el yacimiento aumenta debido a reacciones de oxidación exotérmicas que calientan el carbón por encima de la temperatura del horno. El contenido de humedad aumenta con la disminución del tamaño de las partículas y también se incrementa con el tiempo de contacto con el aire. La granulometría, altura y tamaño de la pila son factores importantísimos. [Eriksson, A., 2011] [Kadioglu, Y. y Varamaz, M., 2003]

Respecto a la temperatura, debido a que son factores diferentes y que no afectan de la misma manera a la biomasa, es necesario diferenciar entre:

- Temperatura del aire.
- Temperatura ambiente.
- Temperatura del interior del acopio de biomasa.

Algunos estudios, se centran en que el calor o aumento de temperatura en los acopios de biomasa se pueden generar de 3 maneras diferentes [Ferrero, F. et al., 2009]:

- ✓ Calor derivado de las reacciones de oxidación dentro de la pila (Calor Químico).
- ✓ Calor producido en los procesos de evaporación y/o condensación del vapor originado en el interior del acopio.
- ✓ El calor generado por procesos microbianos.

La primera elevación de temperatura se observa o produce debido a la respiración residual de aquellas células de madera que no están muertas. [Lenz, H. et al., 2015]

La biomasa leñosa está en equilibrio con las condiciones de temperatura y humedad relativa cuando la presión de vapor o el aire circulante es igual a la presión de vapor correspondiente a la temperatura de saturación del agua que hay dentro de la biomasa [Bedane, A. H.; Afzal, M. T. y Sokhansanj, S., 2011]. Por ejemplo, en un estudio realizado en Canadá y en el que se almacenó abedul en diferentes formas, se observó que, debido

a las buenas condiciones del flujo de aire, no hubo aumento de temperatura en las pilas de madera, siguiendo esta el patrón de la temperatura ambiente. [Afzal, M. et al., 2010]

Según un estudio realizado por Thomas Thörnqvist [Thörnqvist, T., 1985], la temperatura en pilas pequeñas (120 m<sup>3</sup>) se mantiene aproximadamente a la temperatura ambiente. En acopios más grandes (600 m<sup>3</sup>, 19 m de diámetro y 7 m de alto) la temperatura suele estar en el centro del acopio entre 10 – 30°C por encima de la temperatura ambiente. Normalmente, la temperatura de las pilas es dependiente de las condiciones externas. [López, I., 2008]

La temperatura de un acopio es peligrosa a partir de los 80°C. Airear el acopio a esa temperatura es muy peligroso y empeora la situación. La temperatura crítica a la que la entrada de aire influye muy perjudicialmente es entre 90°C - 105°C. A los 76°C - 80°C debe encenderse la primera alarma de seguridad. A partir de este momento, el acopio debe ser consumido o aireado. [Rynk, R., 2008]

Además del efecto de la granulometría, el aumento en el contenido de cortezas u hojas incrementa la temperatura, tal y como demuestra Martin Anheller [Anheller, M., 2009] en su tesis doctoral, en la que obtiene datos del almacenamiento de corteza de pino tanto en acopios pequeños como grandes, teniendo estos acopios un aumento de temperatura alto y rápido, llegando en pocos días a 60°C en acopios pequeños y por encima de 70°C - 75°C en grandes. Pilas de 55 m<sup>3</sup> incrementan su temperatura a los 14 días a 60°C y se mantiene así durante 6 – 7 meses. Pilas de 400 m<sup>3</sup> pueden aumentar su temperatura por encima de los 85°C en cortos periodos de tiempo. [Thörnqvist, T., 1985]

Buggelen mostró la distribución de la temperatura en acopios de 4,5 - 6 metros de alto. La parte de arriba y el centro del acopio llegaron a temperaturas superiores a 60°C. La pérdida de calor se produce en las partes superiores y laterales del acopio. Mientras que la parte inferior del acopio nunca excedió de 50°C. [Garstand, J. et al., 2002] [Buggeln, R., 1999]

Existe un estudio noruego [Gislerud, O. y Grønlien, H., 1977] en el que se analiza cómo afecta la temperatura del aire, a lo largo del tiempo, en un acopio de astillas de madera. Analiza un acopio de entre 15 - 20 metros de largo, 3 - 5 metros de alto y de unos 400 - 500 m<sup>3</sup>. En este estudio se realizan mediciones de temperatura en diferentes puntos del acopio. Según se observa, los principales factores que afectan a la temperatura del acopio son la circulación del aire y el tiempo de almacenamiento.

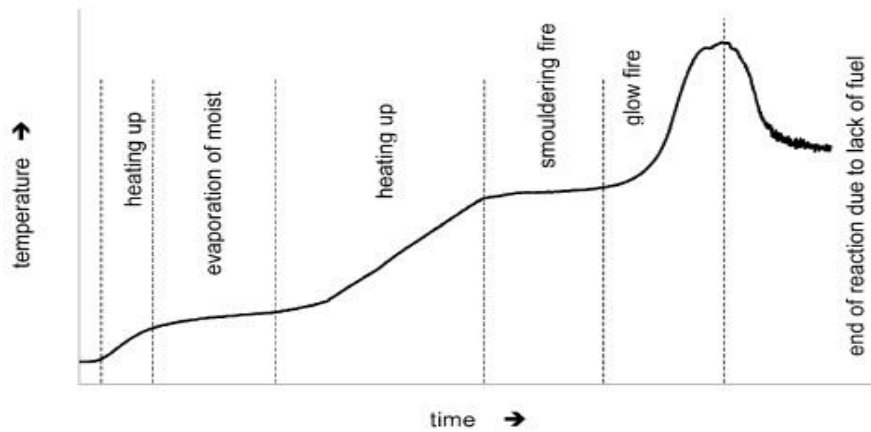


Gráfico 2.- Secuencia del aumento de la temperatura según el tiempo transcurrido en acopios de biomasa. [Krause, U. y Schmidt, M., 2001]

La temperatura va aumentando con el paso del tiempo en todas las mediciones y, según la zona donde se realice la medición, aumenta de temperatura en unos puntos mucho más que en otros. Por ejemplo, un estudio sueco [Hogland, W. y Marques, M., 2003], donde se estudia el aumento de temperatura de los montones de maderas hasta el punto de la auto-ignición, se analiza la variación de temperatura en diferentes puntos desde la superficie hasta el interior del acopio. La temperatura mayor se midió en las partes internas-altas del acopio, pasando en el primer mes de 49°C a 73°C. Luego fue aumentando muy despacio y progresivamente de 66°C a 90°C de media, más o menos. Así se mantuvo durante 5 - 6 meses, hasta que un fuerte viento propició una auto-combustión, aumentando la temperatura drásticamente hasta 246°C en 24 horas [Hogland, W. y Marques, M., 2003].

Según un estudio japonés sobre la temperatura mínima de auto-ignición de la biomasa [Yasuhara, A.; Amano, Y. y Shibamoto, T., 2010], la temperatura mínima a la que la biomasa puede empezar a combustionar por sí sola, es a partir de 140,5°C si se mantiene expuesta a esa temperatura durante 270 minutos. Este aumento drástico de temperatura también se experimentó en un acopio de 5.000 m<sup>3</sup> analizado en el estudio realizado por G. Löwegren [Löwegren, G. y Jonsson, L., 1987], en el que la temperatura aumentó en varios días hasta casi los 300°C, cuando llevaba almacenada cerca de 4,5 meses.

En general, se produce un gran aumento de la temperatura en las zonas del acopio que se encuentran más altas e interiores del mismo. Esto se debe a que con el paso del tiempo tanto la humedad de la biomasa como la actividad microbiana hacen que aumente la temperatura del interior del acopio. Si el aire que circula desde el exterior del acopio hacia el interior no llega hasta las zonas más internas no proporciona la refrigeración necesaria del mismo y se produce el auto-calentamiento. Además, si la temperatura del aire es alta ayuda a que la temperatura aumente con mayor rapidez. En las pilas de madera, la temperatura y la humedad son transportadas por el flujo de aire a las partes más internas-altas del acopio, la temperatura por conducción y la

humedad por condensación de los gases y vapores [Hogland, W. y Marques, M., 2003]. En las partes centrales de la pila la temperatura aumenta rápidamente durante las primeras semanas, luego se estabiliza y finalmente disminuye progresivamente. [Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A., 2001]

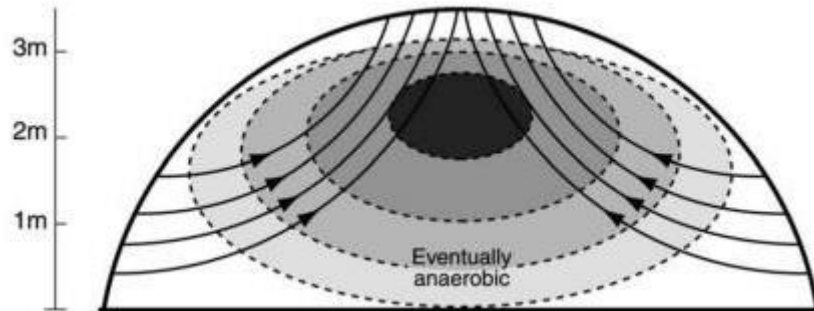


Gráfico 3.- Cross-section through a waste fuel storage pile. [Hogland, W. y Marques, M., 2003]

Debido a la circulación del aire a través del acopio durante el secado del mismo, en las zonas superiores se produce el "efecto chimenea". El aire entra en la pila enfriando el producto, pero recalentándose a medida que avanza por el acopio. El aire arrastra el agua que contienen los materiales, originándose así un flujo de aire húmedo y cálido. Esto hace fluir el agua verticalmente hasta la cumbre del acopio donde experimenta un fuerte calentamiento y se expulsa al exterior en forma de vapor. Este recalentamiento se ve favorecido por los microorganismos arrastrados por el flujo de aire. Si la circulación de aire es vigorosa, puede haber mayor incidencia en las partículas y producirse un efecto de transferencia de calor. Debido al paso de aire frío a las partes más bajas, las temperaturas mínimas nocturnas tienden a seguir las curvas de nivel. La topología y los obstáculos también afectan al drenaje del aire frío. [Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A., 2001] [Jones, J.C., 2000] [FAO, 2015]



Imagen 2.- Acopio de biomasa donde se observa la zona de calentamiento del acopio por la circulación del aire. [Fuente: Elaboración Propia]

En la imagen 2, se puede comprobar la acción del flujo de aire a través del acopio y de cómo se asemeja al gráfico 1. Esta foto ha sido tomada de uno de los ensayos realizados

para demostrar que la teoría se acerca a la realidad, siempre y cuando se barajen las mismas condiciones y parámetros.

En acopios grandes el calentamiento, normalmente, se genera en las partes centrales e internas del acopio. [Rynk, R., 2008]

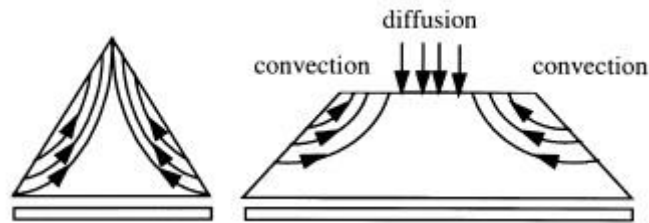


Imagen 3.- Patrones de flujo del aire en las 2 formas comunes de acopios. [Fierro, V. et al., 2001]

El calor puede tener un efecto positivo si la disipación se hace homogénea, ya que puede disminuir la humedad a todas las partes de la pila y aumentar su poder energético. Con el “efecto chimenea” (imagen 3), las partes interiores se secan, pero se humedecen las exteriores y más altas. [Eriksson, A., 2011]

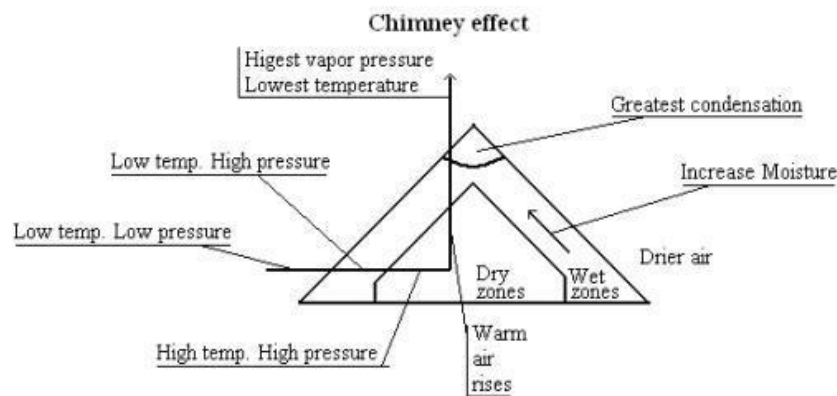


Imagen 4.- Esquema de la formación del “Efecto Chimenea”. [Eriksson, A., 2011]

Según un estudio alemán, realizado por Olav Gislerud y Hans Grønlien, tal y como se observa en el gráfico 2, los puntos de medida que se encuentran más al interior y en la parte alta del acopio, son los puntos donde se registra mayor temperatura a partir de los 2 meses de temperatura. Se observa que el aumento de temperatura se detiene a partir de los 50°C, causado en su gran medida por la disminución de la acción microbiana. Los puntos más cercanos a los laterales del acopio y partes superficiales tienen una variación de temperatura producida, principalmente, por la variación de la temperatura del aire ambiente. [Gislerud, O. y Grønlien, H., 1977]

La altura de las pilas también tiene un gran efecto sobre la variación de la temperatura. Cuanto mayor es la altura de la pila mayor es la compactación y, por lo tanto, la ventilación es menor, aumenta la temperatura y se produce la combustión espontánea. Por el contrario, pilas más pequeñas están poco compactadas y su temperatura no suele

aumentar de los 54°C. Aunque esto favorece a la auto-oxidación. [Garstand, J. et al. (2002)]

Según Ignacio López [López, I., 2008], una pila compactada impide la circulación de aire y tiene 2 efectos contrapuestos:

- ✓ Falta de evacuación de calor por convección, que lleva a un calentamiento.
- ✓ Disminución de la actividad biológica, debido a la falta de aire y, por lo tanto, disminución de la temperatura.

Shuva Gautam, comenta en su estudio que se observa que la altura de la pila no afecta si se almacenan árboles enteros, pero afecta si se almacena la biomasa astillada. Según la literatura [Jirjis, R., 1995] y [Pettersson, M. y Nordfjell, T., 2007], se demuestra que acopios pequeños pierden rápidamente humedad cuando el déficit de presión de vapor en el aire ambiente es mayor, pero también se muestra que los acopios pequeños también ganan humedad más rápidamente debido a condiciones meteorológicas. [Gautam, S. et al., 2011]

Según el estudio realizado por Fabio Ferrero, en el que se analizan los factores que afectan o intervienen en la auto-ignición durante el almacenamiento de acopios de madera astillada, compara también acopios en los que la granulometría es menor y se observa que la temperatura aumenta en mayor medida y se mantiene con el paso del tiempo, llegando a estar por encima de los 70°C. Mientras que, en acopios de granulometría mayor, las temperaturas no superan los 45°C y al cabo de menos de 1 mes, comienza a bajar y a igualarse a la temperatura ambiente [Ferrero, F. et al., 2009]. Las astillas de tronco son más homogéneas, mientras que las astillas de ramas y hojas son más heterogéneas, aunque es imposible producir astillas homogéneas al 100%. Esto favorece la auto-ignición. Partículas grandes tiene un tiempo de combustión mayor que partículas pequeñas. [Suadicani, K. y Gamborg, C., 1999]

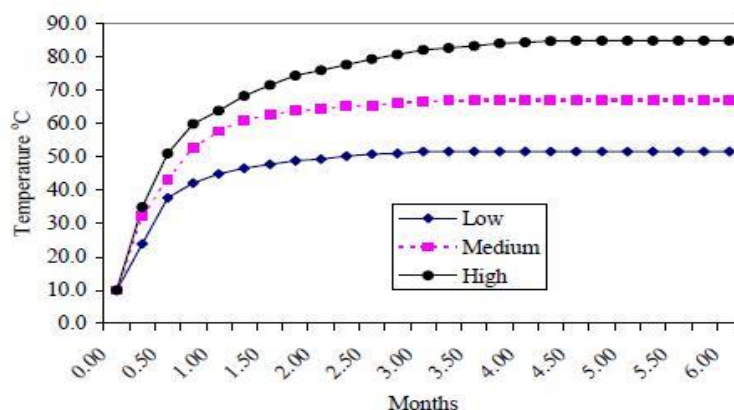


Gráfico 4.- El efecto del tamaño del acopio en la temperatura. [Garstand, J. et al., 2002]

El aumento de temperatura es analizado por Willian S. Fuller [Fuller, W., 1985], en un estudio donde obtiene una secuencia del aumento de la temperatura en los acopios de

biomasa. Se basa en que los principales factores que producen este aumento son la compactación y la altura de la pila. La secuencia se divide en diferentes etapas:

1. Primeros 5 – 7 días. Las células vivas están en la corteza, follaje y madera. Cuando el árbol es triturado, estas células (Parenchyma) respiran en un intento de sanar el árbol. Estas células pueden vivir hasta los 6 meses en función de las condiciones. Se consume oxígeno y se desprende calor. El cual genera unas buenas condiciones para el crecimiento de las bacterias.
2. 7 – 14 días. Se produce un aumento de la temperatura hasta aproximadamente los 49°C (120°F). El ratio de calentamiento viene determinado por el tipo de pila y la frescura de la madera. Algunas maderas tropicales llegan a alcanzar entre 49 – 82°C (120 – 180°F) en 5 – 7 días.
3. 2 – 4 semanas. La circulación del aire es esencial. Altas pilas, finos, compactación, etc. reducen la circulación del aire y la disipación del calor. Cuando la temperatura alcanza los 60 – 71°C (140 – 160°F) ocurren reacciones químicas que producen calor y aumentan la acidez. Este calor conduce a reacciones más rápidas y el aumento rápido de las temperaturas y de la acidez.
4. Más de 1 mes. La presencia de ácido acético en grandes cantidades produce deterioros en la madera (corta las cadenas de celulosa). El incremento de acidez y calor oscurece la madera. Por encima de los 82 – 93°C (180 – 200°F) se producen reacciones exotérmicas auto-oxidantes a bajo pH. A temperaturas de 93 – 149°C (200 – 300°F) la madera sufre pirolisis lenta. Tras un tiempo, el calor de pirolisis no puede ser disipado y se produce un aumento de la temperatura hasta llegar al punto de ignición.

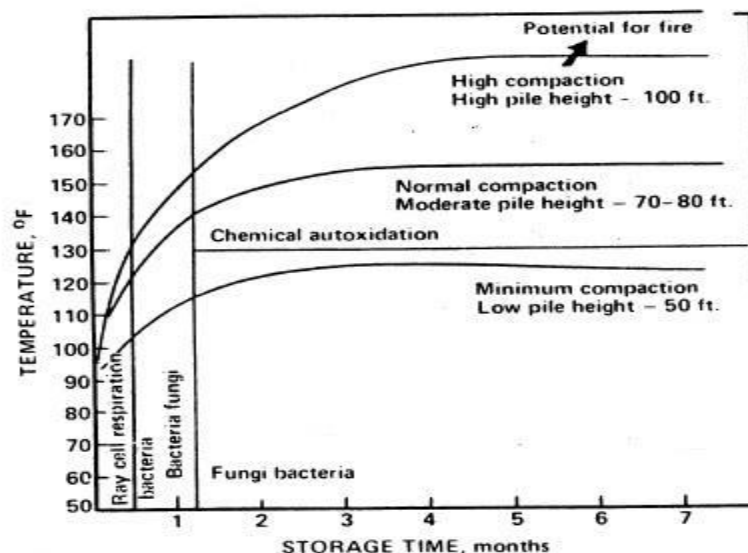


Gráfico 5.- Secuencia de aumento de temperatura en acopios de biomasa. [Fuller, W., 1985]

En este estudio se muestra un ejemplo en el que analiza un acopio de biomasa que ha estado fuera de control durante un largo periodo de tiempo. Este acopio tiene unas

dimensiones de 20 metros de alto, 60 metros de ancho y 183 metros de largo (imagen 4). Los primeros signos de que la pila está en mal estado y que puede haber peligro de auto-ignición es la presencia de:

- ✓ Olores fuertes.
- ✓ Calor.
- ✓ Altas temperaturas.

Se tomaron muestras de temperaturas superficiales e interiores siendo estas de 77 – 85°C y 82 – 92°C, respectivamente. El pH era de entre 2,5 – 3,8. [Fuller, W., 1985]

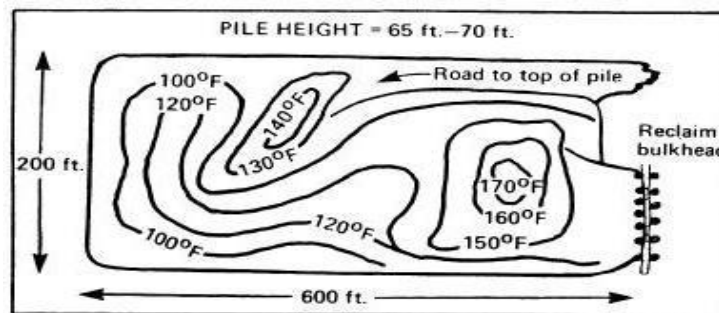


Imagen 5.- Ejemplo de un acopio fuera de control durante un largo periodo de tiempo. [Fuller, W., 1985]

No existe una temperatura exacta de auto-ignición de la madera. Depende del tipo de material, actuación de los catalizadores y la entrada de oxígeno. Una de las principales razones de auto-ignición es la permeabilidad del producto, ya que puede retener agua en el interior lo que hace transferir el calor y la temperatura a las otras partes [Eriksson, A., 2011]. Para productos triturados, el tamaño de la pila y la altura deben de ser bajas, para reducir los riesgos de auto-ignición. [Garstand, J. et al., 2002] [Gislerud, O., 1990] [Pari, L. et al., 2013] [LEA, 2007]

Se pueden diferenciar 2 tipos de auto-ignición de la madera: ignición con llama, que ocurre cuando el flujo de calor incidente es alto, y la ignición resplandeciente que ocurre cuando el flujo de calor incidente es bajo. [Boonmee, N. y Quintiere, J., 2002]

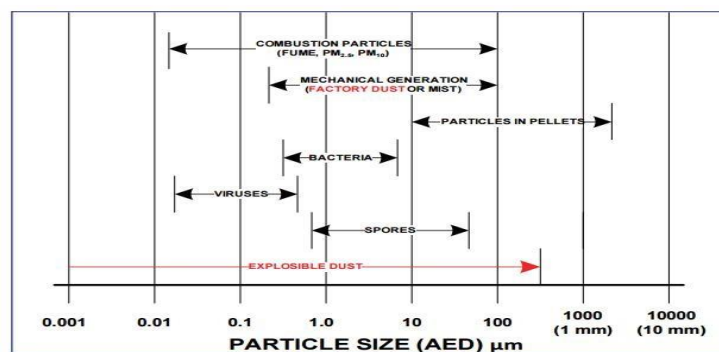


Gráfico 6.- Relación entre el tamaño de la partícula y el riesgo de auto-ignición [IEA Bioenergy (2013)]

Debido a su uso y a su poder energético, la astilla debe ser almacenada en grandes acopios, lo que aumenta la posibilidad de auto-ignición. Si se aumenta el radio del acopio, se aumenta al triple la extracción de calor pero también se aumenta la acumulación de calor 9 veces. [Alakoski, E. et al., 2016]

El ratio de secado de la biomasa depende principalmente de factores como [Pettersson, M. y Nordfjell, T., 2007] [Nurmi, J., 2014]:

- Temperatura ambiente
- Humedad relativa
- Velocidad del aire
- Precipitaciones
- Espacio entre troncos y partículas
- Tamaño del tronco y partículas
- Campaña o estación.

Raida Jirjis demostró en su estudio de acopios ventilados que, si el acopio no tiene un buen flujo de aire, el secado no es el correcto. Además, si la temperatura es baja y la humedad relativa alta, el proceso de secado empeora. [Jirjis, R.; Toro, A. y Nilsson, D., 1994]

Unos de los principales factores de secado rápido es la temperatura alta del clima. Los residuos de madera pierden humedad rápidamente durante los 2 - 3 primeros meses cuando estamos en los meses de verano, donde la evaporación es alta [Nurmi, J., 2002]. La temperatura del aire es otro factor principal del proceso de secado. Esto se deduce de un análisis en el que se detecta la relación entre el contenido de la humedad de la madera, la temperatura del aire, la humedad del aire y la lluvia. La temperatura del aire afecta en un 70% el contenido de humedad de la madera. Mientras que la humedad del aire y la lluvia apenas son significantes [Pari, L. et al., 2013]. Generalmente, la pérdida de peso está altamente relacionada con la temperatura. El ratio de pérdida de peso que se considera en la mayoría de los estudios es de 1 – 2% al mes [Slaven, I.; Haviarova, E. y Cassens, D., 2011] [Janzé, P., 2011a]. Llegando hasta el 4% en algunos estudios de almacenamiento de madera astillada al aire libre [Allen, J. et al., 1998]. Sin embargo, en un estudio llevado a cabo por un grupo de investigadores en Eslovenia, se observó que la temperatura del aire no afectó a la temperatura interior del acopio durante los 6 meses del almacenamiento. El acopio tenía una altura de 4 metros y un peso de 163,5 toneladas [Gejdos, M., 2015].

El mejor momento para que se seque la biomasa es en los meses en los que el déficit de presión de vapor del aire ambiente está en su más bajo nivel [Nurmi, J., 2014], como se demostró en un estudio realizado en el norte de Michigan. En el que se realizaron varios acopios de pino, en los cuales se redujo considerablemente su contenido de humedad en los meses de Junio hasta Agosto, volviendo a recuperar algo de humedad en los

meses de Septiembre a Noviembre, sobre todo los acopios pequeños [Lin, Y. y Pan, F., 2012]. La mejor estación es verano. La humedad puede decrecer entre el 20% - 30% durante esta estación si el almacenamiento se realiza en pequeñas pilas e hileradas. Pilas pequeñas secan antes que pilas grandes y largas, pero también cogen humedad más rápidamente. Es importante saber que, si la manipulación y astillado se hace en invierno, la biomasa puede coger humedad. [Pettersson, M. y Nordfjell, T., 2007] [Erlandsson, J., 2008]

### 2.2.2.- Actividad microbiana. Relación con humedad y temperatura

El aumento de humedad y temperatura no es el único indicador de deterioro y pérdida de materia seca. También hay que tener en cuenta la presencia de hongos, bacterias y microorganismos. Por lo tanto, la composición química de la madera es muy importante, sobre todo si se va a almacenar durante largos periodos de tiempo. [Pecenka, R. et al., 2014]

Se pueden encontrar diferentes tipos de bacterias en una misma pila de madera, ya que dentro de la misma la temperatura también varía según la zona sea superior, inferior o media [Eslyn, W., 1967]. Según la temperatura que se tenga en el interior del acopio, actuarán una serie de microorganismos u otros:

- ✓ Criófilos → Entre 0°C - 20°C.
- ✓ Mesófilos → Entre 20°C - 30°C.
- ✓ Termófilos → Entre 35°C - 70°C.

En teoría, la evolución de la temperatura en acopios pequeños, si el acopio estuviera compactado, podría ser la siguiente:

- A los 2 – 3 primeros días la temperatura asciende a 50°C - 60°C.
- A los 4 – 5 días puede seguir ascendiendo muy lentamente hasta los 65°C - 70°C.
- Si la temperatura ambiente es de 15°C - 20°C, la temperatura interior se mantiene alta (55°C - 60°C).
- A partir de las 3 – 4 semanas la temperatura empieza a descender hasta estabilizarse más o menos a la temperatura ambiente. [Palmero, R., 2010]

Tabla 1.- Composición química de los típicos materiales lignocelulósicos. [Garstand, J. et al., 2002]

	<b>Softwood</b>	<b>Hardwoods</b>	<b>Grasses</b>
<b>Cellulose</b>	41 – 43	43 – 45	35 – 39
<b>Lignin</b>	28 (24 – 33)	22 (16 – 24)	16 (15 – 18)
<b>Xylan (Pentosans)</b>	8 – 14	20 – 30	27 – 34

La lignina, resinas, terpenos y ceras tienen mayor poder calorífico que la celulosa y la hemicelulosa, por lo que las maderas blandas tienen un mayor poder calorífico que las maderas duras [Pettersson, M. y Nordfjell, T., 2007] [Hakkila, P., 2004] [Suadicani, K. y

*Gamborg, C., 1999*]. La presencia de lignina dificulta la acción de las bacterias sobre la celulosa y hemicelulosa para completar pentosas. La deslignificación es más difícil en maderas blandas y el acceso a las cadenas de celulosa es un problema. Las maderas duras tienen mayor acetil (ácido acético) y niveles más altos de pentosas, lo que favorece a la actividad de las bacterias. En maderas blandas el nivel bajo de pentosas puede evitar rápidos cambios de pH iniciales, aunque una alta lignificación puede reducir la eficacia en la cual la hemicelulosa podría producir xilanos.

El estudio realizado por ShuvaGautam demuestra que las maderas blandas producen menos contenido de humedad que las maderas duras, debido a su composición química y anatómica. En maderas duras la hemicelulosa constituye el 25% - 40% frente al 25% - 30% en maderas blandas. La hemicelulosa es el más higroscópico componente de las paredes de las células, seguido de la celulosa y la lignina. Debido a esto, las paredes de las células de maderas duras tendrán más sitios potenciales de acumulación para el agua, lo que favorecerá el aumento de humedad y la acción bacteriana. *[Gautam, S. et al., 2011]*

La materia orgánica es rota o descompuesta por las bacterias o microorganismos en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y energía. Esta energía liberada es utilizada por las células para su proceso metabólico *[Ramírez, A.; García-Torrent, J. y Tascón, A., 2010] [Mills, J., 1989]*. El que sea mucho más común el almacenamiento de astillas al aire libre, lleva a que tengan mayor importancia el tamaño de las astillas y la proporción de partículas finas. Ya que, cuanto más finos haya más se verá alterado el movimiento del aire (imagen 2) y habrá menos disipación del calor del acopio. Debido al calor producido en la pila, habrá más fermentación y se producirán más pentosas generadas a partir de celulosa y hemicelulosa, que producirían ácido láctico, ácido acético, agua y dióxido de carbono. Aunque, si las partículas son más grandes, se produce mayor aireación en el interior del acopio. Esta aireación también hace que haya más disponibilidad de oxígeno dentro del acopio, un importante requisito para el proceso de descomposición biológica y química. *[Pecenka, R. et al., 2014]*

Cuando la madera se corta o tritura, las células vivas tienden a subsanar el daño aumentando la respiración y, por lo tanto, aumentando el calor liberado. En acopios compactados hay mucha más madera, lo que supone más calor para disipar. Este calor genera condiciones buenas para el desarrollo de las bacterias. El troceado y fragmentación de la madera facilita el proceso de descomposición y degradación, ya que presentan mayor superficie para ser atacada por los microorganismos. Entre 2 – 5 centímetros resulta el tamaño idóneo. La presencia de ramas gruesas o elementos lignificados puede inhibir, ralentizar y retrasar el proceso fermentativo. *[Palmero, R., 2010]*

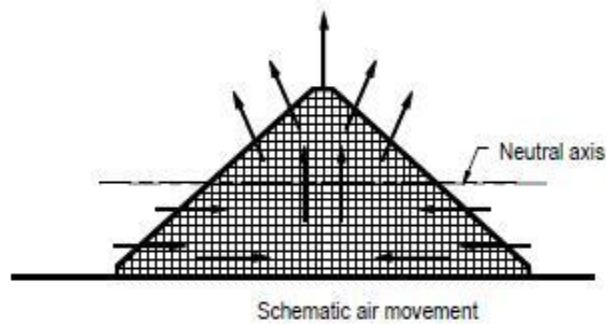


Imagen 6.- Movimientos del aire dentro del acopio [Garstand, J. et al., 2002]

La compactación del acopio va a depender en gran medida de la granulometría del material. Mayor granulometría supone mayor superficie de contacto para la proliferación de los hongos, aunque por otro lado el efecto del compactado disminuye el paso del aire. [López, I., 2008]

Tras 7 – 14 días de almacenamiento la temperatura puede estar alrededor de 50°C. Durante las siguientes 2 – 5 semanas los factores que permiten la circulación del aire son los que van a influenciar en la evolución de la pila. [Garstand, J. et al., 2002]

La moderada temperatura facilita la actividad de hongos a pesar de la baja humedad. Por ejemplo, en un estudio realizado en Suecia con biomasa almacenada en contenedores ventilados y sin ventilar, se produjo un aumento de la pérdida de materia seca en los contenedores ventilados, ya que la ventilación hizo que la temperatura interna se mantuviera entre los 20°C - 35°C, la cual es ideal para la actuación de las bacterias [Jirjis, R.; Toro, A. y Nilsson, D., 1994]. La actividad de los hongos es 4 veces mayor en pilas ventiladas que en no ventiladas, ya que las altas temperaturas (>60°C) limitan la actividad de los hongos [Jirjis, R., 1995] [Suadicaní, K. y Heding, N., 1992]. Según el color de la parte superficial de los acopios de biomasa se puede saber si existe o no actuación bacteriana o microbiológica:

- ✓ Color Bronceado → Apenas existe actuación biológica.



Imagen 7.- Biomasa no fermentada. [Fuente: Elaboración Propia]

- ✓ Color Blanco → Actuación o aparición de hongos.



Imagen 8.- Aparición de hongos en las capas internas y en la superficie del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]



Imagen 9.- Aparición de hongos en las capas internas y superficie del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

- ✓ Negro/Marrón/Amarillo → Actuación de microorganismos.



Imagen 10.- Biomasa fermentada. Plastas de moho en la superficie producidas por la actuación de las bacterias y microorganismos. [Fuente: Elaboración Propia]



**Imagen 11.- Biomasa fermentada. Plastas de moho en la superficie producidas por la actuación de las bacterias y microorganismos. [Fuente: Elaboración Propia]**

En este estudio sueco, se observó cómo se generaban fuertes olores en los acopios fermentados, plastas blancas en la superficie de la biomasa y descomposición. [Jirjis, R.; Toro, A. y Nilsson, D., 1994]

W. E. Eslyn también estudió la variación de color de la biomasa en función de cómo avanzaba la fermentación. Diferenció entre:

- Color marrón claro – medio: cuando solo se había producido posiblemente una oxidación de la superficie de la biomasa.
- Color marrón oscuro: cuando ya se comienza a producir una pudrición blanda.
- Manchas azules: existe una mayor pudrición y más actuación de bacterias, hongos y microorganismos.
- Astillas blanqueadas: se produce una mayor pudrición que también afecta a las partes duras de la madera. [Eslyn, W., 1967]

Durante el almacenamiento ocurren procesos termogénicos debidos a: [Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A., 2001]

- Acción de las células vivas de la madera.
- Acción biológica de la madera.
- Fenómenos de oxidación química e hidrólisis ácida de los componentes de la celulosa.

Las bacterias, en un medioambiente correcto, producen la degradación del combustible generando: calor, dióxido de carbono y agua. Pueden actuar hasta los 60°C pero a mayores temperaturas su actividad se reduce rápidamente. Los más importantes son los hongos<sup>3</sup>. Normalmente viven en temperaturas entre 20°C - 40°C (20°C - 60°C) pero pueden sobrevivir a temperaturas de -2°C y por encima de los 50°C. Los hongos tienen

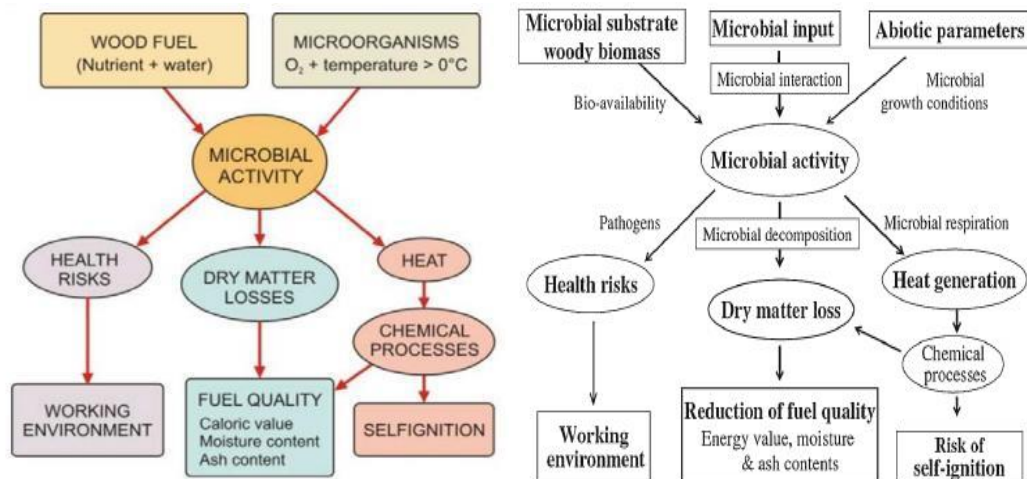
---

<sup>3</sup> Los hongos que suelen actuar sobre la biomasa son: Hongos Xilófagos y Hongos Azules. Los más importantes son los Hongos Xilófagos porque producen una mayor degradación y a mayor velocidad. [10]

que trabajar en presencia de agua. Los microhongos son peligrosos para la salud. Las bacterias toleran un amplio rango de temperatura, pudiendo llegar hasta los 75°C [Eriksson, A., 2011] [Hogland, W. y Marques, M., 2003]. Los rangos de temperatura de actuación biológica no están muy definidos concretamente en la bibliografía, se habla de intervalos próximos de temperatura entre los que las bacterias y microorganismos van dejando de actuar mientras que va aumentando la actuación de las reacciones químicas de oxidación.

Cuando la temperatura supera los 40°C, comienzan las reacciones químicas y, a 50°C, se empiezan a producir las más importantes. La actividad biológica aumenta la temperatura a niveles en los que toma parte la actuación química [NordicInnovation Centre, 2008]. En acopios de madera, si el viento incide sobre un acopio o parte del mismo que está a 80°C, los procesos de oxidación se aceleran y la temperatura aumenta con gran rapidez. [Hogland, W. y Marques, M., 2003]

Según un estudio realizado por L. Ortiz, la liberación inicial de calor en las pilas de madera es producida fundamentalmente por la respiración de las células vivas de "Parénquima" y el desarrollo de las bacterias. A temperatura de 40°C las células vivas mueren gradualmente. A partir de 40°C el calor lo genera la respiración de los hongos y a partir de 45°C - 50°C las reacciones químicas se hacen más importantes [Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A., 2001]. Si la biomasa se almacena sin triturar, apenas se desarrolla calor, no hay fricción entre partículas, el área específica de actuación de los microorganismos es menor y las células de "Parenchyma"<sup>4</sup> tienen muy poco oxígeno para su respiración.



Esquema 1.- Proceso de actuación microbiana. [NordicInnovation Centre, 2008] [Noll, M. y Jirjis, R., 2012]

<sup>4</sup> Parenchyma (Parénquima) es uno de los 3 tipos principales de tejido, y el más común, en las plantas. Se pueden distinguir a través de su pared celular delgada en comparación con otras células. Células de parénquima constituyen la mayor parte de las zonas blandas de las plantas, incluyendo el interior de hojas, flores y frutos, pero no la epidermis o venas de estas estructuras. [Wikipedia, 2017]

Normalmente, el incremento inicial de temperatura en un acopio de biomasa ocurre como resultado de la acción biológica, llegando hasta los 55°C y, excepcionalmente, hasta los 75°C. Después de esta, empiezan las reacciones de oxidación química hasta al menos los 150°C. A temperaturas por encima de 50°C se detecta pequeña degradación biológica sobre los nutrientes más accesibles y fáciles de digerir por las bacterias. Es, cuando se baja de los 50°C de temperatura, donde se produce una mayor pérdida de materia seca debido al aumento de la acción bacteriana. [Pecenka, R. et al., 2014]

Según el estudio de I.R. Emery [Emery, I. R. y Mosier, N. S., 2012], la fermentación, que reduce el pH del acopio, ocurre durante la primera semana del primer mes de almacenamiento. Después de esto, el acopio estará relativamente estable hasta 1 año con pérdidas mínimas si se siguen buenas prácticas de almacenamiento. Por lo tanto, se cree que las pérdidas son resistentes a la variación en el tiempo del almacenaje. [Emery, I. R. y Mosier, N. S., 2012]

La actividad microbiana se ralentiza en medios ácidos con pH menores que 6. Es bueno tener bajos pH para que no haya acción microbiológica. Para prevenir la acción microbiana se pueden añadir fungicidas, pero esto podría acarrear problemas medioambientales y legislativos. [Palmero, R., 2010]

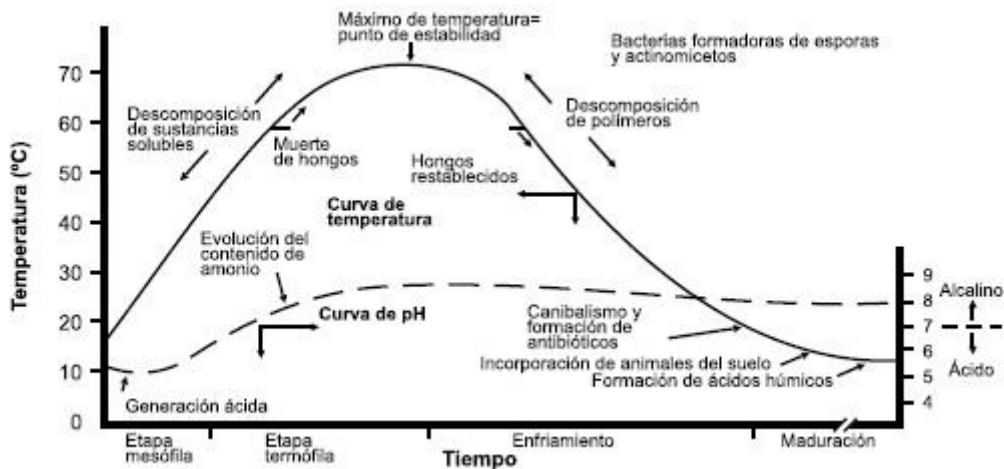


Gráfico 7.- Evolución de la temperatura y pH durante el proceso de descomposición de la biomasa. [Palmero, R., 2010]

Otra solución para que no haya actividad biológica es mantener la humedad por debajo del punto de saturación de la fibra que es de 23% [Hogland, W. y Marques, M., 2003]. También se puede aumentar la temperatura a 70°C o más, pero la calidad de la madera disminuye.

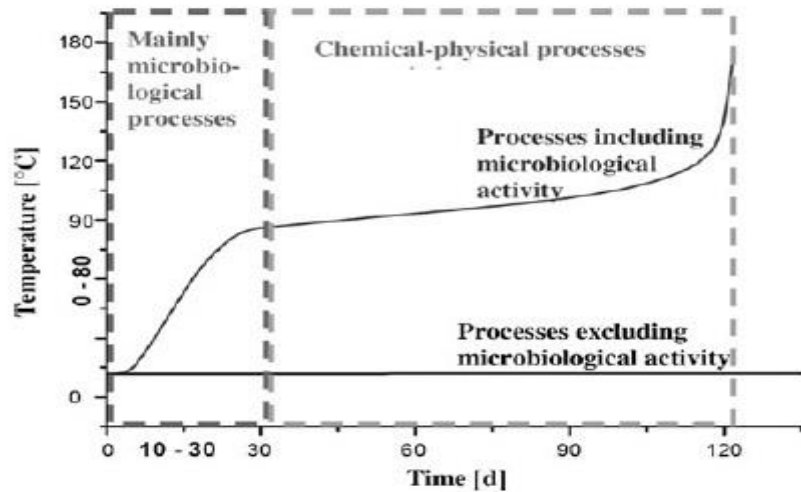


Gráfico 8.- Actuación biológica en el tiempo en función de la temperatura. [Noll, M. y Jirjis, R., 2012]

Se recomienda secar el producto a una temperatura de 55 - 60°C, ya que la acción biológica y las reacciones químicas son bajas en esa franja. El secado se puede hacer mediante una corriente de aire o vapor caliente del mismo proceso o con aire ambiente. Con secado natural es complicado alcanzar humedades por debajo del 20% [Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A., 2001]. Aquí el factor económico es el que más influye. También se observa que el tipo de hoja del árbol afecta al proceso de secado. Los árboles con hoja ancha secan más eficientemente. [Eriksson, A., 2011]

Es más probable que se produzcan efectos de descomposición cuando el producto lleve hojas, cortezas, follaje [Gislerud, O., 1990] [Röser, D. et al., 2011]. Las astillas de madera tienen una larga área superficial que permite la colonización de las bacterias. Los residuos forestales y las cortezas contienen altas concentraciones de minerales y de elementos inorgánicos que podrían mejorar la actividad microbiana. Acopios de productos con mucha corteza o contenido herbáceo comienzan a experimentar reacciones químicas y bioquímicas antes de las 3 - 4 semanas de almacenamiento [Alakoski, E. et al., 2016] [Hakkila, P., 2004]. Shuva Gautam achaca los contenidos bajos de humedad, en maderas blandas, al secado por transpiración de los estomas y hojas de los árboles vivos. Este observó que las acículas u hojas de las maderas blandas para duraciones largas, estaban en mejores condiciones que las hojas de maderas duras. En este estudio, no se observó cambios en el valor energético de la biomasa debido a la actuación biológica, siendo el causante de esto el bajo contenido de humedad con el que se almacenó esa biomasa. [Gautam, S. et al., 2011]

Un ensayo realizado por Gillian Eggleston con caña de azúcar, en el que se comparan un acopio seco con otro húmedo durante 14 y 28 días, se observa que el acopio seco sufre deterioro y descomposición a los 14 días de almacenamiento. [Eggleston, G., et al., 2014]

En el estudio de Isaac R. Emery y Nathan S. Mosier [Emery, I. R. y Mosier, N. S., 2012], se asumen que la pérdida de materia seca es principalmente el resultado de la degradación biológica. Isaac R. Emery sugiere que la renovada actividad microbiana puede causar pérdidas de 1,5% del total cuando transcurren por encima de 48 horas desde la descarga hasta el momento del uso del producto almacenado. Normalmente, el balance entre las mejoras de calidad por el secado de la biomasa y las pérdidas de materia seca por la acción bacteriana, suelen ser negativas. Van a depender de la humedad y del periodo de tiempo de almacenamiento. [Nurmi, J., 2014]

### 2.2.3.- Emisiones. Relación con temperatura

A mayor temperatura (entre 35°C - 50°C), la concentración de gas, generada en el interior del acopio y emitida al exterior, incrementa significativamente. A 35°C, la concentración de CO y CH<sub>4</sub> son siempre altos, mientras que la de CO<sub>2</sub> solo lo es en algunos casos. Esto es debido a la actividad microbiana.

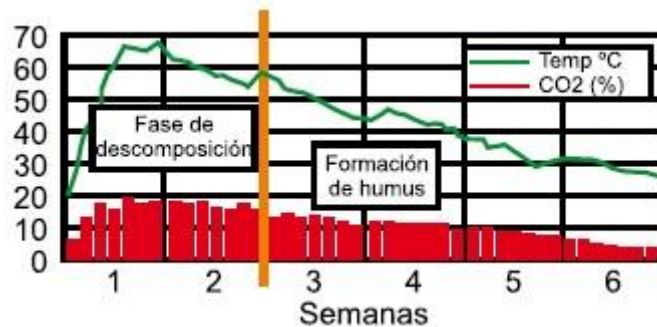
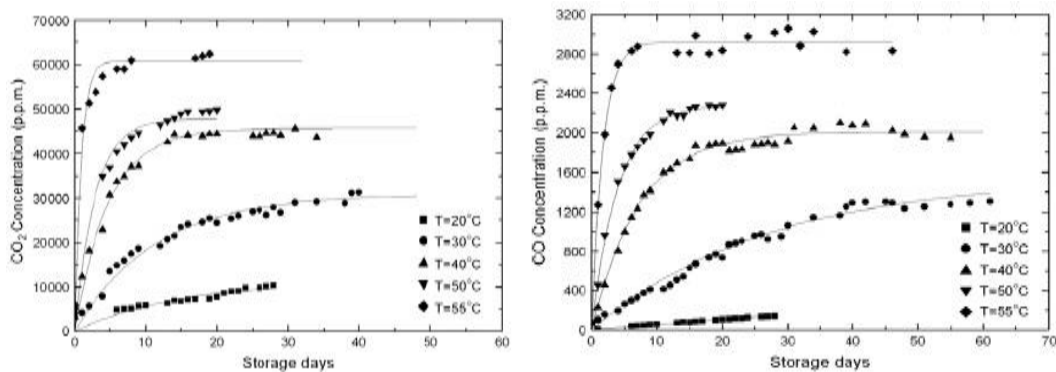


Gráfico 9.- Evolución de temperatura y CO<sub>2</sub> durante el proceso de compostaje. [Palmero, R., 2010]

La temperatura de almacenamiento es un factor crucial durante el almacenamiento de residuos frescos. Altas temperaturas llevan a altas concentraciones de gases y la concentración de gas tiene una alta relación con la pérdida de materia seca del producto almacenado. [He, X. et al., 2012]

Gráfico 10.- Relación CO<sub>2</sub> y CO con la Temperatura y el tiempo de almacenamiento. [Curci, M., 2010]



Las pérdidas en el almacenamiento pueden tener un impacto significativo en las emisiones de gases de efecto invernadero de los biocombustibles: consecuencias

ambientales, económicas y políticas. El estudio y la información acerca del almacenamiento de biomasa podrían tener grandes efectos en las reducciones de gases de efecto invernadero. [Emery, I. R. y Mosier, N. S., 2012]

#### 2.2.4.- Otros factores

Según el estudio de M. Pettersson y T. Nordfjell las principales pérdidas de materia seca son originadas por la acción bacteriana y por la pérdida de producto (derrame) durante su manipulación y transporte [Pettersson, M. y Nordfjell, T., 2007]. Según el estudio de Luis Ortiz, las pérdidas de madera estimadas son de 0,5% - 1% más en climas fríos y templados. Mientras que serán de 0,75% - 3% en climas cálidos y húmedos. [Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A., 2001]

El secado en el campo depende altamente del tiempo. Las precipitaciones o lluvias pueden causar retrasos en la recolecta y pérdidas de biomasa debido a la degradación. El secado de biomasa por debajo del 20% es aceptado para evitar grandes pérdidas durante el almacenamiento. [Emery, I. R. y Mosier, N. S., 2012]

Las pérdidas durante la cosecha también juegan un role importante en la determinación de la biomasa disponible para la planta, en función de si la biomasa está seca o húmeda. Si la biomasa está seca, la degradación y fracturación de la biomasa durante el secado, recogida y transporte puede llegar a originar cerca del 20% - 25% de pérdidas antes del almacenaje. Mientras que si la biomasa está húmeda (aproximadamente un 60%) puede llegar a unos rendimientos de hasta el 95% de eficiencia en la recogida y transporte. El total de las pérdidas de recogida y almacenaje puede estar entre el 5% - 10%, bajo buenas prácticas de manejo.

Kumar and Sokhansanj [Kumar, A. y Sokhansanj, S., 2007] publican que la pérdida de materia seca durante el transporte es de 2% - 3%. Por lo que, buenas prácticas en la recogida y almacenaje son factores importantes para reducir considerablemente las pérdidas en el producto.

## **2.3.- Tipos de Almacenamiento. Su efecto sobre la humedad, temperatura y pérdida de materia seca y energía.**

### 2.3.1.- Introducción

Normalmente, dentro de las instalaciones o recinto donde se encuentran las instalaciones de una planta de producción de energía con biomasa, existen unos espacios, llamados parques o explanadas, habilitados para las descargas y el almacenamiento de los diferentes tipos de biomasa que la planta vaya a gestionar. El tamaño de estos parques suele estar ligado a:

1. Perímetro o terreno de la propiedad. Lógicamente, si la empresa dispone de un amplio terreno para edificar, podrá realizar parques de biomasa más grandes.
2. Superficie libre. Es decir, la superficie no ocupada por las instalaciones y que podría utilizarse como almacén.
3. Capacidad de producción y consumo. El consumo va ligado a la producción de la planta, por lo que cuanto mayor sea la producción mayor será la cantidad necesaria de producto a consumir por unidad de tiempo. Esto significa que se necesitará como mínimo el espacio suficiente para poder satisfacer ese consumo por unidad de tiempo.
4. Fluencia de recepción de producto. Este es un factor que, aunque no tiene la suficiente importancia como para afectar al tamaño del parque, si la empresa prevé que necesitará almacenar grandes cantidades de producto en ciertos periodos de tiempo, debido a la estacionalidad de la biomasa, y dispone de espacio, puede plantearse el realizar parques de biomasa más grandes para tener un mayor stock.

### 2.3.2.- Clasificación de los tipos de almacenamiento

La biomasa puede ser almacenada:

- Según tamaño del acopio:
  - Pequeños
  - Medianos
  - Grandes
- Según su granulometría:
  - Triturada.
  - Sin triturar.
    - Sin empacar.
    - Pacas o balas.
- Según el tipo de almacén:

- Al aire libre. Cubierto o descubierto<sup>5</sup>.
- Techado. Cubierto o descubierto.
- Almacén cerrado. Cubierto o descubierto.
- Según el tipo de secado:
  - Secado Natural.
  - Secado Semi-Forzado.
  - Secado Forzado.
- Según el tiempo de almacenamiento:
  - Corto plazo.
  - Medio plazo.
  - Largo plazo.

El tipo de almacenamiento dependerá de las propiedades de la biomasa, especialmente del contenido de humedad [Zafar, S., 2015]. En la mayoría de los casos las astillas son almacenadas al aire libre. La elección de un lugar bien ventilado y abierto es fundamental para conseguir un buen secado de la astilla [López, I., 2008]. Los almacenamientos al exterior se ven afectados por las condiciones climatológicas, produciéndose cambios en la humedad y temperatura, además de aumentar el riesgo de actividad microbiana. [Alakoski, E. et al., 2016] [Shinners, Kevin et al., 2007] [Rentizelas, A. A., 2016]

El almacenamiento al aire libre es la manera más simple y efectiva de almacenar grandes volúmenes de biomasa, siempre y cuando el tiempo y los impactos medioambientales puedan ser gestionados con éxito. [Shipp, S., 2009]

Dependiendo del tipo, de su origen y de las necesidades de manipulación tanto en el origen como en la planta, la biomasa podrá ser transportada triturada o sin triturar. Normalmente, la biomasa es transportada triturada o pre-triturada a la planta generadora. Esto quiere decir, que lo más común es que la biomasa sea transportada a granel y no empacada o en balas.

En el campo de la producción de energía eléctrica con biomasa, cualquier sobre coste es muy perjudicial para el balance económico del proceso de aprovechamiento de la biomasa. El coste de almacenamiento es importante para la viabilidad, pero el principal sobre coste o factor que afecta en mayor medida a este proceso es el transporte [Zafar, S., 2015]. De ahí que se hayan realizado estudios referentes al empacado de la biomasa, tanto para el transporte como para el almacenamiento. Realizando pacas o balas, se consigue reducir el volumen ocupado por la misma cantidad de biomasa y evitar los efectos del exterior sobre gran parte de la misma. Aunque el empacado puede reducir los costes de transporte y espacios de almacenamiento, en el estudio en cuestión, habría que sumarles unos costes añadidos de empacado y posterior desempacado en la

---

<sup>5</sup> Los acopios pueden estar tapados con lonas impermeables, lonas textiles, plásticos.

descarga, debido a que plantas de tipo combustión de biomasa utilizan, en su gran mayoría, la biomasa a granel o astillada. Además, hay que sumarle que en este tipo de industria, la mayor parte de los productos que se utilizan para la combustión, no son adecuados para la realización de pacas o balas, ya que vienen triturados o pre-triturados desde el origen, donde los trabajos de empaqueo son de difícil o imposible ejecución debido a la maquinaria y métodos de trabajo utilizados.

El almacenamiento es algo siempre necesario debido a la relación estacionalidad / producción anual. El almacenamiento y manipulación de la biomasa es cara y se incrementa con la capacidad. [Zafar, S., 2015]

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el tamaño de los acopios de biomasa. Este tamaño va a estar relacionado, principalmente a las necesidades de la planta o del proceso productivo, que a su vez está relacionado con el tiempo de almacenamiento necesario. Es decir, el tamaño máximo de un acopio de biomasa va a depender directamente del tiempo que vaya a permanecer acopiado.

Con respecto al secado de la biomasa, en el caso de este estudio, por lo general, como ya se ha comentado, la biomasa se almacena al aire libre para su secado natural. El coste de una instalación de secado, para este tipo de plantas, sería muy alto.

### 2.3.3.- Tipos de almacenamiento

Por lo general, el almacenamiento de biomasa se puede realizar de diferentes formas, en función de las necesidades y posibilidades del producto y del almacenamiento: [Rentizelas, A. A., 2016][Hamelinck, C.N., Suurs, R.A.A. y Faaij, A.P.C., 2005]

- ✓ Almacenamiento al aire libre. Es el tipo de almacenamiento menos costoso. Hamelinck indica un coste de 1,1 €/m<sup>3</sup> por año. Esta forma de almacenamiento genera la más alta pérdida de humedad y degradación de la calidad de la biomasa. En muchos casos es usada para realizar un secado inicial de la biomasa. Hamelinck comenta que para almacenamiento al aire libre se producen pérdidas de materia seca de hasta 3% mensual. [Hamelinck, C.N., Suurs, R.A.A. y Faaij, A.P.C., 2005]
- ✓ Almacenamiento cubierto sin control climático. Este almacenamiento ofrece protección frente a la lluvia, pero no ofrece tanta protección frente al viento y otros factores que también producen pérdida de materia seca. Cubrir las pilas con paredes es mucho más caro. Hamelinck indica que el coste de este tipo de almacenamiento es de 87 €/m<sup>3</sup> de biomasa almacenada al año. Se generan menos pérdidas de materia seca que en el almacenamiento al aire libre.

Storage method	Dry matter loss	Quality degradation	Cost
Open air—on land	↑	↑	↓
Open air—on gravel			
Open air—on paved ground			
Covered—with tarp			
Covered—roofed structure with open sides			
Covered—roof and walls			
Ensilage			
Steel, concrete bins, and silos			
Covered—with climate control			

Imagen 12.- Pérdidas y costes según la forma de almacenamiento. [Rentizelas, A. A., 2016]

- ✓ Almacenamiento en Silos. Es muy bueno para cuando la biomasa esta húmeda, ya que no permite la acción de las bacterias. El problema es que no se reduce la humedad.
- ✓ Almacenamiento cubierto con control climático. Es la opción más cara. Tiene la ventaja de minimizar las pérdidas y de tener un seguimiento de la humedad.
- ✓ Silos de Acero u Hormigón. Facilitan la manipulación, pero necesitan que la biomasa esté triturada o peletizada. El coste es similar al almacenamiento cubierto, pero depende de la instalación.

Teniendo en cuenta las diferentes formas de almacenar la biomasa, se han realizado numerosos estudios para comprobar el comportamiento de la biomasa almacenada a lo largo de un periodo de tiempo según el tipo de almacenamiento.

La actuación principal para reducir los problemas en el almacenamiento es eliminar la presencia de oxígeno. Esto es muy difícil, ya que se necesitaría una compactación máxima, lo que además no es buena idea porque no permitiría la circulación de aire y el enfriamiento. Una solución es pasar una corriente de nitrógeno, pero para ello se necesitaría un recinto cerrado, lo que para almacenamientos grandes y para largos periodos es algo inviable técnica y económicamente.

En algunos estudios se compara el comportamiento del carbón almacenado con el de la biomasa. Un estudio turco [Kadioglu, Y. y Varamaz, M., 2003] hace un experimento con 2 carbones, los cuales, se introducen en un horno sin aire y en un acopio o yacimiento y se observa el incremento de temperatura. En el horno sin aire, la temperatura aumenta de manera constante (linealmente), mientras que, en el yacimiento, cuando se hace pasar nitrógeno o aire también aumenta la temperatura, pero no linealmente en el tiempo, sino con un ratio menor que en el horno. La curva de nitrógeno no cruza la curva del horno mientras que la del aire si la cruza en varios puntos. Esto se debe al oxígeno del aire. El punto de cruce es el punto de susceptibilidad del carbón para la combustión

espontánea. Por lo que, un secado con nitrógeno reduce la posibilidad de llegar a ese punto de susceptibilidad.

En un estudio realizado por Yingqian Lin y Fei Pan, se compararon, bajo las mismas condiciones, acopios del mismo producto: uno pequeño (3 metros de diámetro y 1 de alto) y otro mediano (26 metros de largo, 10 metros de ancho y 4,5 metros de alto). Durante los meses de Junio a Septiembre, las 2 pilas perdieron humedad, siendo la pequeña la que más rápidamente perdió la humedad. Aunque al cabo de 2 – 3 meses, las 2 pilas bajaron a valores aproximados de contenido de humedad. Posteriormente, en los meses de Septiembre a Noviembre, las pilas comenzaron a recuperar algo de humedad. La pila grande recuperó un pequeño porcentaje de humedad mientras que la pila pequeña recuperó la humedad de manera muy rápida, llegando casi a valores superiores a los del inicio del almacenamiento.

Este resultado sugiere que las pilas pequeñas podrían ser usadas para cortos periodos de tiempo de almacenamiento, mientras que pilas grandes son más convenientes para almacenamientos para largos periodos de tiempo. Porque el contenido de humedad de la biomasa en acopios grandes es mucho menos sensible a las condiciones medioambientales. [Lin, Y. y Pan, F., 2012]

Las técnicas de tapado se realizan por razones técnicas o económicas, pero no para largos periodos [Eriksson, A., 2011]. Tapar o no un acopio, realizar un almacén cubierto o descubierto, son actividades que dependerán de los diferentes climas y lugares donde se vayan a realizar. Los beneficios de tapar con lonas o plásticos no son superiores al coste de las lonas [Manzone, M.; Balsari, P. y Spinelli, R., 2013]. Cubrir las pilas tiene efectos muy positivos en épocas de lluvias, pero en otras épocas los efectos son menos apreciables. Según sea la época del año y la zona, el geotextil puede ser viable o no. En épocas secas y zonas secas la influencia del geotextil es mínima. [Filbakk, T.; Høibø, O. y Nurmi, J., 2011] [Forega-Trasmiras, 2013]

Dominik Röser [Röser, D. et al., 2011], junto con otros expertos, estudia los diferentes tipos de almacenamiento de pilas de tronco en diferentes climas y lugares. Se compara entre pilas de tronco cubiertas y descubiertas, y se observa que la humedad disminuye en pilas de tronco cubiertas más que en descubiertas. Puntualizan que si el pino está descortezado la humedad disminuye con mayor rapidez. Las pilas descubiertas muestran altos valores de humedad tras el invierno. En las pilas cubiertas suele aparecer moho, pero no afecta al proceso de secado. El secado en pilas cubiertas es más uniforme que en pilas descubiertas, ya que en las pilas descubiertas se observan valores altos de humedad en las zonas interiores y bajos valores en los puntos inferiores. En climas fríos y húmedos cubrir las pilas y descortezarlas parcialmente es el mejor método para reducir la humedad.

En gran parte de la bibliografía se insiste en que la infraestructura de almacenaje podría ser un factor determinante para productos por debajo del 40% de humedad y que también se producen pérdidas en el producto cuando se manipula el acopio [Emery, I. R. y Mosier, N. S., 2012]. Diversos estudios, como el de Athanasios A. Rentizelas [Rentizelas, A. A.; Tolis, A. J. y Tatsiopoulos, I. P., 2009], buscan conocer cuál es la mejor manera de almacenar la biomasa para que las pérdidas sean mínimas. En este estudio se han considerado 2 tipos de biomasa, tallos de algodón y poda de almendro, y se han comparado 3 tipos de soluciones de almacenamiento de biomasa.

El primer tipo de almacenamiento es un almacén cerrado con capacidad de secado de biomasa mediante la inyección de aire caliente, el cual es suministrado por el suelo del almacén a través de tubos y canales adecuados. Este almacenamiento de biomasa usando aire caliente ayuda a eliminar o reducir la degradación de la biomasa debido a infecciones, fermentación y pérdidas de material, mientras simultáneamente incrementa el contenido energético del combustible por la reducción de la humedad. Por esta razón, la pérdida de material durante el almacenamiento se ha considerado insignificante, de acuerdo también con las sugerencias de los estudios de John S. Cundiff [Cundiff, J. S.; Dias, N. y Sherali, H. D., 1996] e I. P. Tatsiopoulos [Tatsiopoulos, I. P. y Tolis, A. J., 2003]. El segundo escenario de almacenamiento de biomasa trata de una instalación de almacenamiento cubierta con un sistema de postes y techo de metal, sin ninguna infraestructura de secado de biomasa. Este tipo de almacenamiento no previene las pérdidas de materia seca de biomasa, por lo que se han asumido pérdidas siguiendo las indicaciones de un estudio realizado por M. Gaderer y T. Fischer, en el que estiman un ratio de pérdida de 0,5% de material al mes. En el tercer tipo de almacenamiento se almacena la biomasa al aire libre, cubierta solamente con una película de plástico. Este escenario es en el que se asume mayor pérdida de material, llegando a un ratio de 1% al mes.

En este estudio se observa que las pérdidas en almacenamiento en descubierto son más grandes que los demás tipos de almacenamiento, pero la infraestructura es mucho más barata y económica. Por lo tanto, el almacenamiento al descubierto necesita más cantidad de biomasa para poder producir la misma energía que la biomasa almacenada en cubierto, debido a la pérdida de energía, tal y como se demuestra en el estudio de Kevin J. Shinnars, donde se ha almacenado durante 8 meses restos de maíz seco, tanto en el interior como en el exterior, y se ha demostrado que se producen pérdidas de materia seca significativas en la biomasa almacenada en el exterior. Lo que hay que ver es si este suplemento o coste añadido en la cantidad de biomasa es mayor que el coste de logística requerido.

M. Gaderer y T. Fischer contemplan que las compras, descargas, transporte y almacenamiento tienen unos costes mayores en almacenamientos cerrados o cubiertos que en el resto de escenarios, siendo el coste mayor al que se incurre en los otros

escenarios debido al coste extra de compra de biomasa. Se llega a la conclusión de que la aplicación de sistemas de almacenamiento baratos reduce significativamente los costes, aunque exista un sobrecoste por la pérdida de biomasa [Shinners, Kevin et al., 2007]. La pérdida de materia seca, los costes del espacio y los costes de manipulación del material son los que constituyen en su mayoría los costes de almacenamiento. Para almacenamiento exteriores, se consideran pérdidas de entre 1% y 2%. [Belbo, H. y Talbor, B., 2014]

Otros estudios comentan que, para poder sacar el máximo efecto en un acopio cubierto, los acopios deben realizarse lo más altos posible. [Rentizelas, A. A.; Tolis, A. J. y Tatsiopoulos, I. P., 2009][Nurmi, J., 2014]

La utilización de sistemas de almacenamiento caros será viable siempre y cuando se trate de productos con precios altos y el espacio disponible sea pequeño. El tipo de almacenamiento directamente en el terreno tiene la ventaja del bajo coste, pero por otro lado la pérdida de material de biomasa es significativa y la humedad de la biomasa no puede ser controlada y reducida al nivel deseado, lo que puede producir problemas en los dispositivos de la planta. Además, existen problemas de salud y seguridad como el peligro de la formación de esporas u hongos y la auto-ignición debido al incremento de calor y humedad. [Rentizelas, A. A.; Tolis, A. J. y Tatsiopoulos, I. P., 2009]

Isaac R. Emery [Emery, I. R. y Mosier, N. S., 2012] comenta en su estudio, donde se realizan 3 tipos de almacenamiento: húmedo, seco de interior y seco de exterior, que en el almacenamiento seco de interior es en el que se produce menos pérdida de materia seca en la biomasa almacenada.

Existen otros estudios en los que además de diferenciar los tipos de almacenamiento, cubierto o descubierto, también diferencian entre el tipo de suelo donde se va a acopiar la biomasa. El tipo de suelo afecta al almacenamiento y liberación de energía y, en consecuencia, afecta a la temperatura. [FAO, 2015]

James A. Larson [Larson, J. A., 2010] analizó los siguientes escenarios:

- Almacenamiento sin cubierta:
  - Suelo bien drenado
  - Grava
  - Palets de madera
  
- Almacenamiento cubierto:
  - Suelo bien drenado
  - Grava
  - Palets de madera.

Tabla 2.- Rango de pérdida de materia seca según los diferentes tipos de almacenamiento. [Saxe, C., 2007]

Storage Method	Range of Dry Matter Loss (%)
Under Roof	2 - 10
Plastic wrap, on ground	4 - 7
Bale Sleeve, on ground	4 - 8
Covered, rock pad or elevated	2 - 17
Uncovered, rock pad or elevated	3 - 46
Uncovered, on ground, net wrap	6 - 25
Covered, on ground	4 - 46
Uncovered, on ground	5 - 61

En este estudio se realizaron mediciones y comprobaciones cada 100 días de almacenamiento, hasta llegar a los 500 días. La pérdida de materia seca será despreciable para almacenamientos en los que se ha tapado el producto y se ha utilizado un suelo bien drenado. Para el resto, los costes aumentan conforme aumentan las precipitaciones y el tiempo de almacenaje. [Larson, J. A., 2010]

Por lo contrario, en el estudio realizado por yingqian Lin y Fei Pan, se dice que si se analiza el acopio en 3 partes: parte superior, parte media y parte baja (en contacto con el suelo); todas las partes pierden humedad sin que haya diferencias significativas. Lo que llevó a deducir que la gravedad (caída del agua verticalmente a través del acopio) y la tierra del suelo, no incrementan la presencia de humedad en la parte inferior de la pila. [Lin, Y. y Pan, F., 2012]

Matt A. Sanderson [Sanderson, M.; Eggert, R. y Wiselogle, A., 1996], también analizó los diferentes tipos de suelo en los que se podía almacenar la biomasa, en concreto 3 tipos:

- Sobre capa de hierba. Exterior y sin cubrir.
- Sobre gravilla. Exterior y sin cubrir.
- Sobre palé. Interior y sin cubrir.

La prueba se realizó durante 12 meses y no se detectó pérdida de materia seca en el almacenamiento de interior, sin embargo, se observó una pequeña ganancia de peso. Fue mayor la pérdida de materia seca del almacenamiento exterior, aunque el secado fue mayor.

En un estudio similar, se ha almacenado abedul blanco en 3 pilas de 3 metros de altura: una pila cubierta con lona transpirable, otra pila sin cubrir y una tercera pila sobre un plástico para evitar la humedad del suelo. La humedad de la pila cubierta disminuyó a lo largo del almacenamiento mientras que en la pila descubierta la humedad aumentó bastante. No se produjeron pérdidas significativas de energía, sí una pequeña

disminución en la descubierta. Se detectó mayor pérdida de materia seca en las descubiertas, ya que están a mayor exposición al medioambiente. En la pila con plástico en el suelo, no hubo variaciones significativas con la otra pila descubierta. [Afzal, M. et al., 2010]

Siguiendo estos pasos, un estudio español realiza una prueba con 2 acopios de astilla de pino ( $\approx$ G15) cubiertos: uno con una cubierta textil (TopTex) y otro con un papel protector (WalkiWrapEnergi). Los acopios permanecieron almacenados sobre asfalto durante 4 – 5 meses. Se produjo una apreciable disminución de la humedad en la pila cubierta con textil, mientras que en la otra pila la humedad fue en aumento, más acusada después de periodos de precipitación. Con respecto a la temperatura, se observó que había relación entre la variación de las temperaturas de los acopios y la temperatura ambiente, siendo siempre (sin contar excepciones) más altas las temperaturas del interior. [López I., 2008]

Otro estudio, llevado a cabo por R. Jirjis, realiza diferentes tipos de almacenamiento para ver cuál es la mejor solución para mejorar el almacenamiento o minimizar las pérdidas durante el mismo. Se realizan 2 acopios de 7 metros de alto. Uno de ellos se realiza sobre un sistema de ventilación que refrigera el acopio desde la parte inferior del mismo. La humedad media del producto es de 22%. La temperatura aumenta en los primeros días hasta los 75°C, manteniéndose alta en el acopio no ventilado y disminuyendo hasta los 50°C en el acopio ventilado. [Jirjis, R., 1995]

Por otro lado, se realiza otro ensayo almacenando astillas de chopo en 4 contenedores de 3 metros de alto y 2,3 metros de diámetro, y se les somete a 4 diferentes regímenes de almacenamiento:

1. Secado continuo con aire ambiente.
2. Enfriamiento con ventilación intermitente de bajos volúmenes de aire a temperaturas de entre 1 -4°C por encima de la temperatura ambiente.
3. Enfriamiento evaporativo con ventilación intermitente para mantener la temperatura máxima entre 20 – 35°C.
4. Ventilación natural convectiva.

Después de 3 meses de almacenamiento dónde se obtienen mejores resultados es con el secado continuo con aire ambiente, reduciéndose la humedad del 57% inicial a un 19,3% y minimizando las pérdidas de materia seca (tabla 6).

Tabla 3.- Resultados ensayo de almacenamiento con astillas de chopo. [Jirjis, R., 1995]

	Inicio	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
<b>Humedad (%)</b>	57%	19,3%	42,0%	47,7%	44,9%
<b>Pérdida Materia Seca (%)</b>	-	3,5%	7,1%	7,9%	19,1%

Olav Gislerud [Gislerud, O., 1990] habla de 3 métodos de optimización del almacenamiento de la biomasa mediante el secado:

- Secado Natural. Normalmente es el secado más eficiente durante las primeras semanas, reduciéndose hasta un 12 – 13% en los primeros 5 meses.
- Secado Forzado. Este tipo de secado reduce considerablemente la humedad en menos tiempo, pero necesita utilizar una corriente de calor excedente de la planta de generación, lo que incurriría en un mayor coste económico.
- Aire forzado en pilas de chips y chunks. Este secado va a depender de numerosos factores tales como: geometría de las partículas, flujo de aire, temperatura del aire de secado, tiempo. Esto incurriría en una gestión más complicada y costosa del almacenamiento.

Otro estudio, como el de Thomas Thörnqvist, plantea la posibilidad de calentar aire mediante paneles solares para secar la biomasa almacenada, pero según los resultados, sería contraproducente, ya que reduce la humedad entre 7 – 8% mientras que la biomasa recupera alrededor del 11% de humedad en Otoño. [Thörnqvist, T., 1985]

Existen otros métodos de secado de la biomasa justo después de su almacenamiento, o, lo que es lo mismo, antes de su consumo. La práctica más estudiada es la de hacer pasar una corriente de aire o vapor caliente por la biomasa, justo antes de su consumo o en la línea de consumo. Por ejemplo, un experimento realizado por Yuping Liu [Liu, Y. et al., 2015], introduce biomasa húmeda en un intercambiador de calor y recibe un precalentamiento hasta el punto de ebullición del agua. Después es alimentada al secador de lecho fluidizado donde el agua libre es evaporada. Interiormente tubos de intercambio de calor están insertados en el lecho por los que el vapor comprimido circula generando un intercambio de calor latente con el agua de la biomasa. Luego el vapor exhaustado es dividido en vapor reciclado o reutilizado y vapor purgado, equivalente al agua libre evaporada. El vapor purgado es luego comprimido y reutilizado para la evaporación de agua y para el precalentamiento de la biomasa. El sólido secado tiene un intercambio de calor con la biomasa fría húmeda y luego es enfriado a temperatura ambiente.

Lo mismo se hizo con 2 pilas de abedul de 3 metros de alto y 400 m<sup>3</sup>, de las cuales la única diferencia era la granulometría del producto. El almacenamiento se realizó durante 8 meses. La humedad disminuyó de 40% a 30% en ambas pilas, pero en la pila de mayor granulometría se produjo menos actividad microbiana y mayores pérdidas de materia seca. Como se observó que la diferencia de granulometría afectaba a las condiciones del acopio a lo largo de su almacenamiento, se realizó otro ensayo en el que se realizaron 4 pilas de 200 m<sup>3</sup> cada una, pero de diferentes granulometrías: 16 mm, 50 mm, 150 mm y 250 mm. Después de 1 año de almacenamiento en las pilas de mayor granulometría el aumento de calor fue mínimo y producido por las condiciones externas, llegándose a reducir la humedad en casi un 10%. Sin embargo, en las pilas de menor

granulometría, la dependencia con las condiciones exteriores es mayor, generándose mayor aumento de calor en el interior del acopio y una reducción de humedad mínima.

Se probó también almacenar madera no triturada, tapada e hilerada, y se observó que es un buen método para conservar la calidad del producto, sobre todo en épocas húmedas, llegando a reducir la humedad del 46% al 26% en los acopios cubiertos y del 30% en los no cubiertos. [Jirjis, R., 1995]

Otro estudio de R. Jirjis y L. Pari [Jirjis, R.; Pari, L. y Sissot, F., 2008] compara acopios del mismo producto, en este caso chopo, que se han almacenado de diferentes formas durante aproximadamente 10 meses:

- Pila sin triturar. Dimensión: 3 metros de ancho, 3 metros de largo y 2 metros de alto. Se observa que no aumenta la temperatura y que la humedad disminuye de 62% al 17,8%. Si aumenta el contenido de cenizas.
- Pila Ventilada. Dimensión: 8 metros de ancho, 12 metros de largo y 4 metros de alto (27 toneladas). Se produce una reducción de la temperatura cerca de los conductos de salida del aire, pero el resto del acopio permanece prácticamente a la misma temperatura. Se produce actividad microbiana debida a la humedad.
- Pila sin cubrir. Dimensión: 8 metros de ancho, 12 metros de largo y 4 metros de alto (26 toneladas). Aumenta la temperatura del acopio hasta los 65°C y la humedad disminuye del 62,9% al 50%.
- Pila cubierta. Dimensión: 8 metros de ancho, 12 metros de largo y 4 metros de alto (25 toneladas). La temperatura y humedad disminuyen de 60°C a 25°C y de 65% a 39%, respectivamente.
- Pila compactada. Dimensión: 8 metros de ancho, 12 metros de largo y 3 metros de alto (32 toneladas). En este acopio la temperatura experimenta un gran aumento, de 60°C a 100°C. La humedad aumenta un 11%, llegando hasta el 60% en algunas zonas.

En pilas compactadas ocurrió algo parecido en el estudio realizado por G. Löwegren, donde compara 4 acopios de madera de roble: 2 acopios sin compactar, uno de interior y otro de exterior; y otros 2 acopios compactados, uno de interior y otro de exterior. El almacenamiento se realizó durante 9 meses y las pilas tenían un tamaño de 60 metros de largo, 14 metros de ancho y 7 metros de alto. Las pilas no compactadas llegaron a las 60°C de temperatura, pero fue disminuyendo con el paso del tiempo hasta llegar a 20°C - 30°C al final del almacenamiento. La pila compactada de exterior alcanzó los 55°C y se mantuvo a esta temperatura hasta el final del almacenamiento. Sin embargo, la pila compactada de interior subió primero lentamente hasta los 50°C y, posteriormente, incrementó explosivamente hasta los 300°C después de 4,5 meses. La temperatura decreció finalmente a 100°C, al terminar el almacenamiento. También se hizo una prueba con pilas de troncos de roble en las que la temperatura apenas varió en pilas no

compactadas, mientras que en pilas compactadas subió a 50°C y permaneció así hasta el final.

Se observó que la mayor pérdida de materia seca se originó en la pila compactada de exterior y menos en la pila no compactada de interior. Materiales más finos, con más hojas, sin techo, compactados, etc., proporcionan mayores pérdidas de materia seca. [Löwegren, G. y Jonsson, L., 1987]

De igual manera al estudio de R. Jirjis [Jirjis, R.; Pari, L. y Sissot, F., 2008], pero a menor escala, Luigi Pari entre otros, comparó 3 tipos de almacenamiento de la misma biomasa, caña común en este caso. Utilizó en primer lugar un contenedor con ventilación forzada, luego un contenedor con perforaciones para que el aire natural pudiera entrar al interior del contenedor y, por último, almacenó la biomasa en una pila descubierta, situada encima de una plataforma de plástico. En el primer caso, la temperatura de la biomasa aumentó entre 10°C y 30°C en los primeros 10 días y la humedad inicial (59%) se vio reducida casi un 50%, llegando aproximadamente al 30%. En los otros 2 casos, la temperatura ascendió hasta los 60°C - 70°C en los primeros 10 días y la humedad se redujo solo un 7%. Si la humedad está por encima del 60%, el ensayo con montones al aire libre presenta diferencias significativas respecto a otros tratamientos en el interior del acopio, no llegando a perder la humedad. También se estima que las pérdidas de materia seca son altas en acopios al aire libre. [Pari, L. et al., 2015]

Con ventilación el desarrollo del calor se disipa y se reduce el riesgo de autoignición. También se reduce el contenido de humedad, pero la reducción de la temperatura a niveles moderados establece un medio muy favorable para la actividad microbiana, a pesar de la baja humedad. Si la biomasa tuviera mucha más humedad en el momento inicial de su almacenamiento sería mucho peor en cuanto a la actividad microbiana se refiera. [Jirjis, R., 1995]

También se realizan comparativas entre acopios en pilas y/o en contenedores. Como, por ejemplo, el estudio de Olav Gislerud [Gislerud, O., 1990] que describe los resultados obtenidos en el almacenamiento de madera en diferentes tipos de acopios:

1. Almacenamiento en pequeños contenedores. Contenedores de 3 a 15 m<sup>3</sup>. Se consiguen mejores ventajas con chunks, ya que las astillas no permiten una buena disipación del calor generado.
2. Almacenamiento en pilas. Las pilas tienen unos 23 metros de longitud, entre 2 – 5 metro de alto y una humedad inicial de 37 – 38%. Se realizan 3 tipos de almacenamiento en pilas durante el periodo de 4 meses:
  - a. Pila descubierta. En esta pila se consigue rebajar la humedad a 27% en el interior, pero en la parte superior la humedad aumenta al 45%, debido a la condensación del vapor de agua generado y desprendido en el interior del acopio (efecto chimenea).

- b. Pila cubierta. Se consigue reducir la humedad al 24%, aproximadamente.
- c. Pila cubierta con 3 ventiladores. Se obtienen valores similares a la pila cubierta.

Tapar o no tapar un acopio es un problema complejo. Nurmi comparó 2 pilas de 3.000 m<sup>3</sup> de astilla suelta, tapó una de ellas con un plástico y observó que las pérdidas y el contenido de humedad eran mucho mayores en el acopio tapado con el plástico. El plástico retiene la humedad y el calor, algo que es contraproducente para la refrigeración del acopio. [Garstand, J. et al., 2002] [Nurmi, J., 1991]

Cubrir con lonas impermeables y transpirables también es una práctica común para proteger los acopios frente a las condiciones meteorológicas. Es el caso del estudio realizado por Alemayehu H. Bedane, donde realiza una serie de ensayos con pilas de madera donde asume que: [Bedane, A. H.; Afzal, M. T. y Sokhansanj, S., 2011]

- No hay humedad.
- Compactación perfecta.
- No hay transferencia de calor dentro del acopio.
- Humedad y temperatura despreciables
- El ejemplo es homogéneo
- Temperatura y humedad inicial uniforme
- Fuerza de gravedad ignorada.
- No hay generación de calor en las pilas.

Se almacena el producto de dos maneras diferentes: pilas de astillas y manojos o paquetes de 3 metros de alto. Se diferencia entre 3 tipos de almacenamiento:

1. Pila tapada con lona respirable e impermeable.
2. Pila descubierta sobre suelo forestal.
3. Pila descubierta sobre una lámina de plástico para prevenir el intercambio de humedad y temperatura con el suelo.

Los cambios de temperatura en los paquetes muestran la misma tendencia y efectos en varias temperaturas de aire ambiente, mientras que los acopios de astilla muestran menos efectos. Los acopios tapados muestran una disminución del contenido de humedad uniforme. El aumento de la temperatura aumenta la temperatura del interior de los acopios de manera rápida. [Bedane, A. H.; Afzal, M. T. y Sokhansanj, S., 2011]

En un estudio similar, se almacenó chopo triturado en un silo tipo búnker horizontal, con las paredes de hormigón y tapado con una lona impermeable y transpirable para proteger de las lluvias, y se observó que se conseguía obtener unas condiciones de almacenamiento anaeróbicas, con un mínimo de entrada de oxígeno y una disipación del calor interno del acopio, reduciendo así las pérdidas de materia seca. [Pecenka, R. et al, 2014]

Mauricio Barontini realizó acopios de astilla forestal sobre láminas de plástico. El tamaño de las pilas es de 10 metros de largo, 4 metros de alto y 8 metros de ancho (aproximadamente 117 m<sup>3</sup>). Tras 150 días de almacenamiento, la temperatura se iguala con la temperatura ambiente. Según este estudio lo ideal es hacer acopios pequeños y sin triturar. En el caso de la biomasa forestal, se aconseja acopiar los troncos y triturarlos justo antes de su uso. La copa o corona si se puede triturar y almacenar en el momento de la corta. [Barontini, M. et al., 2014]

Otra forma es almacenar las astillas sobre paneles de madera. Esto supone un efecto negativo al acopio ya que estos paneles no dejan filtrar el agua, sino que la absorben, aumentando el contenido de humedad y calor en el acopio. [Ergül, E. y Ayırmis, N., 2014]

Un estudio similar analiza 2 tipos de almacenamiento:

- Bajo plástico o láminas de plástico reforzado.
- Bajo edificios techados.

Concluye que realizar edificios o infraestructuras para poder resguardar el producto de las condiciones meteorológicas es muy caro y los beneficios obtenidos no son superiores a la diferencia de coste entre un tipo de almacenamiento y otro. [Huisman, W.; Venturi, P. y Molenaar, J., 1997] [Cundiff, J. S.; Dias, N. y Sherali, H. D., 1996]

Sin embargo, un estudio polaco, donde se realizan pequeños acopios de astilla de sauce de 2.000 kg, 4 metros de diámetro y 1,5 metros de alto, comenta que para regiones del norte de Europa donde el clima es más húmedo, es conveniente tapar o cubrir los acopios para reducir la pérdida de materia seca y de energía. Aunque el material utilizado para cubrir las pilas no tiene un alto coste, también comenta que los acopios cubiertos son pequeños y, en el caso de almacenamientos más grandes, los costes se incrementarían bastante. [Krzyżaniak, M. et al., 2016]

En este estudio, se realizan 5 pruebas diferentes con el mismo producto y durante el mismo tiempo (1 año):

- Acopios cubiertos con una lámina de papel impermeable y que permite la transpiración de vapor del acopio al exterior.
- Acopios cubiertos con una membrana fina impermeable y que permite el paso de los gases (Toptex 130).
- Se utiliza una membrana más gruesa que es más resistente al paso de los gases (Toptex 300).
- Se introduce la astilla en un cobertizo o caja de madera con un techo.
- Almacenamiento al aire libre, sobre hormigón y sin cubrir.

Debido a las condiciones meteorológicas, a lo largo del todo el periodo de almacenamiento, la biomasa almacenada al aire libre se rehumedeció en los últimos meses. Mientras que en los acopios cubiertos con la membrana Toptex 130, se consiguió reducir la humedad significativamente. Además, las condiciones anaeróbicas creadas en las pilas tapadas inhibe la multiplicación de microorganismos, lo cual podría explicar las bajas pérdidas de materia seca en las pilas cubiertas con el Toptex con respecto a las almacenadas en el cajón de madera y al aire libre. Las pilas con lámina de papel también se rehumedecieron debido a que las fuertes precipitaciones rompieron la lámina y el agua entró al interior del acopio. Las pilas al descubierto deben ser utilizadas lo antes posible para evitar que se produzcan pérdidas de materia seca y energía.

Esto puede ser debido a que la mayor parte del secado de la madera se produce durante el verano, mientras que en otoño e invierno la madera recupera algo de humedad debido al aire ambiente. Esto es un contratiempo ya que en invierno es cuando más se usa la leña. Consumir biomasa después de la estación de secado reduce las pérdidas de materia seca por el efecto de bacterias y la trituración. [Nurmi, J., 1995]

Todos los métodos no naturales de secado requieren un coste de energía. Sin embargo, teniendo sitio y tiempo, la humedad puede reducirse, siempre y cuando se tenga cuidado con el sistema de almacenamiento utilizado. [Janzé, P., 2011a]

Además de compararse el tipo de almacenamiento, también se comparan los mismos acopios del mismo producto, pero con diferentes granulometrías [Jirjis, R., 2005]. Se analizan los efectos en el almacenamiento del tamaño del producto y del tamaño de las pilas. Para ello, se realizan 4 acopios diferentes:

- Acopio de astillas de 3 m de alto, 5 m de ancho y 20 m de longitud. (200 m<sup>3</sup>)
- Acopio de astillas de 6 m de alto, 10 m de ancho y 20 m de longitud. (600 m<sup>3</sup>)
- Acopio de producto sin astillar ("Chunk") de 3 m de alto, 5 m de ancho y 20 m de longitud. (200 m<sup>3</sup>)
- Acopio de producto sin astillar ("Chunk") de 6 m de alto, 10 m de ancho y 20 m de longitud. (600 m<sup>3</sup>)

Se realizan análisis tanto del producto como del clima al inicio del almacenamiento.

En la pila de astillas de 3 metros durante las 2 primeras semanas la temperatura del acopio está muy cerca de la temperatura ambiente. Después de estas 2 semanas un repentino incremento de la temperatura se produce en algunas regiones de la pila, llegando a 60°C, manteniéndose alta hasta el final de 2 meses.

En la pila de astillas de 6 metros la temperatura ambiente era muy baja al inicio del experimento. Tras pocos días la temperatura fue medida a 40°C en muchas zonas. A los 8 días se registró un máximo de 63°C, permaneciendo a esa temperatura en muchas zonas hasta el final del experimento. Al final de 2 meses la temperatura comenzó a bajar

rápidamente en diversas áreas. Al final de 3 meses de almacenamiento la variación de temperatura estaba entorno a los 10 – 25°C dependiendo de la zona medida.

Los acopios realizados con trozos más grandes (en adelante “Chunk”) tuvieron cambios mínimos de temperatura y generados por el incremento de temperatura ambiente. No fue hasta pasado mes y medio cuando se produjo un pequeño aumento de temperatura, que no excedió de 10°C. En el acopio de 6 metros la temperatura del interior de la pila varió un poco más, entre 20 – 40°C. Se detectó un punto a 60°C después de 2,5 meses de almacenamiento. El contenido inicial del producto es de 52 – 55%, aproximadamente.

En la pila de 3 metros de astilla se produce poca variación de la humedad durante el almacenamiento, encontrándose algún punto en la zona superior del acopio con valores de 63%, al final del almacenamiento. Sin embargo, en el acopio de astilla de 6 metros, durante las primeras semanas se produce una pequeña disminución de humedad en varios puntos, llegando casi al 40% de humedad. Al igual que en el acopio de 3 metros, en la zona superior del acopio (punta) la humedad llega al 63%.

En lo que respecta a los acopios de “Chunk”<sup>6</sup>, las variaciones en la humedad son mínimas, produciéndose un ligero aumento en la primera semana, sobre todo en la parte superior del acopio, y un pequeño descenso en el resto del acopio, en las siguientes semanas de almacenamiento.

En los acopios de astillas se produce una fuerte infección de hongos durante los 3 meses de almacenamiento, mientras que en los acopios de producto más grande la actividad de los hongos es mínima, exceptuando en el acopio de 6 metros que sufre un crecimiento intenso en la etapa final del almacenamiento.

Los acopios de astillas sufren un pequeño descenso de su contenido energético. Los otros acopios tienen pérdidas insignificantes. No se producen cambios significativos, pero se produce un pequeño aumento en el contenido de cenizas durante el almacenamiento, sobre todo en los acopios de “Chunk”.

---

<sup>6</sup> Chunk se refiere a trozos pequeños de biomasa. Chipeado de madera.

## 2.4.- Métodos y prácticas de almacenamiento de biomasa

### 2.4.1.- Introducción

Seleccionar el mejor sistema de almacenamiento de biomasa para la generación de energía o calor no es un nuevo reto, pero a medida que aumentan las instalaciones de energía renovable, también aumenta el interés en sopesar diferentes opciones para optimizar el almacenamiento. Los efectos que las características de la madera tienen sobre una pila en almacenaje incluyen la absorción, la acumulación de calor, la disipación y más. En una pila de combustible el tipo de producto y el cómo se almacene, influye en cuánta agua se absorbe, cómo se calienta el montón y cómo el aire fluye a través de una pila. [Loria, k., 2014]

Dado que hay tantas variables identificables que pueden causar el calentamiento y deterioro de las pilas de madera, es difícil destacar sólo algunas cosas. Pero Isaac Slaven, profesor de tecnología de ingeniería aplicada en la Escuela de Tecnología de la Universidad de Eastern Illinois, dice que para mayor seguridad hay que llevar a cabo estas pautas: mantener la biomasa lo más seca posible, mantenerla libre de contaminantes y mover la biomasa lo más rápidamente posible. En un artículo escrito en la Universidad de Purdue, "Las propiedades de los residuos de madera almacenados para la producción de energía", Slaven señala que la forma en que las virutas se deterioran en los montones de astillas de madera no se entiende completamente: cambios de temperatura, contenido de humedad, calor de combustión, pH. [Slaven, I.; Haviarova, E. y Cassens, D., 2011]

El almacenamiento de biomasa es complicado ya que se debe coordinar y equilibrar las entradas o abastecimiento de biomasa con la demanda de la planta. El corto periodo de cosecha o recogida de la mayoría de los tipos de biomasa y su dispersa distribución geográfica hace que sea necesario almacenar producto para asegurar el continuo abastecimiento de materia prima para la planta. Cuanto más corta sea la campaña mayor deberá de ser la recogida o almacenamiento. Si la planta no tiene suficiente capacidad de almacenamiento se pueden utilizar terminales de almacenamiento donde se guarde esa biomasa, tales como almacenes cerrados o techados situados junto a la planta. Reducir la humedad de la biomasa es una tarea muy complicada y que requiere una cuidadosa planificación y sincronización de operaciones. [Gold, S. y Suering, S., 2011] [Hakkila, P., 2004]

Uno de los principales problemas que se plantean en el proceso de almacenamiento es la estacionalidad de la biomasa. Hay que almacenar el máximo durante los meses de entrada para que los meses en los que no haya entradas a la planta, se pueda seguir produciendo y funcionando. [Rentizelas, A. A.; Tolis, A. J. y Tatsiopoulos, I. P., 2009]

Por lo tanto, hay que tener en cuenta la capacidad del almacén, así como la capacidad de seguridad de suministro y el nivel de seguridad del almacenamiento. En el estudio de Athanasios A. Rentizelas, se considera la misma capacidad de almacén para diferentes escenarios, para manejar los mismos parámetros en cada uno. Esto tiene como finalidad la fiabilidad del sistema de almacenaje y garantizar que la biomasa se ha secado y no va a generar problemas debido a su alto grado de humedad. El tamaño del espacio de almacenamiento requerido se determina por el nivel máximo de inventario de biomasa anual. Por lo que, es necesario minimizar ese nivel máximo de inventario anual para reducir los costes de almacenamiento. [Rentizelas, A. A.; Tolis, A. J. y Tatsiopoulos, I. P., 2009]

Un parque de almacenamiento grande proporciona una mayor flexibilidad para el almacenamiento y transporte. [Allen, J. et al., 1998]

Para poder mantener un inventario o nivel de stock mínimo, que permita la continuación de la producción ante problemas de suministro, o máximo, que permita la seguridad y control de calidad de la biomasa en el parque durante el almacenamiento, es necesario seguir un modelo de almacenamiento que se ajuste a las necesidades de la planta en cada momento. Además de que permita conocer las pérdidas de biomasa que se generan durante el almacenamiento y manipulación de la misma, ya que se puede tener considerada más cantidad de biomasa almacenada de la que realmente se tiene. [Janzé, P., 2011a]

Debido a esto, se habla de un aprovechamiento múltiple de biomásas, es decir, de la utilización de muchos tipos de biomasa. La utilización de diferentes tipos de biomasa minimiza los costes del sistema debido a que se pueden tener ahorros significativos a lo largo del año en el almacenamiento. Las entradas de productos se podrían distribuir a lo largo del año sin la necesidad de almacenar productos para largas temporadas y con una menor necesidad de espacio, lo que supondría una reducción en la degradación del producto durante el tiempo de almacenamiento. Con lo cual, se debe tener una tecnología que pueda utilizar todo tipo de biomasa. La pirolisis, por ejemplo, se ve muy afectada a cualquier pequeño cambio en las características del combustible. También es importante que la biomasa se pueda manipular y transportar fácilmente y de la misma forma, para solo tener que utilizar un sistema y no tener que utilizar diferentes procesos de manipulación para cada tipo de biomasa (carga, descarga, trituración, transporte, sistema de alimentación). Por otro lado, el aprovechamiento de múltiples biomásas requiere que los tipos de biomasa examinados puedan tener una forma similar para permitir el uso de los mismos equipos y así reducir costes en equipamiento. [Rentizelas, A. A.; Tolis, A. J. y Tatsiopoulos, I. P., 2009]

No existe una fórmula simple y sencilla para diseñar una solución de almacenamiento adecuada. Aunque la mayoría de los parques de combustible comparten muchos elementos comunes, casi siempre es necesario adaptarlos debido a las diferencias en el

tipo de combustible, la calidad del combustible, los requerimientos de operación de la planta de energía y los métodos y prácticas locales de recolección. Las consideraciones del parque de almacenamiento de combustible son muy diferentes para cada uno de los combustibles. Algunas plantas dependen de parques muy personalizados debido a las características y especificaciones de los combustibles utilizados. [Loria, k., 2014]

Los principales requerimientos para realizar un buen almacenamiento y realizar una buena manipulación del material, en la mayoría de los casos son: [Farnish R., 2016]

- ✓ Lo primero que entra es lo primero que sale (FIFO). Reduce el auto-calentamiento.
- ✓ Generación mínima de polvo.
- ✓ Fiabilidad de la operación.
- ✓ Efectividad de los procedimientos de prevención y ataque contra el fuego.

Además, un sistema de almacenamiento debe tener una gran capacidad, de como mínimo una semana de producción, debe tener espacios que permitan la descarga de camiones, limpiezas y separación de productos. [Caslin, B. et al, 2015]

#### 2.4.2.- Técnicas Pre-almacenamiento

Antes de centrarse en los métodos de almacenamiento, hay que hablar de las diferentes técnicas que se pueden realizar antes del almacenamiento y que pueden afectar al mismo.

En un estudio de Luigi Pari se comparan entre dos técnicas antes del almacenamiento:

- Almacenar el producto en tallos grandes o troncos y triturarlo justa antes de su utilización o aprovechamiento.
- Triturar el producto recién cosechado y almacenarlo triturado.

Almacenar la madera durante un periodo de tiempo medio – largo antes de astillarla, permite que la lluvia elimine contaminantes. [Pari, L. et al., 2013]

ChristosGallis [Gallis, C., 2003], compara los costes de almacenamiento y trituración de la biomasa según se haga en:

- Triturado y almacenado en el mismo origen.
- Triturado en el origen y almacenamiento en una zona intermedia en la carretera o camino.
- Triturado en el origen y almacenamiento en la zona de consumo final.
- Triturado y almacenamiento en la zona de consumo final o donde este el molino.

Realiza esta comparación para saber cuál es la mejor distribución de las tareas o actividades a realizar dentro de la cadena de suministro de biomasa. Señala, en

conclusión, que el tiempo de almacenamiento de la biomasa incrementa los costes totales, por lo que debe haber una buena coordinación y organización de los trabajos para minimizar los costes.

Muchos autores consideran y proponen el uso de almacenamientos intermedios. Esto supone dos transportes o dos movimientos del producto, por lo que se genera un aumento en los costes de manipulación y transporte de entre 10% - 20%. También se considera la posibilidad de buscar zonas de acopio y secado cerca de la planta consumidora. [Rentizelas, A. A.; Tolis, A. J. y Tatsiopoulos, I. P., 2009][Rentizelas, A. A., 2016]

Una vez en la planta los camiones descargan en las zonas (parques de biomasa) habilitadas para ello. Dentro de la planta la biomasa se manipula en función de sus necesidades como, por ejemplo, trituración (en el caso de que no se haya triturado en su origen), movimientos de acopios, consumos. Es necesario introducir una etapa de procesado de biomasa para darle las características que necesite y que le permitan ser usada en la planta. La situación ideal de esta etapa sería después de la etapa de almacenamiento, justo antes del proceso de explotación o transformación en energía, con el fin de permitir el almacenamiento en la forma más óptima para cada tipo de biomasa. [Gallis, C., 2003]

#### 2.4.3.- Sistemas de rotación de stock

La rotación de stock en la planta va a ser uno de los factores que afectará en mayor medida a la evolución y degradación de la biomasa durante el periodo de almacenamiento. Rotaciones largas y lentas generarán mayores degradaciones y pérdidas de calidad de la biomasa almacenada. El tiempo de almacenamiento aumenta significativamente el coste de la biomasa. Por lo que, es importante que el proceso desde la corta/poda/triturado hasta su uso o consumo, sea lo más corto posible y el tiempo de uso también. [Gallis, C., 2003]

Isaac Slaven, comenta que el método más fácil y mejor para identificar las mejores prácticas de almacenamiento es la gestión de inventario FIFO, para el mismo tamaño y forma de las partículas, para mismo material y mismo contenido de humedad. De esta manera, la pérdida de material por infestación por hongos y bacterias se reduce al no permitir tanto tiempo para que estas infestaciones ocurran. Además, cualquier efecto de contaminantes se reduce.

Pero, por otra parte, señala que para una empresa que tiene una variedad de materiales con diferentes contenidos de humedad, tamaños y formas, las tasas de degradación conocidas (o probadas), basadas en estos factores, pueden requerir una gestión diferente para reducir las pérdidas de forma óptima. Además, la estacionalidad de algunos materiales puede complicar esta gestión. [Loria, K., 2014]

Estudiando y revisando los diferentes sistemas de rotación de stock existentes para el control del almacenamiento de biomasa en plantas de generación de energía (ya sea térmica o eléctrica), los modelos de almacenamiento de biomasa utilizados se podrían dividir en varios grupos, en función del sistema de rotación o gestión de stock utilizado.

#### *2.4.3.1.- FIFO. "First-in First-out".*

La circulación controlada en el almacén, normalmente sobre la base de que lo primero que entra es lo primero que sale, es una condición básica para obtener resultados satisfactorios. Este sistema de rotación de stock se basa en la idea de utilizar o consumir la primera que se almacenó. También conocido como "Last-in Last-out". Con este sistema se consigue utilizar todo el producto debido a la gran rotación de stock que se consigue. Es el más utilizado y se aconseja utilizar para periodos de almacenamiento largos. [Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1978] [Janzé, P., 2011a][Janzé, P., 2011b]

La alta rotación de stock disminuye las pérdidas de producto y energía debido a la degradación y fermentación, así como los riesgos y problemas de auto-calentamiento. Se consigue una mejor conservación de la biomasa y, por lo tanto, de sus características físico-químicas. [Farnish, R., 2016]

Este sistema de rotación se puede utilizar en los siguientes métodos de almacenamiento:

- Método Mo-Do
- Método de Pila Única
- Método Multi-pila

#### *2.4.3.2.- LIFO. "Last-in First-out".*

Al contrario que el FIFO, en este sistema lo último que entra es lo primero que sale. Normalmente, se utiliza para procesos en los que se necesita utilizar la biomasa justo en el momento en el que llega y en el estado en que se encuentre. En este caso, cuando se trata de grandes cantidades de biomasa, la rotación de stock puede llegar a ser muy baja, por lo que se pueden producir zonas muertas de producto acumulado que puede generar serios problemas. Es poco utilizado. Se utiliza en plantas donde el espacio de almacenamiento es muy pequeño. [Farnish, R., 2016] [Janzé, P., 2011a]

Los métodos de almacenamiento en los que se utiliza este sistema de rotación son:

- Método de Pila Única
- Método Multi-pila (en pocas ocasiones)

Este sistema de rotación está más destinado a empresas de fabricación y venta de otros productos. Su utilización en el área objeto de este estudio está muy limitada, por lo que

se considerará que esta técnica no es apropiada para el almacenamiento de biomasa en plantas de combustión para la generación de energía eléctrica.

#### 2.4.4.- Métodos de almacenamiento

En toda industria se almacena una cierta cantidad de astillas por periodos más o menos largos. El almacenamiento como tal y los métodos utilizados son quizás la fase más importante en la cadena de transformación y manipulación. *[Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1978]*

Con la utilización de un buen método de almacenamiento se consiguen reducir las pérdidas, controlar el inventario y aumentar el rendimiento en el proceso de aprovechamiento y en la producción. Existen diferentes métodos de almacenamiento utilizados por las empresas de generación, cuya utilización va a depender de:

- Tecnología e instalaciones que se utilicen para el almacenamiento.
- Producto/s a almacenar (Tipo, Características, Comportamiento,...)
- Tiempos de residencia del producto en el parque de almacenamiento.
- Rotación de stock.
- Producción/Consumo.
- Volumen de entradas.
- Características de la biomasa.
- Tipos de biomasa.

##### *2.4.4.1.- Método “Mo-Do”*

Uno de los mejores métodos de almacenamiento para evitar que se produzca el auto-calentamiento o auto-ignición de un acopio de madera debido a la fermentación o reacción exotérmicas en su interior, es el “Modelo de Almacenamiento Mo – Do”. Este modelo trata de hacer una rotación de stock basado en: “lo primero que entra, es lo primero que sale”. *[Eriksson, A., 2011]*

Para conseguir una optimización en el almacenamiento de biomasa con el método “FIFO”, se debe realizar en un solo paso, sin almacenamientos intermedios, para que no se exponga el producto 2 veces a efectos de mecanizado y manipulación, ni a la acción y contacto con oxígeno. *[Eriksson, A., 2011]*

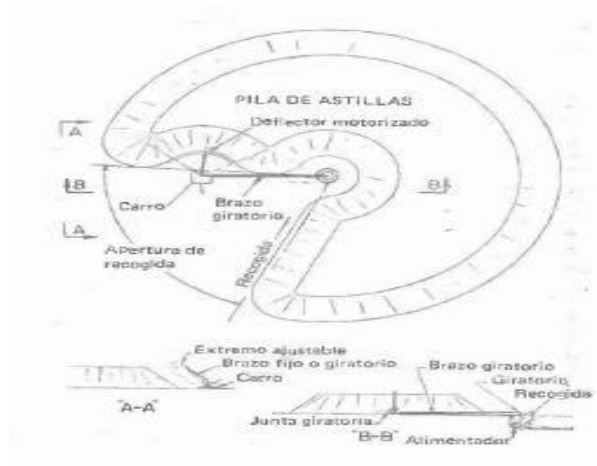


Imagen 13.- Diseño de pila circular (Sistema Mo - Do). [Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1978]

El principal problema de este modelo de almacenamiento es que está sujeto a la tecnología y maquinaria que necesita para el funcionamiento y realización del acopio de madera.

Generalmente, se utiliza para almacenar el producto justo después de su trituración. Por lo que, no se utiliza con productos ya triturados, a no ser que se habilite el sistema para ello mediante cintas transportadoras, transporte neumático, redler.



Imagen 14.- Aplicación del método Mo-Do y del Método de Pila Única en una misma planta. [Biomass Magazine, 2017]

Por lo tanto, en este estudio, debido a que no se dispone de esta tecnología, no se podrá aplicar y comparar este método con otros.

#### 2.4.4.2.- Método de Pila Única

Tal y como su nombre indica, este método trata de hacer un acopio grande de un producto o varios productos<sup>7</sup>. Este método es muy utilizado en plantas en las que hay una rotación y producción/consumo muy alto.

La utilización de este método de almacenamiento está sujeta, principalmente, a dos características del producto que se vaya a almacenar:

- ✓ Humedad. No puede ser utilizado para almacenar productos húmedos, ya que en acopios grandes la circulación del aire es muy baja o casi nula, lo que daría lugar a auto-calentamientos en el interior del acopio por falta de refrigeración.
- ✓ Granulometría. Cuanto mayor sea la granulometría del producto mayor podrá ser el acopio, ya que el flujo de aire en el acopio será mayor debido al mayor espacio entre partículas.

El principal problema de este método es que no permite realizar una diferenciación entre productos y sus características, por lo que es utilizado en plantas donde se recepciona un único tipo de producto y de características similares. En el momento, en el que alguna característica importante, como la humedad, varíe de forma negativa en una cierta cantidad de biomasa almacenada, se pueden generar graves problemas en el interior del acopio, afectando a gran parte del mismo. Por otro lado, con este método la rotación de stock es más lenta.

Dentro de este método, se podría diferenciar entre aquellos acopios en los que se realizan rampas y en los que no.



Imagen 15.- Aplicación del método de Pila Única utilizando rampa. [Biomass Magazine, 2017]

Normalmente, la realización de rampas se lleva a cabo en plantas en las que el espacio de almacenamiento es pequeño, aunque es una técnica muy utilizada en gran parte de

---

<sup>7</sup> Por lo general, se suelen hacer acopios de un solo producto, pero en ocasiones, ya sea por falta de espacio o porque no interesa separar los productos, se pueden encontrar acopios grandes formados por varios productos.

las plantas de aprovechamiento de biomasa de EEUU, independientemente del espacio. *[Biomass Magazine, 2017]*



**Imagen 16.- Aplicación del método de Pila Única utilizando rampas. *[Biomass Magazine, 2017]***

También cabe decir que en las plantas donde se realizan estos tipos de acopios, además de tener una alta rotación de stock, el producto utilizado suele ser muy leñoso (principalmente pino) y de humedad más bien baja. Por lo que, los problemas en el almacenamiento por auto-calentamiento se reducen en gran medida.



**Imagen 17.- Aplicación del método de Pila Única sin la utilización de rampas. *[Biomass Magazine, 2017]***

La utilización de este método se verá muy sometida a la calidad de la biomasa y al espacio disponible en el momento del almacenamiento.

Teniendo en cuenta lo comentado en la revisión bibliográfica y las características de las biomásas objeto de estudio, este método no sería del todo viable para la optimización del almacenamiento de gran parte de las biomásas utilizadas.

#### **2.4.4.3.- Método Multi-Pila**

Este método es muy bueno para la diferenciación entre productos y para poder aplicar la gestión de stock FIFO. Aunque la capacidad máxima de almacenamiento en el parque disminuye con este método, se consiguen ventajas importantes como:

- Alta rotación y mejor control de stock.
- Distribución y tamaño óptimo de los acopios para un mejor flujo de aire y mayor refrigeración.
- Al haber mayor refrigeración se reduce la fermentación y la pérdida de calidad de la biomasa.
- Se reducen los problemas de auto-calentamiento y auto-ignición.
- Facilidad de actuación sobre cada uno de los acopios, pudiendo llegar al interior del mismo de manera rápida y sencilla.
- Mejora la manipulación y trabajos en el parque de almacenamiento.
- Mejora del secado natural en el parque, del PCI de la biomasa y de su rendimiento en caldera.



Imagen 18.- Aplicación del método Multi-Pila. [Fuente: Elaboración Propia]

El profesor Slaven asegura que, generalmente, FIFO funciona mejor cuando se almacena un solo producto, con tamaño y contenido de humedad similares, y con poca estacionalidad. Cuando se dispone de varios productos, con diferentes tamaños y humedades, es necesario actuar en consecuencia. Esto quiere decir que, en ese caso, la manipulación en los acopios siguiendo las pautas FIFO no será del todo eficiente, por lo que habrá que modificarla. [Slaven, I., 2017]

#### 2.4.4.4.- Otros métodos utilizados

Existen pocos métodos utilizados, diferentes a los que se han descrito anteriormente. Por ejemplo, según John Halle Jr., presidente de la empresa Cate Street Capital, utilizar el sistema FIFO ayuda a reducir los cambios en la auto-ignición y fermentación mediante la reducción del tiempo de almacenamiento. Pero no siempre es efectivo, por lo que realizan una técnica complementaria que ayuda a tener almacenada la biomasa durante más tiempo, en torno a 4 – 6 meses. Esta técnica se basa en mover y voltear la biomasa cuando lleva almacenada alrededor de un mes, con lo que se consigue una aireación y refrigeración de todo el acopio. Una vez movida la biomasa, las condiciones del acopio se igualan y el sistema de rotación puede ser modificado. [Halle Jr., J., 2017]

El problema de mover la biomasa es el sobrecoste que ello conlleva. Por lo que, si lo que se pretende es llegar a obtener un método de almacenamiento en el que se optimice el proceso de aprovechamiento de la biomasa, esta práctica repercutiría negativamente en el rendimiento del proceso. Su utilización solo debería ser de aplicación en momentos en los que, por motivos de seguridad y prevención, sea necesaria.

#### 2.4.5.- Métodos de control de parámetros físico-químicos en los acopios

Conocer el estado de la biomasa durante el almacenamiento es una tarea complicada. La variación y el estado de la biomasa almacenada va a depender de muchos factores y puede ser muy diferente en cada una de las partes del acopio. Por ejemplo, la superficie del acopio va a ser mucho más afectada por el medioambiente que las partes internas del mismo. Se puede conocer con mayor facilidad el estado exterior del acopio, ya que se puede ver a simple vista. Mientras que, para conocer el estado interior es necesario realizar tareas de manipulación, lo que genera degradaciones, oxidaciones, mayor exposición al medio.

Principalmente, las características controladas suelen ser la temperatura interna del acopio, la humedad y la pérdida de materia seca o variación de PCS/PCI.

Estudios como el realizado por el Centro Tecnológico Forestal de Cataluña, donde se estudian las características de la astilla forestal y las buenas prácticas para su aplicación energética, para controlar estos parámetros utilizan: [Proyecto INTRADER, 2010]

- ✓ Para la pérdida de humedad y materia seca distribuyen una serie de muestras por diferentes partes del acopio, analizando en laboratorio el estado inicial y final de cada una de ellas.
- ✓ Para el control de temperatura introducen sensores térmicos PT-100 en el interior.

En lo que respecta al conocimiento de la variación de humedad y PCS de la biomasa almacenada, es difícil conocer el estado y evolución de la misma hasta el final del periodo de almacenamiento. Ya que, si se realiza el control mediante la distribución de muestras, habrá que manipular el acopio para retirarlas y, hasta que no se analicen en laboratorio, no se conocerán los resultados.

Se pueden obtener datos de humedad y temperatura aproximados o que puedan dar una referencia de la situación en el momento de la medición, utilizando los medios y dispositivos destinados para ello. Pero, por lo general, los datos más fiables serán los obtenidos en laboratorio al realizar los análisis al final del periodo de almacenamiento.

##### *2.4.5.1.- Análisis Físico-Químico*

Para conocer la variación de las cualidades o calidad de la biomasa durante su almacenamiento o al final del mismo, es necesario analizar la biomasa en un laboratorio,

siguiendo la normativa vigente aplicada para cada uno de los parámetros que se quieran medir o analizar.

Los parámetros más importantes, analizados en laboratorio, son:

- ✓ Variación de Humedad
- ✓ Variación de PCS/PCI (pérdida de materia seca)

Otros parámetros analizados, de menos importancia en lo que respecta a la evolución del almacenamiento, son:

- ✓ Densidad aparente
- ✓ Análisis elemental (variación de Carbonos)
- ✓ Contenido en Cloro (Relación Cloro – Azufre)
- ✓ Granulometría

#### 2.4.5.2.- Humedímetros e higrómetros

Para el control de la humedad en el interior de los acopios se suelen utilizar medidores con lanza de pinchar. Estos dispositivos manuales son fáciles de utilizar y ofrecen una medida instantánea de la humedad de la biomasa en el punto en el que se introduzca la lanza.



Imagen 19.- Medidor de humedad con lanza de pinchar. [Fuente: SchallerGmbH]

Pero son poco fiables, ya que las lanzas no suelen ser de longitud mayor a 1 – 1,5 metros, por lo que para acopios grandes los datos solo serían representativos de la superficie del acopio.

También se suelen utilizar higrómetros para comprobar la humedad de las astillas pero son mucho más utilizados para medir la humedad de la madera en rollo o troncos.



Imagen 20.- Higrómetro para la medición de madera. [Fuente: Valiómetro]

Estas técnicas son utilizadas para la medición de humedad de madera a pequeña escala y comprobaciones puntuales. Para mediciones de grandes cantidades los resultados obtenidos son poco fiables.

#### 2.4.5.3.- Lanzas y sondas de temperatura

Para minimizar el riesgo de fuego es necesario realizar continuos controles de temperatura mediante algún sistema de control y medición que permita monitorizar y mostrar los valores de temperatura tanto en el exterior como en el interior del acopio. Este sistema debe poder medir temperaturas por encima de 100°C como mínimo, dado que, a esa temperatura aproximadamente, se experimenta un rápido aumento de la misma, llegando incluso a 1 – 2°C por hora, convirtiéndose en una situación crítica.

Uno de los sistemas más utilizados para medir la temperatura en diferentes puntos de los acopios son sondas PT-100 en el interior de lanzas de material rígido que soporte la compresión y la tracción, y que permita introducirlas en el acopio. Suelen ser utilizados metales, en concreto aceros inoxidable, ya que deben soportar altas temperaturas.

Estas sondas pueden ser de diferentes tamaños, en función de la altura del acopio o de la profundidad a la que se quiera realizar la medición, y son introducidas o hincadas de manera manual en el acopio de forma vertical o inclinada.



Imagen 21.- Lanzas de acero inoxidable para la medición de la temperatura en el interior de acopios de madera con sonda PT-100. [Fuente: *Elaboración Propia*]

En la siguiente imagen se muestran 2 tipos de estas sondas: una sonda conectada a un termómetro digital y otra sonda que manda la señal wireless a un ordenador. Otros estudios alemanes, también utilizan barras de acero inoxidable perforado para medir la temperatura en el interior del acopio. [IEA Bioenergy, 2013] [Pecenka, R. et al., 2014]

En ocasiones, realizar mediciones con sondas de temperatura o medidores de metal es perjudicial para la biomasa (según sean sus características), ya que el metal puede trabajar como catalizador originando efectos no naturales en el acopio, acelerar las reacciones químicas y aumentar la temperatura. En estos casos, para proteger los termopares se utiliza una tubería de "poliofelina". [Sanderson, M.; Eggert, R. y Wiseloge, A., 1996] [Hogland, W.; Bramryd, T. and Persson, I., 1996]

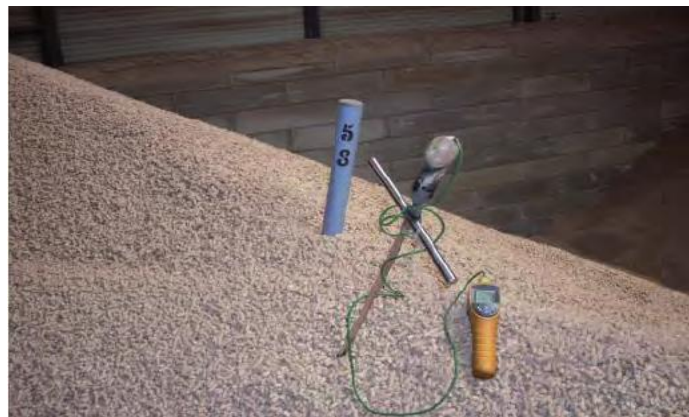


Imagen 22.- Ejemplos de sondas de medición de temperatura en acopios de biomasa. [IEA Bioenergy, 2013]

Pero la poliolefina puede ocasionar también problemas a temperaturas superiores a 50°C – 60°C. No se pueden utilizar materiales tipo PVC (Policloruro de Vinilo) ya que no soportan más de 60°C de temperatura. [Suárez, B., 2010]

Según el profesor Slaven, la utilización de lanzas sería una buena idea para medir la temperatura in situ y en el momento. Pero se podrían producir problemas si las lanzas

se quedan fijas en el mismo sitio durante el almacenamiento, ya que la presencia de metales aumenta la velocidad de las reacciones que se producen en el interior del acopio y podría dar lecturas incorrectas. Según comenta, hay algún estudio que puntualiza que, casi cualquier material que se utilice para medir la temperatura interna de acopios de madera, tendría influencia sobre la composición de la biomasa. [Slaven, I., 2017]

#### 2.4.5.4.- Termografía

La termografía es una técnica que permite calcular y determinar temperaturas a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar, lo que eliminaría las reacciones producidas por el contacto de la biomasa con los elementos de medida. Permite captar la radiación infrarroja mediante cámaras termográficas. [Wikipedia, 2017]

En el área del almacenamiento de biomasa, la termografía ofrece información de la situación superficial de los acopios de madera, pero no del interior. Esto puede llegar a generar datos erróneos o no representativos de la situación real del acopio. [Slaven, I., 2017]



Imagen 23.- Cámara termográfica. [Fuente: PCE Instruments]

Si puede ser útil para detectar puntos calientes en la superficie de los acopios, los cuales reflejan la generación de calor o punto caliente en el interior. Pero un punto caliente en la superficie, normalmente generado por el efecto chimenea, no requiere siempre que el calor o punto caliente interno se esté generando justo en la parte inferior de la superficie medida. El calor o vapor generado en el interior del acopio, al igual del flujo de aire, busca el camino de menor resistencia para salir a la superficie. Por lo que, en ocasiones, las medidas pueden ser erróneas.

#### 2.4.5.5.- Medición de Emisiones

Tal y como se comentó en el apartado de emisiones, se pueden medir los gases emitidos por un acopio, utilizando medidores de gases para conocer el estado del mismo y si, en su interior, se está produciendo fermentación o degradación de la biomasa.

Este es un procedimiento que está en estudio y que cada día toma más importancia debido a los gases nocivos y peligrosos para la salud que puede generar un acopio de biomasa que está en proceso de fermentación y degradación.

## 2.5.- Recomendaciones bibliográficas para un almacenamiento óptimo de biomasa

Para la realización de pilas de biomasa lo ideal es seguir esta regla:  $2H = A$ . Es decir, que la anchura del acopio sea el doble de la altura, agrandando los acopios a lo largo.

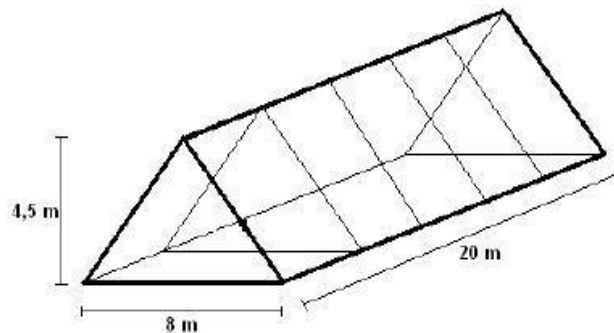


Imagen 24.- Medidas óptimas para pilas de astillas. [Eriksson, A., 2011]

Se recomiendan 2 dimensiones aproximadas para pilas de astillas, dependiendo de si la pila se va a realizar a pequeña o gran escala:

- ✓ Pequeña escala: 15 – 20 metros de largo, 8 metros de ancho y 3 – 4,5 metros de alto.
  - ✓ Gran escala: 80 – 90 metros de largo, 14 metros de ancho y 7 metros de alto.
- [Eriksson, A., 2011]

El tamaño ideal de un acopio debe ser de aproximadamente 3 metros de ancho y 2 metros de alto. Pero esto no se lleva a cabo en la práctica. En general, en la realización de pilas de astilla, en plantas de gran generación, las dimensiones llegan hasta los 15 metros de altura, 100 metros de ancho y los 200 metros de largo.

Al igual que en el estudio de IEA Bioenergy [IEA Bioenergy, 2013] [NordicInnovation Centre, 2008], en este estudio también se indica que la medida ideal de los acopios debería ser de 2 metros de altura y 3 metros de ancho, ya que acopios pequeños permiten disipar rápidamente el calor y la temperatura. Un dato importante es que el autor afirma que el auto-calentamiento es más afectado por la anchura que por la altura del acopio. Según este estudio, las autoridades de Ontario (Canadá) recomendaron evitar pilas demasiado grandes y marcaron unos máximos de tamaños de 18 metros de altura, 90 metros de ancho y 150 metros de largo. [Garstand, J. et al., 2002]

Las pérdidas aumentan con el tiempo y con las condiciones meteorológicas. En acopios más anchos se producen más pérdidas, al igual que en almacenes no cubiertos. Almacenes cubiertos son más caros y los beneficios obtenidos no tienen gran diferencia con los almacenes no cubiertos. [Larson, J. A., 2010]

Los principales riesgos que deben ser minimizados en un sistema de almacenamiento son: [Gold, S. y Suering, S., 2011]

- Degradación de la calidad de la biomasa.
- Pérdida de materia seca.
- Auto-calentamiento.

Para realizar una buena gestión y control de la biomasa dentro de la planta y que no se produzcan estos riesgos, no solo es esencial conocer el espacio necesario mínimo para acopiar la biomasa que se vaya a consumir en un día, sino también el espacio máximo de seguridad necesario para hacer frente al consumo anual de la planta. El tamaño de almacenamiento no solo depende de la cantidad requerida para el consumo sino también de la cantidad que se vaya a recibir. [NordicInnovation Centre, 2008] [Kofman, P. D., 2007]

Según las prácticas que se realizan actualmente en las plantas de consumo y almacenamiento, hay que tener en cuenta una serie de acciones para minimizar las pérdidas por auto-calentamiento: [Eriksson, A., 2011] [Suadicani, K. y Heding, N., 1992] [IEA Bioenergy, 2013] [NordicInnovation Centre, 2008] [Slaven, I.; Haviarova, E. y Cassens, D., 2011] [Slaven, I., 2017][Halle Jr., J., 2017]

- Si es posible, almacenar el producto seco para evitar el crecimiento de las bacterias y microorganismos (<20% contenido de humedad), por debajo de su punto de saturación de la fibra<sup>8</sup>.
- Biocombustibles de diferentes cualidades nunca deben de ser mezclados durante el almacenamiento.
- Almacenar preferiblemente en acopios pequeños y para cortos periodos de tiempo.
- Reducir los tiempos de almacenamiento lo máximo posible. Para ello un almacenamiento debe de basarse en la idea del modelo FIFO (First-in – First-out).
- No compactar el material. Una adecuada ventilación previene la pérdida de materia seca.
- Hacer pilas altas y alargadas con una base que no sea mayor a 2 veces la altura.

---

<sup>8</sup> El Punto de Saturación de la Fibra, durante el secado o humedecimiento de la madera, es el punto en el que las fibras de la madera están saturadas pero las cavidades de las células no contienen agua.

- No exceder las alturas que se marcan en la tabla 4. No sobrepasar los máximos de altura de: 15 metros para madera sin corteza ni hojas y de 7 metros para maderas con hojas, corteza, residuos, etc.
- Limitar o disminuir la diferencia de humedad dentro de la misma pila.
- Eliminar objetos metálicos en los acopios.
- Evitar huecos y elevaciones a lo largo de los lados de la pila.
- Construir la pila a lo largo de la dirección del viento.
- Separar cortezas, hojas y follaje en diferentes acopios. Mayor actividad de hongos cuando hay corteza.
- Los acopios con hojas y cortezas deben de ser movidos con frecuencia.
- La compra de Chunks (troncos o tamaños grandes) está aumentando, ya que durante el almacenamiento da mejores resultados que las astillas o chips.
- Las partículas pequeñas tienen mayor humedad.
- El almacenamiento de troncos en hileras cubiertas es el mejor método de almacenamiento para favorecer el secado y minimizar las pérdidas de materia seca.

Tabla 4.- Máxima altura recomendada para acopios de biomasa. [NordicInnovation Centre, 2008]

	Non-compacted stacks (m height)	Compacted stacks (m height)
Chips from stemwood incl. bark	15	12
Whole wood chips from hardwood	12	9
Whole wood chips from softwood	10	7
Decomposed logging residues	7	-
Bark	7	4
Sawdust	6	4

Es recomendable que para largos periodos de almacenamiento la biomasa sea almacenada en partículas grandes. Triturar justo antes de su consumo o uso. [Janzé, P., 2011a]

Estudios como el realizado por Obernberger and Thek [Stelte, W., 2012] [Obernberger, I. y Thek, G., 2010], para evitar los riesgos de auto-calentamiento, describe que hay que seguir las siguientes pautas:

- No almacenar grandes volúmenes de materiales cuya tendencia de auto-calentamiento es desconocida.
- Ser conscientes de que el almacenamiento para periodos largos conlleva unos grandes riesgos de auto-ignición.
- Evitar la mezcla de diferentes tipos de biomásas.
- Evitar mezclar biomásas con diferentes contenidos de humedad.
- Evitar almacenar productos finos.
- Mediciones continuas, de temperatura y humedad, dentro del acopio.
- Preparar silos de almacenamiento que tengan un sistema de secado.

- Las pilas deben de tener una granulometría adecuada que permita la circulación del aire.

En la tabla 5, aparece un resumen de las recomendaciones más importantes a tener en cuenta.

Tabla 5.- Tabla resumen de actuaciones en el almacenamiento de biomasa. [Fuller, W., 1985]

Recommendation	Deterioration mechanism involved
1. Maintain pile height below 15 m (50 ft).	Avoids compaction and allows faster escape of heat generated by biological growth and chemical reactions.
2. Restrict tractor spreading of just-delivered chips to a minimum.	Avoids excessive compaction that slows the escape of heat, particularly in the reclaim pit or conveyor area. Reduces fines created by tractor movement.
3. Mix species of different deterioration rates only as needed, especially fast-deteriorating hardwoods (aspen, alder) and full-tree chips.	Avoids burying pockets of chips in the pile that have a high rate of heat generation and result in a larger zone of high-temperature deterioration.
4. Store full-tree chips, which contain bark, foliage and a high proportion of living parenchyma (ray cells), in piles less than 8 m (25 ft) high, and for less than 2-4 weeks.	Bacteria, mold and fungi can thrive on the fresh wood, bark and foliage, causing a very rapid buildup of heat.
5. Avoid mixing fine particles (sawdust, shavings, chip fines, and pulp mill knoter rejects) in chip piles, particularly where layering can occur.	Avoids creating a compacted zone that prevents heat escape.
6. Monitor pile temperature routinely.	Determines the heating pattern for the particular storage system of the mill. Allows early detection of heating problems

Una buena idea es almacenar el producto en hileras en la misma zona donde se corta y donde posteriormente se va a triturar ya que: [Nurmi, J., 1999]

- ✓ Se reduce la humedad, lo que supone un aumento en el PCI del producto y una mejor trituración (mayor rendimiento de la maquinaria). El producto húmedo es más difícil de triturar.
- ✓ Se aportan nutrientes al suelo, ya que existe un porcentaje de pérdida de producto triturado que cae al suelo durante los trabajos.

Si el producto es utilizado para combustible doméstico lo mejor es cortar, secar y almacenar en cubierto. Para utilizarlo en la industria lo mejor es cortar justo antes de su uso. [Slaven, I.; Haviarova, E. y Cassens, D., 2011]

Otras buenas recomendaciones para que la pérdida de materia seca sea la menor posible es que se eviten compactaciones realizando pilas de menos de 40 – 50 m<sup>3</sup>, se eviten los finos y se controlen las temperaturas, volteando el producto cuando este se encuentre por encima de los 60°C. [Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A., 2001]

El uso de un tamiz antes del cribado y triturado es beneficioso para reducir la humedad, reducir el auto-calentamiento y decrecer el contenido de cenizas. [Searcy, E. et al., 2011]

## **2.6.- Resumen y conclusiones del capítulo**

Existen muchos factores que pueden afectar a la biomasa durante su almacenamiento, pero la humedad es el factor más importante a tener en cuenta. La humedad es la principal causante de la aparición de otros factores.

Cuando la humedad de la biomasa es baja, los problemas en el almacenamiento se reducen en gran medida y, en la mayoría de los casos, no existen indicios de problemas o degradaciones (vendrán dados por otros aspectos). Con humedades superiores al 15%, la combinación de esta con factores como la alta componente herbácea, la granulometría, el tamaño del acopio, etc., hace que los problemas se multipliquen exponencialmente llegando a grandes degradaciones, problemas de auto-calentamiento y riesgos de incendio.

Biomásas con alto contenido herbáceo son muy susceptibles de ser degradadas por las bacterias, lo que favorece a la pérdida de calidad y al aumento de la humedad, temperatura.

Estos efectos se van a ver incrementados según como se realice el acopio y de cuales sean las características físicas de la biomasa:

- Pilas de granulometría pequeña generan más compactación, menos permeabilidad y reducción de la disipación del calor liberado.
- La temperatura aumenta en las pilas de biomasa con baja granulometría y sobre todo en las más altas.
- La convección del aire es el factor para el secado.
- La anchura de la pila afecta al auto-calentamiento, ya que reduce el flujo de aire en pilas de más altura.
- Los acopios deben de ser altos y estrechos.
- Cuanto más grandes sean las partículas, mayor podrá ser el acopio a realizar.
- El aumento de temperatura aumenta la humedad en pilas altas.
- La actividad de hongos es mayor en acopios de biomasa con pequeña granulometría. Esta actividad contribuye al aumento de calor.
- Biomásas herbáceas se compactan más fácilmente, por lo que en acopios grandes la refrigeración no llega hasta el centro de ellos.
- Ambiente frío y una buena circulación de aire previenen la acumulación de calor y, consecuentemente, la actuación bacteriana.
- Grandes partículas reducen el "self-heating" y permiten mayores acopios.
- La actividad microbiana en partículas grandes es baja pero cuando se inicia se propaga rápidamente.
- Para periodos de almacenamiento cortos, la longitud y el tamaño tienen efectos insignificantes.

- Para periodos largos el tamaño de las partículas y de los acopios es muy importante.
- El almacenamiento cubierto es inviable técnica y económicamente para almacenamiento de grandes cantidades, a no ser que sea un producto con un mayor precio de venta en un mercado importante. (importancia precio)
- Suelos que no drenen, aumentan considerablemente la humedad del acopio y afectan a su temperatura.
- El tipo de terreno o suelo utilizado para el almacenamiento puede afectar a la contaminación de la biomasa.

Para poder controlar estos factores y los efectos de los mismos sobre la biomasa almacenada, es necesario encontrar un método de almacenamiento óptimo.

En relación a lo comentado en la bibliografía estudiada, cabe considerar que el método de almacenamiento más adecuado para conseguir un aprovechamiento óptimo de biomasa es el Método Multi-Pila basado en un sistema de rotación de stock FIFO. Pero este sistema de rotación no será del todo fiable cuando la biomasa sea diversa y de características diferentes. Según comenta Paul Janzé, lo mejor para evitar acumulación de errores en el inventario es utilizar el método multi-pila, pero este no siempre es práctico, sobre todo si el área de almacenamiento es limitada y se trabaja con múltiples biomasa y múltiples pilas. Una opción sería no realizar trabajos en una pila hasta que no esté terminada la otra. [Janzé, P., 2011b]

Para poder determinar la variación de peso o densidad, tanto en una pila como en el total, se pueden seguir los siguientes pasos: [Janzé, P., 2011b]

- Construir la pila de una manera normal.
- Detener las entradas y salidas de la pila.
- Inspeccionar la pila para determinar su peso o volumen antes de consumir de ella.
- Controlar el peso y humedad del producto saliente de la pila.
- Tomar muestras de la biomasa retirada del acopio y obtener la pérdida de densidad mediante ensayos de laboratorio.
- Consumir la pila completamente.
- Dividir las toneladas de salida del acopio por el volumen de la pila determinado.
- Comparar con la densidad obtenida en el laboratorio.

Tradicionalmente, el método de control de inventario realizado por las empresas que almacenan biomasa ha sido el de medir el volumen de las pilas y a partir de ahí, obtener las toneladas a partir de la densidad del producto. Estas empresas, a lo largo de los años, se han encontrado con problemas de falta de material en el inventario debido a las pérdidas generadas durante el almacenamiento [Janzé, P., 2011b].

### 3.- Estudio experimental de almacenamiento. Pruebas y ensayos. Análisis de ensayos y determinación de los principales aspectos a tener en cuenta para realizar un almacenamiento óptimo

---



## **3.- Estudio experimental de almacenamiento de biomasa. Pruebas y ensayos. Análisis de ensayos y determinación de los principales aspectos a tener en cuenta para realizar un almacenamiento óptimo.**

### **3.1.- Introducción al capítulo**

El objetivo principal de esta investigación es realizar un estudio de optimización del almacenamiento de biomasa en plantas de generación de energía eléctrica, realizando y analizando ensayos de campo para observar cómo los factores, descritos anteriormente en el estado del arte, afectan a la biomasa almacenada:

- Dimensión de los efectos
- Efectos positivos o negativos
- Como controlar esos efectos mediante un almacenamiento óptimo
- Repercusión en el balance energético-económico de la planta

Antes de realizar y analizar los ensayos de campo se va a realizar una breve descripción de las características de cada una de las biomásas utilizadas para realizar los ensayos. Así como, una clasificación de como pueden ser las formas y tamaños de los acopios a realizar. A continuación, se va a describir el procedimiento llevado a cabo para la realización de los acopios y la toma de datos de los mismos.

Una vez descritos los pasos a seguir, se va a comenzar a detallar cada uno de los ensayos de campo realizados, diferenciando y comparando el método de almacenamiento utilizado.

Una vez se hayan analizado los resultados obtenidos de las pruebas realizadas se sacarán conclusiones que permitan establecer hipótesis para la aplicación de un método óptimo de almacenamiento.

## **3.2.- Generalidades en el almacenamiento de biomasa. Características de las biomásas utilizadas.**

### 3.2.1.- Antecedentes

En general, como ya se ha comentado, la biomasa suele tener un carácter estacional, ya que, normalmente, está ligada al aprovechamiento y mantenimiento de cultivos, pastos, montes. Esto hace que su utilización para la generación de energía eléctrica se vuelva difícil y compleja, ya que se necesitan acopiar grandes cantidades de biomasa en corto periodo de tiempo y con el propósito de tenerla acumulada o acopiada durante largos periodos, dependiendo de las necesidades de producción de la planta generadora.

Para tener la biomasa almacenada durante ciertos periodos de tiempo hay que tener en cuenta determinados factores que afectan al estado y a la composición de la misma. Cuando se pretende almacenar biomasa en una planta de generación de energía eléctrica, los primeros aspectos que se deben tener en consideración son: producción o consumo de la planta y tamaño del almacén o parque de almacenamiento de biomasa.

- Consumo de la planta. El consumo de la planta va a establecer el mínimo stock del que se debe disponer en el parque para el continuo funcionamiento de la misma. Aunque se podría decir que el stock mínimo necesario debe de ser igual a la cantidad de biomasa que la planta consumiría en un día, en régimen de máxima producción, lo lógico y normal es tener un mínimo de stock mayor al consumo diario de la planta, que te permita afrontar situaciones desfavorables como:
  - Lluvia: en los días de lluvia y posteriores, normalmente, las entradas de biomasa a la planta son menores, debido a que los trabajos en el campo se hacen muy complicados. En la mayoría de los casos se debe esperar a que el suelo se seque para poder acceder con la maquinaria, camiones, etc.
  - Problemas de suministro: puede pasar que alguno o algunos de los proveedores que estén suministrando en ese momento tengan averías o problemas, lo que origine la reducción de la cantidad de biomasa suministrada.
  - Estacionalidad: existen épocas en la que las entradas de biomasa son muy bajas debido a la estacionalidad de la propia biomasa, por lo que el stock mínimo deberá de ser incrementado para asegurarse la producción durante ese periodo de tiempo.
  - Tesorería: el tema económico siempre está presente, por lo que, influirá en la cantidad de biomasa que se pueda comprar y, en consecuencia, en el stock.

- Tamaño del parque de almacenamiento. Principalmente, el tamaño del parque va a marcar la cantidad máxima<sup>9</sup> de biomasa que se podrá almacenar, pero también puede afectar a otros aspectos del almacenamiento como: [Rentizelas, A. A., 2016]
  - Diferenciación entre productos: tamaño de parque grande facilita la separación de diferentes biomásas por tipo y características.
  - Tamaño de acopios: el espacio de almacenamiento permite hacer acopios más o menos grandes.
  - Diferenciación entre zonas de trabajo: debido a que la biomasa puede ser de diversas formas y tamaños, es necesario realizar trabajos de manipulación y mecanizado tipo trituración, cribado, secado, etc. Si el tamaño del parque es pequeño las posibilidades de tener diferentes zonas de trabajo disminuyen. También se reduce el abanico de tipo biomasa a consumir, ya que la biomasa deberá ser ya apta para consumo, sin necesidad de mecanizado.
  - Rotación de stock: mayor espacio conlleva mayor ocupación y, por lo tanto, la rotación de stock es más lenta, lo que puede dar lugar a problemas de fermentación, degradación, pérdidas, etc.
  - Seguridad: por un lado, un parque de almacenamiento grande permite tener zonas de seguridad destinadas a la refrigeración de productos calientes o extinción de conatos o incendios generados en un acopio. Por otro lado, te permite tener mayor biomasa, lo que, en caso de incendio, puede generar incendios de gran magnitud y muy difíciles de controlar.

Es necesario una suficiente área o superficie de almacenamiento para poder alojar la producción de biomasa de la campaña y asegurar el abastecimiento o suministro de la biomasa necesaria para el funcionamiento de la planta. [Zafar, S., 2015]

Almacenar y manipular biomasa es altamente dependiente del tipo y forma de la misma. La biomasa puede encontrarse en diferentes formas: triturada, en balas, troncos, peletizada. Pero no hay una respuesta universal a cuando o cuánto debe reducirse el tamaño de las partículas, que normalmente está marcado por la distancia de transporte. Normalmente, los productos se suelen separar por tipos y características. Esta separación es necesaria cuando hay una ventaja económica o financiera entre los productos. [Woody BUG, 2002]

Las instalaciones o zonas utilizadas para el almacenamiento de biomasa pueden ser desde terrenos al aire libre hasta bunkers, silos, cubos grandes, cajas, naves, tanques.

---

<sup>9</sup> Debido al peligro de incendio que supone el almacenamiento de biomasa, en la mayoría de los casos, la cantidad máxima de biomasa almacenada va a estar marcada por las pérdidas que puedan ser cubiertas por las prestaciones del seguro contratado. Cuanto mayor cantidad se quiera asegurar mayor será el coste del seguro.

Aunque los costes iniciales son importantes, hay otro gran número de factores que influyen en el diseño y elección del almacenamiento:

- ❖ Coste de construcción. El almacenamiento al aire libre es el más económico frente al almacenamiento en silos de cemento, los cuales se estiman que son los más caros.
- ❖ Durabilidad. Por lo general, el más caro es el que más dura.
- ❖ Rendimiento. Una instalación que tenga u ofrezca un alto rendimiento tiene un desgaste mayor y, por lo tanto, una durabilidad menor.
- ❖ Costes operacionales. Instalaciones de alto rendimiento tienen costes muy altos.

Las propiedades físicas de los productos van a ser muy importantes a la hora de definir un sistema de almacenamiento. Cualquier estudio debe tener en cuenta: densidad, contenido de humedad, tamaños de partículas, función de cohesión y flujo, coeficiente de fricción. También sería conveniente tener una base de datos de las propiedades físicas de los productos para poder realizar las cargas, descargas y almacenamiento de la mejor manera para cada producto. *[Williams, G.; Jofriet, J. y Rosentrater, K., 2008]*

Según un estudio realizado por un grupo federal estadounidense de trabajo con biomasa, una gestión del almacenamiento de biomasa proporciona 5 funciones para que se mejore la eficiencia del proceso: *[Woody BUG, 2002]*

- Proporciona volúmenes adecuados de biomasa para un procesamiento eficiente.
- Proporciona un regulador para evitar acumulación en el suministro para la temporada de primavera.
- Habilita zonas del parque para seguridad y eficiencia.
- Suaviza el flujo de entradas y salidas de la planta.
- Proporciona un inventario de registros para la planta de procesamiento.

Grandes inventarios de biomasa son una preocupación y muchos esfuerzos deben ser realizados para reducir y controlar el inventario del parque. Excesivos almacenamientos de biomasa reducen la productividad, incrementan costes e incrementan la degradación de la biomasa. *[Woody BUG, 2002]*

- ❖ Almacenamientos grandes → Mayores costes y menor productividad.
- ❖ Almacenamientos pequeños → Menores costes y mayor productividad.

Antes de analizar los ensayos o pruebas realizadas y de explicar el procedimiento utilizado, es importante conocer las principales características como combustible de las biomásas que se han sido objeto de este estudio y como se ha realizado el almacenamiento.

### 3.2.2.- Productos de ensayo. Características

Existen muchos tipos de biomásas destinadas a la generación de energía eléctrica. Normalmente el uso de cada una va a depender de la proximidad del cultivo o residuo a la planta generadora.

Aunque la idea principal de este estudio es realizar un análisis del uso de la biomasa regional, en concreto la poda de olivar, se van a estudiar otros tipos de biomasa para así poder conocer cómo se comportan durante su almacenamiento, como combustible y hacer comparativas entre ellos.

En plantas de generación de energía eléctrica mediante la combustión de biomasa se utiliza como combustible gran variedad de productos. En este estudio se van a estudiar los siguientes productos:

- ✓ Pino
- ✓ Chopo
- ✓ Poda de Olivar<sup>10</sup>
- ✓ Hoja de Almazara
- ✓ Sarmiento de Viña
- ✓ Cepa de Viña
- ✓ Restos de Jardinería
- ✓ Poda de Frutales
- ✓ Orujillo
- ✓ Hueso

#### 3.2.2.1.- Pino

El pino es una de las biomásas más utilizadas en este tipo de plantas ya que sus características como combustible son muy buenas. Su carácter resinoso y su alta cantidad de volátiles hacen que su combustión sea rápida, lo que favorece al aprovechamiento de su energía y a la transmisión de la misma. Pero este carácter resinoso hace que la pérdida de humedad, tras su tala o corta, sea lenta. Tiene buen poder calorífico<sup>11</sup>, entre 3.400 - 3.600 Kcal/kg, dependiendo de la humedad. Es una biomasa que recién cortada tiene valores de humedad altos, entre 35 - 40%. Genera poca cantidad de escorias y cenizas.

En general, el pino es una biomasa más leñosa, aunque en ocasiones va a acompañado de hoja de pino (acícula), lo que significa que contiene cierta cantidad de material frondoso (hojas, fibras, cortezas). Por lo que, durante su almacenamiento, la fermentación y degradación que se genera es más baja que en productos herbáceos. A

---

<sup>10</sup> La leña de olivo se utiliza, principalmente, como uso térmico, por lo que, no se va a considerar en este estudio.

<sup>11</sup> Se habla de Poder Calorífico Inferior.

valores altos de humedad, la velocidad de pérdida de la misma es mayor que valores bajos de humedad.

#### 3.2.2.2.- Chopo

Es chopo es una biomasa bastante húmeda (%H > 35%), debido a su carácter higroscópico. Aunque su baja densidad y alta porosidad hacen que la pérdida de humedad a lo largo del tiempo sea muy rápida. Su poder calorífico es bajo, entre 2.800 – 3.000 Kcal/kg. Es un buen combustible ya que, durante la combustión, su tendencia a la formación de sinterizados y ensuciamiento en el hogar es baja, por la poca concentración en sus cenizas de los elementos inorgánicos potasio, calcio, sodio, sulfatos y magnesio, que intervienen en ello. Su contenido en volátiles es medio-alto, lo que favorece la combustión.

Durante su almacenamiento, debido a su carácter poroso y poca densidad, pierde la humedad con gran rapidez, eliminando la posibilidad de fermentación y degradación.

#### 3.2.2.3.- Poda de Olivar

La poda de olivar también es un buen combustible, ya que tiene un poder calorífico próximo al del pino, entre 3.200 - 3.500 kcal/kg. Por lo general, la poda de olivo recién cortada tiene una humedad de alrededor del 35%, pero esta humedad disminuye con rapidez, llegando a valores por debajo del 20% en aproximadamente 15 días después de la tala o corta. Esto es debido al alto contenido en ramas y hojas.

Por lo contrario, esta componente herbácea, hace que adquiera o adsorba con mayor facilidad la humedad, además de ser más fácilmente degradable y vulnerable a la acción de las bacterias y microorganismos, convirtiéndose en un producto peligroso para almacenamientos a largo plazo.

El comportamiento de la poda del olivar durante su almacenamiento va a depender mucho del tamaño de las partículas con el que se almacena, teniendo en cuenta, por supuesto, la humedad como principal factor.

Su contenido en cenizas es más alto que con respecto al pino, mientras que el contenido en volátiles es más bajo.

#### 3.2.2.4.- Hoja de Almazara

La hoja de almazara, como ya se ha comentado en el estado del arte, es un producto que se ha utilizado normalmente para alimentación de ganado, para estabilización de terrenos, como fertilizante y aditivo al propio suelo del olivar. Pero también puede y es usado como combustible para la producción de energía.

La hoja de almazara es un producto muy difícil de gestionar, ya que tiene un muy alto contenido herbáceo, a lo que hay que sumarle humedades por encima del 40%.

Si a este contenido herbáceo y altas humedades, se le suma la pequeña granulometría del producto, se podría decir que un acopio de este producto se convierte en una bomba de relojería. Es decir, se genera en el acopio el mejor ambiente posible para que las bacterias y microorganismo proliferen y degraden la biomasa, fermentándola, aumentando la temperatura del acopio y generando grandes problemas en el mismo.

Es una biomasa con bajo poder calorífico (2.600 - 2.900 kcal/kg) y que genera bastantes cenizas y escorias en la combustión.

Por lo tanto, es un producto que se debe gestionar con rapidez, es decir, almacenamiento a corto plazo.

Un dato a favor de este producto es el precio bajo de compra.

#### 3.2.2.5.- Sarmiento de viña

El sarmiento de viña es un producto algo similar a la poda de olivo, pero más sucio, debido a que su recolección es algo más difícil y se hace mucho más cerca del suelo (hay mayor arrastre de tierra, pierdas, metales). También hay que añadir la cantidad de alambres, cuerdas, guitas, etc., con las que se adaptan y agarran a los enrejados de las hileras.

Su poder calorífico es algo inferior al de la poda de olivo, alrededor de 2.900 - 3.200 kcal/kg. Genera más cenizas volantes durante la combustión, aunque tiene más volátiles, lo que ayuda a la velocidad de la combustión del producto.

Es un buen producto para almacenarlo ya que, por regla general, es un producto seco (humedad < 20%) y poco herbáceo, lo que disminuye la fermentación y descomposición de la biomasa por acción de las bacterias.

#### 3.2.2.6.- Cepa de Viña

La cepa de viña es muy similar al sarmiento de viña solo que con algo más de poder calorífico, ya que es más leñoso. Es mucho más problemático por la suciedad debido a que la cepa se encuentra enterrada bajo tierra y es muy complicado limpiar o eliminar esa tierra de la biomasa.

#### 3.2.2.7.- Restos de Podas o de Jardinería

Estos restos de podas están compuestos principalmente por podas y limpiezas de jardines, fincas, árboles no frutales, hiervas, arbustos.

Los restos de jardín se podrían comparar a la hoja de almazara, aunque con algo menos de humedad y algo más de poder calorífico, alrededor del 35% - 40% y entorno a 2.800 - 3.000 kcal/kg.

Es un producto muy herbáceo, con lo que su almacenamiento es complicado por su susceptibilidad a la acción de las bacterias. También genera muchas cenizas durante la combustión.

Este producto además es un producto que contiene muchos elementos inorgánicos y mayor contenido en cloro, lo que influye a la tendencia a la incrustación y corrosión de los tubos del hogar de la caldera de biomasa.

#### 3.2.2.8.- Poda de frutal

Es una biomasa muy similar a la poda de olivar, pero generalmente, con muy poco contenido herbáceo, lo que la hace un buen combustible tanto para su almacenamiento como en el proceso de combustión.

Como principal defecto, tiene un contenido bajo en volátiles, lo que afecta a la combustión.

#### 3.2.2.9.- Orujillo

El orujillo es considerado como un subproducto de la industria olivarera, sin embargo, en materia de biomasa, es considerado como un buen combustible y es muy utilizado.

Es un producto que, como combustible, tiene tantas cualidades buenas como malas. Tiene un alto poder calorífico (3.700 - 4.000 kcal/kg), es muy homogéneo y muy poco herbáceo, lo que favorece en gran medida la cesión del calor del combustible a las paredes del hogar en la combustión.

Por lo contrario, es un producto muy sucio. Con sucio se quiere decir que ensucia mucho las paredes del hogar y de la caldera reduciendo la transmisión de calor, debido a su alto contenido de potasio en las cenizas (incrustaciones). Además, tiene un alto contenido en cloro lo que aumenta la tendencia a la corrosión de los tubos del hogar de la caldera.

Es fácil de manipular y almacenar ya que, generalmente, tiene una humedad baja (<10%) y su componente herbácea es baja.

#### 3.2.2.10.- Hueso

Al igual que el orujillo, el hueso es un subproducto de la industria olivarera y que, por regla general, es utilizado en los propios procesos productivos de las almazaras, fábricas de aceite y orujeras.

También es un biocombustible muy bueno, por no decir el mejor biocombustible de todos. Esto se debe a que, además de tener un PCI alto, normalmente seco, homogéneo, granulado, con una granulometría muy baja, también es un producto bastante limpio, ya que genera pocas cenizas.

De ahí, que el hueso, en industrias de generación de energía eléctrica, no sea utilizado como combustible, debido a su reutilización en los mismos centros de producción y comercialización para uso doméstico para calefacción.

Además, es una biomasa cara, la cual no interesa utilizarla para la producción de energía eléctrica, ya que se obtienen más beneficios por su venta que por la retribución económica obtenida por la venta de electricidad.

Tabla 6.- Principales Características de la biomasa como combustible. [Fuente: Elaboración Propia]

Biomasa	Humedad <sup>12</sup> (%)	PCI (Kcal/Kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Estacionalidad	Contenido Herbáceo	Cenizas	Volátiles
Pino	30-40%	3.400-3.600	250-300	Abr-Sept	Bajo	Bajo	Alto
Chopo	>35%	2.800-3.000	150-200	Feb-Jul	Bajo	Bajo	Medio
Poda Olivar	35%	3.200-3.500	200-250	Feb-Abr	Alto	Alto	Bajo
Hoja Almazara	>40%	2.600-2.900	100-150	Oct-Feb	Muy Alto	Alto	Bajo
Sarmiento Viña	20%	2.900-3.200	200-250	Nov-Feb	Bajo	Alto	Medio
Cepa de Viña	<20%	3.000-3.200	200-300	Nov-Feb	Muy Bajo	Alto	Bajo
Restos Podas	35-40%	2.800-3.000	150-250	Oct-Mar	Muy Alto	Alto	Bajo
Poda Frutal	<20%	3.100-3.400	200-300	Oct-Mar	Muy Bajo	Medio	Bajo
Orujillo	<15%	3.700-4.100	550-650	Nov-Ago	Muy Bajo	Muy Alto	Alto
Hueso	<15%	4.000-4.300	500-600	Oct-Feb	Muy Bajo	Bajo	Alto

### 3.2.3.- Acopios de Biomasa. Formas y tamaños

Aunque va a estar influenciado por el espacio de almacenamiento del que se disponga, el tamaño y forma de los acopios puede ser de mucha variedad: altos, bajos, anchos, largos, grandes, pequeños, etc.

En este trabajo se han estudiado acopios de diferentes tamaños y formas para conocer la mejor manera de acopiar la biomasa y que favorezca a la pérdida de humedad, se reduzca la generación de fermentaciones y, por lo tanto, se consigan mantener las características iniciales de la biomasa o mejorarlas.

Se ha realizado una pequeña clasificación y diferenciación entre los tipos y tamaños<sup>13</sup> de acopios que pueden ser realizados, para un mejor entendimiento del estudio de los acopios:

- Acopios Grandes. Se van a considerar acopios grandes aquellos que van a medir por encima de los 50 metros de longitud, 20 metros de ancho y más de 7 metros de altura.
- Acopios Medianos. Aquellos en los que la longitud esté entre 20 – 50 metros de longitud, 10 – 20 metros de ancho y entre 4 – 7 metros de alto.
- Acopios pequeños. Acopios con tamaños inferiores a 20 metros de longitud, 10 metros de ancho y 4 metros de altura.

<sup>12</sup> El porcentaje de humedad de la tabla se refiere a la humedad de la biomasa recién cortada o podada.

<sup>13</sup> El peso del acopio va a depender de la densidad del producto que se esté almacenando.

Dentro de cada tamaño, los acopios se pueden realizar de diferentes formas:

- Cono
- Trapecio de base cuadrada
- Trapecio de base rectangular
- Trapecio de base circular
- Trapecio de base elipsoidal

Tabla 7.- Clasificación del tamaño de los acopios. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Acopio	Tamaño	Forma
<b>Grande</b>	L > 50 m	Trapecio base cuadrada
	A > 20 m	Trapecio base rectangular
	H > 7 m	
<b>Mediano</b>	20 m < L < 50 m	Trapecio base cuadrada
	10 m < A < 20 m	Trapecio base rectangular
	4 m < H < 7 m	Trapecio base circular
		Trapecio base elipsoidal
<b>Pequeño</b>	L < 20 m	Cono
	A < 10 m	Trapecio base cuadrada
	H < 4 m	Trapecio base rectangular
		Trapecio base circular

Por otro lado, debido al gran volumen de biomasa que se manipula y almacena en este tipo de plantas, las técnicas utilizadas para refrigerar y secar los acopios tipo: cubrir con lonas, plásticos o geotextiles, instalaciones de secado forzado, almacenes cubiertos, no son viables para este tipo de proceso productivo ya que el coste incurrido en su instalación será mayor que el beneficio obtenido por su rendimiento o mejora de la calidad de la biomasa.

Si lo que se pretende es obtener un aprovechamiento óptimo de la biomasa en la que el almacenamiento genere el menor coste posible, la biomasa será almacenada a granel, al aire libre, sin cubiertas o protecciones, tal y como es almacenada normalmente en este tipo de plantas. El suelo donde se almacena la biomasa suele ser de zahorra o grava compactada que permite el drenaje de lixiviados. También se utilizan suelos pavimentados con una inclinación mínima para la escorrentía de aguas de lluvia u otras.

### **3.3.- Procedimiento utilizado para la realización de los acopios, seguimiento de los acopios y la realización de la toma de datos de los ensayos para su posterior evaluación**

#### **3.3.1.- Planteamiento Inicial**

En este estudio, se han realizado diferentes ensayos en los que se ha ido observando el comportamiento de la biomasa en función de sus características iniciales.

Como se ha explicado anteriormente, hay métodos que son desestimados directamente por la incompatibilidad con el sistema de aprovechamiento necesario para este tipo de plantas.

Teniendo en cuenta el objetivo del estudio, el almacenamiento de biomasa en plantas de combustión para la generación de energía eléctrica, se ha realizado una clasificación de las pruebas realizadas, en función de los métodos más utilizados: Pila Única y Multi-Pila.

Una vez realizadas las pruebas de almacenamiento, se han analizado los resultados para conocer cómo se comporta cada biomasa durante su almacenamiento, en función de sus características físico – químicas iniciales y, así, obtener y deducir las directrices para establecer hipótesis acerca del método a seguir para realizar un almacenamiento óptimo.

Debido a la gran variabilidad de las condiciones y características físico-químicas de cada producto, además de la diversidad existente en la forma de realizar un almacenamiento, es difícil estimar un número de pruebas mínimo a realizar.

Teniendo en cuenta los productos que han sido utilizados, los principales factores que influyen en el almacenamiento y los métodos de almacenamiento más empleados, se han realizado una serie de pruebas que combinen estos factores para poder abarcar todo tipo de posibilidades.

El tiempo de almacenamiento va a estar marcado por los demás factores, es decir, será mayor o menos según sean las condiciones del acopio y según se marquen las directrices de producción. Se ha intentado buscar el tiempo óptimo/máximo de almacenamiento que no permita la degradación de la biomasa.

Para ello se han planteado una serie de combinaciones entre estos factores para determinar un número aproximado de pruebas a realizar con los diferentes productos. Se plantea realizar, al menos, 1 combinación con cada una de las biomasa:

Tabla 8.- Combinaciones planteadas para las pruebas de almacenamiento. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Combinación	Descripción
1	Alta humedad, Triturado, Acopio Grande
2	Alta humedad, Triturado, Acopio Mediano
3	Alta humedad, Sin Triturar, Acopio Grande
4	Alta humedad, Sin Triturar, Acopio Mediano
5	Media humedad, Triturado, Acopio Grande
6	Media humedad, Triturado, Acopio Mediano
7	Media humedad, Sin Triturar, Acopio Grande
8	Media humedad, Sin Triturar, Acopio Mediano
9	Baja humedad, Triturado, Acopio Grande
10	Baja humedad, Triturado, Acopio Mediano
11	Baja humedad, Sin Triturar, Acopio Grande
12	Baja humedad, Sin Triturar, Acopio Mediano

Antes de describir y analizar las pruebas o ensayos realizados es necesario definir cómo se van a controlar las características físico – químicas de la biomasa almacenada y que se va a hacer durante el almacenamiento.

### 3.3.2.- Procedimiento de toma de datos en los acopios de biomasa

Para poder controlar la variación de las características de un tipo de biomasa durante su almacenamiento, es necesario realizar una toma de datos desde el momento en el que se empieza el almacenamiento hasta la fecha en la que se realizan las mediciones de control o finales<sup>14</sup>.

Al igual que se ha realizado en otros estudios, en este, se han realizado una serie de pasos para controlar las características iniciales y finales de la biomasa, así como un seguimiento del progreso del almacenamiento. [Searcy, E. et al., 2011]

#### *3.3.2.1.- Inicio del almacenamiento*

Cuando se realiza un acopio, mediante pesaje en una báscula, se mide su peso y la fecha de inicio de almacenamiento del mismo.

Durante la formación de cada acopio de biomasa se cogen una serie de muestras aleatorias de diferentes partes del mismo, las cuales se analizan para obtener los parámetros:

<sup>14</sup> En plantas de combustión, la fecha de control o final del almacenamiento de un producto suele ser la fecha en la que se consume, ya que es el momento en el que se puede saber el balance energético-económico que ha supuesto el almacenamiento de ese producto.

- Humedad Inicial (%). El análisis de humedad se realiza según Norma UNE-CENT/TS 14774-1/2/3, mediante secado de la muestra en estufa a 105°C hasta peso constante.
- Poder Calorífico Superior Inicial (PCS) (kcal/kg). El PCS es analizado mediante Bomba Calorimétrica PAR 6000 según la Norma UNE-EN-14918.
- Poder Calorífico Inferior Inicial (PCI) (kcal/kg). Según los datos de PCS obtenidos en la bomba calorimétrica y según la Norma UNE-EN-14918, el PCI se calcula según fórmula:

$$PCI_D = \{PCS - 212,2 * \%H - 0,8 * [\%O + \%N]\} * (1 - 0,01M) - 24,43M$$

$$PCI_M = PCI_D * (1 - 0,01M) - 24,43M$$

Donde:

- $PCI_D$ : Poder calorífico neto a presión constante (J/g) sin humedad.
- PCS: Poder calorífico superior a volumen constante (J/g).
- $PCI_M$ : Poder calorífico neto a presión constante (J/g) con un contenido de humedad M.
- 212,2: Calor de Vaporización del agua.
- %H: Porcentaje de Hidrógeno presente en el combustible.
- %O: Porcentaje de Oxígeno presente en el combustible.
- %N: Porcentaje de Nitrógeno presente en el combustible.
- $M^{15}$ : Porcentaje de humedad obtenido tras pasar la muestra por la estufa cumpliendo la Norma UNE-CENT/TS 14774-1/2/3.

### 3.3.2.2.-Evolución del almacenamiento

A los pocos días, el acopio de biomasa ya empieza a “respirar” y se empiezan a notar los primeros signos de evaporación y calentamiento interior del acopio. Por lo tanto, pasados varios días, se realiza una medición termográfica de la superficie del acopio para detectar puntos calientes o zonas donde se esté produciendo el “efecto chimenea”.

La termografía se realiza mediante una Cámara Termográfica FLIR ix series Extech IRC30. Normalmente, el rango de emisividad<sup>16</sup> de los materiales está entre 0,1 – 0,98. En el caso de la madera la emisividad es de 0,91 para temperaturas medias-bajas y de 0,94 para temperaturas superiores a 70°C. [FLIR, 2011]

<sup>15</sup> Dado que la entalpía de vaporización del agua, a presión constante y a 25°C, es de 44,01 kJ/mol, lo que corresponde a 218,3 J/g para 1% de hidrógeno en la muestra o 24,43 J/g para 1% de humedad (según norma UNE-EN-14918)

<sup>16</sup> La “Emisividad” es la relación entre la radiación emitida por la superficie de un cuerpo y la radiación de esa superficie si fuera un cuerpo negro. La emisividad de un cuerpo negro es igual a 1.

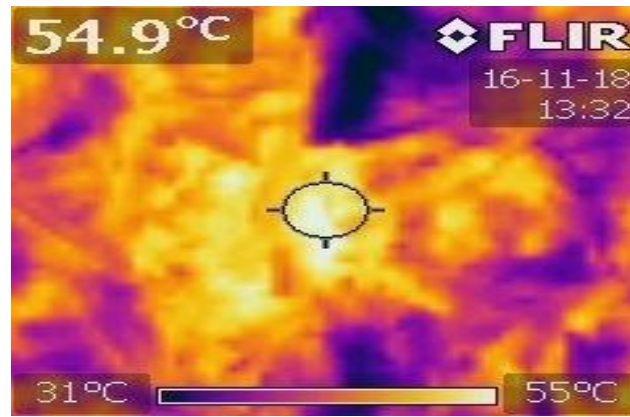


Imagen 25.- Ejemplo de termografía realizada a un acopio de poda de olivo. [Fuente: Elaboración Propia]

En los puntos detectados se colocan sondas de temperatura para controlar la evolución interna del acopio. La variación de temperatura informa de lo que está sucediendo dentro del acopio. En función de cómo sea de grande esa variación de temperatura, habrá que actuar sobre el acopio para reducir o mitigar los posibles problemas, efectos o peligros.



Imagen 26.- Sonda de temperatura colocada en la superficie de un acopio de pino. [Fuente: Elaboración Propia]

En este caso, se utilizan unas lanzas huecas de acero inoxidable de 4 – 5 mm de diámetro interior y 6 – 7 mm de diámetro exterior<sup>17</sup>. Estas lanzas son de 1,5 metro de longitud cada una, son enroscables y se pueden unir para poder formar diferentes longitudes y poder medir la temperatura del acopio a diferentes profundidades<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Las lanzas de acero inoxidable deben de ser lo más finas posible para que la temperatura se trasmita correctamente a la PT-100 pero no pueden ser muy finas ya que se doblan con facilidad a la hora de hincarlas en el acopio.

<sup>18</sup> Como se ha comentado en el estado del arte, la presencia de metales dentro del acopio puede acelerar las reacciones internas y dar datos erróneos, por lo que en gran parte de los ensayos realizados la lectura de temperatura no es continua, debido a que las sondas se han introducido y sacado en el momento o día de la toma de datos, para evitar posibles interferencias en la evolución natural del almacenamiento.

Para medir la temperatura se utilizan Sondas PT-100 que permiten la medida de temperatura en un punto determinado y transmiten la información a un receptor electrónico (convertidor, indicador, registrador o regulador). Este receptor es un Termómetro HIBOK 14.



**Imagen 27.-** Termómetro digital midiendo la temperatura en un punto caliente de un acopio de pino. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Si la temperatura no aumenta hasta puntos donde haya riesgo de auto-ignición o de llama, el producto se tendrá almacenado en el acopio durante el periodo que se estime para realizar la prueba.

Dado que, en este estudio, lo que también se pretende es encontrar el tiempo de residencia óptimo de la biomasa, para que no se produzcan deterioros y pérdidas de calidad en la misma o para minimizarlas en lo posible, esta temperatura va a ser uno de los principales factores que marquen la finalización de un acopio. Esto es, si un acopio de biomasa alcanza temperaturas por encima de los 80°C, se debe actuar sobre el acopio haciendo trabajos de refrigeración, movimientos, consumo, eliminación, etc.

Durante el tiempo de almacenamiento también se miden periódicamente la temperatura ambiente y la humedad relativa.

### *3.3.2.3.- Final del almacenamiento*

Cuando el almacenamiento finaliza, se vuelve a realizar una toma de muestras<sup>19</sup> aleatorias de diferentes partes del acopio y se analizan igual que al inicio del almacenamiento.

---

<sup>19</sup> Aunque durante el almacenamiento también se puede realizar toma de muestras para ver el progreso del acopio, en la mayoría de los casos no se ha realizado porque, en acopios de gran tamaño, una vez que ya se ha realizado el acopio, es difícil tomar muestras representativas de todo el acopio. Ya que, para llegar al interior del acopio habría que abrirlo y, por lo tanto, se estaría aireando y alterando el ciclo natural de secado del acopio. Además, habría que tenerse en cuenta la variación de humedad desde las capas externas (más expuestas al medioambiente) del acopio a las capas internas (menos expuestas).

También se vuelve a medir en báscula el peso del acopio al final del almacenamiento (normalmente, se realiza dentro del periodo de almacenamiento).

#### *3.3.2.4.- Retribución Económica por la producción de energía eléctrica*

Como ya se ha comentado en la revisión bibliográfica de la legislación vigente, esta retribución va a depender de la tecnología y de la biomasa utilizada.

Para la tecnología objeto del estudio, la retribución va a estar compuesta por 3 partes:

- ✓ Retribución a la inversión. Fijo anual.
- ✓ Retribución a la operación. Variable. Se retribuye el tanto por ciento de energía exportada con cada una de las diferentes biomasa, es decir, diferencia entre la energía exportada proveniente del grupo de biomasa B.8 y del grupo B.6.
- ✓ Precio "pool" del mercado. Variable. Precio al que se encuentre la venta de electricidad en el mercado.

Por lo tanto, conociendo la energía disponible en el acopio o que parte de esa energía es aprovechada para transformarla en energía eléctrica, se puede hacer un balance aproximado de la retribución que se obtendría por la utilización de esa biomasa después de un almacenamiento óptimo en el parque.

Según la bibliografía y según datos de producción reales de este tipo de plantas, el rendimiento de las mismas suele estar entre 20% - 25%. Por lo tanto, se va a considerar qué de la energía aportada por la biomasa al proceso, solo el 23% va a ser transformado en energía eléctrica.

#### *3.3.2.5.- Retribución Económica por la producción de energía eléctrica*

Posteriormente, se analizan todos los datos obtenidos desde el inicio hasta el final del almacenamiento para sacar conclusiones de lo sucedido durante ese periodo de tiempo:

- ✓ Pérdida de humedad durante el almacenamiento.
- ✓ Pérdida de peso durante el almacenamiento.
- ✓ Variación de contenido energético (PCS/PCI).
- ✓ Efecto de la humedad sobre la temperatura.
- ✓ Efecto de la temperatura sobre el contenido energético (fermentación).
- ✓ Tiempo de residencia óptimo.
- ✓ Comportamiento y comparativa entre productos.

Por otro lado, dado que estos resultados se traducen en la conservación de las cualidades de la biomasa y, por lo tanto, de su contenido energético, también se analiza la repercusión económica de la variación de ese contenido energético teniendo en cuenta:

- ✓ Coste inicial del acopio de biomasa.

- ✓ Coste supuesto del acopio después del secado.
- ✓ Balance energético. Ganancia o pérdida de energía.
- ✓ Variación de la retribución económica.

Una vez se tienen en cuenta estos aspectos, el siguiente paso es analizar los resultados obtenidos y establecer las pautas a seguir para realizar un almacenamiento óptimo de cada una de las biomásas estudiadas.

### 3.4.- Descripción de los ensayos y pruebas realizadas

A continuación, se va a describir todas aquellas pruebas que se han realizado con las diferentes biomásas utilizando los tipos de almacenamiento existentes, realizando una comparativa y valoración de los resultados finales.

Estas pruebas se han realizado en las instalaciones de Sacyr Industrial, situadas en la Estación de Linares-Baeza. Esta planta de combustión de biomasa cuenta con más de 4 hectáreas útiles de almacenamiento de biomasa y consume al año cerca de 120.000 toneladas de diferentes tipos de biomasa.



Imagen 28.- Vista aérea de la planta de biomasa de Valoriza Energía en la Estación de Linares Baeza. [Fuente: *Elaboración Propia*]

La caldera de vapor tiene una producción nominal de 69 toneladas de vapor y la turbina una potencia nominal de 16 MW. La combustión se realiza sobre una parrilla vibrante refrigerada por agua y por el mismo aire de combustión.

Aunque esta planta está diseñada para que su consumo de biomasa pueda estar compuesto por el 100% de poda de olivar, en esta planta se realizan mezclas poli-biocombustibles<sup>20</sup>. Estas mezclas están compuestas por aquellas biomásas cuyo consumo sea necesario por las circunstancias del momento o de la producción.

---

<sup>20</sup> Mezclas compuestas por varios tipos de biomásas y en diferentes proporciones.

### 3.4.1.- Método Pila Única

Aunque realizar acopios grandes es algo complicado, ya que se debe disponer de una gran superficie de almacenamiento, se han realizado varios acopios de gran tamaño y de diferentes productos para poder hacer una comparativa entre los diferentes métodos de almacenamiento que se pueden llevar a cabo en un parque de almacenamiento de biomasa.

#### *3.4.1.1.- Prueba nº1*

Una práctica muy común y que se hace desde hace muchos años, es la que utilizan las orujeras y extractoras de aceite para almacenar el orujillo<sup>21</sup>. El orujillo, al ser un producto muy homogéneo y granulado, normalmente bastante seco y denso, es muy fácil de acopiar en montones grandes, haciendo rampas para compactar y conseguir grandes alturas y, por lo tanto, conseguir almacenar gran cantidad en pequeños espacios.

Esta es también una práctica muy utilizada en centrales y empresas de EEUU, aunque normalmente el producto almacenado es pino y, por lo general, sin triturar, es decir, en tronco o rollo.



**Imagen 29.- Acopio de orujillo con rampa. [Fuente: Elaboración Propia]**

Dicho esto, y siguiendo esta práctica, se ha realizado un acopio de biomasa, en concreto de pino G5 - G20<sup>22</sup>, alto y grande, utilizando rampas y, en consecuencia, compactando el producto. El tamaño del acopio es de aproximadamente 70 metros de largo, 35 de

---

<sup>21</sup> Las orujeras son aquellas fábricas o instalaciones encargadas de recoger y procesar el residuo o subproducto generado durante el proceso de molienda de la aceituna. Este subproducto es conocido como “Alpeorujo” y está compuesto por aproximadamente un 70% de agua y un 30% de parte sólida, la cual contiene hueso, pulpa y el llamado “orujo graso seco”, entre otras. Esa parte sólida, una vez seca y tras haber pasado por una serie de procesos físicos, es llevada a una extractora para, mediante procesos químicos, conseguir extraer de ese “orujo graso seco” el llamado “aceite de orujo”. El residuo sólido que queda sin aceite, sin hueso, sin agua, etc. es el llamado “orujillo” (≈ 8 – 10 % Humedad).

<sup>22</sup> Pino G5 - G20: pino con una granulometría (tamaño) comprendido entre 5 - 20 centímetros.

ancho y más de 9 de altura. Si tenemos en cuenta que la densidad del pino<sup>23</sup> es de 300 – 400 Kg/m<sup>3</sup>, el peso del acopio será de aproximadamente unas 7.500 toneladas, teniendo en cuenta una densidad media.

Tal y como se ha comentado en el estado del arte, la compactación de la biomasa no permite la refrigeración del acopio y mucho menos en acopios grandes en los que el flujo de aire no llega hasta las capas internas del mismo. Esto hace que se formen con facilidad focos calientes en el interior del acopio que, cuando entran en contacto con el oxígeno (comburente), se produzca llama y, por lo tanto, conatos de incendio o incendios, dependiendo de la magnitud del foco caliente.



**Imagen 30.- Acopio de pino con rampa. [Fuente: Elaboración Propia]**

Como se observa en la imagen 32, el producto compactado no ha dejado que el acopio se refrigere durante el tiempo de almacenamiento, que ha sido de 4 meses (de Mayo a Agosto) aproximadamente y, por lo tanto, se han producido calentamientos en diferentes zonas del acopio, en algunas incluso, al ponerse en contacto con oxígeno, se ha producido llama.

---

<sup>23</sup> Existen una bibliografía muy amplia referente a la densidad del pino, pero la mayoría de los datos coinciden en el rango entre 300 – 400 Kg/m<sup>3</sup>.



**Imagen 31.- Foco caliente que combustiona al ponerse en contacto con el oxígeno. [Fuente: Elaboración Propia]**

El recalentamiento se debe, principalmente, a que la biomasa que se almacenó en ese momento estaba húmeda ( $H > 35\%$ ). Esa biomasa estaría húmeda porque se acopió justo después del momento de la poda o corta, o le cayó agua debido a lluvias o riegos durante su recogida, transporte y descarga en el lugar de acopio.

Pero la formación de un foco caliente no solo se debe a la humedad. También se producen calentamientos en acopios de producto más seco pero que se ha compactado, no se ha permitido su refrigeración y se ha originado un medio óptimo para que las bacterias y los microorganismos actúen (fermentación), generando calor y agua, causantes del calentamiento del acopio.

Esa generación de calor y agua también hace que la humedad aumente en el interior del acopio lo que ayuda a una mayor fermentación. Esto hace que se degrade el producto y que su rendimiento energético en el proceso de combustión sea menor.

En este caso, además de haberse producido deterioro del material por la auto-combustión, el aumento de humedad en los puntos calientes, llegando al 40%, hace que el proceso de convección - radiación de energía dentro de la caldera sea menor, ya que se necesita utilizar parte de la energía generada para evaporar la humedad que tiene esa biomasa.

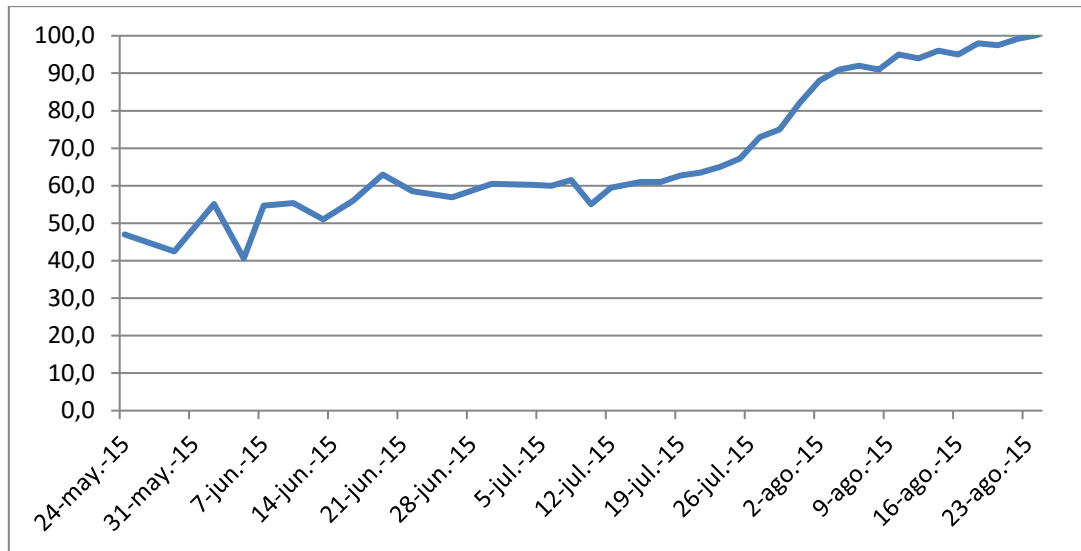


Gráfico 11.- Evolución de la temperatura del acopio en prueba nº1. [Fuente: Elaboración Propia]

La temperatura ha ascendido de los 35°C - 40°C al inicio del almacenamiento, hasta los 90°C - 100°C, donde la temperatura empieza a elevarse exponencialmente y con gran rapidez, hasta llegar a los 180°C - 200°C donde auto-combustiona y produce llama.



Imagen 32.- Compactación del acopio generado por la rampa. [Fuente: Elaboración Propia]

Por lo tanto, la realización de rampas no es aconsejable no solo por la compactación que se produce sino también por motivos como:

- Peligro de trabajos en altura con maquinaria: peligro de vuelco.
- Peligro de descolme de taludes.
- Los trabajos de control del estado interno del acopio se vuelven más complicados, debido a que la compactación impide que se puedan utilizar los medios y dispositivos destinados para ello.
- En el caso de incendio, si se produce en las partes internas del acopio, los trabajos de extinción y saneamiento se hacen mucho más lentos y complicados.
- Si el incendio pasa a ser incontrolable, la cantidad de producto que se puede perder es mucho mayor.

### 3.4.1.2.- Prueba nº2

Se ha realizado otro acopio grande con rampa con poda de olivar G5 - G20, de dimensiones algo menores al anterior ( $\approx 50\text{m} \times 30\text{m} \times 9\text{m}$ ). La densidad de la poda de olivo es algo menor que la de pino debido a que su componente herbácea es mayor<sup>24</sup>, lo que hace que el acopio sea más o menos de las mismas dimensiones, pero con un peso menor (3.721 toneladas).



Imagen 33.- Acopio de poda de olivar con rampa. [Fuente: Elaboración Propia]

Como se ha comentado anteriormente, debido a que la poda de olivar es un producto menos leñoso que el pino y más herbáceo, la predisposición al auto-calentamiento del acopio es mayor, ya que las bacterias y microorganismos actúan con mayor facilidad y rapidez sobre producto herbáceos. Esto da lugar a una mayor fermentación y un aumento rápido del calentamiento del acopio.

En este caso, al cabo de 2 meses de almacenamiento ya se empiezan a notar indicios de calentamiento en el acopio como son:

- Temperaturas altas y en aumento.
- Olores fuertes (Acido Acético).
- Grandes penachos de vapor en la corona del acopio (efecto chimenea).
- Vapor grisáceo en lugar de blanco.
- Color oscurecido de la biomasa.
- Plastas de moho u hongos en la superficie.

Esto hace que se tenga que actuar sobre el acopio realizando tareas de saneamiento y enfriamiento del mismo.

---

<sup>24</sup> Dentro de cada tipo de madera la densidad puede variar en gran medida dependiendo de la cantidad de hojas tenga. Por ejemplo, un pino con mucha acícula, tendrá una densidad menor que un pino que contenga más ramas y producto leñoso.

Este acopio se comenzó a realizar en el mes de Febrero y, al cabo de poco tiempo, una biomasa que se había almacenado con una humedad relativamente baja, de entre 20% - 25%, ha pasado a humedades superiores del 35%, debido a la fermentación y auto-calentamiento del acopio por falta de aireación. Este aumento de humedad ha favorecido a la fermentación que, unida a la mayor facilidad de degradación de la poda de olivar por parte de los microorganismos y bacterias, ha generado un incremento bastante rápido de la temperatura, llegando a pasar en 2 meses, de 35°C a 90°C de temperatura interior en algunos puntos.

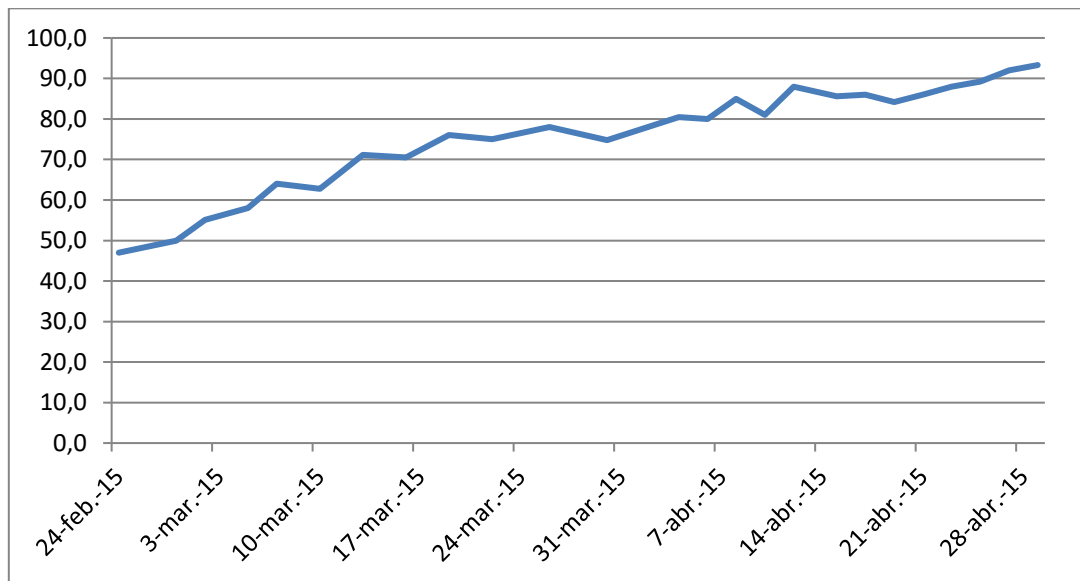


Gráfico 12.- Evolución temperatura del acopio en prueba nº2. [Fuente: Elaboración Propia]

Dado la experiencia con la prueba anterior y el conocimiento del comportamiento de la biomasa en el interior de un acopio a temperaturas altas, a los 2 meses de almacenamiento se realizaron trabajos de saneamiento y refrigeración.



Imagen 34.- Actuación sobre foco caliente en acopio de poda de olivo. [Fuente: Elaboración Propia]

Durante el saneamiento del acopio, aparecieron numerosos puntos calientes, los cuales, debido a una buena actuación sobre ellos, no llegaron a generar llama.

En el almacenamiento de biomasa a gran escala, la realización de acopios grandes con rampas quizás tenga como única ventaja: el aumento de la capacidad máxima de almacenamiento del parque.

#### **3.4.1.3.- Prueba nº3**

En esta prueba, se ha realizado otro acopio de pino G5 - G20 de gran tamaño, pero sin la realización de rampas. El tamaño del acopio es de alrededor de los 75 metros de largo, 35 metros de ancho y 7 metros de altura aproximadamente. Al tener menos altura que en otros casos, el peso del acopio será de aproximadamente unas 6.430 toneladas. La humedad media del acopio al inicio del almacenamiento es de aproximadamente 35%.

En este caso, el almacenamiento se ha realizado durante los meses de otoño – invierno, más o menos el mismo periodo de almacenamiento (4 meses) que en el ensayo anterior, y también se han generado puntos calientes, aunque no se ha llegado a producir llama. Se han producido menos puntos calientes dentro del acopio, sobre todo en las zonas más cercanas a los bordes del mismo, es decir, las capas hasta las cuales el aire ha podido entrar y refrigerar. En este caso, se observa como el calor del acopio es expulsado en forma de vapor, generando el efecto chimenea, por las zonas laterales del acopio, lo que indica las zonas en las que se produce refrigeración y donde no.



**Imagen 35.- Efecto chimenea. [Fuente: Elaboración Propia]**

Durante aproximadamente 4 meses de almacenamiento del acopio, se ha observado que las partes internas del mismo han incrementado su temperatura subiendo de 40°C a 85°C, manteniéndose la humedad un poco por encima del 40% en las zonas más calientes.

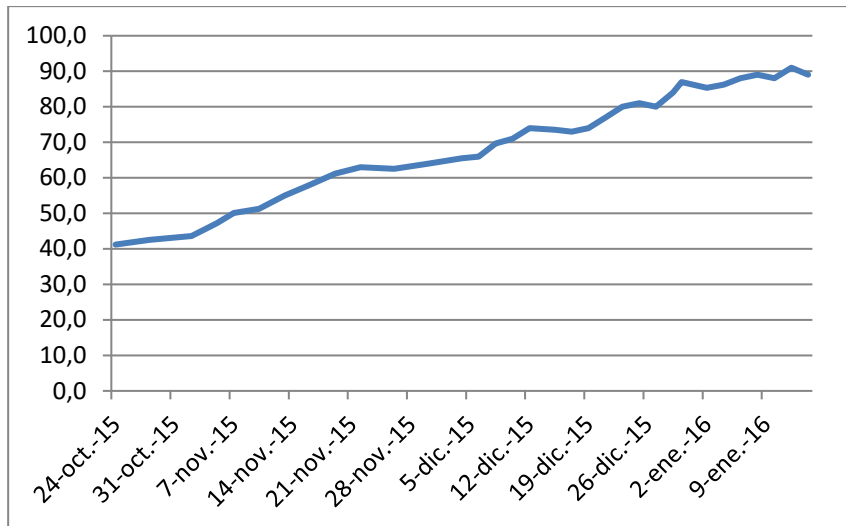


Gráfico 13.- Evolución temperatura del acopio en prueba nº3. [Fuente: Elaboración Propia]



Imagen 36.- Acopio de pino de gran tamaño (90x40x7). [Fuente: Elaboración Propia]

Para conocer el estado interno del acopio y facilitar el enfriamiento, acceso y trabajos de control, se han realizado calles a través del acopio, donde se han detectado capas de producto fermentado y en descomposición (imagenes 37 y 38).

En este ensayo, no solo hay que destacar la fermentación y auto-calentamiento que se ha generado en el acopio, sino también el sobrecoste generado al tener que realizar calles o cortafuegos y al tener que extender el producto caliente, para su enfriamiento.



**Imagen 37.-** Calle realizada en el acopio de pino. *[Fuente: Elaboración Propia]*

Como se observa en la imagen 38, aunque el producto no esté pisado o compactado por la maquinaria al realizar rampas, la propia columna de peso del producto, con el paso del tiempo, hace que el acopio se vaya compactando por sí solo, en mayor medida cuanto mayor sea la altura del mismo.



**Imagen 38.-** Pino compactado y fermentado sin ser pisado por la maquinaria. *[Fuente: Elaboración Propia]*

También se puede observar como el producto tiene una apariencia grisácea y oscurecida, ocasionado por la fermentación. Esta fermentación es la principal culpable de la pérdida de calidad del producto, haciendo que pierda propiedades físico-químicas como combustible, aumentando su humedad y temperatura.

En algunos puntos, donde el calentamiento ha sido mayor y la temperatura ha llegado casi a los 90°C, parte de la biomasa se ha carbonizado estando en el límite para generar llama y producir un riesgo de incendio (imagen 39).



**Imagen 39.- Parte de biomasa carbonizada durante el calentamiento del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]**

Gracias a las mediciones de temperatura interna de los acopios, se ha conseguido actuar a tiempo sobre el acopio y eliminar el riesgo de incendio.

#### **3.4.1.4.- Prueba nº4**

Con la intención de tener una información más detallada y diversificada del comportamiento de la biomasa durante su almacenamiento en acopios de gran tamaño, se ha realizado también un acopio de chopo G5 - G20, de aproximadamente 45 metros de largo, 35 metros de ancho y 8 metros de altura, de alrededor de 2.200 toneladas.



**Imagen 40.- Acopio de chopo. [Fuente: Elaboración Propia]**

El chopo, como ya se ha comentado, es un producto poco denso, lo que hace que el producto se compacte menos y deje pasar el aire hacia el interior del acopio, ayudando a la refrigeración del mismo. Además, al ser un producto poroso, el aire actúa en mayor medida sobre él provocando una mayor y rápida refrigeración.

Como se puede observar, el efecto chimenea se produce sobretodo en las partes laterales del acopio, pero también en algunas de las partes interiores.

No obstante, en las partes más internas, a las que no accede el aire, también se producen puntos calientes. Estos puntos calientes se producen en menor medida que en otros acopios grandes de otros productos y va a depender mucho de la humedad con la que se almacene. Aunque el chopo es una biomasa que recién triturada es muy húmeda, pierde la humedad fácilmente. Normalmente, la humedad del chopo recién triturado se encuentra entre valores próximos al 40%. El chopo que se almacene por encima de esta humedad y que se encuentre en una zona del acopio en la que no pueda refrigerarse o perder humedad por ventilación natural, también fermenta y puede llegar a auto-combustionarse. Además, si el chopo se almacena muy húmedo, la compactación es mayor debido a que el peso de la columna de producto es mayor, lo que dificulta el paso de aire al interior del acopio.

Como se muestra en la imagen 41, en este caso en concreto, al cabo de 5 meses y medio (los meses de Octubre a Febrero aproximadamente), el chopo ha fermentado en algunas zonas, observándose capas de producto grisáceas y blanquecinas, pero sin llegar a calentarse en exceso.



**Imagen 41.- Capas de chopo compactado y grisáceo. [Fuente: Elaboración Propia]**

La temperatura del acopio se ha mantenido alrededor de los 65°C, mientras que la humedad, en las zonas fermentadas se ha mantenido entre 35% – 40% del inicio, bajando al 20% – 25% en las zonas no fermentadas.

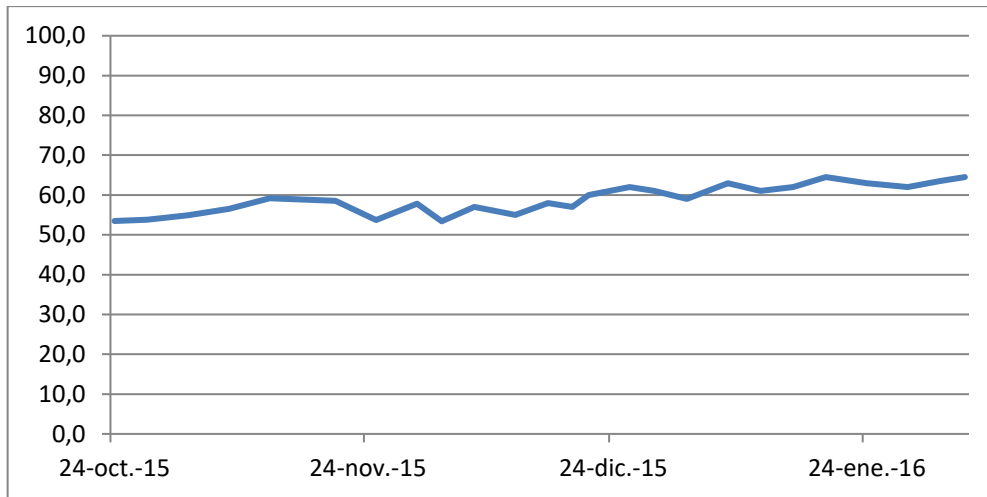


Gráfico 14.- Evolución de la temperatura en el acopio en prueba nº4. [Fuente: Elaboración Propia]

Por lo tanto, realizar acopios grandes con chopo no sería una mala praxis, siempre y cuando, el chopo no esté demasiado húmedo. El principal inconveniente de realizar acopios grandes con chopo es la reducción de la eficacia del secado natural del acopio. También, en el caso de que el producto este bastante húmedo y fermente, la pérdida de sus características físico-químicas se verá afectada en una gran reducción del PCS/PCI del producto, lo que, añadido al bajo poder calorífico que esta biomasa ya contiene, hace que pueda afectar negativamente al balance energético de la producción.

#### 3.4.1.5.- Prueba nº5

Durante la campaña de recogida de aceituna, fruto de los métodos o sistemas de recogida y recolección de la misma, se genera un subproducto asociado a la aceituna que es la hoja de almazara. Esta biomasa está compuesta por más de un 80% de hojas y el resto de varillas o varetas de las ramas del olivo, que se caen o se rompen durante el vareo o vibrado del mismo. Posteriormente, cuando la aceituna se descarga en la almazara y antes de su procesado, se realiza una separación de las hojas y varetas que puedan ir mezcladas con esa aceituna. Estas hojas y varetas, antiguamente se utilizaban y se utilizan como compost para el suelo del olivar y como alimento para ganado rumiante, pero en la actualidad también son utilizadas como biomasa para la generación de energía eléctrica. [Delgado, M. et al., 1994]

Por lo tanto, se ha realizado otro ensayo con hoja de almazara. La granulometría de la hoja de almazara es pequeña ( $\approx 5$  cm) aunque las varetas que la acompañan pueden llegar a tener hasta 20 - 25 centímetros de longitud. Esta es una biomasa herbácea y con alto contenido en humedad, por lo que es muy susceptible a la fermentación y descomposición. Esto hace que su almacenamiento en acopios grandes sea complicado y peligroso, sobre todo si el almacenamiento va a ser para medio – largo plazo.



Imagen 42.- Acopio de Hoja de Almazara. [Fuente: Elaboración Propia]

Dada la experiencia con otros productos y sabiendo que la hoja puede fermentar y auto-calentarse con facilidad, no se han realizado rampas. El acopio realizado tiene alrededor de 50 metros de largo, 30 de ancho y más de 8 metros de altura. La humedad media de almacenamiento de esta biomasa ha sido del 40%.

Esta biomasa se almacenó en el mes de Diciembre y, como era de esperar, al cabo de un mes y poco, tal como se puede observar en las imágenes, la hoja ya había fermentado, produciendo un alto calentamiento del acopio ( $\approx 100^{\circ}\text{C}$ ) y sin reducción alguna de la humedad.

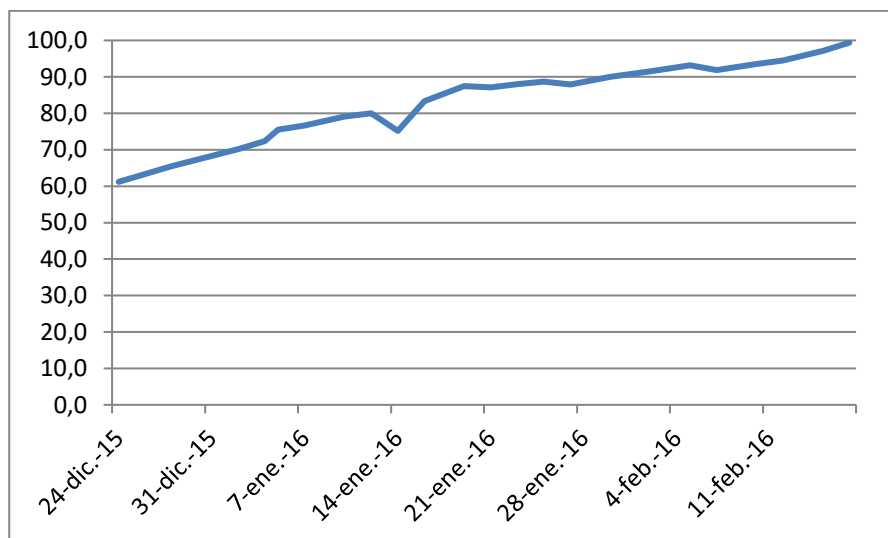


Gráfico 15.- Evolución de la temperatura en el acopio en prueba n°5. [Fuente: Elaboración Propia]

También se observa la compactación producida por el propio peso del acopio que, al estar húmedo, su peso es mayor y, por lo tanto, las capas inferiores se compactan y no permiten la aireación y refrigeración. En la imagen 43, se observa como al abrir el acopio se genera vapor del calor desprendido por el acopio.



Imagen 43.- Acopio de Hoja de Almazara fermentado. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Esta degradación de la biomasa hace que su posterior uso y manipulación sea complicada y peligrosa, originando pérdidas tanto en la producción como en el balance económico - energético.



Imagen 44.- Acopio de Hoja de Almazara fermentado. [Fuente: *Elaboración Propia*]

### 3.4.2.- Valoración

Tras realizar varias pruebas, se deduce que la utilización del Método de Pila Única puede tener como única ventaja, el aprovechamiento máximo del espacio de almacenamiento del que se dispone y, por lo tanto, permite almacenar mayor cantidad de biomasa. Por otro lado, tiene inconvenientes tales como:

- No permite la entrada de aire y la refrigeración de las partes más internas del acopio.
- Por muy seca que esté la biomasa, la poca humedad intrínseca que contenga junto con la ausencia de refrigeración genera una atmósfera propicia para la actuación de las bacterias y microorganismos, dando lugar a fermentación, auto-calentamiento del acopio y degradación del producto.

- En los acopios grandes la biomasa se va compactando con el paso del tiempo, debido a la columna de peso que ejercen las capas de arriba sobre las de abajo, lo que favorece el auto-calentamiento del acopio.
- En el caso de que se genere un foco de auto-combustión en las zonas más internas del acopio, es muy complicado acceder a sofocarlo.
- Es más complicado detectar un foco caliente cuanto más grande es el acopio.
- Dificulta la diferenciación entre productos.
- Dificulta la realización de tareas de mecanizado.

Por lo tanto, se ha decidido desestimar este método como óptimo para el almacenamiento de biomasa.

### 3.4.3.- Método Multi-Pila

Con este método, los acopios suelen ser del mismo tamaño y su utilización o consumo solo se vincula al tiempo de residencia en el parque, sin tener en cuenta el estado en el que se encuentren cada uno.

Por lo general, los acopios son de tamaño intermedio, aunque, tal y como ya se ha comentado anteriormente, el tamaño de los acopios va a depender, en gran medida, de las características iniciales del producto y del tamaño del parque o espacio de almacenamiento.

La realización de acopios pequeños sería la ideal, ya que permite la refrigeración y secado natural de la gran mayoría del acopio en cortos periodos de tiempo, con lo que se evitarían los riesgos de fermentación y auto-calentamiento. Además, de una rápida pérdida de humedad durante el secado natural. También favorecería a la diferenciación entre productos y a la realización de tareas de mecanizado. Pero, realizar acopios pequeños es un método de almacenamiento poco viable para plantas de producción media – alta o plantas con una capacidad de almacenamiento mínimo necesario medio – alto. Esto se debe a que, si el tamaño del parque de almacenamiento no es muy grande, la capacidad de almacenamiento del mismo disminuye en gran medida.

Además, si tenemos en cuenta la estacionalidad de la biomasa y que la mayoría del producto necesario para la producción se recoge y almacena en un corto periodo de tiempo, realizar acopios pequeños sería casi imposible debido a:

- El tamaño del parque de almacenamiento. Sería necesario un área de almacenamiento muy grande para poder almacenar todo el producto necesario en acopios pequeños.
- Se reduciría en gran medida la capacidad máxima de almacenamiento.
- El trasiego y descarga de camiones de biomasa sería muy grande en el periodo de recogida. Estos camiones para realizar las descargas también necesitan

espacio libre y accesible, por lo que la realización de acopios pequeños y separación entre ellos se volvería muy complicada.

- Un alto secado del producto conlleva influencias negativas en el balance de energía neta. [Slaven, I., 2017]

Es mejor realizar acopios medio – grandes que permitan acumular la mayor cantidad de biomasa posible.

Teniendo en cuenta la situación y condiciones que se plantean en este estudio, la aplicación de un sistema de rotación FIFO para el caso en estudio no sería del todo viable, ya que existen productos que debido a sus características iniciales de almacenamiento, es necesario que se consuman o utilicen rápidamente para evitar grandes degradaciones y problemas de auto-calentamiento, auto-ignición y fuego.

Debido a esto, se han realizado diferentes pruebas, con diferentes biomasa, para observar su comportamiento durante el almacenamiento. En función de las condiciones iniciales y de la evolución de cada biomasa durante diferentes periodos de almacenamiento, se pretende encontrar unas pautas a seguir para controlar el estado de los acopios del parque, evitar mayores degradaciones de producto y reducir las pérdidas. Estas pautas a seguir, serán las que conformen el método de rotación de stock óptimo buscado o método de almacenamiento óptimo.

#### 3.4.4.- Pruebas y Ensayos de Campo

Según se ha comprobado con los resultados de las pruebas anteriores, la realización de acopios grandes, además de ser difícil de gestionar es peligrosa debido al alto riesgo de auto-calentamiento, combustión de la biomasa y la pérdida de sus características físico-químicas. Y la realización de acopios pequeños es una práctica incompatible con el almacenamiento a media - gran escala necesario en plantas de generación de energía eléctrica de producción media - alta.

Como planteamiento del estudio, se quiere encontrar la mejor forma de almacenar la biomasa con la que se pueda:

- Diferenciar entre productos.
- Obtener la refrigeración de gran parte del acopio. Si el acopio se forma de la manera adecuada la refrigeración natural del mismo puede llegar hasta las capas más internas.
- Detectar y acceder con mayor facilidad a focos calientes.
- Realizar el aprovechamiento máximo del área de almacenamiento.
- Menores problemas de fermentación.
- Mayor capacidad de manipulación, mecanizado, carga y descarga.
- Favorecer la rotación de stock.



**Imagen 45.- Acopios medianos de diferentes productos: pino, hoja de almazara, poda de olivo. [Fuente: Elaboración Propia]**

Basándose en esta idea y en los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con acopios grandes, se han realizado acopios de tamaño intermedio y se ha analizado su evolución a lo largo de diferentes periodos de tiempo, controlándose datos como:

- Tipo de producto.
- Tiempos de residencia. Cálculo del tiempo de residencia óptimo.
- Humedad al inicio del acopio.
- Humedad al final del periodo de almacenamiento.
- Humedad perdida durante el almacenamiento.
- Toneladas del acopio al inicio del almacenamiento.
- Toneladas del acopio al final del periodo de almacenamiento.
- PCS/PCI al inicio del almacenamiento.
- PCS/PCI al final del periodo de almacenamiento.

Con estos datos se pueden obtener otros tales como:

- Energía del acopio al inicio del almacenamiento.
- Energía del acopio al final del periodo de almacenamiento.
- Evaporación de agua.
- Balance de energía.
- Balance económico, conociendo el precio de cada biomasa.
- Mejoras en el rendimiento tanto del proceso como de la producción.
- Mejora de la retribución económica recibida por la producción de energía eléctrica.

En teoría, el PCS es la energía que libera el combustible y donde intervienen el Carbono e Hidrógeno (en mayor medida) y otros como Azufre y Nitrógeno (en menor medida). Por lo tanto, si en el tiempo que esta biomasa ha estado almacenada no hay cambios, en ninguno de estos elementos, el PCS será el mismo antes y después de su almacenamiento. Pero si se produjera cualquier reacción (como fermentaciones

alcohólicas) durante el almacenamiento debido a la descomposición de la biomasa, afectaría a la cantidad de C, H, S, N, por lo que el PCS podría variar. Esta variación, por lo general, será siempre negativa, es decir, repercutirá en una reducción en el valor del PCS.

Si se obtienen valores de PCS, al final del almacenamiento, mayores que los calculados al inicio, será causado, principalmente, por la complejidad de la toma de muestras y la heterogeneidad del producto. Si el valor del PCS al final del almacenamiento es muy superior al del inicio del almacenamiento, se podría haber producido errores en la toma de muestras o en la realización de los análisis del producto en el laboratorio.

A continuación, se presenta un resumen de los ensayos realizados y los resultados obtenidos. La descripción detallada de las pruebas se puede ver en el Anexo I.

### 3.4.4.1.- Prueba nº6

En la tabla 9, se muestran los datos analizados y registrados del acopio evaluado en esta prueba durante el periodo de almacenamiento. Se trata de un acopio de pino pretriturado que se ha almacenado durante 3 meses (Marzo – Junio).

Tabla 9.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº6. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	35,48%	
<b>Humedad Final</b>	21,17%	
<b>Peso Inicial</b>	856.400 kg	
<b>Peso Final</b>	765.920 kg	Peso calculado
	789.860 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	35°C - 75°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.763,80 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.632,53 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.364,61 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.328,26 kcal/kg	

A partir de estos datos, registrados durante el periodo de almacenamiento, se han calculados los datos necesarios para realizar el balance energético obtenido en el ensayo.

Tabla 10.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº6. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.881.452.004,00 Kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.549.157.922,00 Kcal	Según peso calculado
	2.628.835.748,00 Kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	90,48 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	55.589.588,99 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	16,52 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	43,70 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	52,20 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Tal y como se observa, en este caso la energía final del acopio es menor a la inicial debido, principalmente a la alta pérdida de peso, provocada a su vez por la alta pérdida de humedad.

### 3.4.4.2.-Prueba nº7

De nuevo se ha realizado la misma operación con otro acopio de pino y se ha tenido almacenado durante el mismo periodo de tiempo, 3 meses (Febrero – Mayo).

Tabla 11.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº7. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	30,48%	
<b>Humedad Final</b>	13,91%	
<b>Peso Inicial</b>	817.640 kg	
<b>Peso Final</b>	713.810 kg	Peso calculado
	735.630 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	55°C - 65°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.763,80 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.816,63 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.364,61 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.846,80 kcal/kg	

De estos datos se obtiene un balance energético positivo si se tiene en cuenta el peso medido en la báscula de pesaje. Si se tiene en cuenta la pérdida de peso calculada por la pérdida de humedad, el balance energético es negativo, pero prácticamente “0”.

Tabla 12.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº7. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.751.039.720,40 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.745.884.308,00 kcal	Según peso calculado
	2.829.821.484,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	Negativo según peso calculado
<b>Peso Agua Evaporada</b>	103,83 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	63.795.771,96 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	18,96 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	46,70 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	56,60 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Debido a la alta pérdida de humedad por secado natural en el parque de almacenamiento, se ha conseguido un ahorro en la compra de la biomasa del acopio. Por lo tanto, viendo que la pérdida de energía, según fórmula, es casi nula, se podría considerar como un balance energético – económico positivo.

### 3.4.4.3.-Prueba nº8

En esta prueba se va a controlar un acopio de pino de dimensiones algo mayores, alrededor de 1.500 toneladas, y se va a tener almacenado casi 2 meses (55 días), durante los meses de Abril y Mayo.

Tabla 13.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº8. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Pino	Granulometría G5-20
Tiempo Residencia	1,83 meses	
Humedad Inicial	36,07%	
Humedad Final	26,81%	
Peso Inicial	1.560.120 kg	
Peso Final	1.453.950 kg	Peso calculado
	1.488.960 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	45°C - 75°C	
PCS Inicial	4.686,14 kcal/kg	
PCS Final	4.524,87 kcal/kg	
PCI Inicial	2.858,42 kcal/kg	
PCI Final	2.962,50 kcal/kg	

Al ser un acopio de mayor tamaño la refrigeración y el secado han sido menores, a lo que se le suma que el producto se acopió con una humedad alta, por lo que se ha generado un ambiente óptimo para la actuación de las bacterias y microorganismos.

Tabla 14.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº8. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	4.459.478.210,40 kcal	
Energía Final Acopio	4.307.326.875,00 kcal	Según peso calculado
	4.411.044.000,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Negativo	
Peso Agua Evaporada	106,17 Tm	
Total Calor Consumido	65.231.567,29 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	22,82 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	43,40 €/Tm	
Precio Final Biomasa	48,60 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	Según peso medido pesaje

Al ser negativo el balance energético, para que se puedan tener resultados favorables en esta prueba, el coste inicial del acopio debe ser bastante menor a lo que hubiera costado comprar esa biomasa a la humedad final de secado.

### 3.4.3.4.-Prueba nº9

En esta prueba, se ha realizado un acopio de pino de menor tamaño que el anterior y se ha tenido almacenado durante algo más de 2 meses (Febrero – Abril).

Tabla 15.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº9. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	2,33 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	23,36%	
<b>Humedad Final</b>	19,62%	
<b>Peso Inicial</b>	616.020 kg	
<b>Peso Final</b>	590.260 kg	Peso calculado
	613.700 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	35°C - 65°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.680,59 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.710,71 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.255,72 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.467,72 kcal/kg	

En este caso, no ha habido beneficio económico en la compra de la biomasa pero si se ha obtenido una valorización de la biomasa durante su almacenamiento y secado natural en el parque. Lo que supone un aumento del balance energético-económico total del proceso de producción.

Tabla 16.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº9. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.005.588.634,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.046.856.407,00 kcal	Según peso calculado
	2.128.139.764,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	25,76 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	15.825.693,94 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	4,86 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	51,00 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	53,40 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

### 3.4.3.5.-Prueba nº10

En este ensayo se ha almacenado poda de olivo triturada durante los meses de Marzo y Abril, casi 2 meses de almacenamiento, para ver su comportamiento y compararlo con los resultados obtenidos con los acopios de pino.

Tabla 17.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº10. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	1,87 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	25,04%	
<b>Humedad Final</b>	24,85%	
<b>Peso Inicial</b>	1.010.020 kg	
<b>Peso Final</b>	1.008.490 kg	Peso calculado
	1.006.000 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	35°C - 89°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.592,17 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.366,30 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.075,79 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.984,90 kcal/kg	

Se han obtenido valores muy similares, por lo que no se ha conseguido valorización energética alguna. Además, al ser las humedades tan similares, el beneficio económico también es nulo.

### 3.4.3.6.-Prueba nº11

Tras los resultados obtenidos en la prueba anterior, se ha realizado posteriormente un acopio más pequeño del mismo producto, algo más seco y se ha tenido almacenado durante 1 mes (Abril).

Tabla 18.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº11. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
Tiempo Residencia	1,00 meses	
Humedad Inicial	22,99%	
Humedad Final	20,84%	
Peso Inicial	279.420 kg	
Peso Final	274.520 kg	Peso calculado
	230.980 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	20°C - 65°C	
PCS Inicial	4.509,24 kcal/kg	
PCS Final	4.532,55 kcal/kg	
PCI Inicial	3.070,54 kcal/kg	
PCI Final	3.264,90 kcal/kg	

Realizando el balance de energía se observa que, teniendo en cuenta el resultado de pérdida de peso obtenido aplicando la fórmula, el balance de energía es positivo, pero por muy poco. Si se tiene en cuenta el valor obtenido mediante el pesaje en báscula, existe una pérdida de energía bastante mayor. Por lo que, se puede considerar el balance energético como negativo.

Tabla 19.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº11. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	857.970.286,80 kcal	
Energía Final Acopio	896.280.348,00 kcal	Según peso calculado
	754.126.602,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Negativo	Positivo según peso calculado
Peso Agua Evaporada	4,90 Tm	
Total Calor Consumido	3.008.057,74 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	0,98 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	41,20 €/Tm	
Precio Final Biomasa	42,60 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	No	

### 3.4.3.7.-Prueba nº12

Siguiendo la misma línea, se ha realizado un nuevo acopio, más grande que el anterior, con poda de olivo triturada y se ha tenido almacenado también durante 1 mes (Abril).

Tabla 20.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº12. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	1,00 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	21,39%	
<b>Humedad Final</b>	16,41%	
<b>Peso Inicial</b>	785.740 kg	
<b>Peso Final</b>	753.510 kg	Peso calculado
	769.930 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 65°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.395,70 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.472,36 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.179,56 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.430,32 kcal/kg	

Los datos de PCS obtenidos son similares al inicio y final del almacenamiento, por lo que se puede considerar que no se ha producido degradación de la biomasa y si se ha obtenido un aumento considerable del PCI del acopio al final del almacenamiento, dando lugar a un balance positivo en ambos casos.

Tabla 21.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº12. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.498.307.474,40 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.584.780.423,00 kcal	Según peso calculado
	2.641.106.277,60 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	32,23 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	19.805.075,43 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	6,23 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	41,10 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	45,10 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Por lo tanto, con este acopio no solo se ha obtenido un aumento de la energía contenida en el acopio sin que se produzca degradación del mismo, sino también un ahorro en la compra de más de 1.000 € en el peor de los casos.

### 3.4.3.8.-Prueba nº13

En esta prueba se ha almacenado poda de olivo triturada durante 4 meses y medio (los meses de Febrero hasta Junio). Y los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Tabla 22.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº13. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	4,50 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	28,73%	
<b>Humedad Final</b>	18,98%	
<b>Peso Inicial</b>	899.160 kg	
<b>Peso Final</b>	831.020 kg	Peso calculado
	847.500 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	56°C - 87°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.589,31 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.616,41 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.956,41 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.418,92 kcal/kg	

El balance energético obtenido en esta prueba es positivo en ambos casos, por lo que se ha generado un beneficio energético durante el almacenamiento de este acopio.

Tabla 23.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº13. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.658.285.615,60 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.841.190.898,00kcal	Según peso calculado
	2.897.534.700,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	68,14 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	41.863.514,98 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	14,16 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	37,80 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	43,60 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Como se puede observar, en esta prueba se ha obtenido un ahorro tanto energético como económico incluso en el peor de los casos.

### 3.4.3.9.-Prueba nº14

En este caso, se han almacenado 728,42 toneladas de poda de olivo triturada durante 1 mes (Mayo – Junio), en el cual, el acopio ha perdido casi un 5% de humedad.

Tabla 24.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº14. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	1,00 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	18,20%	
<b>Humedad Final</b>	13,45%	
<b>Peso Inicial</b>	728.420 kg	
<b>Peso Final</b>	688.090 kg	Peso calculado
	726.130 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	35°C - 60°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.614,13 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.027,68 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.460,25 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.187,66 kcal/kg	

El balance sería negativo solo con tener una pérdida tan grande del PCS/PCI de la biomasa.

Tabla 25.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº14. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.520.515.305,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.193.396.969,00 kcal	Según peso calculado
	2.314.655.555,80 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	40,33 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	24.780.593,67 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	7,16 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

Debido a que las pérdidas energéticas en el acopio han sido muy grandes, no se ha realizado balance económico.

### 3.4.3.10.-Prueba nº15

Posteriormente, se ha realizado la prueba con sarmiento de vid triturado. Se ha tenido el producto almacenado durante algo más de 2 meses (Febrero – Abril). Este acopio no es de dimensiones muy grandes, siendo de aproximadamente 150 toneladas de peso.

Tabla 26.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº15. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Sarmiento de Vid	Granulometría G5-10
Tiempo Residencia	2,30 meses	
Humedad Inicial	21,78%	
Humedad Final	20,25%	
Peso Inicial	147.660 kg	
Peso Final	145.800 kg	Peso calculado
	149.500 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	25°C - 31°C	
PCS Inicial	4.205,81 kcal/kg	
PCS Final	4.287,70 kcal/kg	
PCI Inicial	2.831,61 kcal/kg	
PCI Final	3.098,61 kcal/kg	

El balance que se ha obtenido en esta prueba ha sido positivo en cualquiera de los 2 casos.

Tabla 27.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº15. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	418.115.532,60 kcal	
Energía Final Acopio	451.777.338,00 kcal	Según peso calculado
	463.242.195,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	
Peso Agua Evaporada	1,86 Tm	
Total Calor Consumido	1.143.527,15 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	0,40 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	31,50 €/Tm	
Precio Final Biomasa	32,80 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	

En el primero de los casos el coste sería prácticamente el mismo, pero se ha obtenido una biomasa con mayor contenido energético. En el segundo caso el coste hubiera sido mayor. Por lo que, en general, los resultados del acopio son positivos, ya que se ha conseguido tener una revalorización del acopio de sarmiento aumentando su contenido energético y reduciendo el coste de compra.

### 3.4.3.11.-Prueba nº16

Se ha realizado otro acopio de sarmiento de vid triturado, pero del doble de tamaño y se ha tenido almacenado durante algo más de 4 meses (Marzo – Julio).

Tabla 28.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº16. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Sarmiento de Vid	Granulometría G5-10
Tiempo Residencia	4,20 meses	
Humedad Inicial	18,68%	
Humedad Final	10,21%	
Peso Inicial	377.880 kg	
Peso Final	349.150 kg	Peso calculado
	360.750 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	29°C - 65°C	
PCS Inicial	4.301,63 kcal/kg	
PCS Final	4.328,23 kcal/kg	
PCI Inicial	3.011,61 kcal/kg	
PCI Final	3.544,15 kcal/kg	

En esta prueba, el balance energético ha sido positivo en los 2 casos. Por lo que, sabiendo que la humedad que se ha perdido también ha sido bastante con respecto al peso, se puede deducir que el resultado de esta prueba será satisfactorio.

Tabla 29.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº16. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	1.138.027.186,80 kcal	
Energía Final Acopio	1.237.439.973,00 kcal	Según peso calculado
	1.298.151.660,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	
Peso Agua Evaporada	28,73 Tm	
Total Calor Consumido	17.650.835,42 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	5,86 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	38,90 €/Tm	
Precio Final Biomasa	43,80 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	

El almacenamiento y control del acopio ha revalorizado la biomasa originando un ahorro económico en su compra y una mejora en el proceso de producción mediante la pérdida de humedad y aumento del PCI.

### 3.4.3.12.-Prueba nº17

Siguiendo con la idea de diversificar la variedad de productos o biomasa a utilizar como combustible en la caldera de biomasa, se ha realizado otra prueba con restos de podas. Estos restos de podas se componen normalmente por residuos propios de jardinería, limpieza de medianas, podas de árboles no frutales.

Tabla 30.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº17. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Restos de Podas	Granulometría G10-20
<b>Tiempo Residencia</b>	7,60 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	27,75%	
<b>Humedad Final</b>	12,89%	
<b>Peso Inicial</b>	231.800 kg	
<b>Peso Final</b>	204.840 kg	Peso calculado
	215.300 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	60°C - 80°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.372,08 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.253,16 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.508,01 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.414,24 kcal/kg	

Tal y como se puede observar en la tabla, la pérdida de PCS y PCI muestran que se ha producido una degradación del producto durante el almacenamiento, por lo que el balance será negativo.

Tabla 31.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº17. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	813.156.718,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	699.372.921,60 kcal	Según peso calculado
	735.085.782,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	26,96 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	16.566.186,23 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	4,72 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	19,40 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	28,30 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Se ha obtenido un ahorro en la compra y un alto secado de la biomasa, pero también se ha producido una considerable pérdida de energía.

### 3.4.3.13.-Prueba nº18

Normalmente son productos que suelen estar mezclados, pero la cepa de viña es también otra biomasa a considerar. Aunque esta biomasa suele ser sucia y tener contenido en tierra y polvo, debido a que se encuentra enterrada. A pesar de ello, se ha realizado una prueba con cepa de viña para ver el comportamiento de esta biomasa. En concreto, se han almacenado 1.550,23 toneladas durante aproximadamente 1 año y medio.

Tabla 32.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº18. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Cepa de Viña	Granulometría G15-25
<b>Tiempo Residencia</b>	17,40 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	19,20%	
<b>Humedad Final</b>	15,66%	
<b>Peso Inicial</b>	1.550.230 kg	
<b>Peso Final</b>	1.504.190 kg	Peso calculado
	1.521.650 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	25°C - 35°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.400,00 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.410,74 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.167,72 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.414,58 kcal/kg	

Si se realiza el balance energético de este acopio, se obtiene que en ambos casos el balance será positivo, ya que no hay pérdida de PCS ni de PCI. Es más, la pérdida de humedad genera un aumento de PCI considerable.

Tabla 33.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº18. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	4.910.694.575,60 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	5.136.177.090,00 kcal	Según peso calculado
	5.195.795.657,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	46,04 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	28.286.183,26 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	8,93 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	38,50 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	40,70 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Los resultados de esta prueba han sido buenos, obteniendo un balance económico – energético positivo.

### 3.4.3.14.- Prueba nº19

Para continuar con la idea de realizar pruebas con diferentes biomásas para después poder compararlas, en esta prueba se ha almacenado chopo durante 5 meses y medio (Noviembre – Marzo).

Tabla 34.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº19. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Chopo	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	5,50 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	27,62%	
<b>Humedad Final</b>	20,21%	
<b>Peso Inicial</b>	741.980 kg	
<b>Peso Final</b>	698.880 kg	Peso calculado
	672.920 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	50°C - 60°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.467,71 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.326,62 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.825,05 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.132,53 kcal/kg	

El balance energético que se obtiene es positivo en ambos casos.

Tabla 35.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº19. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.096.130.599,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.189.262.566,00 kcal	Según peso calculado
	2.107.942.087,60 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	43,10 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	26.481.232,48 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	9,37 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	33,40 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	37,80 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Por lo tanto, también se han obtenido buenos resultados en esta prueba, en la que se ha conseguido secar la biomasa sin que se produzca pérdida de energía, obteniendo así un ahorro económico y un mejor balance energético.

### 3.4.3.15.-Prueba nº20

La siguiente prueba se ha realizado con poda de olivo triturada con una humedad media en el inicio del acopio de 24,55% y se ha tenido almacenada durante 3 meses (Mayo – Julio).

Tabla 36.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº20. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
Tiempo Residencia	3 meses	
Humedad Inicial	24,55%	
Humedad Final	16,43%	
Peso Inicial	1.141.500 kg	
Peso Final	1.067.110 kg	Peso calculado
	1.047.600 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	50°C - 88°C	
PCS Inicial	4.592,17 kcal/kg	
PCS Final	4.472,36 kcal/kg	
PCI Inicial	3.075,79 kcal/kg	
PCI Final	3.429,37 kcal/kg	

Debido a la pérdida de humedad, el PCI del acopio al final del almacenamiento es mayor que al principio, por lo que, junto con la baja pérdida de peso que se ha producido, hacen que el balance energético del acopio sea positivo en ambos casos.

Tabla 37.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº20. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	3.511.014.285,00 kcal	
Energía Final Acopio	3.659.515.021,00 kcal	Según peso calculado
	3.592.608.012,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	
Peso Agua Evaporada	74,39 Tm	
Total Calor Consumido	45.704.725,17 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	14,04 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	40,30 €/Tm	
Precio Final Biomasa	45,15 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	

Según los resultados, se puede decir que esta prueba ha sido positiva y que se ha mejorado el balance energético-económico del acopio.

### 3.4.3.16.-Prueba nº21

De nuevo, se utiliza poda de olivo triturada para realizar y se tiene acopiado esta vez durante 4 meses (Mayo – Agosto).

Tabla 38.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº21. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	4 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	21,75%	
<b>Humedad Final</b>	9,57%	
<b>Peso Inicial</b>	808.000 kg	
<b>Peso Final</b>	727.170 kg	Peso calculado
	752.630 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	40°C - 60°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.398,57 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.521,58 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.364,85 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.804,31 kcal/kg	

Debido a la alta pérdida de peso que se calcula mediante el control por fórmula, el balance energético es positivo pero por muy poco. Mientras que, teniendo en cuenta la pérdida de peso según el pesaje en báscula, el balance que se obtiene es positivo.

Tabla 39.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº21. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.718.798.800,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.766.380.103,00 kcal	Según peso calculado
	2.863.237.835,30 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	Positivo según pesaje
<b>Peso Agua Evaporada</b>	80,83 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	49.663.907,48 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	14,76 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	42,00 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	49,30 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

En cualquiera de los 2 casos, se produce un ahorro energético y económico.

### 3.4.3.17.-Prueba nº22

La siguiente prueba se realiza con el mismo tipo de producto que la prueba anterior pero durante un periodo de almacenamiento algo mayor, alrededor de los 4 meses y medio (Abril – Agosto).

Tabla 40.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	4,5 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	22,74%	
<b>Humedad Final</b>	11,63%	
<b>Peso Inicial</b>	1.090.680 kg	
<b>Peso Final</b>	991.960 kg	Peso calculado
	963.600 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	40°C - 87°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.389,23 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.452,30 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.044,48 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.645,47 kcal/kg	

Se ha producido un aumento considerable en el PCI medio del acopio, lo que ha supuesto que el balance energético que se obtiene del mismo sea positivo para ambos métodos de cálculo.

Tabla 41.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	3.320.553.446,40 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	3.616.160.421,00 kcal	Según peso calculado
	3.512.774.892,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	98,72 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	60.656.381,21 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	19,92 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	41,40 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	48,00 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

En cualquiera de los resultados, se obtiene un balance energético y económico positivo.

### 3.4.3.18.-Prueba nº23

Se realiza una nueva prueba con un acopio de poda de olivo triturada cuyo periodo de tiempo de almacenamiento ha sido casi 6 meses (Marzo – Agosto).

Tabla 42.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº23. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	6 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	27,29%	
<b>Humedad Final</b>	20,71%	
<b>Peso Inicial</b>	1.279.700 kg	
<b>Peso Final</b>	1.213.510 kg	Peso calculado
	1.243.320 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	55°C - 89°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.553,63 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.502,17 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.888,59 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.255,19 kcal/kg	

La pérdida de peso pequeña, junto al aumento de PCI, indica que el balance energético del acopio será positivo en ambos casos.

Tabla 43.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº23. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	3.696.628.623,0 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	3.950.205.617,0 kcal	Según peso calculado
	4.047.242.830,8 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	66,19 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	40.664.078,56 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	14,08 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	38,60 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	42,60 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Como se puede observar se obtienen beneficios en ambos casos, obteniéndose un mayor beneficio donde la pérdida de peso es menor.

### 3.4.3.19.-Prueba nº24

La siguiente prueba se ha realizado con poda de olivo pretriturada<sup>25</sup>, con una granulometría entre 15 – 50 cm de longitud y un máximo de 5 cm de diámetro. Este acopio se tuvo almacenado durante 3 meses y medio (Abril – Julio), pero cuando se llevaba 2 mes de almacenamiento el producto se trituró<sup>26</sup> y se dejó almacenado triturado hasta el final del periodo de almacenamiento.

Tabla 44.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº24. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G15-50
<b>Tiempo Residencia</b>	3,5 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	11,38%	
<b>Humedad Final</b>	11,36%	
<b>Peso Inicial</b>	1.434.420 kg	
<b>Peso Final</b>	1.434.120 kg	Peso calculado
	1.403.730 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	25°C - 85°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.416,14 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.394,97 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.622,18 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.611,12 kcal/kg	

Teniendo en cuenta los resultados, en esta prueba se ha conseguido mantener constantes las condiciones iniciales de la biomasa. Simplemente se ha perdido un poco de peso debido a la pequeña pérdida de humedad y, seguramente, en los trabajos de manipulación y trituración realizados. El balance energético - económico se podría considerar cero.

Estos resultados pueden dar una idea de cómo se podría almacenar la biomasa para periodos de tiempo largos, para que no se produzca degradación. Es decir, almacenar la biomasa en granulometrías grandes y triturarla justo antes de su consumo o utilización.

<sup>25</sup> Poda de olivo con una granulometría mayor a la necesaria para alimentar la caldera.

<sup>26</sup> La caldera de biomasa necesita que la biomasa sea lo más homogénea posible para una buena y estable producción, por lo que debe de tener una granulometría entre de 5 – 10 cm en sus 3 dimensiones.

### 3.4.3.21.-Prueba nº25

Este acopio se ha realizado también con pino de granulometría G5-20 y se ha tenido almacenado durante 2,3 pero en meses más de verano (Mayo – Julio).

Tabla 45.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº25. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	2,3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	30,68%	
<b>Humedad Final</b>	13,99%	
<b>Peso Inicial</b>	1.013.560 kg	
<b>Peso Final</b>	884.070 kg	Peso calculado
	880.000 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 55°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.686,14 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.694,89 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.858,42 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.735,55 kcal/kg	

La alta pérdida de humedad hace que el PCI del producto al final del almacenamiento sea lo bastante alto como para compensar la pérdida de peso y obtener un balance energético positivo.

Tabla 46.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº25. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.897.180.175,20 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	3.302.487.689,00 kcal	Según peso calculado
	3.287.284.000,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	129,49 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	79.556.921,12 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	27,83 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	46,60 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	56,60 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Si se tienen en cuenta los datos del pesaje por báscula, además de obtener un mayor rendimiento energético del acopio, se obtendría también un buen ahorro económico.

### 3.4.3.22.-Prueba nº26

Al igual que en la prueba anterior, se almacena un acopio de pino durante 2 meses y medio aproximadamente (Junio – Agosto).

Tabla 47.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº26. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	2,6 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	20,26%	
<b>Humedad Final</b>	8,84%	
<b>Peso Inicial</b>	1.078.880 kg	
<b>Peso Final</b>	976.410 kg	Peso calculado
	973.090 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 60°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.717,43 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.697,55 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.440,95 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.998,36 kcal/kg	

Si la pérdida de peso hubiera sido algo mayor, se hubiera producido un efecto negativo en el balance energético, pero en este caso el balance es positivo.

Tabla 48.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº26. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	3.712.372.136,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	3.904.038.688,00 kcal	Según peso calculado
	3.890.764.132,40 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	102,47 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	62.959.941,61 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	18,30 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	52,80 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	59,80 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

### 3.4.3.23.-Prueba nº27

El acopio de pino que se estudia a continuación, se ha tenido almacenado durante un periodo de tiempo de 3 meses (Septiembre – Diciembre).

Tabla 49.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	35,64%	
<b>Humedad Final</b>	17,16%	
<b>Peso Inicial</b>	777.740 kg	
<b>Peso Final</b>	671.780 kg	Peso calculado
	677.290 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 45°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.448,73 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.500,44 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.448,14 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.412,32 kcal/kg	

Aunque la pérdida de peso del acopio haya sido grande, al no haber degradación de la biomasa, se ha producido una revalorización de la misma, generándose un aumento de PCI suficiente que ha hecho que el contenido energético del acopio, al final del periodo de almacenamiento, sea mayor que al inicio, compensando esa pérdida de peso.

Tabla 50.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	1.904.016.403,6 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.292.328.330,0 kcal	Según peso calculado
	2.311.130.212,8 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	105,96 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	65.102.824,14 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	26,59 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	43,70 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	54,70 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Como se observa, el balance es positivo. Aunque en el caso del control de peso mediante la fórmula el coste de la compra de la biomasa es casi el mismo, se generaría un aumento del contenido energético del acopio.

### 3.4.3.24.-Prueba nº28

En la siguiente prueba, se ha almacenado pino durante un periodo de tiempo algo superior a 4 meses (Abril – Julio).

Tabla 51.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº28. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Pino	Granulometría G5-20
Tiempo Residencia	4,2 meses	
Humedad Inicial	37,35%	
Humedad Final	14,73%	
Peso Inicial	852.200 kg	
Peso Final	711.870 kg	Peso calculado
	703.930 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	40°C - 70°C	
PCS Inicial	4.447,83 kcal/kg	
PCS Final	4.587,18 kcal/kg	
PCI Inicial	2.439,14 kcal/kg	
PCI Final	3.612,24 kcal/kg	

Aun teniendo una alta pérdida de peso en el acopio, el balance energético obtenido es positivo, ya que el aumento en el PCI compensa esa pérdida de humedad.

Tabla 52.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº28. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	2.078.635.108,0 kcal	
Energía Final Acopio	2.571.445.289,0 kcal	Según peso calculado
	2.542.764.102,2 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	
Peso Agua Evaporada	140,33 Tm	
Total Calor Consumido	86.220.129,76 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	35,35 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	42,60 €/Tm	
Precio Final Biomasa	56,20 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	No: Según pesaje

Teniendo en cuenta la pérdida de peso obtenido mediante la aplicación de la fórmula, no hay ahorro económico debido a que la pérdida de peso es muy grande.

### 3.4.3.25.-Prueba nº29

Este acopio se tuvo almacenado durante un periodo de tiempo de un poco más de 3 meses y medio (Diciembre – Marzo).

Tabla 53.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº29. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	3,6 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	19,17%	
<b>Humedad Final</b>	18,78%	
<b>Peso Inicial</b>	541.140 kg	
<b>Peso Final</b>	539.370 kg	Peso calculado
	535.600 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 50°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.716,53 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.701,05 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.440,05 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.497,15 kcal/kg	

Tanto el contenido energético del acopio como el coste económico del será prácticamente el mismo al final del almacenamiento.

Tabla 54.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº29. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	-	
<b>Energía Final Acopio</b>	-	Según peso calculado
	-	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Nulo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	1,77 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	1.088.074,20 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	0,32 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Nulo	

Tal y como se comenta en el estado del arte, los resultados indican que cuanto más seca se almacene la biomasa y cuanto menor sea el tamaño del acopio mejor se conservarán sus características.

### 3.4.3.26.-Prueba n°30

Al igual que en la prueba anterior, este acopio estuvo almacenado durante 3 meses y medio, entre los meses Noviembre y Marzo.

Tabla 55.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba n°30. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Pino	Granulometría G5-20
Tiempo Residencia	3,5 meses	
Humedad Inicial	21,00%	
Humedad Final	18,53%	
Peso Inicial	784.800 kg	
Peso Final	768.780 kg	Peso calculado
	722.330 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	40°C - 55°C	
PCS Inicial	4.616,53 kcal/kg	
PCS Final	4.661,54 kcal/kg	
PCI Inicial	3.440,95 kcal/kg	
PCI Final	3.482,81 kcal/kg	

La variación pues del contenido energético del acopio y, por lo tanto, el coste económico de acopio tanto al inicio como al final del almacenamiento serán muy similares.

Tabla 56.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba n°30. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	-	
Energía Final Acopio	-	Según peso calculado
	-	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Nulo	
Peso Agua Evaporada	16,02 Tm	
Total Calor Consumido	9.842.870,80 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	2,86 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	-	
Precio Final Biomasa	-	
Ahorro Compra Biomasa	Nulo	

En esta prueba, al igual que en la anterior, hay que destacar que las condiciones físico-químicas del acopio se han mantenido a lo largo del periodo de almacenamiento.

### 3.4.3.27.-Prueba nº31

En esta ocasión, la prueba se realiza con hoja de almazara triturada. Esta hoja se tuvo almacenada durante un poco más de 2 meses y medio.

Tabla 57.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº31. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G5
<b>Tiempo Residencia</b>	2,6 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	40,39%	
<b>Humedad Final</b>	40,01%	
<b>Peso Inicial</b>	2.516.820 kg	
<b>Peso Final</b>	2.510.010 kg	Peso calculado
	2.409.710 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	45°C - 85°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.725,23 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.546,46 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.328,92 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.346,11 kcal/kg	

Haciendo un balance de energía, si se tiene en cuenta que la pérdida de peso es mínima, tal y como nos indica la fórmula de pérdida de humedad, se tendrá un pequeño beneficio energético y el coste será prácticamente el mismo. En el caso del pesaje por báscula, la pérdida de peso es grande, por lo que el balance energético es negativo.

Tabla 58.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº31. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	5.861.472.434,40 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	5.888.759.561,00 kcal	Según peso calculado
	5.653.444.728,10 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	Positivo: Según fórmula
<b>Peso Agua Evaporada</b>	6,81 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	4.185.533,15 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	1,80 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

Tratándose de hoja de almazara y de su alta predisposición para ser fermentada y degradada en poco tiempo, se observa como en el poco tiempo de almacenamiento el acopio ha perdido bastante poder energético debido a la fermentación.

### 3.4.3.28.-Prueba n°32

Se ha realizado otro acopio de hoja de almazara triturada, esta vez durante la mitad de tiempo y con la mitad del tamaño de la prueba anterior (mes de Febrero).

Tabla 59.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba n°32. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G5
<b>Tiempo Residencia</b>	1,3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	34,72%	
<b>Humedad Final</b>	33,37%	
<b>Peso Inicial</b>	1.021.140 kg	
<b>Peso Final</b>	1.010.870 kg	Peso calculado
	831.200 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	45°C - 80°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.953,22 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.843,26 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.721,10 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.862,06 kcal/kg	

Si se tiene en cuenta que hay pérdida de PCS, se puede decir que esto ha generado pérdida de peso en el acopio además del generado por la pérdida de humedad. Por lo que, se debería tener en cuenta el valor más desfavorable de este balance, lo que indica que no se obtendría beneficio energético con esta prueba.

Tabla 60.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba n°32. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.778.624.054,0 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.893.170.592,0 kcal	Según peso calculado
	2.378.944.272,0 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	Positivo según fórmula
<b>Peso Agua Evaporada</b>	10,27 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	6.310.208,61 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	2,32 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

### 3.4.3.29.-Prueba nº33

Se ha realizado otra prueba con hoja de almazara triturada, en la que las condiciones son muy similares a las de la prueba anterior.

Tabla 61.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº33. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G5
<b>Tiempo Residencia</b>	2,1 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	33,08%	
<b>Humedad Final</b>	32,94%	
<b>Peso Inicial</b>	1.305.880 kg	
<b>Peso Final</b>	1.304.510 kg	Peso calculado
	1.321.030 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	45°C - 85°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.737,32 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.479,88 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.604,09 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.641,45 kcal/kg	

Al igual que ha pasado en otras pruebas con hoja de almazara, el valor del PCS al final del periodo de almacenamiento ha disminuido y, la humedad y el PCI, se han mantenido prácticamente iguales. Esto indica que ha habido fermentación y, por lo tanto, pérdida energética del acopio, aunque la humedad y el peso final sean muy parecidos.

Tabla 62.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº33. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	-	
<b>Energía Final Acopio</b>	-	Según peso calculado
	-	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	1,37 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	844.053,01 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	0,32 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

### 3.4.3.30.- Prueba nº34

En esta prueba se ha realizado un acopio de hoja de almazara sin triturar, algo más pequeño y se ha tenido almacenado durante 4 meses (de Enero a Abril).

Tabla 63.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº34. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G10
<b>Tiempo Residencia</b>	4 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	32,40%	
<b>Humedad Final</b>	31,21%	
<b>Peso Inicial</b>	901.000 kg	
<b>Peso Final</b>	892.880 kg	Peso calculado
	924.000 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	45°C - 90°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.845,27 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.249,84 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.551,70 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.567,63 kcal/kg	

En este caso, el PCI no ha variado ya que la humedad es prácticamente igual pero, debido a la gran pérdida de PCS, el contenido energético total del acopio y, por lo tanto, el balance energético del acopio será negativo.

Tabla 64.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº34. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	-	
<b>Energía Final Acopio</b>	-	Según peso calculado
	-	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	8,12 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	4.989.416,80 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	1,96 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

### 3.4.3.31.- Prueba nº35

De nuevo se ha realizado otra prueba con hoja de almazara triturada. En este caso el acopio es algo más pequeño y se ha almacenado durante casi 3 meses (Marzo-Abril-Mayo).

Tabla 65.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº35. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Hoja de Almazara	Granulometría G5
Tiempo Residencia	2,8 meses	
Humedad Inicial	34,16%	
Humedad Final	32,50%	
Peso Inicial	851.140 kg	
Peso Final	840.630 kg	Peso calculado
	866.300 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	45°C - 90°C	
PCS Inicial	4.815,26 kcal/kg	
PCS Final	4.594,71 kcal/kg	
PCI Inicial	2.651,17 kcal/kg	
PCI Final	2.741,17 kcal/kg	

El PCI al final del periodo de almacenamiento ha sido algo mayor que al inicio y, debido a la poca pérdida de peso que ha habido en el acopio, el balance energético obtenido sale positivo.

Tabla 66.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº35. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	2.256.516.833,80 kcal	
Energía Final Acopio	2.304.309.737,00 kcal	Según peso calculado
	2.374.675.571,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	
Peso Agua Evaporada	10,51 Tm	
Total Calor Consumido	6.457.498,18 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	2,44 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	16,30 €/Tm	
Precio Final Biomasa	16,48 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	Sólo según fórmula

Solo se consigue un poco de beneficio económico si se tiene en cuenta el dato de pérdida de peso calculado mediante la fórmula.

### 3.4.3.32.- Prueba nº36

En la siguiente prueba, se ha realizado un acopio similar al anterior, con mayor humedad inicial (37% aprox.) y se ha almacenado durante el mismo periodo de tiempo.

Tabla 67.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº36. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G5
<b>Tiempo Residencia</b>	2,8 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	37,58%	
<b>Humedad Final</b>	35,61%	
<b>Peso Inicial</b>	974.760 kg	
<b>Peso Final</b>	960.770 kg	Peso calculado
	904.470 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	55°C - 90°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.985,83 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.891,21 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.587,31 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.774,53 kcal/kg	

Realizando el balance energético del almacenamiento de este acopio, se observa que el balance es positivo y que se ha conseguido obtener una valorización del acopio mediante el secado natural en el parque de biomasa.

Tabla 68.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº36. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.444.645.726,6 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.665.685.188,0 kcal	Según peso calculado
	2.509.479.149,1 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	13,99 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	8.597.272,67 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	2,32 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	15,60 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	15,95 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

En esta prueba se ha obtenido un balance energético-económico positivo.

### 3.4.3.33.- Prueba nº37

En la siguiente prueba, se ha vuelto a almacenar hoja de almazara pero esta vez sin triturar. En este caso con bastante menos humedad y durante un mayor periodo de tiempo.

Tabla 69.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº37. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G10
<b>Tiempo Residencia</b>	6,4 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	28,53%	
<b>Humedad Final</b>	19,38%	
<b>Peso Inicial</b>	1.725.720 kg	
<b>Peso Final</b>	1.602.820 kg	Peso calculado
	1.495.670 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	55°C - 90°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.895,16 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.702,29 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.226,94 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.476,01 kcal/kg	

Con esta prueba se demuestra que una pérdida de humedad excesiva también genera pérdida energética en el acopio.

Tabla 70.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº37. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	5.568.794.896,80 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	5.571.418.348,00 kcal	Según peso calculado
	5.198.963.876,70 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	122,90 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	75.508.581,20 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	23,40 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	-	

Según la fórmula, la ganancia de energía es casi nula. Respecto al pesaje por báscula, la pérdida energética es muy grande, por lo que se considera el balance como negativo.

### 3.4.3.34.- Prueba nº38

La siguiente prueba se realizó con hoja de almazara sin triturar, almacenada durante 4 meses (Noviembre a Febrero).

Tabla 71.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº38. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G10
<b>Tiempo Residencia</b>	4,1 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	40,84%	
<b>Humedad Final</b>	35,35%	
<b>Peso Inicial</b>	1.355.360 kg	
<b>Peso Final</b>	1.302.550 kg	Peso calculado
	1.222.920 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	60°C - 95°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.761,84 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.666,22 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.427,96 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.643,60 kcal/kg	

Según el pesaje por báscula, aunque se ha perdido algo de humedad y se ha ganado en PCI, la alta pérdida de peso hace que el balance energético del acopio sea negativo.

Tabla 72.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº38. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	3.290.759.865,6 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	3.443.421.180,0 kcal	Según peso calculado
	3.232.911.312,0 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	Positivo según fórmula
<b>Peso Agua Evaporada</b>	52,81 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	32.445.493,80 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	13,96 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	-	

Sin embargo, según los datos de la fórmula se obtiene un balance positivo. Aunque teniendo en cuenta los valores de PCS, lo más probable es que el balance sea negativo.

### 3.4.3.35.- Prueba nº39

De nuevo un acopio con hoja de almazara sin triturar almacenado durante 3 meses.

Tabla 73.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº39. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G10
<b>Tiempo Residencia</b>	3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	36,04%	
<b>Humedad Final</b>	28,50%	
<b>Peso Inicial</b>	2.278.580 kg	
<b>Peso Final</b>	2.152.320 kg	Peso calculado
	2.077.950 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	60°C - 95°C	
<b>PCS Inicial</b>	5.138,80 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.618,94 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.913,23 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.957,94 kcal/kg	

Como se puede comprobar, el PCI apenas ha variado, por lo que con la pérdida de peso que se ha generado y la pérdida de PCS, el balance energético del acopio va a ser negativo.

Tabla 74.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº39. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	-	
<b>Energía Final Acopio</b>	-	Según peso calculado
	-	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	126,26 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	77.573.872,69 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	26,63 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	-	

### 3.4.3.36.- Prueba nº40

En esta prueba, la hoja de almazara que se ha almacenado tenía una humedad más o menos baja y se ha almacenado durante casi 2 meses y medio.

Tabla 75.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº40. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Hoja de Almazara	Granulometría G10
<b>Tiempo Residencia</b>	2,3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	24,70%	
<b>Humedad Final</b>	22,32%	
<b>Peso Inicial</b>	1.435.280 kg	
<b>Peso Final</b>	1.407.830 kg	Peso calculado
	1.387.850 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	60°C - 99°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.756,51 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.485,74 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.359,87 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.157,37 kcal/kg	

Como se observa en la tabla, también se ha producido pérdida de PCI, lo que indica que se ha generado en el acopio una alta fermentación, degradación y descomposición que le ha afectado en gran medida. Lo que supone un balance energético negativo.

Tabla 76.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº40. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	-	
<b>Energía Final Acopio</b>	-	Según peso calculado
	-	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	27,45 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	16.865.909,67 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	5,02 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	-	

### 3.4.3.37.- Prueba nº41

Viendo los resultados de las últimas pruebas realizadas con hoja de almazara, se ha realizado otra prueba con un acopio de menor tamaño y que se ha tenido almacenado menos de un mes.

Tabla 77.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº41. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Hoja de Almazara	Granulometría G10
Tiempo Residencia	0,8 meses	
Humedad Inicial	18,65%	
Humedad Final	13,83%	
Peso Inicial	439.280 kg	
Peso Final	421.430 kg	Peso calculado
	425.480 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	40°C - 65°C	
PCS Inicial	4.379,90 kcal/kg	
PCS Final	4.576,58 kcal/kg	
PCI Inicial	3.527,71 kcal/kg	
PCI Final	3.644,12 kcal/kg	

Al realizar el balance energético, se observa que, si se tienen en cuenta el peso final del acopio según el cálculo por la fórmula, el balance sale negativo. Mientras que teniendo en cuenta los resultados del pesaje por báscula, el balance energético sale positivo, aunque en muy poco.

Tabla 78.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº41. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	1.549.652.448,80 kcal	
Energía Final Acopio	1.535.741.492,00 kcal	Según peso calculado
	1.550.500.177,60 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	Según pesaje báscula
Peso Agua Evaporada	17,85 Tm	
Total Calor Consumido	10.964.073,38 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	3,11 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	18,80 €/Tm	
Precio Final Biomasa	19,50 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	

El balance energético-económico que se obtiene es positivo, pero mínimo.

### 3.4.3.38.- Prueba nº42

La prueba que se describe a continuación, se ha realizado con un acopio de chopo pretriturado (G10 - 15) durante algo más de 2 meses.

Tabla 79.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº42. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Chopo	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	2,3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	15,97%	
<b>Humedad Final</b>	6,87%	
<b>Peso Inicial</b>	156.720 kg	
<b>Peso Final</b>	144.420 kg	Peso calculado
	131.330 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	35°C - 50°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.467,71 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.331,41 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.447,75 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.756,84 kcal/kg	

Debido a la alta pérdida de humedad y, por lo tanto, a la pérdida de peso, el balance energético es negativo, aunque para los cálculos de la fórmula el balance sea levemente positivo. También se observa por la pequeña pérdida de PCS.

Tabla 80.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº42. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	540.331.380,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	542.562.832,80 kcal	Según peso calculado
	493.385.797,20 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	Según fórmula: positivo
<b>Peso Agua Evaporada</b>	12,30 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	7.555.641,88 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	2,19 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	40,40 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	45,50 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

### 3.4.3.39.- Prueba nº43

Se ha realizado otra prueba con un acopio de chopo, en este caso, bastante más grande y durante algo más de un año de periodo de almacenamiento.

Tabla 81.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº43. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Chopo	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	13,9 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	35,74%	
<b>Humedad Final</b>	24,19%	
<b>Peso Inicial</b>	1.869.880 kg	
<b>Peso Final</b>	1.710.750 kg	Peso calculado
	1.536.810 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	35°C - 65°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.488,38 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.265,34 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.896,55 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.903,51 kcal/kg	

El balance energético obtenido en el almacenamiento de este acopio ha sido negativo para ambos casos.

Tabla 82.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº43. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	5.416.200.914,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	4.967.179.733,00 kcal	Según peso calculado
	4.462.143.203,10 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	159,13 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	97.767.114,06 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	33,75 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

La equivalencia de esas toneladas de agua en toneladas de biomasa es de 33,75 toneladas, con un coste de más de 1.257 €.

### 3.4.3.40.- Prueba nº44

De nuevo se ha realizado un acopio de chopo durante un periodo de tiempo de algo más de 6 meses. Este acopio es de pequeño tamaño y se almacenó con una humedad bastante alta.

Tabla 83.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº44. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Chopo	Granulometría G10-15
Tiempo Residencia	6,5 meses	
Humedad Inicial	39,45%	
Humedad Final	15,19%	
Peso Inicial	144.720 kg	
Peso Final	119.540 kg	Peso calculado
	115.200 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	25°C - 47°C	
PCS Inicial	4.509,04 kcal/kg	
PCS Final	4.464,42 kcal/kg	
PCI Inicial	2.345,35 kcal/kg	
PCI Final	3.482,00 kcal/kg	

La alta pérdida de humedad hace que el aumento en el PCI también sea significativo y que el balance energético sea positivo.

Tabla 84.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº44. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	359.760.240,00 kcal	
Energía Final Acopio	416.238.280,00 kcal	Según peso calculado
	401.126.400,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	
Peso Agua Evaporada	25,18 Tm	
Total Calor Consumido	15.468.636,67 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	6,60 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	26,30 €/Tm	
Precio Final Biomasa	40,80 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	

Esto hace ver que, en este acopio, aunque ha estado durante mucho tiempo almacenado, se ha conseguido una valorización de la biomasa almacenada. Debido, principalmente, al tamaño del acopio y al producto, que es muy poroso, de baja densidad y de rápido secado.

### 3.4.3.41.- Prueba nº45

La siguiente prueba se ha realizado con poda de frutal (naranja, manzano, melocotonero, frutales en general).

Tabla 85.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº45. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Frutal	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	11,5 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	10,98%	
<b>Humedad Final</b>	7,61%	
<b>Peso Inicial</b>	1.011.160 kg	
<b>Peso Final</b>	980.460 kg	Peso calculado
	982.880 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	25°C - 35°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.464,57 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.379,54 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.684,38 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.767,12 kcal/kg	

Teniendo en cuenta que el producto se ha tenido almacenado durante un largo periodo de tiempo se puede considerar que los resultados no son del todo negativos, ya que la pérdida de energía del acopio es de entre el 0,6% y el 1,5%.

Tabla 86.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº45. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	3.725.497.680,80 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	3.693.510.475,00 kcal	Según peso calculado
	3.702.626.905,60 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	30,70 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	18.864.976,50 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	5,12 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	33,44 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	35,50 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

En ambos casos, el coste del acopio hubiera sido mayor, por lo que ha habido un ahorro económico en la compra.

### 3.4.3.42.- Prueba nº46

Al igual que en el ensayo anterior, se ha realizado un acopio de poda de frutales de gran tamaño y durante un largo periodo de tiempo.

Tabla 87.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº46. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Frutal	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	11,5 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	18,08%	
<b>Humedad Final</b>	12,00%	
<b>Peso Inicial</b>	1.483.480 kg	
<b>Peso Final</b>	1.407.090 kg	Peso calculado
	1.418.960 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	25°C - 37°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.353,92 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.352,39 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.253,28 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.534,39 kcal/kg	

El PCI ha aumentado debido a la pérdida de humedad, haciendo que el balance energético sea positivo en todos los casos.

Tabla 88.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº46. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	4.826.175.814,40 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	4.973.204.825,00 kcal	Según peso calculado
	5.015.158.034,40 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	76,39 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	46.931.035,58 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	14,43 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	29,20 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	32,80 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Se puede concretar que, este tipo de producto, se puede almacenar en grandes cantidades y en grandes periodos de tiempo sin que se tenga riesgo de fermentación y auto-calentamiento, siempre y cuando la humedad no sea muy alta. Esto se debe a que es un producto muy leñoso, normalmente seco y poroso, que ayuda a su refrigeración.

### 3.4.3.43.- Prueba nº47

Continuando con la comparativa entre diferentes biomásas, en esta prueba se ha utilizado sarmiento de viña, esta vez pretriturado. Se ha realizado un acopio de grandes dimensiones y se ha tenido almacenado durante 8 meses.

Tabla 89.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº47. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Sarmiento de Vid	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	8 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	27,46%	
<b>Humedad Final</b>	10,58%	
<b>Peso Inicial</b>	1.621.150 kg	
<b>Peso Final</b>	1.406.440 kg	Peso calculado
	1.442.830 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	25°C - 75°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.301,63 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.286,75 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.011,61 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.544,15 kcal/kg	

Aunque existe una alta pérdida de peso por la pérdida de humedad, el aumento del PCI, en este caso, si compensa esa pérdida de peso y hace que el balance sea positivo en ambos casos.

Tabla 90.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº47. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	4.882.271.551,5 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	4.984.634.326,0 kcal	Según peso calculado
	5.113.605.944,5 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	214,68 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	131.896.337,84 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	43,80 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	22,50 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	34,60 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

En ambos, el ahorro económico es considerable, llegando a ahorrarse casi más de 10.000 € en la compra del acopio y su posterior secado natural en el parque de biomasa.

### 3.4.3.44.- Prueba nº48

Se ha realizado otra prueba con sarmiento de vid, en este caso triturado.

Tabla 91.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº48. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Sarmiento de Vid	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	10,1 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	21,69%	
<b>Humedad Final</b>	14,77%	
<b>Peso Inicial</b>	989.560 kg	
<b>Peso Final</b>	933.270kg	Peso calculado
	1.086.100 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	25°C - 48°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.314,57 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.123,00 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.053,25 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.207,48 kcal/kg	

Sí se obtienen resultados algo anómalos en la medición de pesaje del peso final del acopio en báscula. No es normal ni fiable que un acopio, después de un periodo de tiempo y habiendo tenido pérdida de humedad, haya ganado en peso al final del almacenamiento. Por lo que, el resultado obtenido mediante el pesaje en báscula ha sido descartado. Además, el aumento de PCI no es mucho, por lo que el balance energético obtenido en el acopio es negativo.

Tabla 92.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº48. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	3.021.374.070,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.993.444.860,00 kcal	Según peso calculado
	-	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	56,29 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	34.582.679,13 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	11,337 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

La pérdida de peso, el balance energético negativo y la degradación del acopio hacen que no se obtengan resultados satisfactorios en esta prueba.

### 3.4.3.45.- Prueba nº49

Viendo los resultados obtenidos en la prueba anterior, se realizó otro acopio de condiciones similares y se tuvo almacenado durante un periodo de tiempo también largo. En este caso el acopio se ha realizado más pequeño y de producto pretriturado.

Tabla 93.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Sarmiento de Vid	Granulometría G10-15
Tiempo Residencia	14,5 meses	
Humedad Inicial	22,58%	
Humedad Final	11,25%	
Peso Inicial	570.500 kg	
Peso Final	517.790 kg	Peso calculado
	580.000 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	35°C - 45°C	
PCS Inicial	3.904,19 kcal/kg	
PCS Final	4.182,51 kcal/kg	
PCI Inicial	2.694,25 kcal/kg	
PCI Final	3.421,41 kcal/kg	

Haciendo el balance energético del acopio al final del periodo de almacenamiento, los resultados son positivos para esta prueba.

Tabla 94.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	1.537.069.605,00 kcal	
Energía Final Acopio	1.771.571.884,00 kcal	Según peso calculado
	1.984.417.800,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	
Peso Agua Evaporada	52,71 Tm	
Total Calor Consumido	32.386.483,56 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	12,02 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	27,50 €/Tm	
Precio Final Biomasa	34,20 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	Si	

Se obtiene un balance energético-económico positivo en todos los casos.

### 3.4.3.46.- Prueba nº50

La siguiente prueba se ha realizado con restos de podas. Esta biomasa, como ya se ha comentado anteriormente, es una biomasa muy herbácea y, por lo tanto, fácilmente fermentable.

Tabla 95.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº50. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Restos de Podas	Granulometría G10-15
Tiempo Residencia	8,8 meses	
Humedad Inicial	10,65%	
Humedad Final	10,55%	
Peso Inicial	171.680 kg	
Peso Final	171.520 kg	Peso calculado
	154.600 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	40°C - 60°C	
PCS Inicial	4.201,58 kcal/kg	
PCS Final	4.240,46 kcal/kg	
PCI Inicial	3.569,24 kcal/kg	
PCI Final	3.504,77 kcal/kg	

La pequeña disminución del PCI puede deberse a alguna variación o diferencia en el transcurso desde la toma de muestras hasta su análisis en laboratorio, ya que viendo el valor del PCS no demuestra que haya pérdida de energía. Y si la hay es muy pequeña.

Viendo estos resultados se puede deducir que el balance energético-económico sería más o menos neutro en este caso.

Tabla 96.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio prueba nº50. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
0,16	86.480,79	12.024,58	98.505,38	0,03	0,85

Con respecto a la evaporación, también es mínima, por no decir nula. Se han evaporado 0,16 toneladas de agua, lo que equivale a 0,03 toneladas de biomasa.

### 3.4.3.47.- Prueba nº51

En esta prueba se ha almacenado pino pretriturado durante algo más de 7 meses.

Tabla 97.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº51. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G5-20
<b>Tiempo Residencia</b>	7,2 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	13,34%	
<b>Humedad Final</b>	9,37%	
<b>Peso Inicial</b>	828.700 kg	
<b>Peso Final</b>	799.670 kg	Peso calculado
	750.390 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 50°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.639,84 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.709,12 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.722,98 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.933,82 kcal/kg	

Aunque se ha producido un aumento de PCI, la pérdida de peso ha sido contraproducente para el balance energético del acopio. Si se produce un balance levemente positivo en el caso de la fórmula.

Tabla 98.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº51. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	3.085.233.526,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	3.145.757.839,00 kcal	Según peso calculado
	2.951.899.189,80 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	Levemente positivo según fórmula
<b>Peso Agua Evaporada</b>	29,03 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	17.834.290,82 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	4,79 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	57,00 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	59,30 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

La pérdida de peso por humedad ha generado que el balance económico también sea negativo en esta prueba. Esto representa que, a mayor pérdida de peso, con mayor seguridad el balance energético-económico del acopio sea negativo y se obtengan pérdidas durante el almacenamiento del acopio.

### 3.4.3.48.- Prueba nº52

En la siguiente prueba se ha realizado un acopio de pinopretriturado de características similares que el anterior.

Tabla 99.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº52. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	8,7 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	29,62%	
<b>Humedad Final</b>	22,25%	
<b>Peso Inicial</b>	831.520 kg	
<b>Peso Final</b>	784.210 kg	Peso calculado
	787.280 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 45°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.688,86 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.595,74 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.948,04 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.245,12 kcal/kg	

Si se hace el balance energético del almacenamiento, el balance es positivo en ambos casos.

Tabla 100.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº52. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	2.451.354.220,80 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	2.544.855.555,00 kcal	Según peso calculado
	2.554.818.073,60 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	Levemente negativo según fórmula
<b>Peso Agua Evaporada</b>	47,31 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	29.067.917,17 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	9,86 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	47,20 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	51,60 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Se produce un pequeño ahorro económico en la compra, por lo que el balance energético – económico en esta prueba es positivo.

### 3.4.3.49.- Prueba nº53

En este caso se ha realizado un acopio con pino pretriturado un poco más grande.

Tabla 101.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº53. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	8,9 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	19,88%	
<b>Humedad Final</b>	19,07%	
<b>Peso Inicial</b>	956.300 kg	
<b>Peso Final</b>	949.840 kg	Peso calculado
	853.200 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 45°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.443,59 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.632,78 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.240,83 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.438,78 kcal/kg	

Con respecto al balance económico, de nuevo se observa como una pérdida de peso excesiva en el acopio, genera un balance energético negativo.

Tabla 102.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº53. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	3.099.205.729,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	3.266.290.795,00 kcal	Según peso calculado
	2.933.967.096,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	Positivo según fórmula
<b>Peso Agua Evaporada</b>	6,46 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	3.969.937,30 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	1,22 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	53,10 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	53,50 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

En ambos casos existe ahorro económico en la compra.

### 3.4.3.50.- Prueba nº54

Un nuevo acopio de pino pretriturado, se ha tenido almacenado durante casi 10 meses.

Tabla 103.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº54. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Pino	Granulometría G10-15
Tiempo Residencia	9,7 meses	
Humedad Inicial	29,62%	
Humedad Final	23,94%	
Peso Inicial	1.019.720 kg	
Peso Final	975.060 kg	Peso calculado
	977.200 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	30°C - 40°C	
PCS Inicial	4.688,86 kcal/kg	
PCS Final	4.513,69 kcal/kg	
PCI Inicial	2.948,04 kcal/kg	
PCI Final	3.102,53 kcal/kg	

En ambos casos, se obtiene un balance energético levemente positivo.

Tabla 104.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº54. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	3.006.175.348,80 kcal	
Energía Final Acopio	3.025.152.902,00 kcal	Según peso calculado
	3.031.792.316,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	Levemente positivo
Peso Agua Evaporada	44,66 Tm	
Total Calor Consumido	27.438.067,52 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	9,31 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	47,20 €/Tm	
Precio Final Biomasa	50,50 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	No	Según fórmula

### 3.4.3.51.- Prueba nº55

Se realiza otro acopio de pino más grande que los anteriores y se tiene almacenado durante aproximadamente un mes más que en el caso anterior. Por lo contrario, la humedad del acopio es bastante baja. Por lo tanto, la pérdida de humedad durante el almacenamiento también es baja, así como la pérdida de peso.

Tabla 105.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº55. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	10,6 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	15,61%	
<b>Humedad Final</b>	14,58%	
<b>Peso Inicial</b>	1.466.620 kg	
<b>Peso Final</b>	1.453.550 kg	Peso calculado
	1.450.050 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 60°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.610,25 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.634,28 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.779,36 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.809,89 kcal/kg	

Teniendo en cuenta la pérdida de peso del acopio y la pequeña variación que hay en el PCI, el balance energético del acopio sale levemente negativo.

Tabla 106.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº55. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	5.542.884.963,20 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	5.537.865.610,00 kcal	Según peso calculado
	5.524.530.994,50 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	Levemente negativo
<b>Peso Agua Evaporada</b>	13,07 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	8.028.060,44 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	2,12 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	55,60 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	56,30 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Destacar en esta prueba que, pese al volumen de almacenamiento y el periodo del mismo, no se han producido grandes pérdidas y la biomasa se ha conseguido mantener en buen estado.

### 3.4.3.52.- Prueba nº56

Se realiza un acopio de pino de humedad muy baja y de gran tamaño. Se tiene almacenado durante más de 8 meses.

Tabla 107.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº56. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	8,7 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	12,12%	
<b>Humedad Final</b>	10,59%	
<b>Peso Inicial</b>	1.180.800 kg	
<b>Peso Final</b>	1.164.690 kg	Peso calculado
	1.174.660 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 45°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.634,42 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.536,88 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.778,73 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.767,99 kcal/kg	

El balance energético del acopio será negativo en este caso.

Tabla 108.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº56. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	4.461.924.384,0 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	4.388.540.273,0 kcal	Según peso calculado
	4.426.107.133,4 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	16,11 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	9.900.015,93 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	2,62 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	57,60 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	58,70 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	Muy leve

Se vuelve a comprobar en esta prueba que los resultados de la realización de acopios grandes no suelen ser satisfactorios.

### 3.4.3.53.- Prueba nº57

Se vuelve a realizar una comprobación con un acopio de gran tamaño, almacenado durante largo periodo de tiempo y de humedades relativamente bajas.

Tabla 109.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº57. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino	Granulometría G10-15
<b>Tiempo Residencia</b>	13,3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	16,07%	
<b>Humedad Final</b>	13,23%	
<b>Peso Inicial</b>	2.671.540 kg	
<b>Peso Final</b>	2.606.060 kg	Peso calculado
	2.476.220 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 60°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.589,63 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.376,19 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.545,12 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.654,83 kcal/kg	

El aumento de PCI es muy pequeño para contrarrestar la gran pérdida de peso que se ha producido, por lo que el balance energético es negativo. En el caso de los datos calculados por fórmula, el balance es positivo, pero por poca diferencia.

Tabla 110.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº57. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	9.470.929.884,80 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	9.524.706.270,00 kcal	Según peso calculado
	9.050.163.142,60 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	Positivo según fórmula
<b>Peso Agua Evaporada</b>	65,48 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	40.232.329,03 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	11,35 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	55,54 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	57,30 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	

La alta pérdida de peso que se ha producido durante el almacenamiento también ha generado un balance económico negativo.

### 3.4.3.54.- Prueba nº58

En el siguiente ensayo, se almacena una gran cantidad de poda de olivo pretriturada durante casi un año.

Tabla 111.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº58. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G15-25
<b>Tiempo Residencia</b>	11,7 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	23,01%	
<b>Humedad Final</b>	11,50%	
<b>Peso Inicial</b>	1.506.020 kg	
<b>Peso Final</b>	1.365.050 kg	Peso calculado
	1.352.760 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 50°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.230,91 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.291,67 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.243,29 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.707,01 kcal/kg	

Realizando el balance energético se obtienen resultados positivos.

Tabla 112.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº58. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	4.884.459.605,80 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	5.060.254.001,00 kcal	Según peso calculado
	5.014.694.847,60 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	140,97 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	86.609.943,04 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	26,70 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	36,20 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	48,00 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

En este caso, se han evaporado más de 140,97 toneladas de agua que equivalen a 26,70 toneladas equivalentes de biomasa consumida para su evaporación.

### 3.4.3.55.- Prueba nº59

Se realiza la misma operación que en la prueba anterior, pero en este caso se utiliza poda de olivo triturada.

Tabla 113.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº59. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	13,5 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	23,25%	
<b>Humedad Final</b>	18,10%	
<b>Peso Inicial</b>	1.399.880 kg	
<b>Peso Final</b>	1.341.390 kg	Peso calculado
	1.209.030 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 80°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.539,15 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.260,39 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.188,85 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.175,40 kcal/kg	

El PCI apenas varía, por lo que los resultados de la revalorización energética de este acopio son negativos.

Tabla 114.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº59. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	4.464.007.338,00 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	4.259.449.806,00 kcal	Según peso calculado
	3.839.153.862,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	58,49 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	35.938.696,15 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	11,27 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	-	

### 3.4.3.56.- Prueba nº60

En esta prueba se ha realizado un acopio, también parecido a los anteriores, con poda de olivo triturada, pero se ha tenido almacenado durante algo más de 1 mes.

Tabla 115.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº60. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	1,3 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	18,96%	
<b>Humedad Final</b>	17,05%	
<b>Peso Inicial</b>	1.272.140 kg	
<b>Peso Final</b>	1.251.660 kg	Peso calculado
	1.269.600 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 50°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.541,46 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.503,71 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.364,13 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.425,57 kcal/kg	

Teniendo en cuenta los datos de pérdida de peso obtenidos tanto mediante la fórmula como por el pesaje en báscula, se obtiene un balance levemente positivo.

Tabla 116.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº60. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	4.279.644.338,20 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	4.287.648.946,00 kcal	Según peso calculado
	4.349.103.672,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	20,48 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	12.582.123,34 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	3,74 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	43,55 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	44,75 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

En esta prueba, se produce un ahorro económico y, en líneas generales, se podría decir que el balance energético-económico es positivo.

### 3.4.3.57.- Prueba nº61

En la siguiente prueba se realiza de nuevo un acopio grande de poda de olivo triturada y se tiene almacenado durante algo más de 1 año.

Tabla 117.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº61. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	13 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	25,58%	
<b>Humedad Final</b>	13,88%	
<b>Peso Inicial</b>	1.574.340 kg	
<b>Peso Final</b>	1.427.600 kg	Peso calculado
	1.465.800 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	45°C - 100°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.469,59 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.045,76 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.987,94 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.179,37 kcal/kg	

Como era de esperar, el balance energético de esta prueba sale negativo en todos los casos ya que la alta pérdida de PCS hace que la alta pérdida de humedad no compense el aumento del PCI.

Tabla 118.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº61. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	4.704.033.459,60 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	4.538.868.612,00 kcal	Según peso calculado
	4.660.320.546,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	146,74 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	90.157.254,15 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	30,17 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	-	

Al igual que en pruebas anteriores, se puede deducir de esta prueba que hacer un acopio grande con producto triturado, herbáceo, húmedo y tenerlo almacenado durante un largo periodo de tiempo, no es conveniente ya que se van a producir grandes pérdidas energéticas y económicas.

### 3.4.3.58.- Prueba nº62

En esta prueba, se utiliza poda de olivo pretriturada para realizar un acopio de grandes dimensiones.

Tabla 119.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº62. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G15-25
<b>Tiempo Residencia</b>	15,1 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	11,38%	
<b>Humedad Final</b>	11,29%	
<b>Peso Inicial</b>	1.625.820 kg	
<b>Peso Final</b>	1.624.510 kg	Peso calculado
	1.393.200 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 75°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.416,14 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.434,82 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	3.622,18 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.642,79 kcal/kg	

Teniendo en cuenta los resultados y el estado del acopio al final del almacenamiento, se observa que el balance energético, más probablemente, es positivo que negativo y que, en el control de pesaje, haya habido algún error.

Tabla 120.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº62. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	5.889.012.687,60 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	5.917.748.783,00 kcal	Según peso calculado
	5.075.135.028,00 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	Error en pesaje
<b>Peso Agua Evaporada</b>	1,31 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	807.158,76 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	0,22 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	-	
<b>Precio Final Biomasa</b>	-	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	No	Igual precio

Almacenar poda de gran granulometría y seca, hace que el acopio, aunque sea algo grande, pueda refrigerarse y mantener sus condiciones iniciales casi iguales hasta el final del almacenamiento.

### 3.4.3.59.- Prueba nº63

Se realiza un acopio pequeño con poda de olivo triturada con una humedad alta (casi 30%) y se tiene almacenada durante algo más de 6 meses de almacenamiento.

Tabla 121.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº63. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Poda de Olivo	Granulometría G5-10
<b>Tiempo Residencia</b>	6,2 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	28,97%	
<b>Humedad Final</b>	17,63%	
<b>Peso Inicial</b>	462.640 kg	
<b>Peso Final</b>	421.940 kg	Peso calculado
	419.410 kg	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 85°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.559,48 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.484,48 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.888,59 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	3.383,02 kcal/kg	

En este caso, el balance energético que se obtiene en ambos casos es positivo.

Tabla 122.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº63. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	1.336.377.277,60 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	1.427.431.459,00 kcal	Según peso calculado
	1.418.872.418,20 kcal	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Positivo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	40,70 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	25.004.040,10 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	8,66 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	37,60 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	44,50 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

Esto supone, que el balance energético-económico en este acopio resulte positivo.

### 3.4.5.- Otras pruebas

A parte de estas pruebas, se han realizado algunas pruebas con hueso y orujillo. En el caso del orujillo, ocurre prácticamente al revés que con las podas. Al ser un producto muy seco, homogéneo, granulado y de granulometría muy baja, permite su almacenamiento en grandes acopios y compactados. Esto favorece y aumenta la cantidad de producto o stock almacenado en el parque. De todas las pruebas que se han realizado, los resultados obtenidos son muy parecidos en todos los casos.

#### 3.4.5.1.- Prueba nº64

Se ha realizado un acopio de orujillo de grandes dimensiones y se ha tenido almacenado durante casi 16 meses.

Tabla 123.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº64. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Orujillo	Granulometría G1-3
Tiempo Residencia	15,9 meses	
Humedad Inicial	14,84%	
Humedad Final	14,10%	
Peso Inicial	3.580.580 kg	
Peso Final	3.557.530 kg	Peso calculado
	3.575.000 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	30°C - 35°C	
PCS Inicial	4.759,56 kcal/kg	
PCS Final	4.766,13 kcal/kg	
PCI Inicial	3.700,50 kcal/kg	
PCI Final	3.794,47 kcal/kg	

Por lo tanto, el balance en este acopio va a ser positivo.

Tabla 124.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº64. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	13.249.936.290,00 kcal	
Energía Final Acopio	13.498.940.860,00 kcal	Según peso calculado
	13.565.230.250,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	
Peso Agua Evaporada	23,05 Tm	
Total Calor Consumido	14.160.102,09 Kcal	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	3,83 Tm	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	30 – 40 €/Tm	
Precio Final Biomasa	10 – 12 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	No	Afectado por mercado

La situación actual es complicada para el orujillo ya que su precio ha bajado en el último quinquenio desde precios por encima de los 35€ - 40€ tonelada a menos de 10€ - 12€ a los que se encuentra en la actualidad. Por lo tanto, el valor del acopio al final del periodo de almacenamiento va a ser menor que cuando se compró la biomasa, independientemente de que el precio por diferencia de humedad sea el mismo.

#### 3.4.5.2.- Prueba nº65

En esta prueba, se ha realizado un acopio de orujillo algo más pequeño y se ha tenido almacenado durante un periodo de tiempo de casi 1 año.

Tabla 125.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº65. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Orujillo	Granulometría G1-3
Tiempo Residencia	11,8 meses	
Humedad Inicial	10,00%	
Humedad Final	8,64%	
Peso Inicial	2.192.860 kg	
Peso Final	2.165.750 kg	Peso calculado
	2.192.900 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	30°C - 35°C	
PCS Inicial	4.890,65 kcal/kg	
PCS Final	4.889,91 kcal/kg	
PCI Inicial	4.155,50 kcal/kg	
PCI Final	4.185,29 kcal/kg	

En este caso, el balance según la fórmula es negativo, debido a que la pérdida de peso por la pérdida de humedad es alta, en referencia al aumento del PCI del acopio durante su almacenamiento.

Tabla 126.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº65. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	9.112.429.730,00 kcal	
Energía Final Acopio	9.064.291.818,00 kcal	Según peso calculado
	9.177.922.441,00 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	Negativo según fórmula
Peso Agua Evaporada	-	
Total Calor Consumido	-	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	-	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	30 – 40 €/Tm	
Precio Final Biomasa	10 – 12 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	No	Afectado por mercado

Si se tuviera en cuenta la pérdida de peso según la fórmula de la humedad, el balance sería negativo pero, tal y como ya se ha comentado en otras ocasiones, el resultado más representativo y real es el calculado mediante el pesaje de camiones en báscula.

### 3.4.5.3.- Prueba nº66

Se realiza otro acopio de orujillo de dimensiones inferiores a los anteriores. Se tiene almacenado durante algo más de 1 año. Como se observa, la pérdida de peso y de humedad es baja. No se han producido cambios en el acopio ni se ha observado ningún signo de degradación en el mismo.

Tabla 127.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº66. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Medidas	Datos	Observaciones
Tipo de Biomasa	Orujillo	Granulometría G1-3
Tiempo Residencia	13 meses	
Humedad Inicial	10,00%	
Humedad Final	8,18%	
Peso Inicial	1.318.100 kg	
Peso Final	1.296.290 kg	Peso calculado
	1.316.330 kg	Peso medido pesaje
Variación de Temperatura	30°C - 35°C	
PCS Inicial	4.700,50 kcal/kg	
PCS Final	4.651,91 kcal/kg	
PCI Inicial	4.110,11 kcal/kg	
PCI Final	4.140,47 kcal/kg	

Por lo tanto, el balance energético en este acopio será muy cercano a neutro, ya que se ha producido muy poca pérdida de peso, de humedad, y un aumento pequeño en el PCI.

Tabla 128.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba nº66. [Fuente: Elaboración Propia]

Variables Calculadas	Datos	Observaciones
Energía Inicial Acopio	5.417.535.991,0 kcal	
Energía Final Acopio	5.367.249.856,0 kcal	Según peso calculado
	5.450.224.875,1 kcal	Según peso medido pesaje
Balance Energético	Positivo	Negativo según fórmula
Peso Agua Evaporada	-	
Total Calor Consumido	-	Calor necesario evaporación
Toneladas Equivalentes	-	Ahorro en biomasa
Precio Inicial Biomasa	30 – 40 €/Tm	
Precio Final Biomasa	10 – 12 €/Tm	
Ahorro Compra Biomasa	No	Afectado por mercado

El orujillo es un producto que puede ser almacenado en grandes cantidades sin que se produzca una degradación y pérdidas de consideración, siempre y cuando se mantenga almacenado en buenas condiciones durante su periodo de almacenamiento.

#### 3.4.5.4.- Prueba nº67

Como ya se ha comentado con anterioridad, la humedad es el factor más importante en el almacenamiento, por lo que, si se almacena orujillo con una humedad un poco más alta de lo normal, por regla general, se generarán problemas de auto-calentamiento en el interior del acopio.

Esto ha ocurrido en esta prueba. Se almacenó orujillo con una humedad por encima del 15% en un acopio de grandes dimensiones.

Tabla 129.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba nº67. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Orujillo	Granulometría G1-3
<b>Tiempo Residencia</b>	2 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	18,70%	
<b>Humedad Final</b>	-	
<b>Peso Inicial</b>	2.900.380 kg	
<b>Peso Final</b>	-	Peso calculado
	-	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 90°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.700,50 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.651,91 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	4.110,11 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	4.140,47 kcal/kg	

Debido a las inclemencias del tiempo y al deterioro de la capa superficial del acopio, esta capa se ha ido secando y agrietando, permitiendo el paso del aire al interior del acopio. Al estar el acopio húmedo en su interior, se produce un aumento de calor, que se ve favorecido, arrastrado y extendido por el aire de entrada, actuando este como acelerante del auto-calentamiento.



Imagen 46.- Acopio de orujillo caliente. [Fuente: Elaboración Propia]

Al poco tiempo del almacenamiento, se ha tenido que desmontar el acopio y enfriar ciertas zonas que habían llegado a temperaturas altas. Con lo que se han generado degradaciones y pérdidas de material durante el proceso de saneamiento del acopio.

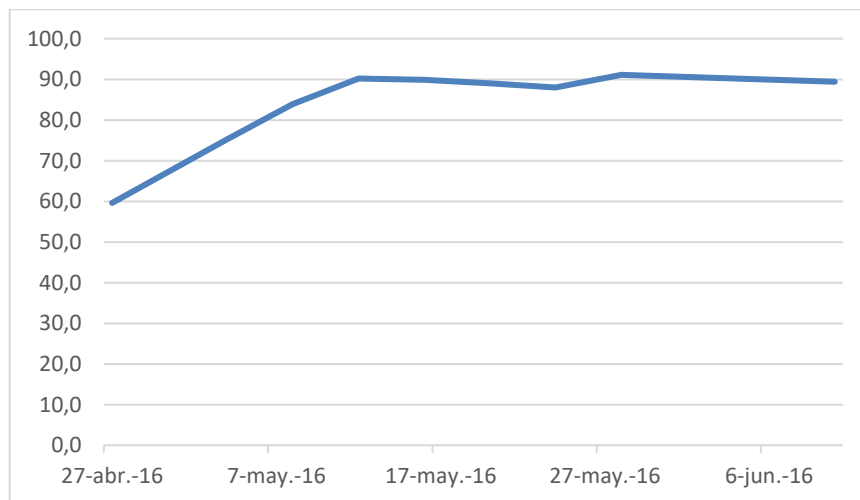


Gráfico 16.- Evolución de la temperatura en el acopio prueba nº67. [Fuente: Elaboración Propia]

#### 3.4.5.5.- Pruebas con acopios de hueso de aceituna

Con respecto al hueso de aceituna, se ha realizado un seguimiento al comportamiento de varios acopios. En este caso, no se ha podido realizar un estudio tan exhaustivo como con otras biomásas, ya que esta biomasa, por lo general, no es utilizada para la producción de energía eléctrica. Sino que es vendida como combustible para calefacción. Por lo tanto, al generarse durante el proceso productivo se va vendiendo casi de forma paralela a su producción.

Normalmente, la humedad inicial de extracción del hueso es algo alta, de entre el 20% - 25%. El hueso es un producto que pierde rápidamente la humedad porque es muy poroso y leñoso, pero al ser un producto de granulometría muy pequeña, no permite el

paso del aire al interior del acopio para su secado y refrigeración. Requiere un secado a base de volteo manual o mecánico (secadero).

Por lo tanto, al ser un producto de venta, la cual necesita que se haga lo más seca posible, es necesario voltear y extender el producto para aumentar la velocidad de secado y evitar calentamiento en el interior del acopio. Estas acciones se suelen realizar hasta que se reduce la humedad por debajo del 15%.

Estos movimientos generan pérdidas y degradación, además de descontrol en la contabilización de la cantidad almacenada.

Tabla 130.- Datos de los acopios realizados en la prueba nº68 (Valores estimados). [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hueso G1	2	25,00	15,00	2.500.000	P	2.400.000	30 - 35
Hueso G1	3	22,00	13,00	1.800.000	P	1.720.000	30 - 35
Hueso G1	2	23,00	11,00	2.000.000	P	1.895.000	30 - 35

Como se puede observar en la tabla, el PCS del producto apenas varía, ya que al ser un producto muy poroso y leñoso apenas sufre fermentación y degradación. Si existiera pérdida de PCS se deberá principalmente a los efectos del trabajo mecánico sobre el acopio de remonte, volteo, extendido, etc.

Tabla 131.- Tabla de variación de PCS/PCI de los acopios de hueso de la prueba nº68. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hueso G1	4.851,07	4.833,25	3.539,02	4.001,14
Hueso G1	4.901,75	4.854,90	3.618,29	4.136,18
Hueso G1	4.798,15	4.820,04	3.577,65	4.199,51

Al reducir la humedad en tantos puntos, el PCI aumenta también bastante lo que genera un aumento energético del producto, es decir, un balance positivo. Conservando además las características físicas y químicas del producto durante su almacenamiento.

#### 3.4.5.6.- Acopio de Poda de Olivo Triturada tapado con un plástico

Ya se ha comentado, en el estado del arte, que para tapar los acopio y protegerlos de las inclemencias del tiempo hay que utilizar lonas impermeables y transpirables. Pero

estas lonas son muy caras y son inviables para su uso en este tipo de plantas, donde se almacenan grandes cantidades de biomasa.



**Imagen 47.- Acopio de poda de olivo tapado con un plástico. [Fuente: Elaboración Propia]**

Para realizar una prueba similar a las descritas en el estado del arte y para que el coste sea lo más reducido posible, se ha utilizado un plástico perforado para tapar un acopio de poda de olivo triturada.



**Imagen 48.- Acopio de poda de olivo tapado con un plástico. [Fuente: Elaboración Propia]**

A este plástico se le han realizado una serie de agujeros pequeños en su parte superior para permitir la respiración del acopio y la salida del vapor generado en el acopio.



**Imagen 49.- Parte superior del acopio tapado con el plástico. [Fuente: Elaboración Propia]**

La idea de esta prueba era evitar la entrada de aire al acopio y que el propio acopio expulsara la humedad por la parte superior.

La humedad inicial del acopio no era del todo alta, alrededor del 25% de humedad. Pero la respiración caliente del acopio hacia condensar el agua en el plástico originando un aumento de humedad en el acopio, sobre todo en las partes altas, además de un calentamiento continuo y rápido.

En cuestión de un mes aproximadamente, el acopio se encontraba a casi 100°C de temperatura en la gran parte del mismo, por lo que se tuvieron que realizar acciones de saneamiento sobre él.

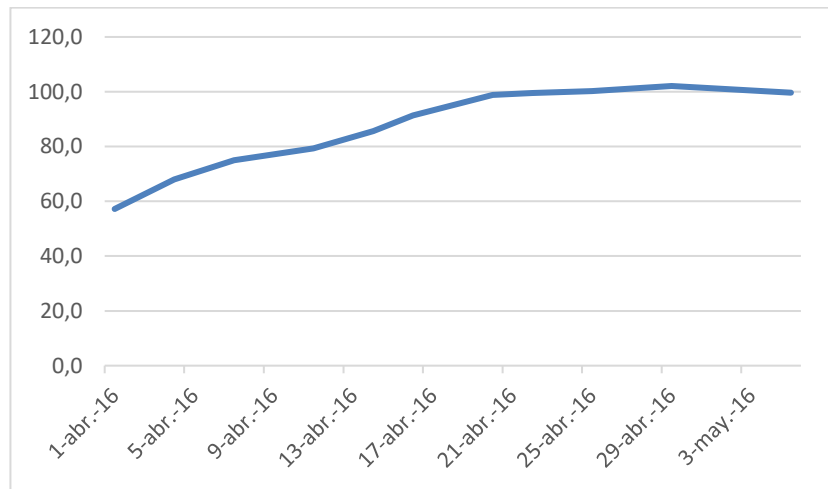


Gráfico 17.- Evolución de la temperatura en el acopio tapado con plástico. [Fuente: Elaboración Propia]



Imagen 50.- Trabajos de saneamiento del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

El acopio estaba tan caliente que a la hora de sanearlo y entrar el aire al interior del acopio se generaba llama. Teniendo que utilizar el sistema contra incendios para así poder reducir el fuego y refrigerar el acopio. También se observó que la condensación en el plástico y la humidificación de la capa superior del acopio, crearon una capa esponjosa que hacía de retención del calor dentro del acopio.



**Imagen 51.- Llama generada en el acopio por la entrada de aire al interior del mismo. [Fuente: Elaboración Propia]**

Se tuvo que abrir y extender todo el acopio e ir volteando para refrigerar. Incluso, en algunas ocasiones, manguear con agua la parte superior del acopio extendido, ya que algunas partes más calientes al contactar con el aire continuaban humeando y generando llama.



**Imagen 52.- Utilización de Sistema Contra Incendios para refrigerar el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]**

Con esta prueba se ha deducido que no se puede eliminar la entrada de aire ambiente al acopio para que ayude a su refrigeración y aireación. Ya que, si no tiene entrada de aire no existe circulación dentro del mismo y el calor no es expulsado por la parte superior (efecto chimenea) en forma de vapor.

### 3.3.5.7.- Acopios de tronco en rollo para su posterior triturado en planta

Siguiendo con la idea de poder realizar todo tipo de pruebas con todo tipo de productos o biomásas posibles, se hizo un seguimiento a un acopio de tronco de pino en rollo, almacenado durante casi 1 año.



Imagen 53.- Acopio de troncos de pino en rollo. [Fuente: Elaboración Propia]

La idea de esta prueba es intentar secar el tronco en el parque y una vez seco proceder a su trituración y consumo inmediato. Evitando así que las células vuelvan a reactivarse y calentar/fermentar la biomasa.



Imagen 54.- Acopio de tronco de pino tras su trituración. [Fuente: Elaboración Propia]

El problema del tronco de pino es que, si tiene un diámetro mayor a 10 centímetros, pierde su humedad interna muy lentamente. Por lo que, necesita mucho tiempo para su secado. Si el tronco se tritura sin estar seco del todo, el producto triturado y acopiado puede dar problemas de auto-calentamiento.

Otra dificultad, es la toma de muestras. Se hicieron numerosas pruebas para la medición de humedad del interior de los troncos:

- ✓ Barrena. El método de la barrena, aunque en principio es la forma más sencilla de extraer una muestra del interior del tronco, presenta el inconveniente de que provoca una gran pérdida de humedad, puesto que se calienta mucho la barrena y este calor se lo transmite a la muestra en forma de cilindro que se genera en su interior.



Imagen 55.- Barrena de Pressler. [Fuente: Elaboración Propia]

- ✓ Rodaja con Motosierra. Este muestreo consiste en cortar varias rodajas de varias partes del tronco y llevarlas a laboratorio para la medición de su humedad. Puede afectar a la medición si se tarda mucho en realizar el corte de la rodaja, ya que la sierra puede calentar la muestra y evaporar parte del agua contenida.



Imagen 56.- Corte de rodaja con motosierra. [Fuente: Elaboración Propia]

- ✓ Corte con Hacha. Con el hacha la toma de muestras es algo más complicada por el trabajo que conlleva la obtención de gran cantidad de muestra. Por otro lado, es el sistema que menos calienta la muestras y cuyos resultados pueden ser más fiables.



Imagen 57.- Toma de muestras de tronco con hacha. [Fuente: Elaboración Propia]



Imagen 58.- Tronco tras ser atacado con el hacha para la toma de muestras. [Fuente: Elaboración Propia]



Imagen 59.- Análisis en laboratorio de las muestras tomadas con hacha. [Fuente: Elaboración Propia]

Después de una comparativa, se optó por el muestreo mediante rodajas cortadas con motosierra, no sólo por rapidez y representatividad, sino porque así se tomaba la sección completa del tronco. Es decir, se sacaba la humedad de toda la rodaja y no parte de ella. Esto se decidió porque se observó que las rodajas tenían diferentes humedades según se iba alejando o acercando al centro de la misma.



Imagen 60.- Medición de humedad en rodajas de tronco de pino. [Fuente: Elaboración Propia]

Con respecto a los resultados de la prueba, no se tienen los datos de pérdida de peso según báscula, ya que el producto se fue consumiendo conforme se iba triturando y los controles no se realizaron correctamente. Si se conoce la humedad de las rodajas del

tronco y la humedad del tronco una vez triturado que, debido al trasiego de producto, fricción en el molino, volteo, etc., no será la real pérdida por evaporación natural.

Tabla 132.- Medición de datos durante el almacenamiento prueba tronco de pino. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Medidas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo de Biomasa</b>	Pino en Rollo	Troncos
<b>Tiempo Residencia</b>	12 meses	
<b>Humedad Inicial</b>	34,94%	
<b>Humedad Final</b>	28,80%	
<b>Peso Inicial</b>	6.295.580 kg	
<b>Peso Final</b>	6.009.120 kg	Peso calculado
	-	Peso medido pesaje
<b>Variación de Temperatura</b>	30°C - 35°C	
<b>PCS Inicial</b>	4.690,17 kcal/kg	
<b>PCS Final</b>	4.504,07 kcal/kg	
<b>PCI Inicial</b>	2.898,42 kcal/kg	
<b>PCI Final</b>	2.992,50 kcal/kg	

Con respecto al PCI y PCS, el PCS ha bajado un poco seguramente debido a las inclemencias del tiempo que han degradado la parte superficial de la pila de troncos. Además del largo periodo de almacenamiento. El PCI ha aumentado un poco gracias a la pérdida de humedad. Esto hace que el balance sea negativo, influenciado por la alta pérdida de peso.

Tabla 133.- Balance energético obtenido en el almacenamiento prueba tronco de pino. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Variables Calculadas</b>	<b>Datos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Inicial Acopio</b>	18.247.234.983,6 kcal	
<b>Energía Final Acopio</b>	17.982.291.600,0 kcal	Según peso calculado
	-	Según peso medido pesaje
<b>Balance Energético</b>	Negativo	
<b>Peso Agua Evaporada</b>	286,46 Tm	
<b>Total Calor Consumido</b>	176.000.790,88 Kcal	Calor necesario evaporación
<b>Toneladas Equivalentes</b>	60,72 Tm	Ahorro en biomasa
<b>Precio Inicial Biomasa</b>	37,26 €/Tm	
<b>Precio Final Biomasa</b>	40,87 €/Tm	
<b>Ahorro Compra Biomasa</b>	Si	

#### 3.4.6.- Tablas resumen de resultados de los ensayos de campo

A continuación, se muestran 2 tablas con el resumen del registro de datos y resultados obtenidos en todas las pruebas que se han realizado y considerado válidas para su análisis.

Como se observa, la primera tabla corresponde a datos principales y medidos desde el inicio hasta el final del almacenamiento. Mientras que la segunda tabla corresponde a datos secundarios y calculados por medio de fórmulas o analíticas de laboratorio.

**Tabla 134.- Tabla resumen de los datos obtenidos de las pruebas de almacenamiento de biomasa realizadas.**  
**[Fuente: Elaboración Propia]**

Nº Prueba	Acopios	Producto	Fechas formación y consumo de acopios				Humedades		Tª Media Acopio (°C)	Pérdida de Peso por Humedad			Componente Herbácea
			Fecha Inicio Acopio	Fecha Final Acopio	Tiempo Residencia (Días)	Tiempo Residencia (Meses)	Humedad Media Entrada (%)	Humedad Fecha Consumo (%)		Toneladas Entrada Báscula (Tn)	Toneladas Finales (Tn)	Toneladas Finales según Báscula (Tn)	
6	B6. Pino		14-03-16	20-03-16	90	3,0	35,48%	21,17%	75,50	856,40	765,92	789,86	Bajo
7	B6. Pino		26-02-16	13-03-16	90	3,0	30,48%	13,91%	70,00	817,64	713,81	735,63	Bajo
8	B6. Pino		21-03-16	15-05-16	55	1,8	36,07%	26,81%	75,00	1.560,12	1.453,95	1.488,96	Bajo
9	B6. Pino		08-02-16	25-02-16	70	2,3	24,84%	19,62%	36,20	616,02	590,26	613,70	Bajo
10	B6. Olivo Trit.		17-03-16	28-03-16	56	1,9	25,04%	24,85%	65,00	1.010,02	1.008,49	1.006,00	Alto
11	B6. Olivo Trit.		14-04-16	18-04-16	31	1,0	22,99%	20,84%	65,00	279,42	274,52	230,98	Alto
12	B6. Olivo Trit.		26-04-16	28-04-16	30	1,0	21,39%	16,41%	45,00	785,74	753,51	769,93	Alto
13	B6. Olivo Trit.		29-01-16	01-03-16	136	4,5	28,73%	18,98%	87,00	899,16	831,02	847,50	Alto
14	B6. Olivo Trit.		23-05-16	29-05-16	28	0,9	20,10%	13,45%	68,00	728,42	688,09	726,13	Alto
15	B6.2 Sarmiento Vid Trit.		03-02-16	12-03-16	70	2,3	21,78%	20,25%	30,90	147,66	145,80	149,50	Bajo
16	B6.2 Sarmiento Vid Trit.		15-03-16	07-04-16	125	4,2	19,68%	10,58%	34,50	377,88	349,15	360,75	Bajo
17	B6.2 Restos de Podas Pretrit.		24-11-15	17-05-16	228	7,6	27,75%	12,89%	78,50	231,80	204,84	215,30	Muy Alto
18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.		03-06-14	25-02-15	522	17,4	19,20%	15,66%	25,00	1.550,23	1.504,19	1.521,65	Muy Bajo
19	B6. Chopo		28-10-15	13-01-16	164	5,5	27,62%	20,21%	65,00	741,98	698,88	672,93	Bajo
20	B6. Olivo Trit.		20-04-16	25-04-16	91	3,0	24,55%	16,43%	84,60	1.141,50	1.067,11	1.047,60	Alto
21	B6. Olivo Trit.		30-04-16	09-05-16	121	4,0	21,75%	9,57%	69,00	808,00	727,17	752,63	Alto
22	B6. Olivo Trit.		18-04-16	20-04-16	139	4,6	22,74%	11,63%	84,60	1.090,68	991,96	963,60	Alto
23	B6. Olivo Trit.		02-03-16	16-03-16	174	5,8	27,29%	20,71%	82,70	1.279,70	1.213,51	1.243,32	Alto
24	B6. Olivo Pretrit.		20-04-16	05-05-16	105	3,5	11,38%	11,36%	85,00	1.434,42	1.434,12	1.403,73	Medio
25	B6. Pino		16-05-16	08-06-16	70	2,3	30,68%	13,99%	35,00	1.013,56	884,07	880,00	Bajo
26	B6. Pino		09-06-16	24-06-16	78	2,6	20,26%	8,84%	60,00	1.078,88	976,41	973,09	Bajo
27	B6. Pino		15-09-15	13-10-15	94	3,1	35,64%	17,16%	35,00	777,74	671,78	677,29	Bajo
28	B6. Pino		31-03-16	25-04-16	128	4,3	37,35%	14,73%	67,50	852,20	711,87	703,93	Bajo
29	B6. Pino		09-12-15	13-01-16	109	3,6	19,17%	18,78%	49,00	541,14	539,37	535,60	Bajo
30	B6. Pino		26-11-15	08-12-15	104	3,5	21,00%	18,53%	47,00	784,80	768,78	722,33	Bajo
31	Hoja de Almazara Tritu		05-01-16	13-01-16	77	2,6	40,39%	40,01%	85,00	2.516,82	2.510,01	2.409,71	Muy Alto
32	Hoja de Almazara Tritu		17-02-16	02-03-16	40	1,3	34,72%	33,37%	60,00	1.021,14	1.010,87	831,20	Muy Alto
33	Hoja de Almazara Tritu		01-02-16	16-02-16	63	2,1	33,08%	32,94%	57,00	1.305,88	1.304,51	1.321,03	Muy Alto
34	Hoja de Almazara Sin Trit		05-01-16	18-01-16	120	4,0	32,40%	31,21%	76,70	901,00	892,88	924,00	Muy Alto
35	Hoja de Almazara Tritu		22-03-16	29-03-16	85	2,8	34,16%	32,50%	70,90	851,14	840,63	866,30	Muy Alto
36	Hoja de Almazara Tritu		30-03-16	05-04-16	83	2,8	37,58%	35,61%	73,90	974,76	960,77	904,47	Muy Alto
37	Hoja de Almazara Sin Trit		24-12-15	04-01-16	193	6,4	28,53%	19,38%	76,40	1.725,72	1.602,82	1.495,67	Muy Alto
38	Hoja de Almazara Sin Trit		04-11-16	21-12-16	122	4,1	40,84%	35,35%	80,00	1.355,36	1.302,55	1.222,92	Muy Alto
39	Hoja de Almazara Sin Trit		22-12-16	23-01-17	90	3,0	36,04%	28,50%	60,00	2.278,58	2.152,32	2.077,95	Muy Alto
40	Hoja de Almazara Sin Trit		24-01-17	19-03-17	69	2,3	24,70%	22,32%	60,00	1.435,28	1.407,83	1.385,87	Muy Alto
41	Hoja de Almazara Sin Trit		03-04-17	19-04-17	25	0,8	18,65%	13,83%	65,00	439,28	421,43	425,48	Muy Alto
42	B6. Chopo		07-06-16	31-07-16	68	2,3	15,97%	6,87%	38,00	156,72	144,42	131,33	Bajo
43	B6. Chopo		03-02-15	27-02-15	418	13,9	35,74%	24,19%	65,00	1.869,88	1.710,75	1.536,81	Bajo
44	B6. Chopo		01-12-16	19-12-16	194	6,5	39,45%	15,19%	36,30	144,72	119,54	115,20	Medio
45	B6.2 Poda Frutal		01-08-16	20-09-16	345	11,5	10,98%	7,61%	35,00	1.011,16	980,46	982,88	Bajo
46	B6.2 Poda Frutal		21-09-16	30-11-16	342	11,4	18,08%	12,00%	29,50	1.483,48	1.407,09	1.418,96	Bajo
47	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.		28-12-15	05-05-16	241	8,0	27,46%	10,58%	75,50	1.621,12	1.406,44	1.442,83	Bajo
48	B6.2 Sarmiento Vid Trit.		08-09-16	16-01-17	304	10,1	21,69%	14,77%	35,00	989,56	933,27	1.086,10	Medio
49	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.		27-06-16	07-11-16	436	14,5	22,58%	11,25%	30,00	570,50	517,79	580,00	Bajo
50	B6.2 Restos de Podas Pretrit.		04-08-16	31-08-16	264	8,8	10,65%	10,55%	35,00	171,68	171,52	154,60	Muy Alto
51	B6. Pino		01-08-16	07-08-16	215	7,2	13,34%	9,37%	40,00	828,70	799,67	750,39	Bajo
52	B6. Pino		04-07-16	12-07-16	261	8,7	29,62%	22,25%	31,00	831,52	784,21	787,28	Bajo
53	B6. Pino		20-07-16	25-07-16	266	8,9	19,88%	19,07%	45,00	956,30	949,84	853,20	Bajo
54	B6. Pino		13-07-16	19-07-16	291	9,7	29,62%	23,94%	45,00	1.019,72	975,06	977,20	Bajo
55	B6. Pino		27-06-16	31-07-16	318	10,6	15,61%	14,58%	40,00	1.466,62	1.453,55	1.450,05	Bajo
56	B6. Pino		05-09-16	25-09-16	260	8,7	12,12%	10,59%	45,00	1.180,80	1.164,69	1.174,66	Bajo
57	B6. Pino		08-08-16	23-12-16	398	13,3	16,07%	13,23%	60,00	2.671,54	2.606,06	2.476,22	Bajo
58	B6. Olivo Pretrit.		12-05-16	22-05-16	350	11,7	23,01%	11,50%	39,00	1.506,02	1.365,05	1.352,76	Medio
59	B6. Olivo Trit.		29-03-16	05-04-16	405	13,5	23,25%	18,10%	54,00	1.399,88	1.341,39	1.209,03	Alto
60	B6. Olivo Trit.		10-04-17	19-04-17	38	1,3	18,96%	17,05%	55,00	1.272,14	1.251,66	1.269,60	Alto
61	B6. Olivo Trit.		10-05-16	01-06-16	391	13,0	25,58%	13,88%	30,00	1.574,34	1.427,60	1.465,80	Alto
62	B6. Olivo Pretrit.		12-04-16	09-06-16	452	15,1	11,38%	11,29%	45,00	1.625,82	1.624,51	1.393,20	Medio
63	B6. Olivo Trit.		21-02-17	06-03-17	187	6,2	28,97%	17,63%	72,70	462,64	421,94	419,41	Alto
64	Orujillo		20-11-14	08-02-15	476	15,9	14,84%	14,10%	35,00	3.580,58	3.557,53	3.575,00	Muy Bajo
65	Orujillo		30-03-16	21-06-16	354	11,8	10,00%	8,64%	30,00	2.192,86	2.165,75	2.193,90	Muy Bajo
66	Orujillo		12-04-17	21-04-17	129	4,3	10,00%	8,18%	50,00	1.318,10	1.296,29	1.316,33	Muy Bajo
67	Orujillo		25-04-16	12-06-16	50	1,7	18,70%	15,00%	30,00	2.900,38	2.809,97	2.900,38	Muy Bajo
68	Pino en Rollo		15-06-17	24-03-18	362	12,1	34,94%	28,80%	35,00	6.295,58	6.009,12	5.752,67	Muy Bajo

Tabla 135.- Tabla resumen de los datos obtenidos de las pruebas de almacenamiento de biomasa realizadas.  
[Fuente: Elaboración Propia]

Nº Prueba	Acopios Producto	Poder Calorífico				Sumo Calorífico Bio Calor Total Consumido H2O Biomasa Entrada (KWh)	Ahorro en calor Ton biomasa equivalentes no consumidas	Balance de Energía Ganancia de Energía según Entrada (Kcal)
		PCS base seca Entrada (kcal/kg)	PCS base seca Final Almac. (kcal/kg)	PCI base húmeda Entrada (kcal/kg)	PCI base húmeda final Almac. (kcal/kg)			
6	B6. Pino	4.763,80	4.632,53	3.364,61	3.328,26	64.650,66	16,52	-252.599,69
7	B6. Pino	4.763,80	4.816,63	3.364,61	3.846,80	74.194,45	18,96	78.796,03
8	B6. Pino	4.686,14	4.524,87	2.858,42	2.962,50	75.864,28	22,82	-48.424,97
9	B6. Pino	4.680,59	4.710,71	3.255,72	3.467,72	18.405,27	4,86	122.553,18
10	B6. Olivo Trit.	4.592,17	4.430,58	3.075,79	2.984,90	1.096,64	0,31	-103.796,66
11	B6. Olivo Trit.	4.509,24	4.532,55	3.070,54	3.264,90	3.498,37	0,98	-103.854,63
12	B6. Olivo Trit.	4.395,70	4.472,36	3.179,56	3.430,32	23.033,29	6,23	142.806,53
13	B6. Olivo Trit.	4.589,31	4.391,22	2.956,41	3.418,92	48.687,25	14,16	239.249,08
14	B6. Olivo Trit.	4.614,13	4.027,68	3.460,25	3.187,66	28.819,82	7,16	-205.850,19
15	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	4.205,81	4.287,70	2.831,61	3.098,61	1.329,92	0,40	45.125,91
16	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	4.301,63	4.286,75	3.011,61	3.544,15	20.527,91	5,86	140.533,75
17	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	4.372,08	4.253,16	3.508,01	3.414,24	19.266,47	4,72	-78.071,92
18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	4.400,00	4.410,74	3.167,72	3.414,58	32.896,82	8,93	285.104,80
19	B6. Chopo	4.467,71	4.326,82	2.825,05	3.132,53	30.797,66	9,37	11.849,97
20	B6. Olivo Trit.	4.680,59	4.472,36	3.255,72	3.429,37	53.154,57	14,04	-123.796,06
21	B6. Olivo Trit.	4.398,57	4.521,58	3.364,85	3.804,31	57.759,10	14,76	144.452,96
22	B6. Olivo Trit.	4.389,23	4.452,30	3.044,48	3.645,47	70.543,34	19,92	192.218,23
23	B6. Olivo Trit.	4.553,63	4.502,17	2.888,59	3.255,19	47.292,30	14,08	350.720,61
24	B6. Olivo Pretrit.	4.416,14	4.394,97	3.622,18	3.611,12	214,72	0,05	-126.696,11
25	B6. Pino	4.686,14	4.694,89	2.858,42	3.735,55	92.524,66	27,83	390.103,82
26	B6. Pino	4.717,43	4.697,55	3.440,95	3.998,36	73.222,38	18,30	178.403,12
27	B6. Pino	4.448,73	4.500,44	2.448,14	3.412,32	75.714,55	26,59	407.110,42
28	B6. Pino	4.448,73	4.587,18	2.439,14	3.612,24	100.273,97	35,35	464.141,59
29	B6. Pino	4.716,53	4.701,05	3.440,05	3.497,15	1.265,43	0,32	11.513,05
30	B6. Pino	4.616,53	4.661,54	3.440,95	3.482,81	11.447,25	2,86	-184.723,02
31	Hoja de Almazara Tritu	4.725,23	4.546,46	2.328,92	2.346,11	4.867,77	1,80	-208.034,74
32	Hoja de Almazara Tritu	4.953,22	4.843,26	2.721,10	2.862,06	7.338,77	2,32	-399.679,78
33	Hoja de Almazara Tritu	4.737,32	4.479,88	2.604,09	2.641,45	981,63	0,32	88.813,57
34	Hoja de Almazara Sin Trit	4.845,27	4.249,84	2.551,70	2.567,63	5.802,69	1,96	73.405,34
35	Hoja de Almazara Tritu	4.815,26	4.594,71	2.651,17	2.741,07	7.510,07	2,44	118.074,99
36	Hoja de Almazara Tritu	4.985,93	4.891,21	2.587,31	2.774,53	9.998,62	3,32	-12.535,47
37	Hoja de Almazara Sin Trit	4.895,16	4.702,29	3.226,94	3.476,01	87.816,44	23,40	-369.841,45
38	Hoja de Almazara Sin Trit	4.761,84	4.666,22	2.427,96	2.643,60	37.734,09	13,36	-57.846,74
39	Hoja de Almazara Sin Trit	5.138,80	4.618,94	2.913,23	2.957,94	90.218,37	26,63	-491.585,06
40	Hoja de Almazara Sin Trit	4.716,51	4.485,74	3.359,87	3.157,37	19.615,04	5,02	-446.666,25
41	Hoja de Almazara Sin Trit	4.379,90	4.576,58	3.527,71	3.644,12	12.751,21	3,11	847,73
42	B6. Chopo	4.467,71	4.331,41	3.447,75	3.756,84	8.787,21	2,19	-46.934,31
43	B6. Chopo	4.488,38	4.265,34	2.896,55	2.903,51	113.703,10	33,75	-954.064,30
44	B6. Chopo	4.509,04	4.464,42	2.345,35	3.482,00	17.990,02	6,60	61.707,73
45	B6.2 Poda Frutal	4.464,57	4.379,54	3.684,38	3.767,12	21.939,96	5,12	-22.866,84
46	B6.2 Poda Frutal	4.353,92	4.352,39	3.253,28	3.534,39	54.580,77	14,43	188.982,22
47	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	4.301,63	4.286,75	3.011,61	3.544,15	153.395,37	43,80	231.428,16
48	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	4.314,57	4.123,00	3.053,25	3.207,48	40.219,64	11,33	462.267,00
49	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	3.904,19	4.182,51	2.694,25	3.421,41	37.665,46	12,02	447.349,34
50	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	4.201,58	4.240,46	3.569,24	3.504,77	114,56	0,03	-70.926,69
51	B6. Pino	4.639,84	4.709,12	3.722,98	3.933,82	20.741,27	4,79	-133.350,07
52	B6. Pino	4.688,86	4.595,74	2.948,04	3.245,12	33.805,97	9,86	103.453,43
53	B6. Pino	4.443,59	4.632,78	3.240,83	3.432,78	4.617,04	1,22	-170.354,99
54	B6. Pino	4.688,86	4.513,69	2.948,04	3.102,53	31.910,46	9,31	25.620,22
55	B6. Pino	4.610,25	4.634,28	3.779,36	3.809,89	9.336,63	2,12	-18.361,22
56	B6. Pino	4.634,42	4.536,88	3.778,73	3.767,99	11.513,71	2,62	-35.817,25
57	B6. Pino	4.589,63	4.376,19	3.545,12	3.654,83	46.790,18	11,35	-420.755,78
58	B6. Olivo Pretrit.	4.230,91	4.291,67	3.243,29	3.707,01	100.727,32	26,70	130.233,54
59	B6. Olivo Trit.	4.539,15	4.260,39	3.188,85	3.175,40	41.796,69	11,27	-624.843,95
60	B6. Olivo Trit.	4.541,46	4.503,71	3.364,13	3.425,57	14.633,00	3,74	69.459,33
61	B6. Olivo Trit.	4.469,59	4.045,76	2.987,94	3.179,37	104.852,84	30,17	-43.716,58
62	B6. Olivo Pretrit.	4.416,14	4.434,82	3.622,18	3.642,79	938,73	0,22	-813.880,45
63	B6. Olivo Trit.	4.559,48	4.484,48	2.888,59	3.383,02	29.079,69	8,66	82.505,29
64	Orujillo	4.759,56	4.766,13	3.700,50	3.794,47	16.468,19	3,83	315.293,96
65	Orujillo	4.890,65	4.889,91	4.155,50	4.185,29	19.372,60	4,01	69.678,00
66	Orujillo	4.700,50	4.651,91	4.110,11	4.140,47	15.583,24	3,26	32.693,02
67	Orujillo	4.700,51	4.651,91	4.110,11	4.140,47	64.600,61	13,51	88.055,54
68	Pino en Rollo	4.690,17	4.504,07	2.898,42	2.992,50	204.688,83	60,72	-1.032.370,01

### 3.4.7.- Resultados. Análisis y discusión

Una vez se han realizado las pruebas y ensayos de campo, el siguiente paso es analizar los resultados. En este apartado, se va a analizar el comportamiento de cada producto en las diferentes condiciones en las que se han almacenado.

#### 3.4.7.1.- Poda de Olivar Triturada

Como ya se ha comentado anteriormente, la poda de olivo triturada es un producto con alto contenido herbáceo y granulometría pequeña, lo que favorece al auto-calentamiento y a la fermentación. Por lo que, su almacenamiento debe de ser muy controlado ya que su estado y progresión va a depender mucho de las condiciones iniciales de humedad y tamaño.

Tras la realización de las pruebas y ensayos con este producto, se han obtenido las siguientes observaciones:

- Humedades superiores a 20% generan aumentos de temperatura por encima de 80°C.
- Humedades bajas permiten el almacenamiento de acopios de más tamaño. No superando las 1.000 - 1.200 toneladas.
- Acopios en los que la temperatura ha sido alta se ha producido una reducción del PCS.
- A partir de los 2 meses de almacenamiento, el ratio de pérdida de humedad se reduce considerablemente. Por lo que, lo más probable es que, a partir de ese periodo, continuar almacenando esta biomasa genere mayores pérdidas y degradación en la misma.
- Cuanto mayor es el acopio, mayor es la temperatura alcanzada en el interior, ya que el aire no llega hasta el interior para refrigerarlo.
- En acopios de tamaño por encima de 800 Tm, el ratio de pérdida de humedad se reduce y aumenta la temperatura.
- Los meses en los que se produce mayor pérdida de humedad son entre mayo y agosto.
- Acopios pequeños y de alta humedad pierden mucho peso en poco tiempo, debido al secado y pérdida de humedad. Esta pérdida de peso no es proporcional a la ganancia de PCI por lo que el balance energético puede ser negativo.
- Si además el acopio es grande y aumenta la temperatura, se produce degradación de la biomasa, que se observa en el descenso de PCS.
- Pequeña granulometría hace que la pérdida de humedad y la refrigeración del acopio sea menor.
- La composición herbácea del producto incrementa la acción de las bacterias, es decir, la fermentación.

A partir de estas observaciones, se pueden deducir una serie de actuaciones para la realización de un almacenamiento óptimo de este tipo de biomasa:

- La poda de olivo triturada con una humedad por debajo del 20% se puede almacenar durante 2 meses sin que la degradación del producto sea significativa. A partir de este tiempo la degradación se intensifica y comienza a ser relevante.
- Se debe almacenar en acopios no superiores a 800 Tm de tamaño. Si el producto está bastante seco, se podrán realizar los acopios algo superiores.
- Si la humedad del producto es superior a 20% conviene hacer los acopios menores de 700 Tm de tamaño.
- En la mayoría de los casos, a partir de los 2 meses el PCS se degrada, por lo que se pierde energía y materia seca. No se aconseja tener almacenado este producto pasado ese periodo.
- En acopios superiores a 800 Tm la temperatura sube rápidamente y se mantiene por encima de los 80°C, sobre todo si la humedad inicial es alta. Esto genera mayor degradación y mayor riesgo de incendio.
- La realización de acopios más estrechos permite que el aire entre hasta el interior del acopio y haya una mayor aireación del mismo.

#### *3.4.7.2.- Poda de Olivar Pretriturada*

Con respecto a la poda de olivo pretriturada, tal y como se comenta en el estado del arte, almacenar la biomasa con una granulometría mayor permite hacer acopios más grandes y favorece a la refrigeración del acopio.

Esta biomasa, debe ser triturada para su uso final, por lo que lo ideal sería triturarla justo antes de su consumo o uso final. Ya que, si se tritura y luego se almacena, a no ser que la biomasa esté bastante seca, se puede producir un aumento de humedad y el deterioro que todo esto conlleva. Además, de las pérdidas y deterioros que se generan durante la manipulación y trituración del producto.

De las pruebas realizadas con este tipo de producto se han realizado una serie de observaciones:

- Acopios de humedades por debajo del 15% de humedad apenas pierden humedad.
- Para humedades por encima del 20 – 25% la pérdida de humedad es bastante grande.
- En acopios grandes, el ratio de pérdida de humedad se reduce bastante, mientras que en acopios de entre 800 – 1.000 Tm el ratio de pérdida de humedad es mayor cuanto mayor es la humedad inicial.
- El ratio de pérdida de humedad va disminuyendo conforme aumenta el periodo de almacenamiento.

- En acopios grandes las temperaturas aumentan hasta casi los 80°C, mientras que en acopios más pequeños la temperatura no pasa de 60°C.
- En acopios más pequeños, la degradación es mucho menor que en grandes, aunque por lo general la degradación que se produce en este producto con esta granulometría es bastante baja, a no ser que se almacene por mucho tiempo o que esté muy húmeda.
- Si se almacena durante más de 1 mes después de ser triturada, se pueden producir problemas de fermentación y auto-calentamiento si la humedad no es del todo baja. (*Parechyma*)
- La entrada de aire al interior del acopio es mucho más fácil debido a su mayor granulometría, por lo que la aireación es mucho mayor. Esto permite la realización de acopios más grandes.
- Es muy difícil que se produzca auto-calentamiento pero, en el momento que se produzca, es muy peligroso ya que tiene una gran entrada de aire al interior del acopio, que intensifica el proceso de combustión espontánea.

Como datos relevantes para la actuación o realización del almacenamiento de esta biomasa, se pueden detallar que:

- Se puede almacenar poda de olivar pretriturada entre 3 – 4 meses sin que se produzca una degradación significativa.
- Consumirla una vez sea triturada o como mucho en el periodo de 1 mes posterior a la trituración.
- Hacer acopios no más grandes de 1.000 Tm para favorecer el secado y aireación del acopio.
- Se pueden hacer acopios de más de 1.000 Tm sin que se produzcan problemas de auto-calentamiento, siempre que la humedad no sea alta.
- A partir del 25% de humedad los acopios se deben realizar inferiores a 800 Tm.

#### 3.4.7.3.- Pino

El pino, por regla general, suele ser un producto muy leñoso, aunque a veces viene acompañada de acícula (hoja de pino) que le da una cierta componente herbácea. Su humedad en el momento de la poda suele ser alta por lo que su almacenamiento recién triturado debe ser medido y controlado.

De las pruebas realizadas con esta biomasa se han realizado las siguientes observaciones:

- A partir del 30% de humedad el pino no se puede tener almacenado más de 2 meses. Por encima de esa humedad, un mayor tiempo de residencia produce pérdidas de PCS.
- Si la humedad está por debajo del 30% de humedad, se puede llegar a almacenar hasta durante 3 meses.

- A partir de los 3 meses se empiezan a producir degradaciones y pérdidas de PCS considerables, sobre todo en acopios por encima del 30% de humedad.
- Cuanto mayor es la humedad inicial, mayor es el ratio de pérdida de humedad en los primeros 3 meses.
- A partir de los 3 meses el ratio de pérdida de humedad disminuye.
- Por lo general, los acopios con más del 30% de humedad se calientan hasta temperaturas de 75°C y superiores.
- Los acopios de más de 1.000 Tm y de humedad alta pueden llegar hasta los 90°C, dependiendo de la humedad.
- A humedades inferiores las temperaturas se mantienen entre 35°C y 50°C, aproximadamente.
- A temperaturas medias-altas se produce fermentación, sobre todo en pino que contienen gran cantidad de acícula (aumento en el contenido herbáceo).
- El pino tiene un ratio de pérdida de humedad alto, el cual se incrementa o se reduce en función del tamaño del acopio.
- En acopios de más de 1.000 Tm las pérdidas de humedad son menores.
- Los acopios pequeños y húmedos tienen un mayor ratio de humedad en los 3 primeros meses.
- Normalmente, el pino suele suministrarse con granulometrías entre 5 y 25 centímetros de tamaño. Esto supone que los tamaños de los acopios no pueden ser grandes por la falta de aireación y refrigeración causada por la pequeña granulometría.
- El acopio puede ser más grande cuanto mayor sea la granulometría.
- Acopios mayores ya no refrigeran de la manera adecuada y se degradan.
- Al ser el pino un producto leñoso, si se tiene almacenado un largo periodo de tiempo y se pierde mucha humedad, la pérdida de peso va a ser muy grande y no se va a corresponder con la ganancia de PCI del acopio, perjudicando el contenido energético del mismo.
- La presencia de componente herbácea incrementa el auto-calentamiento en las primeras semanas.
- En los meses de primavera – verano es cuando se tienen ratios de secado más altos.

Por lo tanto, y siguiendo estas deducciones, se pueden llegar a sacar una serie de indicaciones para la realización de acopios de pino de la manera más segura y efectiva para el secado natural:

- El pino con una humedad del 30% debe ser almacenado en acopios inferiores a 800 Tm.
- Acopios con humedades aproximadas al 20% pueden almacenarse hasta 1.000 Tm.

- El tiempo máximo de residencia para almacenar pino no debe sobrepasar de 3 meses. A partir de 3 meses, aunque el pino se almacenara en buenas condiciones, empiezan a aumentar el ratio de degradación.
- Si es posible, se deben separar pinos que contengan componente herbácea de los que no (acícula).
- Acopios de pino con acícula se deben consumir con prioridad para evitar fermentaciones y auto-calentamientos.

#### 3.4.7.4.- Chopo

El chopo es un producto poco denso y poroso, lo que facilita su almacenamiento debido a su alta capacidad de secado. Según lo observado en las pruebas realizadas se puede deducir lo siguiente:

- El ratio de pérdida de humedad es mayor cuanto más pequeño es el acopio.
- Se produce degradación y pérdida de PCS/PCI a partir de los 2 meses de almacenamiento.
- Para humedades por encima del 25%, las temperaturas interiores aumentan hasta los 65°C.
- Cuanto mayor es el acopio mayor es la pérdida de humedad, pero también es mayor la pérdida de peso, lo que afecta negativamente al balance energético.
- En acopios superiores a 1.200 Tm se reduce considerablemente la refrigeración y secado.
- Por debajo de las 1.000 Tm la fermentación y degradación es muy pequeña. Dependerá de la humedad con la que se almacene la biomasa.
- En acopios grandes la pérdida de humedad no es tan grande y no afecta tanto al balance energético.
- Humedad inicial normalmente muy alta, pero se pierde bastante humedad en el primer mes.
- Si la componente herbácea es alta (hojas, fibras, cortezas) aumenta la fermentación, sobre todo en acopios más húmedos.
- Al tener un PCI normalmente bajo, la porosidad del chopo y, por lo tanto, la alta pérdida de humedad y peso que se suele generar, hacen que el balance energético del acopio se vea muy afectado negativamente.
- Granulometría normalmente pequeña, entre 5 – 25 centímetros, que favorece a la pérdida de humedad, debido a la porosidad del chopo, además de a la refrigeración en acopios pequeños y medianos.

Teniendo en cuenta estas deducciones, las pautas a seguir para el almacenamiento óptimo de este producto serían:

- Si el chopo tiene más de 25% de humedad se almacenará en acopios inferiores a 700 Tm.

- A bajas humedades se puede hacer acopios grandes, hasta 1.200 - 1.500 Tm.
- Intentar separar chopo con contenido herbáceo de los que son más leñosos.
- No almacenar el acopio más de 2 meses, sobre todo si la humedad es alta.
- Consumir con rapidez ya que la baja densidad de producto hace que tenga una gran pérdida de peso y que afecte al balance energético.

#### *3.4.7.5.- Hoja de Almazara*

La hoja de almazara es un producto muy complicado de almacenar y muy peligroso, debido a su alta humedad, alto contenido herbáceo, baja granulometría. Principales factores para la degradación de la biomasa y el auto-calentamiento.

Según los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se observa que:

- Para humedades por encima del 15% - 20%, la temperatura del acopio asciende por encima de los 80°C en las primeras semanas.
- Descomposición de la biomasa muy rápida. Depende en mayor medida de la humedad.
- Cualquier tamaño de acopio es problemático, sobre todo si se superan las 400 Tm.
- Apenas se genera pérdida de humedad durante el almacenamiento.
- Granulometría muy baja, con lo que el acopio no se refrigera.
- Si la hoja está sin triturar, la problemática es algo menor.
- Si se almacena la hoja justo después de su triturado, se dispara el auto-calentamiento y la fermentación del acopio.
- PCI muy bajo, con lo que, si esta biomasa se degrada con rapidez, la pérdida de energía en el acopio va a ser muy rápida.
- Producto normalmente sucio o con alto contenido en inorgánicos como sales, tierra, piedras. Además de otros contaminantes como plásticos, metales, etc.
- No se puede tener almacenada más de 1 mes.

Como se puede observar, esta biomasa es complicada de gestionar y peligrosa, lo que hace que se tengan que tomar medidas de actuación rápidas sobre estos acopios. Dentro de esas medidas para realizar acopios de este producto de la manera más adecuada posible, se pueden destacar:

- Consumo inmediato
- Si hace falta triturar, hacerlo justo antes de su consumo.
- Hacer acopios lo más pequeños posibles que permitan algo de aireación y manipulación en caso de temperaturas extremas.
- Intentar separar la hoja más seca de la más húmeda para reducir el auto-calentamiento.
- Acopios localizados y separados del resto de biomásas, para evitar contaminaciones y problemas en otros acopios de otras biomásas.

#### 3.4.7.6.- Sarmiento de Vid

El almacenamiento del sarmiento de vid tiene algunas menos dificultades debido a su bajo contenido herbáceo y baja humedad, por regla general. Si es verdad que suele ser más sucio y que la presencia de metales en el interior del acopio hace que, en algunas ocasiones, algunos puntos del acopio se puedan volver problemáticos.

Tras realizar varias pruebas con este producto, se deduce:

- Humedades por debajo del 20%, normalmente.
- Humedades por encima del 25% hacen que la temperatura del acopio aumente a valores óptimos para la proliferación de las bacterias. Entre 45°C - 60°C
- A humedades bajas se pueden hacer acopios de hasta 800 Tm.
- El sarmiento sin triturar permite realizar acopios superiores a las 800 Tm. A partir de 1.000 - 1.100 Tm las temperaturas del interior del acopio aumentan considerablemente, al igual que la degradación y la fermentación. Debido a la falta de aireación.
- Producto de baja densidad, lo que ayuda a su refrigeración.
- Acopios de sarmiento triturado mayores de 700 - 800 Tm reducen la aireación y refrigeración del acopio.
- Mayor posibilidad de que contenga elementos contaminantes como metales, plásticos, tierra, piedras. Estos elementos, sobre todo los metales, aumentan las reacciones de oxidación dentro del acopio. Por lo que, en presencia de estos elementos, la degradación y aumento de temperatura es mucho más rápida y exponencial.
- Si el sarmiento es de granulometría grande (pretriturado) se puede llegar a tener almacenado entre 4 y 6 meses sin que exista mucha variación en sus características físico - químicas, siempre y cuando las humedades sean bajas.
- En el caso de sarmiento triturado a partir de 3 - 4 meses se empieza a notar en consideración la degradación del producto.
- A mayor humedad menor será el tiempo óptimo de almacenamiento.
- Es un producto con PCI medio - bajo y un contenido alto de humedad reduce su PCI considerablemente.

Por lo tanto, para realizar un buen almacenamiento de sarmiento de vid se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Realizar acopios no mayores a 800 Tm.
- Tiempo de residencia en el parque no mayor a 3 - 4 meses.
- En el caso de producto más seco y pretriturado se puede tener almacenado hasta los 6 meses, aproximadamente.
- Si hay que triturarlo hacer justo antes del consumo. Para evitar aumento de humedad, temperatura y degradación.

- Control de contaminantes en el producto antes de su almacenamiento.

#### 3.4.7.7.- Ceba de viña

Este producto no es muy utilizado ya que es un producto muy sucio, con muchos contaminantes como piedras, tierra, alambres, plásticos. Más sucio que el sarmiento. Esto hace que sea un producto problemático para el proceso productivo de plantas objeto del estudio y que necesite mucha manipulación y cuidado para su correcto estado.

De las pruebas realizadas con esta biomasa, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Producto muy seco, por regla general. Por debajo del 15%.
- Producto muy leñoso y componente herbácea muy baja, por lo que a humedades medias - bajas apenas existe fermentación y degradación.
- No se suelen superar los 35°C - 40°C en el interior del acopio.
- La presencia de contaminantes es la que hace que la degradación y la temperatura aumenten considerablemente, sobre todo en acopios grandes.
- En este producto, la relación metales - humedad - granulometría juegan un papel importante, ya que el aumento o disminución de alguna de ellas afecta en gran medida al tamaño y tiempo de almacenamiento del acopio.
- Se puede tener almacenado un acopio más de 4 - 5 meses sin que se alteren sus condiciones iniciales.
- A partir de humedades del 25% se produce un aumento considerable de la temperatura en las primeras semanas de almacenamiento.
- Se pueden hacer acopios superiores a 1.000 - 1.200 Tm, siempre y cuando la humedad sea baja.
- Normalmente, es necesario triturarlo por lo que se debe hacer justo antes de su uso o consumo, sobre todo si el producto está húmedo.

Pautas importantes para realizar acopios con este tipo de biomasa son:

- Limpieza de contaminantes. Importante.
- Acopios de alrededor de 1.000 Tm.
- No tiene importancia que se almacene triturado o pretriturado, siempre y cuando la humedad sea baja.
- No más de 6 meses de almacenamiento.

#### 3.4.7.8.- Poda de Frutal

Como ya se ha dicho anteriormente, la poda de frutal es un buen combustible tanto para su uso y consumo, como para su almacenamiento.

Teniendo en cuentas las características de esta biomasa y las pruebas realizadas, se ha realizado una serie de deducciones de cómo han transcurrido las pruebas de almacenamiento de la misma:

- Producto seco. Por debajo del 20%.
- Es muy poroso y leñoso, con densidad baja, lo que hace que pierda la humedad con rapidez.
- La temperatura se mantiene baja durante todo el almacenamiento ( $\approx 35^{\circ}\text{C}$ ). Puede aumentar un poco en las primeras semanas si la humedad es más alta.
- La baja densidad también hace que no se compacte el acopio por su propia columna de peso y que la aireación del acopio sea mayor.
- Se pueden hacer acopios grandes de más de 1.200 Tm, incluso con productos algo más húmedos (25%). Aunque el ratio de evaporación y refrigeración disminuye.
- No se notan cambios significativos en la composición y estado del producto hasta que no pasan los 5 - 6 meses de almacenamiento.
- Su componente herbácea es muy baja lo que disminuye en gran medida la fermentación y descomposición.
- Cuanto mayor sea la granulometría más grande se puede realizar el acopio, aunque si la humedad es baja, la granulometría no va a afectar en demasía a la evolución del acopio durante el almacenamiento.
- Si la humedad es alta y el producto se almacena recién triturado, puede generar problemas de auto-calentamiento.

Con estas consideraciones, se puede concluir que se debe hacer para realizar un almacenamiento óptimo con esta biomasa:

- Acopios grandes de 1.000 - 2.000 Tm. Siempre que la humedad esté por debajo del 25%.
- No almacenar más de 6 meses.
- Se puede almacenar indistintamente triturado o pretriturado. Al triturado le afectara algo más que la humedad sea mayor al 20%. También aumentará la temperatura en las primeras semanas de almacenamiento.

#### *3.4.7.9.- Restos de Podas*

Esta biomasa engloba aquellas biomásas como restos de jardinería, residuos hortícolas, podas de árboles, arbustos, etc. Como se puede observar, todos son biomásas muy herbáceas y, por lo tanto, muy complicadas de almacenar para largos periodos de tiempo.

En este caso, con las pruebas y ensayos que se han realizado se ha deducido lo siguiente:

- Producto muy herbáceo y húmedo. Humedades por encima del 25% - 30%.

- En almacenamientos superiores a las 300 - 400 Tm, la refrigeración del acopio disminuye exponencialmente y se dispara la degradación y calentamiento del mismo.
- En las primeras semanas se pueden alcanzar temperaturas de hasta los 80°C.
- A partir del primer mes del almacenamiento ya existe una alta descomposición y fermentación en el acopio, debido a su alto contenido herbáceo y su alta humedad.
- Producto con alto contenido en sales y contaminantes (plástico, alambres) que aceleran los procesos de oxidación sobre todo cuando la temperatura aumenta de los 60°C.
- Tiene un poder calorífico bajo, por lo que si se le suma la alta humedad y la fermentación, cuanto mayor sea el tiempo de almacenamiento del producto, menor será su PCI y PCS.
- Producto que necesita ser triturado.
- Aunque se almacene pretriturado, la descomposición y degradación van a ser altas.

Este tipo de biomasa se debe almacenar teniendo en cuenta las siguientes puntualizaciones:

- Triturar antes de su consumo, para reducir la degradación y fermentación.
- Acopios no superiores a 300 Tm.
- Consumir casi de inmediato. En 1 - 2 mes lo más tardar.
- Tener cuidado con la suciedad de la biomasa, ya que acelera el aumento de temperatura y descomposición.

#### *3.4.7.10.- Orujillo*

El orujillo, al ser un producto muy granulado, homogéneo, de muy baja granulometría y, normalmente, bastante seco, es fácil de almacenar. De las pruebas realizadas con esta biomasa, se han obtenido las siguientes deducciones:

- Se pueden realizar acopios de grandes cantidades. Pudiendo compactar los acopios para tener el máximo producto almacenado en el menor espacio posible.
- Humedades por debajo del 15%.
- Si la humedad está por encima del 15%, se empiezan a tener problemas de auto-calentamiento.
- Se puede tener almacenado durante un gran periodo de tiempo, siempre y cuando se almacene seco.
- Con el paso del tiempo, las capas superficiales se van agrietando y les entra agua y aire por las mismas, generando auto-calentamientos en esas zonas. Por lo

tanto, la evolución del acopio puede estar muy influenciado por las inclemencias del tiempo.

- Componente herbácea muy baja, por lo que la descomposición es mínima. Se suelen mantener su PCS y PCI.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, para realizar un buen almacenamiento de orujillo hay que:

- Orujillo por encima del 15% de humedad, se almacenará en acopios pequeños.
- Acopios grandes tienen mayor dificultad de actuación y acceso sobre ellos.
- Protegerlos ante las inclemencias del tiempo realizando trabajos como:
  - o Taludes lo más rectos posible para que el agua no empape el talud, no se meta por las grietas y caiga al suelo directamente.
  - o Colocar el lateral del acopio más corto donde azota el viento dominante, para reducir la entrada de aire al interior del acopio.
- No se aconseja tener almacenado el orujillo más de un año, sobre todo los acopios más grandes, ya que las partes más internas empiezan a descomponerse y a carbonizarse, perdiendo el orujillo gran parte de sus características físico-químicas.

#### 3.4.7.11.-Hueso

Aunque no se han realizado muchas pruebas con hueso, si se pueden sacar algunas conclusiones de su almacenamiento como pueden ser:

- El hueso pierde rápidamente su humedad, por lo que es bueno voltearlo para secarlo y refrigerarlo.
- Humedad inicial media-alta, alrededor de 25%.
- Si no se voltea, debido a su humedad inicial, puede llegar a recocerse y perder propiedades.
- Muy leñoso, por lo que, difícilmente fermenta. Puede fermentar con facilidad si va acompañado de pulpa y pellejo de aceituna.
- Se puede almacenar en grandes cantidades, siempre y cuando se tenga en cuenta la humedad.
- Debido a su uso comercial, no se tiene almacenado durante largos periodos de tiempo. Tampoco es aconsejable tenerlo almacenado más de 1 año.
- Si se mantiene seco, apenas pierde propiedades en periodos de almacenamiento largos (no más de 1 - 2 años).

**Tabla 136.- Tabla resumen de las pruebas de acopios de biomasa realizados por tipo de producto. [Fuente: Elaboración Propia]**

<b>Producto</b>	<b>Nº Pruebas</b>	<b>Tiempo Medi de Residencia (días)</b>	<b>Humedad inicial media (%)</b>	<b>Humedad final media (%)</b>	<b>Temp. Media (°C)</b>	<b>Peso Medio Inicial (kg)</b>	<b>Peso Medio final (kg)</b>	<b>PCI Medio Inicial (Kcal/kg)</b>	<b>PCI Medio Final (Kcal/kg)</b>
<i>Principales Productos Testeados</i>									
<b>Pino</b>	19	170,41	25,13%	16,86%	50,36	1.050,22	977,91	3.228,40	3.546,50
<b>Poda Olivo Trit</b>	15	140,54	23,95%	16,90%	66,35	979,36	919,35	3.132,70	3.313,30
<b>Hoja de Olivo</b>	12	87,91	32,83%	29,55%	69,54	1.345,91	1.260,42	2.809,10	2.892,00
<i>Adicionales Productos Testeados</i>									
<b>Sarmiento de Viña</b>	5	235,20	22,64%	13,49%	41,18	741,34	723,84	2.920,50	3.363,20
<b>Chopo</b>	5	211,00	29,70%	16,61%	51,08	728,33	614,07	2.878,70	3.318,70
<b>Poda de Frutales</b>	4	294,75	16,87%	10,76%	44,5	724,53	692,94	3.503,70	3.555,10
<b>Orujillo</b>	4	252,25	13,38%	11,48%	36,25	2.497,98	2.496,40	4.019,10	4.065,20
<b>Poda Olivo Pret</b>	3	302,33	15,26%	11,38%	56,33	1.522,09	1.383,23	3.495,90	3.653,60

### **3.5.- Resumen y conclusiones del capítulo**

Existen muchos tipos de biomasa, cada una con sus peculiares características. Dentro de cada tipo de biomasa también varían las características de la misma, lo que hace que la gestión de su almacenamiento sea bastante complicada. De las biomásas utilizadas en este estudio, aquellas que generan menos problemas o aquellas cuya degradación de sus características iniciales es menor durante su almacenamiento son las más leñosas tipo pino, chopo, poda de frutal, cepa de viña. Sin embargo, también se ven afectadas por la forma de realizar los acopios y el tamaño de los mismos. El tamaño puede ser más variable pero la forma ideal para almacenar la biomasa es siguiendo la estructura de un prisma trapezoidal con la base superior lo más estrecha posible, para favorecer la circulación del aire de fuera a dentro y de abajo a arriba.

Con las pruebas de campo realizadas, se ha corroborado que la humedad es el factor más influyente en la biomasa durante su almacenamiento, tal y como indican la mayoría de los estudios. Pero el efecto de la humedad va a estar muy condicionado por el tipo de biomasa, características físicas y por como se realice el almacenamiento. Por lo que se suman muchas variables a controlar para una buena gestión.

También han permitido determinar que la realización de acopios grandes y pequeños es perjudicial para la conservación de la calidad de la biomasa y contraproducente para la operatividad de un parque de almacenamiento. Tal y como se ha comprobado en los primeros ensayos, realizar acopios de más de 1.500 – 2.000 toneladas, aunque las condiciones iniciales de la biomasa sean muy buenas, genera problemas de descomposición y auto-calentamiento. Por lo contrario, realizar acopios pequeños es muy bueno para conservar la calidad inicial de la biomasa pero reduce considerablemente el espacio de almacenamiento del parque y no es operativo en grandes parques de almacenamiento objeto del estudio.

Por lo tanto, lo ideal es realizar acopios de la medida justa que permita la refrigeración de la biomasa en las capas más internas. Esto dependerá del tipo de biomasa que se esté almacenando. Biomásas más herbáceas y con más predisposición a la fermentación serán almacenadas en acopios más pequeños que otras biomásas más leñosas y menos susceptibles a la descomposición de las bacterias que podrán ser almacenadas en acopios algo más grandes. No solo habrá que tener en cuenta la componente herbácea, ya que una biomasa leñosa con alto contenido en humedad también deberá ser almacenada en acopios algo más pequeños para ayudar a un mejor secado y refrigeración del interior del acopio.

Por otro lado, existen biomásas cuyo almacenamiento es muy complicado, en concreto la hoja de almazara y los restos de jardinería. Son biomásas muy húmedas y muy fácilmente degradables por las bacterias, lo que las convierte en bombas de relojería a la hora de almacenarlas. Este tipo de biomásas deben ser almacenadas en acopios más

pequeños y consumidas lo antes posible. Es lógico pensar que, mezclar este tipo de biomásas con otras es una práctica imprudente y que debe ser eliminada de cualquier parque de almacenamiento. Ya que, una biomasa con características desfavorables empeorará las buenas características de la otra biomasa, cosa que no ocurrirá nunca al contrario.

Todas estas conclusiones, se han obtenido a partir de un control y seguimiento de la biomasa almacenada, donde se han analizado tanto cambios físicos como químicos desde el inicio hasta el final del almacenamiento. Se han analizado cambios en la humedad, temperatura, PCI, tamaño, granulometría. Se han detectado pérdidas de energía por fermentación, pérdidas de humedad por secado natural de la biomasa, ahorro de combustible en el proceso de producción. Esto ha hecho entender como se comporta cada tipo de biomasa según sus condiciones iniciales y ha permitido establecer unas pautas o procedimiento a seguir para realizar un almacenamiento controlado y una buena gestión del mismo, evitando o reduciendo pérdidas materiales y económicas, además de mejorar el proceso productivo de la planta.

## 4.- Propuesta de un modelo de gestión para un almacenamiento óptimo de biomasa a gran escala

---



## **4.- Propuesta de un modelo de gestión para un almacenamiento óptimo de biomasa a gran escala.**

### **4.1.- Introducción al capítulo**

En este capítulo, se va a proponer un procedimiento de actuación para realizar una gestión, lo más exhaustiva posible, de un parque de almacenamiento de biomasa. Este procedimiento va a estar basado en los resultados obtenidos y analizados en los ensayos de campo realizados.

En primer lugar, se van a explicar que puntos principales son los que se van a tener en cuenta y en los que se va a basar el modelo propuesto. Lo que se pretende con este modelo de gestión es obtener una herramienta que permita conocer en todo momento la situación del parque de biomasa y de cada uno de los acopios que lo conforman, así como sus características de tipo de biomasa, humedad, temperatura, tamaño, etc.

Dado que, la información que se obtiene del almacenamiento de biomasa y de la importancia de los factores que influyen en el mismo puede ser tanto cualitativa como cuantitativa, se han realizado unos intervalos o rangos dentro de cada factor, dándole una cuantificación numérica a cada uno de ellos, donde el valor será mayor o menor según sea la importancia de su efecto sobre la biomasa y el acopio.

Con esto, se consigue dar una cuantificación numérica al estado del acopio durante su almacenamiento, lo que permite hacer comparativas entre acopios y tomar decisiones a la hora de actuar sobre aquellos acopios que estén óptimos para su uso (consumo, venta, tratamiento) o aquellos acopios cuyo estado requiera una actuación inmediata por problemas de degradación, auto-calentamiento, incendio.

Por último, se explicará como se va a aplicar el modelo y se mostrará una representación del uso del mismo en el parque de biomasa.

## 4.2.- Propuesta del modelo de gestión

El almacenamiento es una de las fases del proceso de aprovechamiento de la biomasa en la que intervienen muchos factores, difíciles de controlar, y que pueden afectar directamente a la producción, rendimiento y balance energético-económico del proceso.

Haciendo un repaso de la bibliografía y del estado del arte, se observa que existe mucha información acerca de las técnicas y maneras de almacenar la biomasa para almacenamientos pequeños y para productos destinados a su posterior venta, fabricación de pellets o utilización en calderas domésticas. Así como pruebas y ensayos realizados en pequeñas cantidades, normalmente del mismo producto (pino). La mayoría de estos estudios están destinados a conseguir un secado de biomasa en almacenes pequeños, cerrados y mediante tecnologías que no tienen aplicación en el ámbito del estudio.

Pero hay poca información relacionada con el almacenamiento de biomasa a gran escala y, menos aún, para almacenamientos destinados a plantas de generación de energía eléctrica mediante la combustión de biomasa.

Por lo tanto, conociendo la situación actual y las conclusiones obtenidas con las pruebas realizadas, se puede formular un modelo con el que se pueda conseguir optimizar el almacenamiento de biomasa a gran escala.

Siguiendo las recomendaciones y los resultados de los estudios descritos en el estado del arte, así como los factores a tener en cuenta para realizar el almacenamiento y las características y comportamiento de los productos que se vayan a almacenar, el método de almacenamiento que más se adecúa al objeto del estudio es el “Método Multi-Pila”.

Con este método, normalmente, va asociado un sistema de rotación de stock FIFO, pero dada la estacionalidad de la biomasa y la gran variación de las características de las diferentes biomásas al inicio del almacenamiento, este sistema de rotación no es óptimo para gestionar un parque de almacenamiento a gran escala. Además, tal y como comenta el profesor Slaven, almacenamientos supeditados a biomásas con una estacionalidad alta, hacen que la gestión del stock sea mucho más complicada y dificulte la utilización de la ideología FIFO. [Slaven, I., 2017]

Por lo tanto, habría que utilizar otra técnica con la que se pueda diferenciar entre:

- Productos.
- Características físico – químicas.

- Condiciones iniciales de almacenamiento.
- Tiempo de almacenamiento.
- Comportamiento durante el almacenamiento.

A esta técnica, que propone combinar estas características para realizar una clasificación de la prioridad de uso de cada uno de los acopios de biomasa realizados en el parque, se le ha llamado “Modelo Combinado”.

### **4.3.- Descripción del modelo propuesto. “Modelo Combinado”**

Esta técnica de almacenamiento surge de la necesidad de gestionar una gran cantidad de stock, el cual está compuesto por productos o biomasa diferentes que, a su vez, tienen características físico-químicas diferentes. Por lo tanto, el momento del uso final del producto o el final del almacenamiento del mismo no va a estar marcado por la idea de “lo primero que entra es lo primero que sale” sino por:

- 1.- Evolución y estado óptimo de la biomasa del acopio durante el periodo de almacenamiento.
- 2.- Condiciones y Características de entrada o inicio del almacenamiento.
- 3.- En condiciones iguales: FIFO.

Con esta técnica lo que se consigue es poder hacer una diferenciación entre productos y, dentro de cada uno de ellos, una diferenciación entre sus características y estado en cada momento del periodo del almacenamiento. Con este modelo se quiere llegar a definir en qué momento la biomasa está en su estado óptimo para ser consumida o utilizada, es decir, punto en el que una mayor pérdida de humedad puede resultar negativa para el balance energético y en el que el tiempo de residencia pueda afectar a la calidad de la biomasa almacenada. Lo que es lo mismo, usar la biomasa en el momento en el que sus condiciones físico – químicas serán las más favorables para el proceso productivo y rentabilidad de la planta.

A esto se le suma, la prevención y seguridad, es decir, esta técnica sirve para control de auto-combustiones, prevenirlas y actuar con antelación ante algún indicio de que el riesgo se pueda ocasionar o se esté ocasionando.

Por lo tanto, el método en el que se podría utilizar esta técnica sería en el Método Multi-pila con un sistema de rotación de stock combinado por diferentes factores, que permiten realizar una diferenciación más exhaustiva del producto almacenado. La utilización del resto de métodos es poco viable si se quiere diferenciar entre productos, conocer el estado de los mismos durante el almacenamiento y actuar rápidamente en caso de problemas, degradaciones, auto-calentamientos.

Teniendo en cuenta el caso de este estudio y las características de las biomásas que se han estudiado, esta técnica podría ser la más acertada para obtener un almacenamiento óptimo y, por lo tanto, el mantenimiento o mejora de la calidad de la biomasa almacenada.

#### 4.3.1.- Formulación del Modelo Combinado

Analizando los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, se ha llegado a la conclusión de que, si se pueden controlar determinados factores durante el almacenamiento, se puede reducir la degradación o deterioro de la biomasa.

Por lo tanto, se ha realizado una clasificación en función de la importancia de cada uno de los factores que afectan al almacenamiento de biomasa, en base a la prioridad de uso o consumo.

##### *4.3.1.1.-Criterios de prioridad*

Para poder determinar la importancia de cada uno de los factores durante el almacenamiento, se han establecido unos criterios de importancia o prioridad, dando un mayor o menor valor numérico al acopio, según sea su estado inicial de almacenamiento y según vaya transcurriendo el mismo. Con esto se consigue valorar cuantitativamente, a lo largo del periodo de almacenamiento, el estado del acopio, así como comparar entre unos y otros para saber que acopio está en peor estado y cuál de ellos es prioritario su consumo, uso o manipulación.

El procedimiento seguido para establecer estos criterios y poder dar un valor numérico a cada acopio es el siguiente:

- 1.- Para cada factor se establecen 5 intervalos diferentes entre el mínimo y el máximo valor que puede llegar a alcanzar cada factor.
- 2.- A cada uno de los intervalos se le da un valor del 1 al 5, siendo "1" el intervalo más bajo o menos importante y "5" el intervalo más alto o de mayor importancia.
- 3.- Posteriormente, a cada valor se le aplica un porcentaje del 1% al 50% adicional teniendo en cuenta su influencia según el tipo de biomasa utilizada.
- 4.- Por último, una vez se han establecido los criterios de prioridad para cada intervalo dentro de cada factor y para cada una de las biomásas almacenadas, se aplica a cada uno de los factores la importancia de su efecto sobre el almacenamiento, en comparación con el resto de factores.

Una vez seguidos estos pasos, se obtiene una tabla en la que se encuentran clasificados los diferentes acopios según su prioridad de consumo en función de su estado.

##### *4.3.1.2.-Factores que influyen en el almacenamiento*

Como ya se ha comentado en el estado del arte, hay muchos factores que influyen en la variación de las características físico-químicas de la biomasa durante su almacenamiento, pero muchas de ellas no pueden ser controladas o su control no repercute en la conservación del estado de la biomasa.

Por lo tanto, se ha realizado una selección de aquellos parámetros que más influyen o que son de mayor importancia para el almacenamiento y que pueden ser, en cierta medida, controlados:

- ✓ Humedad
- ✓ Tiempo de residencia (tiempo de almacenamiento)
- ✓ Componente Herbácea
- ✓ Tamaño del acopio
- ✓ Granulometría
- ✓ Temperatura del acopio

#### 4.3.1.2.1.-Importancia Humedad

La humedad inicial del acopio es el factor más importante a tener en cuenta en el almacenamiento de biomasa. Cuanto mayor sea la humedad más va a repercutir en el acopio, al igual que también va a influir mucho en el tipo de biomasa que se esté almacenando.

Siguiendo el procedimiento para establecer unos criterios de prioridad y dar un valor de importancia a la humedad del acopio, se han realizado 5 intervalos de humedad (tabla 136):

- Valor "1": De 5% a 15%
- Valor "2": De 16% a 25%
- Valor "3": De 26% a 35%
- Valor "4": De 36% a 45%
- Valor "5": Más de 45%.

No se tienen en cuenta valores de humedad por debajo del 5%, ya que es muy complicado que una biomasa tenga valores próximos a 0%, sobre todo al inicio de su almacenamiento. También se ha considerado que por encima del 45% de humedad es muy peligroso e inadecuado almacenar la biomasa ya que la fermentación y el deterioro del acopio se disparan. Además del poco aporte energético que ofrece una biomasa húmeda, ya que reduce el rendimiento en el intercambio de calor.

Posteriormente, a cada uno de estos valores se le aplica un porcentaje establecido según sea la importancia de la humedad en relación al tipo de producto que se esté almacenando (tabla 137).

Tabla 137.- Criterios de prioridad según la humedad de la biomasa. [Fuente: Elaboración Propia]

Tipo de Biomasa	Humedad Inicial				
	5,00%	15,00%	25,00%	35,00%	45,00%
Pino	1	2	3	4	5
Olivo Triturado	1	2	3	4	5
Hoja de Almazara	1	2	3	4	5
Sarmiento Vid Triturado	1	2	3	4	5
ChopoPretriturado	1	2	3	4	5
Sarmiento Vid Pretriturado	1	2	3	4	5
Poda Frutal	1	2	3	4	5
Olivo Pretriturado	1	2	3	4	5
Cepa de Viña Pretriturada	1	2	3	4	5
Chopo Triturado	1	2	3	4	5
Restos de Podas Pretrituradas	1	2	3	4	5
Orujillo	1	2	3	4	5

Aplicando este porcentaje para cada intervalo de humedad y para cada tipo de producto, se establece la prioridad de consumo para cada biomasa y a esa humedad concretamente.

Tabla 138.- Importancia de la humedad inicial según el tipo de biomasa almacenada. [Fuente: Elaboración Propia]

Tipo de Biomasa	Humedad Inicial				
	5,00%	15,00%	25,00%	35,00%	45,00%
Pino	10%	10%	20%	30%	40%
Olivo Triturado	10%	20%	30%	40%	50%
Hoja de Almazara	20%	30%	40%	50%	50%
Sarmiento Vid Triturado	10%	10%	20%	30%	40%
ChopoPretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Sarmiento Vid Pretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Poda Frutal	10%	10%	20%	30%	40%
Olivo Pretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Cepa de Viña Pretriturada	10%	10%	20%	30%	40%
Chopo Triturado	10%	10%	20%	30%	40%
Restos de Podas Pretrituradas	10%	20%	30%	40%	50%
Orujillo	10%	30%	40%	50%	50%

En la tabla 138, se observa como la humedad va teniendo diferente efecto según sea el producto almacenado, como aumenta el valor de prioridad considerablemente con el aumento de humedad y, sobretodo, como aumenta el valor en los productos que son más herbáceos.

Tabla 139.- Valores o criterios de prioridad según la humedad de la biomasa almacenada. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Humedad Inicial				
	5,00%	15,00%	25,00%	35,00%	45,00%
Pino	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Olivo Triturado	1,10	2,40	3,90	5,60	7,50
Hoja de Almazara	1,20	2,60	4,20	6,00	7,50
Sarmiento Vid Triturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
ChopoPretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Sarmiento Vid Pretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Poda Frutal	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Olivo Pretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Cepa de Viña Pretriturada	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Chopo Triturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Restos de Podas Pretrituradas	1,10	2,40	3,90	5,60	7,50
Orujillo	1,10	2,60	4,20	6,00	7,50

#### 4.3.1.2.2.-Importancia Tiempo de Residencia o de Almacenamiento

Al igual que se ha realizado con la humedad, se han establecido unos intervalos de tiempo de almacenamiento y se les ha aplicado valores del 1 al 5:

- Valor "1": De 1 a 2 meses
- Valor "2": De 2 a 4 meses
- Valor "3": De 4 a 6 meses
- Valor "4": De 6 a 8 meses
- Valor "5": Más de 8 meses

Tabla 140.- Criterios de prioridad según el tiempo de almacenamiento. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Periodo de Almacenamiento (meses)				
	1	2	4	6	8
Pino	1	2	3	4	5
Olivo Triturado	1	2	3	4	5
Hoja de Almazara	1	2	3	4	5
Sarmiento Vid Triturado	1	2	3	4	5
ChopoPretriturado	1	2	3	4	5
Sarmiento Vid Pretriturado	1	2	3	4	5
Poda Frutal	1	2	3	4	5
Olivo Pretriturado	1	2	3	4	5
Cepa de Viña Pretriturada	1	2	3	4	5
Chopo Triturado	1	2	3	4	5
Restos de Podas Pretrituradas	1	2	3	4	5
Orujillo	1	2	3	4	5

Según el tiempo de almacenamiento, cada biomasa va a tener un comportamiento diferente. Por lo tanto, se hace una valoración de este comportamiento y se aplica a cada criterio de prioridad un porcentaje según sea el producto almacenado.

Aplicando estos porcentajes a los criterios de prioridad establecidos para este factor se obtiene la tabla de prioridad de consumo según el periodo de almacenamiento de la biomasa (tabla 141).

Tabla 141.- Importancia del periodo de almacenamiento según el tipo de biomasa almacenada. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Periodo de Almacenamiento (meses)				
	1	2	4	6	8
Pino	10%	10%	20%	30%	40%
Olivo Triturado	20%	40%	50%	50%	50%
Hoja de Almazara	40%	50%	50%	50%	50%
Sarmiento Vid Triturado	10%	10%	20%	30%	40%
ChopoPretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Sarmiento Vid Pretriturado	10%	10%	10%	20%	30%
Poda Frutal	10%	10%	10%	20%	30%
Olivo Pretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Cepa de Viña Pretriturada	10%	10%	10%	20%	30%
Chopo Triturado	10%	10%	20%	30%	40%
Restos de Podas Pretrituradas	20%	40%	50%	50%	50%
Orujillo	10%	10%	10%	20%	20%

Tabla 142.- Criterios de prioridad según el tiempo de almacenamiento. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Periodo de Almacenamiento (meses)				
	1	2	4	6	8
Pino	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Olivo Triturado	1,20	2,80	4,50	6,00	7,50
Hoja de Almazara	1,40	3,00	4,50	6,00	7,50
Sarmiento Vid Triturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
ChopoPretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Sarmiento Vid Pretriturado	1,10	2,20	3,30	4,80	6,50
Poda Frutal	1,10	2,20	3,30	4,80	6,50
Olivo Pretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Cepa de Viña Pretriturada	1,10	2,20	3,30	4,80	6,50
Chopo Triturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Restos de Podas Pretrituradas	1,20	2,80	4,50	6,00	7,50
Orujillo	1,10	2,20	3,30	4,80	6,00

#### 4.3.1.2.3.-Importancia Componente Herbácea

Como ya se ha comentado en varias ocasiones, la componente herbácea de la biomasa es un factor que va a influenciar mucho al secado del acopio y a su auto-calentamiento.

La clasificación de los intervalos para este factor se ha realiza teniendo en cuenta la cantidad o niveles de composición herbácea en el producto, pasando de niveles muy bajos a muy altos:

- Valor "1": Muy Bajo
- Valor "2": Bajo
- Valor "3": Medio
- Valor "4": Alto
- Valor "5": Muy Alto

Tabla 143.- Criterios de prioridad según la componente herbácea de la biomasa. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Nivel de Componente Herbácea				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
<b>Pino</b>	1	2	3	4	5
<b>Olivo Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Hoja de Almazara</b>	1	2	3	4	5
<b>Sarmiento Vid Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>ChopoPretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Sarmiento Vid Pretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Podas Frutal</b>	1	2	3	4	5
<b>Olivo Pretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Cepa de Viña Pretriturada</b>	1	2	3	4	5
<b>Chopo Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Restos de Podas Pretrituradas</b>	1	2	3	4	5
<b>Orujillo</b>	1	2	3	4	5

Según la componente herbácea de cada producto, se le da más o menos importancia a los criterios de prioridad establecidos, aplicando un porcentaje a cada biomasa según su composición.

Una vez aplicada esta importancia, se obtiene la tabla de criterios de prioridad establecida para cada uno de los valores asignados a cada tipo de biomasa según su composición.

Tabla 144.- Importancia de la componente herbácea de cada biomasa. [Fuente: Elaboración Propia]

Tipo de Biomasa	Nivel de Componente Herbácea				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Pino	10%	10%	20%	30%	40%
Olivo Triturado	10%	20%	30%	40%	50%
Hoja de Almazara	20%	30%	40%	50%	50%
Sarmiento Vid Triturado	10%	20%	30%	40%	50%
ChopoPretriturado	10%	20%	20%	30%	40%
Sarmiento Vid Pretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Poda Frutal	10%	10%	20%	30%	40%
Olivo Pretriturado	10%	20%	30%	40%	50%
Cepa de Viña Pretriturada	10%	10%	20%	30%	40%
Chopo Triturado	10%	20%	20%	30%	40%
Restos de Podas Pretrituradas	10%	20%	40%	50%	50%
Orujillo	10%	10%	10%	10%	10%

Con esta tabla de prioridad se consigue dar un valor cuantitativo a un factor cualitativo de la biomasa y, así, poder compararlo y adjuntarlo al resto de parámetros para un mejor control y medición durante el almacenamiento.

Tabla 145.- Criterios de prioridad según la componente herbácea de cada biomasa. [Fuente: Elaboración Propia]

Tipo de Biomasa	Nivel de Componente Herbácea				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Pino	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Olivo Triturado	1,10	2,40	3,90	5,60	7,50
Hoja de Almazara	1,20	2,60	4,20	6,00	7,50
Sarmiento Vid Triturado	1,10	2,40	3,90	5,60	7,50
ChopoPretriturado	1,10	2,40	3,60	5,20	7,00
Sarmiento Vid Pretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Poda Frutal	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Olivo Pretriturado	1,10	2,40	3,90	5,60	7,50
Cepa de Viña Pretriturada	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Chopo Triturado	1,10	2,40	3,60	5,20	7,00
Restos de Podas Pretrituradas	1,10	2,40	4,20	6,00	7,50
Orujillo	1,10	2,20	3,30	4,40	5,50

#### 4.3.1.2.4.-Importancia Tamaño del Acopio

El tamaño del acopio, entre otros factores, va a permitir que el acopio pueda refrigerarse o no en su interior, dependiendo de lo grande que sea y la forma que tenga.

Según los resultados obtenidos en los ensayos realizados, se ha realizado la siguiente clasificación en función del tamaño del acopio:

- Valor "1": De 0 a 300 Toneladas
- Valor "2": De 301 a 600 Toneladas
- Valor "3": De 601 a 1.000 Toneladas
- Valor "4": De 1.001 a 1.200 Toneladas
- Valor "5": Por encima de 1.201 Toneladas

**Tabla 146.- Criterios de prioridad según el tamaño del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]**

Tipo de Biomasa	Tamaño del acopio (toneladas)				
	0 - 300	301 - 600	601 - 1.000	1.001 - 1.200	> 1.201
<b>Pino</b>	1	2	3	4	5
<b>Olivo Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Hoja de Almazara</b>	1	2	3	4	5
<b>Sarmiento Vid Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Chopo Pretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Sarmiento Vid Pretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Poda Frutal</b>	1	2	3	4	5
<b>Olivo Pretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Cepa de Viña Pretriturada</b>	1	2	3	4	5
<b>Chopo Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Restos de Podas Pretrituradas</b>	1	2	3	4	5
<b>Orujillo</b>	1	2	3	4	5

Como se observa en la tabla, acopios por encima de las 1.200 toneladas se consideran no aptos para almacenamiento, sobre todo para tiempos de almacenamiento largos. Ya que, la degradación de la biomasa aumenta considerablemente.

El tamaño del acopio va a depender mucho del resto de los factores, sobre todo de la humedad y del tipo de biomasa. A medida que la biomasa es más húmeda, es conveniente ir reduciendo el tamaño del acopio y viceversa, para permitir la entrada de aire hasta el interior del acopio y poder refrigerar, secar y reducir la humedad del mismo.

Tabla 147.- Importancia del factor tamaño del acopio según el tipo de biomasa. [Fuente: Elaboración Propia]

Tipo de Biomasa	Tamaño del acopio (toneladas)				
	0 - 300	301 - 600	601 - 1.000	1.001 - 1.200	> 1.201
Pino	10%	10%	20%	30%	40%
Olivo Triturado	10%	30%	40%	50%	50%
Hoja de Almazara	30%	50%	50%	50%	50%
Sarmiento Vid Triturado	10%	10%	20%	30%	40%
ChopoPretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Sarmiento Vid Pretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Poda Frutal	10%	10%	10%	20%	30%
Olivo Pretriturado	10%	10%	20%	30%	40%
Cepa de Viña Pretriturada	10%	10%	10%	20%	30%
Chopo Triturado	10%	20%	30%	40%	50%
Restos de Podas Pretrituradas	10%	30%	40%	50%	50%
Orujillo	10%	10%	10%	10%	10%

Una vez aplicadas las importancias del factor para cada tipo de biomasa se obtiene la tabla de prioridad:

Tabla 148.- Criterios de prioridad de consumo del acopio según el tamaño del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Tipo de Biomasa	Tamaño del acopio (toneladas)				
	0 - 300	301 - 600	601 - 1.000	1.001 - 1.200	> 1.201
Pino	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Olivo Triturado	1,10	2,60	4,20	6,00	7,50
Hoja de Almazara	1,30	3,00	4,50	6,00	7,50
Sarmiento Vid Triturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
ChopoPretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Sarmiento Vid Pretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Poda Frutal	1,10	2,20	3,30	4,80	6,50
Olivo Pretriturado	1,10	2,20	3,60	5,20	7,00
Cepa de Viña Pretriturada	1,10	2,20	3,30	4,80	6,50
Chopo Triturado	1,10	2,40	3,90	5,60	7,50
Restos de Podas Pretrituradas	1,10	2,60	4,20	6,00	7,50
Orujillo	1,10	2,20	3,30	4,40	5,50

En este caso, se debe hacer la puntualización que, debido al espacio que normalmente se tiene de almacenamiento y que suele ser pequeño, no siempre se hacen los acopios del tamaño debido, por lo que este factor aumenta en importancia.

Para el orujillo, los acopios se pueden realizar mucho más grandes sin que se corra riesgo de fermentación y degradación, debido a sus características. Siempre y cuando no

sobrepase unos valores de humedad. Se le ha aplicado el mínimo de importancia al tamaño del acopio para seguir el mismo procedimiento en todos los casos.

#### 4.3.1.2.5.-Importancia Temperatura

El control de la temperatura del acopio va a ser fundamental. Conforme la temperatura del acopio vaya aumentando, va aumentando su prioridad de consumo. Un aumento de temperatura repercute en la degradación y fermentación de la biomasa.

- Valor "1": De 0°C a 50°C
- Valor "2": De 51°C a 65°C
- Valor "3": De 66°C a 80°C
- Valor "4": De 81°C a 90°C
- Valor "5": Por encima de 91°C

Tabla 149.- Criterios de prioridad según la temperatura del acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Temperatura del acopio (°C)				
	0 - 50	51 - 65	66 - 80	81 - 90	> 90
<b>Pino</b>	1	2	3	4	5
<b>Olivo Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Hoja de Almazara</b>	1	2	3	4	5
<b>Sarmiento Vid Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Chopo Pretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Sarmiento Vid Pretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Poda Frutal</b>	1	2	3	4	5
<b>Olivo Pretriturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Cepa de Viña Pretriturada</b>	1	2	3	4	5
<b>Chopo Triturado</b>	1	2	3	4	5
<b>Restos de Podas Pretrituradas</b>	1	2	3	4	5
<b>Orujillo</b>	1	2	3	4	5

La temperatura también va a estar muy relacionada con la humedad, a mayor humedad mayor será el aumento de temperatura. Temperaturas altas son muy peligrosas ya que aumentan el ratio de degradación de la biomasa. En acopios con biomasa fáciles de degradar por las bacterias, que se encuentren a media - alta temperatura, el ratio se dispara. Además, se produce un aumento excesivo que puede provocar llama e incendio.

Por lo tanto, tal y como se ha hecho con el resto de factores, se ha aplicado a cada tipo de biomasa un plus de importancia en función de la composición o comportamiento de cada uno frente al aumento de temperatura:

Tabla 150.- Importancia del factor temperatura del acopio según el tipo de biomasa. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Temperatura del acopio (°C)				
	0 - 50	51 - 65	66 - 80	81 - 90	> 90
Pino	10%	10%	20%	50%	50%
Olivo Triturado	10%	30%	40%	50%	50%
Hoja de Almazara	20%	40%	50%	50%	50%
Sarmiento Vid Triturado	10%	20%	30%	50%	50%
ChopoPretriturado	10%	20%	30%	50%	50%
Sarmiento Vid Pretriturado	10%	20%	30%	50%	50%
Poda Frutal	10%	20%	30%	50%	50%
Olivo Pretriturado	10%	30%	40%	50%	50%
Cepa de Viña Pretriturada	10%	20%	30%	50%	50%
Chopo Triturado	10%	20%	30%	50%	50%
Restos de Podas Pretrituradas	10%	30%	40%	50%	50%
Orujillo	10%	40%	40%	50%	50%

Aplicando esta matriz de importancia a los valores de prioridad asignados a cada tipo de biomasa según el aumento de temperatura, se obtiene la tabla de prioridad:

Tabla 151.- Criterios de prioridad de consumo del acopio según el aumento del factor temperatura. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Temperatura del acopio (°C)				
	0 - 50	51 - 65	66 - 80	81 - 90	> 90
Pino	1,10	2,20	3,60	6,00	7,50
Olivo Triturado	1,10	2,60	4,20	6,00	7,50
Hoja de Almazara	1,20	2,80	4,50	6,00	7,50
Sarmiento Vid Triturado	1,10	2,40	3,90	6,00	7,50
ChopoPretriturado	1,10	2,40	3,90	6,00	7,50
Sarmiento Vid Pretriturado	1,10	2,40	3,90	6,00	7,50
Poda Frutal	1,10	2,40	3,90	6,00	7,50
Olivo Pretriturado	1,10	2,60	4,20	6,00	7,50
Cepa de Viña Pretriturada	1,10	2,40	3,90	6,00	7,50
Chopo Triturado	1,10	2,40	3,90	6,00	7,50
Restos de Podas Pretrituradas	1,10	2,60	4,20	6,00	7,50
Orujillo	1,10	2,80	4,20	6,00	7,50

A partir de los 80 grados se considera que todo tipo de biomasa tiene máxima prioridad de consumo, ya que a partir de esa temperatura se puede disparar el incremento de la misma y provocar un incendio. Además de la degradación que ello conlleva.

#### 4.3.1.2.6.-Importancia Granulometría

La granulometría es el tamaño de la biomasa dentro del acopio.

Tabla 152.- Criterios de prioridad según la granulometría del acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Tipo de Biomasa	Granulometría del acopio	
	Triturado	Sin triturar
<b>Pino</b>	2	1
<b>Olivo Triturado</b>	4	2
<b>Hoja de Almazara</b>	5	5
<b>Sarmiento Vid Triturado</b>	3	1
<b>ChopoPretriturado</b>	3	1
<b>Sarmiento Vid Pretriturado</b>	3	1
<b>Poda Frutal</b>	2	1
<b>Olivo Pretriturado</b>	4	2
<b>Cepa de Viña Pretriturada</b>	2	1
<b>Chopo Triturado</b>	3	1
<b>Restos de Podas Pretrituradas</b>	4	2
<b>Orujillo</b>	1	1

En este caso, se han tenido en cuenta también valores del 1 al 5 pero solo con 2 variables, relacionadas también con el tipo de biomasa y su importancia en el efecto sobre el acopio. Estas 2 variables clasifican la biomasa según esté triturada, por debajo de 5 - 10 centímetros de longitud en sus 3 dimensiones, y pretriturada, tamaños superiores a 15 centímetros de largo.

Con este factor, en la asignación de criterios, ya se le ha dado la importancia según sea la biomasa que se vaya almacenar y en qué circunstancias.

#### 4.3.1.3.- Importancia del efecto de cada factor en el almacenamiento

Una vez se tienen establecidos los criterios de prioridad, se establece un factor de importancia entre factores. Es decir, según las conclusiones y resultados de las pruebas/ensayos realizadas, se ha deducido cuales son los factores que más afectan a un acopio y, en base a ello, se aplica a cada factor un tanto por ciento de importancia más que al resto, para aumentar la prioridad de consumo del acopio según el estado del mismo, la biomasa que lo compone o sus características iniciales.

Esta acción también tiene la idea de puntuar más y, por lo tanto, dar más prioridad de consumo, a factores cuyo aumento o cambio brusco pueda generar grandes problemas en el acopio.

El tanto por ciento que se ha aplicado a cada factor se ha repartido del 1% al 100%:

Humedad: 30%

Componente herbácea: 15%

Granulometría: 5%

Tiempo de Residencia: 7%

Tamaño del acopio: 5%

Temperatura del acopio: 38%

El modelo permite modificar la importancia de cada factor sobre el acopio cuando se estime que alguno de los otros factores puede ser de mayor relevancia en esos momentos. Además de ampliar o reducir los factores presentes.

#### 4.3.1.4.- Tabla de Prioridades

Con todos estos datos, se hace una recolección en una tabla o matriz, realizando una clasificación de los acopios en función de su prioridad de consumo. En este caso, el acopio con mayor prioridad de consumo es el que tenga una mayor puntuación dentro de la asignación de prioridades e importancias otorgadas a cada uno de los factores que comportan el acopio.

Puntuación de Prioridades													
IMPORTANCIA FACTOR	30.00%	15.00%	5.00%	7.00%	5.00%	38.00%	Prioridad Humedad	Prioridad Herbácea	Prioridad Apto	Prioridad Residencia	Prioridad Tamaño	Prioridad Temperatura	100,00%
Producto	Humedad Inicial	Componente Herbácea	Triturado / Sin Triturar	Tiempo Residencia	Tamaño Acopio	Temperatura Acopio							Prioridad Total
Crujillo	9.50%	Muy Bajo	Triturado	9.9	Muy Grande	45.00	1.10	1.10	1.00	6.00	5.50	1.10	17.46
B6. Pino	25.83%	Bajo	Triturado	12.5	Grande	50.80	3.60	2.20	2.00	7.00	5.20	2.20	25.30
B6. Olivo Trit.	22.03%	Alto	Triturado	14.6	Muy Grande	77.00	2.40	5.60	4.00	7.50	7.50	4.20	35.46
Crujillo	10.00%	Muy Bajo	Triturado	21.1	Muy Grande	65.00	1.10	1.10	1.00	6.00	5.50	4.20	21.74
B6. Olivo Pretrit.	5.88%	Alto	Triturado	10.4	Pequeño	35.00	1.10	5.60	4.00	7.00	2.20	1.10	23.39
B6. Olivo Pretrit.	6.44%	Alto	Sin Triturar	12.2	Muy Grande	45.00	1.10	5.60	2.00	7.00	7.00	1.10	26.33
Crujillo	11.42%	Muy Bajo	Triturado	29.3	Muy Grande	50.00	1.10	1.10	1.00	6.00	5.50	2.80	19.80
Crujillo	11.27%	Muy Bajo	Triturado	40.1	Muy Grande	60.00	1.10	1.10	1.00	6.00	5.50	2.80	19.80
B6. Olivo Pretrit.	19.37%	Alto	Sin Triturar	24.7	Muy Grande	55.00	2.20	5.60	2.00	7.00	7.00	2.60	29.83
B6. Olivo Trit.	24.63%	Alto	Triturado	25.7	Mediano	48.80	2.40	5.60	4.00	7.50	4.20	1.10	27.71
B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	23.40%	Bajo	Sin Triturar	24.7	Pequeño	29.00	2.20	2.20	1.00	6.50	2.20	1.10	17.22
B6. Olivo Pretrit.	16.77%	Alto	Sin Triturar	24.7	Mediano	42.00	2.20	5.60	2.00	7.00	3.60	1.10	24.19
B6.2 Restos de Podas Pretrit.	17.34%	Muy Alto	Sin Triturar	24.7	Muy Pequeño	42.00	2.40	7.50	2.00	7.50	1.10	1.10	24.54
B6. Olivo Pretrit.	15.38%	Alto	Sin Triturar	24.2	Mediano	48.80	2.20	5.60	2.00	7.00	3.60	1.10	24.19
B6. Olivo Pretrit.	17.11%	Alto	Sin Triturar	24.0	Mediano	48.80	2.20	5.60	2.00	7.00	3.60	1.10	24.19
B6. Olivo Trit.	9.60%	Alto	Triturado	23.8	Muy Grande	53.00	1.10	5.60	4.00	7.50	7.50	2.60	31.56
B6. Olivo Pretrit.	14.57%	Alto	Sin Triturar	23.0	Muy Pequeño	42.00	1.10	5.60	2.00	7.00	1.10	1.10	20.13
B6.2 Restos de Podas Pretrit.	19.65%	Muy Alto	Sin Triturar	23.0	Pequeño	42.00	2.40	7.50	2.00	7.50	2.60	1.10	26.12
B6. Olivo Pretrit.	16.77%	Alto	Sin Triturar	24.7	Mediano	42.00	2.20	5.60	2.00	7.00	3.60	1.10	24.19
Crujillo	10.00%	Muy Bajo	Triturado	15.0	Muy Grande	65.00	1.10	1.10	1.00	6.00	5.50	4.20	21.74
Crujillo	10.00%	Muy Bajo	Triturado	14.1	Muy Grande	50.00	1.10	1.10	1.00	6.00	5.50	2.80	19.80
B6. Olivo Trit.	10.33%	Alto	Triturado	13.1	Muy Grande	62.00	1.10	5.60	4.00	7.50	7.50	2.60	31.56

Imagen 61.- Captura de la tabla de prioridades realizada y la clasificación cada acopio según su prioridad de consumo. [Fuente: Elaboración Propia]

Como se observa en la imagen o captura de la tabla de prioridades, en la última columna aparece el resultado global de sumar todas las valoraciones de cada uno de los factores de cada uno de los acopios, dando una lista "clasificatoria" o "ranking" entre el estado de cada uno de los acopios y cuál de ellos sería el más conveniente utilizar o consumir en ese preciso momento.

Cuanto más resultados bajos haya en la lista mejor será la situación del parque de almacenamiento y menos pérdidas se originarán durante el mismo.

#### 4.3.1.5.- Mapa de Prioridades

Para un entendimiento más fácil, como complemento a esta tabla de prioridades se ha realizado un mapa de prioridades, para tener una visión rápida de la situación de los acopios y su posición en el parque de almacenamiento.

Para ello, se realiza una sectorización del parque de biomasa para poder tener los acopios mejor localizados, aislados y controlados, sin que haya mezclas entre productos, uniones de unos acopios con otros, contaminaciones.

En la siguiente captura se muestra un ejemplo de sectorización en la que se aplica este modelo combinado de aplicación de prioridades de consumo. Como se puede observar, con este mapa se obtiene una visión rápida en planta de la situación del parque de biomasa y de cómo se puede ir gestionando el mismo, no solo conociendo el estado de los acopios y poder decidir que acopio conviene consumir en cada momento, sino también ver el stock del que se dispone, espacio disponible para nuevos acopios o nuevas entradas de producto, control de composición de mezclas de consumo, etc.

Este mapa se va alimentando automáticamente de la tabla de prioridades, por lo que, cualquier cambio que se produzca en la situación del acopio, se verá reflejado en el mapa inmediatamente.

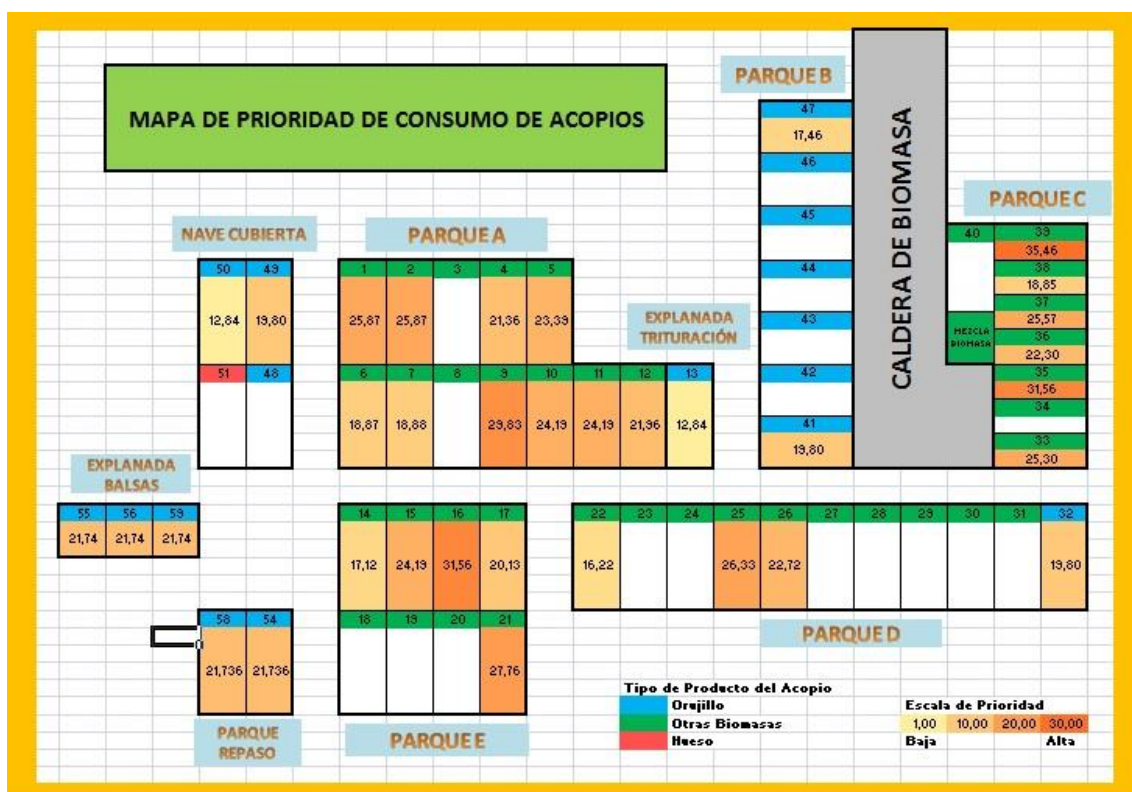
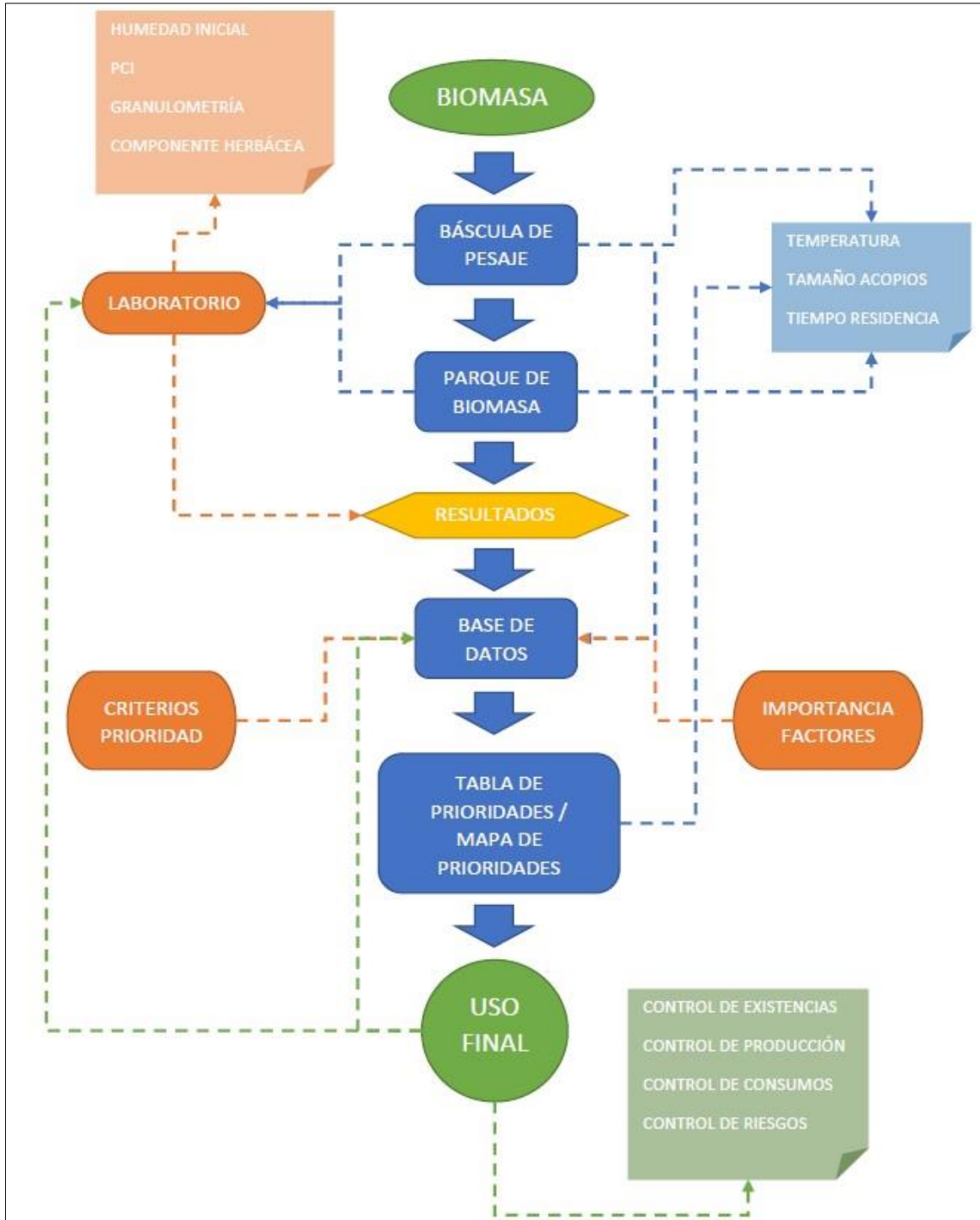


Imagen 62.- Mapa de prioridades de consumo de un parque de almacenamiento.

#### 4.3.2.- Diagrama de bloques del uso del Modelo Combinado

A continuación, se representa un diagrama de bloques en el que se resume esquematizado en que se basa el uso del modelo propuesto.



Esquema 2.- Diagrama de bloques del uso del Modelo Combinado. [Fuente: Elaboración Propia]

#### **4.4.- Resumen y conclusiones del capítulo**

Analizando y estudiando los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados se ha comprobado que, para realizar una buena gestión de un parque de almacenamiento de biomasa, hay que tener en cuenta 3 puntos principales:

- Realizar el acopio de un tamaño acorde al tipo de producto y sus características iniciales.
- Realizar un seguimiento de la evolución del acopio durante su almacenamiento.
- Consumir/usar/eliminar el acopio lo antes posible.

El “Modelo Combinado” propuesto engloba estos 3 puntos, con los que se consigue tener un parque de almacenamiento ordenado, contabilizado y seguro:

- Ordenado. Se ha realizado una sectorización del parque, con lo que se tiene cada uno de los acopios numerados y localizados.
- Contabilizado. Dado que los acopios están numerados, se sabe en todo momento en que acopio se está almacenando cada biomasa y la cantidad de la misma que hay en cada uno de ellos. Esto hace que la estimación y control de las existencias del parque esté controlada en todo momento y sea bastante exacta.
- Seguro. El orden y control del estado del parque de almacenamiento se traduce en seguridad ante posibles incendios u otros incidentes que puedan producir daños materiales o personales.

Una de las características más importantes de este modelo es que es un modelo versátil, es decir, debido a que se basa en dar valores de importancia a los principales factores que influyen en el almacenamiento de cada una de las biomásas utilizadas, se puede adaptar a cada tipo de parque de almacenamiento, a cada biomasa y a las diferentes formas de trabajar de cada uno. Lo único que hay que saber y tener en cuenta es el comportamiento del tipo de biomasa durante su almacenamiento y sus características físico-químicas al inicio del mismo. E incluso, permite modificar los valores o criterios de prioridad, dado que en otro tipo de industria los factores principales a tener en cuenta pueden ser diferentes.

En este caso, los factores que se han tenido en cuenta en el modelo han sido: humedad, temperatura, tamaño del acopio, granulometría, componente herbácea y el tiempo de almacenamiento o de residencia. Para cada uno de estos factores se han realizado una serie de rangos, a los cuales se le ha dado un valor de importancia del 1 al 5, siendo 1 cuando el efecto es menor o no tiene importancia su efecto en el almacenamiento, y 5 cuando el efecto es grave al transcurso o evolución del almacenamiento y a la biomasa almacenada.

A parte, y para diferenciar también la importancia entre cada factor, se ha aplicado un tanto por ciento de importancia para cada uno de los factores. Esta diferenciación va a

depender del uso que se vaya a hacer de la biomasa o de la industria en la que se utilice, además de la zona o región de almacenamiento, debido al clima y condiciones meteorológicas. Por ejemplo, en este caso, se le ha dado más importancia a la humedad y a la temperatura que al resto de factores. A la humedad porque, tal y como se ha comentado anteriormente, es el factor más importante y que más influye en el deterioro de la biomasa durante su almacenamiento. La temperatura, porque va a ser el principal indicador de que las cosas no están yendo bien dentro del acopio y que existe riesgo de descomposición, fermentación, auto-calentamiento e incendio. Por lo que, la actuación sobre el acopio debe ser inminente.

Estos criterios de prioridad e importancia se han vinculado a la base de datos Excel donde están registrados todos los datos de cada uno de los acopios. Según sean los datos de la base el programa de gestión dará unos valores a cada factor, los contabilizará y los plasmará en una tabla comparativa. En esta tabla, a través de diferenciación tanto numérica como visual con colores, se ordenan los acopios de mayor a menor importancia o prioridad de consumo. Esto da una visión instantánea de la situación del parque de almacenamiento y de los acopios con mayor prioridad de uso o consumo.

Por último, estos resultados se han plasmado en un mapa o visión en planta del parque para que de esta manera se tenga una mayor comprensión del estado del parque en todo momento.

## 5.- Influencia del almacenamiento de biomasa en el régimen retributivo

---



## **5.- Influencia del almacenamiento de biomasa en el régimen retributivo**

### **5.1.- Introducción al capítulo**

Uno de los objetivos de este estudio es conocer si, realizar una buena gestión en la fase de almacenamiento de biomasa puede afectar al proceso productivo, al rendimiento de la planta y, por lo tanto, a su rentabilidad.

Como sabemos, la rentabilidad de la planta se traduce en la retribución económica recibida por la venta de electricidad generada por la combustión de biomasa que previamente se ha manipulado, trabajado y almacenado.

Se está hablando de energía, la cual se ve afectada por las condiciones de la biomasa y la evolución de las mismas durante su almacenamiento. Por lo tanto, juega un papel importante la gestión del almacenamiento ya que, si se consiguen mantener o mejorar las condiciones y características energéticas iniciales de la biomasa, la pérdida energética va a ser menor o, lo que es lo mismo, la generación de energía va a ser mayor y, por lo tanto, la retribución económica va a ser mayor.

En este capítulo, se va a aplicar, a aquellos ensayos de campo más representativos, la legislación actual, para conocer el efecto del almacenamiento sobre la retribución económica recibida por la generación de energía eléctrica esa biomasa.

Antes de analizar cómo el almacenamiento de biomasa puede afectar al régimen retributivo, se ha realizado un repaso de la legislación y normativa, referente a temas de energías renovables y biomasa, que han ido evolucionando y cambiando, en gran medida, en los últimos años.

## 5.2.- Análisis de la evolución reglamentaria - legislativa en lo referente a energías renovables y biomasa

En relación a los continuos cambios legislativos que se están produciendo en temas de producción de energía eléctrica con fuentes de energía renovable, se va a realizar un repaso de cómo ha ido evolucionando el sector energético en España desde que empiezan a aparecer los primeros indicios de apoyo a este tipo de energías y tecnologías dentro del marco regulatorio tanto nacional como comunitario.

En el cronograma que se muestra a continuación aparece la evolución de las principales normativas que se han llevado a cabo en las últimas décadas para la mejora del sector eléctrico y, en concreto, para la mejora del sector eléctrico a partir de la utilización de fuentes de energía renovables.

Tabla 153.- Cronograma legislación aplicada a las energías renovables. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Fecha	Marco Regulatorio en el Sistema Eléctrico Español sobre Energías Renovables
1954	Plan de Electricidad
1964	I Plan de Desarrollo RD 774/1964
1969	II Plan de Desarrollo Plan Eléctrico Nacional
1972	III Plan de Desarrollo
1975	Plan Energético Nacional 1975-1985
1978	Plan Energético Nacional 1978-1987
1980	Ley 82/1980 de Conservación de la energía
1981	RD 1217/1981 Directiva 81/924/CEE
1982	RD 907/1982 RD 1544/1982 Plan Energético Nacional 1983-1992
1984	Orden de 30 de Julio de 1984 donde se establece nuevo sistema de compensaciones Ley 49/1984 sobre Explotación Unificada
1985	RD 91/1985
1986	RD 441/1986 Plan de Energías Renovables 1986-1988 RD 1075/1986
1987	RD 162/1987 RD 1538/1987 Orden de 29 de Diciembre de 1987 sobre costes de O&M Orden de 29 de Diciembre de 1987 donde se fijan valores estándar y vida útil de las instalaciones Orden de 30 de Diciembre de 1987 donde se introducen cuentas especiales de activo para la periodificación de los gastos derivados de las inversiones
1988	Orden de 19 de Febrero de 1988 por la que se regula la retribución de las empresas eléctricas integrantes del sistema eléctrico peninsular Resolución de 5 de Abril de 1988 de la Dirección General de la Energía, por la que se establece la metodología que regula la retribución

<b>Fecha</b>	<b>Marco Regulatorio en el Sistema Eléctrico Español sobre Energías Renovables</b>
	Orden de 19 de Diciembre de 1988 sobre corrección de desviaciones en la determinación de la tarifa eléctrica de las empresas gestoras del servicio
	Orden de 22 de Diciembre de 1988, por la que se determinan los costes estándares de distribución de energía eléctrica y el procesamiento para su actualización.
<b>1989</b>	Resolución de 21 de Febrero de 1989 de la Dirección General de la Energía, por la que se establecen los costes de extensión de vida útil para las centrales hidroeléctricas Plan de Energías Renovables 1989
<b>1990</b>	Resolución del 6 de Febrero de la Dirección General de la Energía, por la que se establece la metodología que regula la retribución y el sistema de incentivos
<b>1991</b>	Plan Energético Nacional 1991 – 2000 Programa de Energías Renovables para el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 1991 – 2000
<b>1993</b>	Orden de 3 de Diciembre de 1993, por la que se establecen modificaciones en las Órdenes de desarrollo del Real Decreto 1538/1987 Orden de 17 de Diciembre de 1993, por la que se establecen modificaciones en la Orden de 19 de Febrero de 1988
<b>1994</b>	RD 2366/1994 Ley 40/1994, de Ordenación del Sistema Eléctrico
<b>1995</b>	Orden de 12 de Enero de 1995, por la que se establecen las tarifas eléctricas Orden de 15 de Diciembre de 1995, por la que se establecen modificaciones en las Órdenes de desarrollo del Real Decreto 1538/1987
<b>1997</b>	Ley 54/1997, del Sector Eléctrico RD 2016/1997 RD 2017/1997 RD 2019/1997 Orden de 29 de Diciembre de 1997, por la que se regulan aspectos del RD 2019/97
<b>1998</b>	RD 2818/1998 RD 2819/1998 RD 2820/1998 RD 2821/1998 Orden 27 de Diciembre de 1998, se modifican aspectos del mercado de producción
<b>2000</b>	Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000 – 2010 RD – Ley 6/2000
<b>2001</b>	RD 1164/2001
<b>2002</b>	RD 841/2002 RD 1432/2002
<b>2003</b>	RD 1802/2003
<b>2004</b>	Plan de Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004 – 2012 RD 436/2004
<b>2005</b>	Plan de Energías Renovables 2005 – 2010 Plan de Acción 2005 – 2007
<b>2006</b>	RD – Ley 7/2006
<b>2007</b>	RD 661/2007 Ley 17/2007
<b>2008</b>	Plan de Acción 2008 – 2012
<b>2009</b>	RD 6/2009
<b>2010</b>	Plan de Energías Renovables 2011 – 2020 RD – Ley 14/2010 RD 1565/2010

<b>Fecha</b>	<b>Marco Regulatorio en el Sistema Eléctrico Español sobre Energías Renovables</b>
<b>2011</b>	RD 1544/2011
<b>2012</b>	RD – Ley 1/2012
	RD – Ley 13/2012
	Ley 15/2012
	Informe 35/2012 de la Comisión Nacional de la Energía
<b>2013</b>	RD – Ley 2/2013
	RD – Ley 9/2013
	Ley 15/2013
	Ley 24/2013, del Sector Eléctrico
<b>2014</b>	RD 413/2014
	Orden 1045/2014
	Orden 1168/2014
<b>2015</b>	Orden 1344/2015
	Orden 1345/2015
	RD 947/2015
	Orden 1953/2015
	Orden 2735/2015
<b>2016</b>	Orden 1209/2016
<b>2017</b>	RD 315/2017
	RD 615/2017
	Orden 130/2017
	Orden 555/2017
	Orden 1046/2017
<b>2018</b>	Orden 360/2018

La legislación presentada en esta tabla se encuentra descrita, desarrollada y analizada en el Anexo II.

### **5.3.- Comprobación en los ensayos de campo más significativos**

Un buen almacenamiento de biomasa o un buen control del almacenamiento de la biomasa antes de su uso o consumo para la producción de energía eléctrica, puede afectar en gran medida, no sólo a la composición de la biomasa y su degradación, sino también a la generación de energía eléctrica obtenida con su uso y, por lo tanto, a la retribución económica obtenida por la venta de la misma.

En la actualidad la retribución económica en materia de combustión de biomasa, se puede dividir en 3 partes (Anexo II):

- Retribución a la inversión. Valor fijo anual. Este valor es calculado según datos estimados para una instalación tipo.
- Retribución a la operación. En este caso se retribuye la cantidad de energía generada (megawatios generados) con cada tipo de producto utilizado. Existen 2 retribuciones diferentes según sea la procedencia del producto que se haya consumido o utilizado:
  - Productos del grupo B8. Biomasa procedente de algún otro proceso productivo de la industria agroalimentaria, madereras.
  - Productos del grupo B6. Biomasa que no ha pasado por ningún otro proceso productivo y que procede de la industria agroalimentaria, son residuos forestales de limpiezas, clareos, saneamientos, entre otros.
- Precio “pool” del mercado. Precio al que se encuentra la electricidad en cada momento del día o mes.

En este estudio, se han realizado numerosas pruebas en las que se han obtenido una serie de balances energéticos donde se ha observado si se ha generado pérdida o ganancia de energía y, por lo tanto, la retribución económica que se obtendría sería mayor o menor. En esta opción realizamos el balance económico a 5 de los ensayos que se creen más destacables.

### 5.3.1.- Prueba nº6

Una vez que se ha realizado un análisis de la evolución del acopio durante el periodo de almacenamiento y durante su proceso de combustión, con los datos recogidos, se puede realizar un balance económico entre el coste de compra, almacenamiento y operación de la biomasa, y la retribución económica recibida.

Como ya se ha comentado anteriormente esta tecnología tiene un rendimiento aproximado del 23%, lo que quiere decir que de la energía que contiene el acopio solo ese porcentaje es útil para la transformación de la energía.

Conociendo esto, se debe hacer el balance entre la energía inicial y la energía final del acopio, aplicarle ese 23%, ver su transformación en kilowatios hora y la retribución económica de esta energía eléctrica en el momento de su uso.

Haciendo este balance de forma individual por acopio, las retribuciones a la inversión y a la operación son constantes, ya que la primera es fija y la segunda va a depender de la cantidad de energía que se genere con este tipo de biomasa. Por lo que, se va a considerar que se utiliza solamente esta biomasa. Si es variable el precio "pool" del mercado eléctrico, que será lo que marcará las diferencias entre las retribuciones.

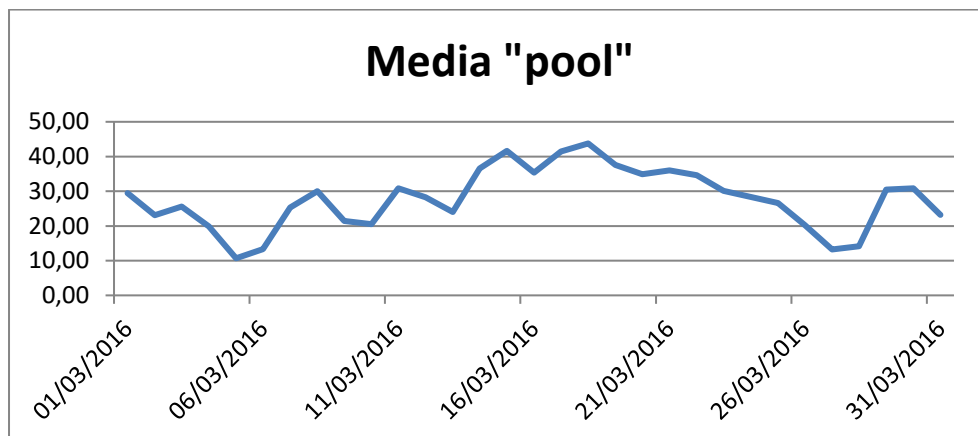


Gráfico 18.- Variación del precio "pool" del mercado eléctrico al inicio del almacenamiento prueba nº6. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Como se puede observar el "pool" es muy variable y va a depender de la energía eólica e hidráulica. En temporadas de mucha lluvia y viento, estas tecnologías funcionarán más horas al día por lo que la energía aportada necesaria al sistema a través de otras tecnologías será menor y el precio de la venta de electricidad disminuye. Como se observa en el gráfico, la media del mes está en torno a 27,79€/MWh.

Por otro lado, la media del "pool" del mes en el que se terminó el periodo de almacenamiento era de 38,90€/MWh.

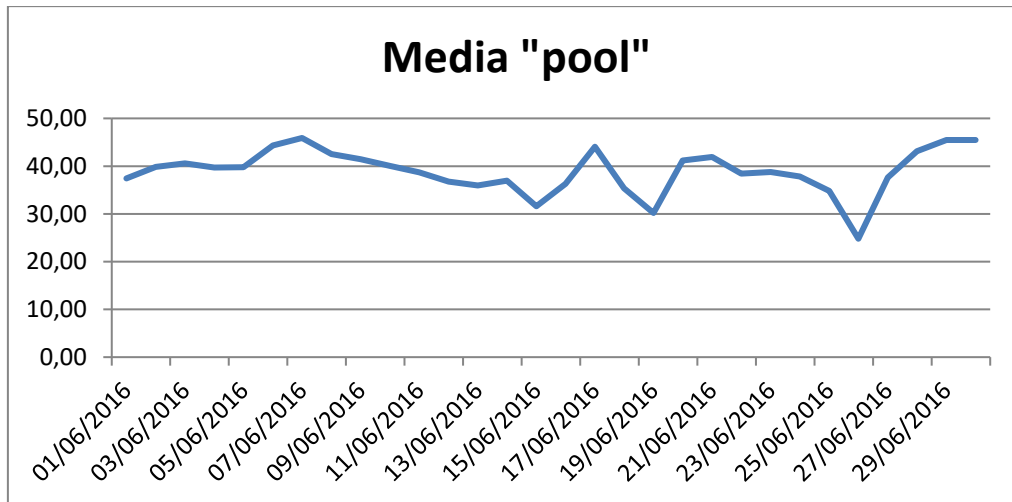


Gráfico 19.- Variación del precio "pool" del mercado al final del almacenamiento prueba n°6. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Si se toman las medias del mes como precio final de la energía eléctrica generada con la biomasa del acopio se obtiene el valor de la retribución económica que sería recibida por el consumo de esa biomasa en ese momento.

Como se observa en la tabla, al ser el precio "pool" mayor en el mes en el cual se ha consumido el acopio, la retribución económica obtenida es mayor.

Tabla 154.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba n°6. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Rendimiento Tecnología	Energía Inicial del Acopio (kWh)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (kWh)	Ri (€/MWh)	Ro (€/MWh)	Precio "pool" inicio almace. (€/MWh)	Precio "pool" Final almace. (€/MWh)	Retribución Inicio Alm. (€)	Retribución Final Alm. (€)
23%	770.620,85	F	681.751,53	33,21	54,69	27,79	38,90	87.611,88	86.446,09
		P	703.060,72						89.148,09

También hay que tener en cuenta unos costes de operación repercutidos al uso y consumo de la biomasa que forma el acopio. Estos costes suponen todos los costes necesarios en el proceso productivo para transformar la biomasa en energía termo-eléctrica. Según bibliografía, los datos medios de costes de operación se encuentran entre 50 – 70 €/MWh generado. En la siguiente tabla se muestra el coste total que supone, en este caso, el acopio de biomasa y su uso como combustible en la caldera para la generación de energía eléctrica, teniendo en cuenta unos costes de operación de 70 €/MWh.

**Tabla 155.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
37.424,68	F	39.981,02	70,00	53.953,17	47.722,61	91.377,85	87.703,63
	P	41.230,69			49.214,25		90.444,94

Haciendo un pequeño balance, se observa que la pequeña pérdida de energía producida durante el almacenamiento ha supuesto una pérdida en el balance económico. Si hay que decir que, con el consumo del acopio en un mes de mayor precio “pool” del mercado, se ha producido una reducción de las pérdidas económicas en el balance del acopio.

**Tabla 156.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
87.611,88	F	86.446,09	91.377,85	87.703,63	-3.765,97	-1.257,54
	P	89.148,09		90.444,94		-1.296,85

Se puede decir que son pérdidas mínimas con respecto al coste inicial del acopio, inferiores al 1%.

En el caso de que los costes de operación fuesen de 50 €/MWh generado, tendríamos un coste de:

**Tabla 157.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
37.424,68	F	39.981,02	50,00	38.531,04	34.087,58	75.955,72	74.068,60
	P	41.230,69			35.153,04		76.383,73

Si se realiza el balance con el coste mínimo de operación se obtiene:

**Tabla 158.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº6. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
87.611,88	F	86.446,09	75.955,72	74.068,60	11.656,16	12.377,49
	P	89.148,09		76.383,73		12.764,36

En este caso, el balance sería positivo, debido a que los costes de operación se han considerado mínimos.

En este balance, también habría que introducir los costes de peajes, desvíos e impuestos repercutidos a la generación de energía eléctrica con esa biomasa. Por normativa, la exportación de energía eléctrica tiene asignados unos costes de peaje o tarifa destinada a cubrir el pago de los costes fijos generados por el sistema. Estos costes son de 0,50 €/MWh exportado.

Por otro lado, se encuentran aquellos desvíos o penalizaciones sufridas durante el transcurso de la producción ya sea por falta de producción, exceso de producción, corte de suministro, etc. Estos costes, por regla general, suelen ser aproximados a una media de 0,29 €/MWh exportado.

Por último, existe otro coste (impuesto) atribuido a la generación de energía eléctrica con biomasa, que consiste en el pago o devolución del 7% de la retribución económica recibida por la exportación de energía eléctrica realizada.

Tabla 159.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº6. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Coste Peajes Inicio Almac. (€)	Coste Peajes Final Almac. (€)	Costes Desvíos InicioAlmac. (€)	Costes Desvíos FinalAlmac. (€)	Costes Impuesto 7% InicioAlmac. (€)	Costes Impuesto 7% FinalAlmac. (€)	Coste Inicio Almac. Total (€)	Coste FinalAlmac. Total (€)
385,31	340,88	223,48	197,71	6.132,83	6.051,23	6.741,62	6.589,82
	351,53		203,89		6.240,37		6.795,79

Estos costes habrá que sumarlos al balance económico, lo que supone un aumento en las pérdidas de entre 8% – 10% de la retribución obtenida.

Tabla 160.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº6. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
87.611,88	F	86.446,09	98.119,47	94.293,45	-10.507,59	-7.847,36
	P	89.148,09		97.240,73		-8.092,64

Tabla 161.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº6. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
87.611,88	F	86.446,09	82.697,34	80.658,42	4.914,54	5.787,67
	P	89.148,09		83.179,52		5.968,57

En esta prueba se puede observar que, en el balance económico influyen considerablemente: el precio “pool” del mercado eléctrico y el coste de operación.

Con costes de operación bajos, el balance sale positivo. Mientras que con costes de operación medios-altos, los resultados son negativos.

### 5.3.2.- Prueba nº12

En este caso, el balance energético obtenido por el secado natural del acopio sale positivo. Además de generarse un ahorro en la compra de la biomasa.

Al igual que en el caso anterior, la retribución a la inversión y a la operación van a ser constantes, ya que se trata del mismo producto. Solo variará el precio “pool”. En este caso el valor del precio medio del “pool” era de 24,11€/MWh.

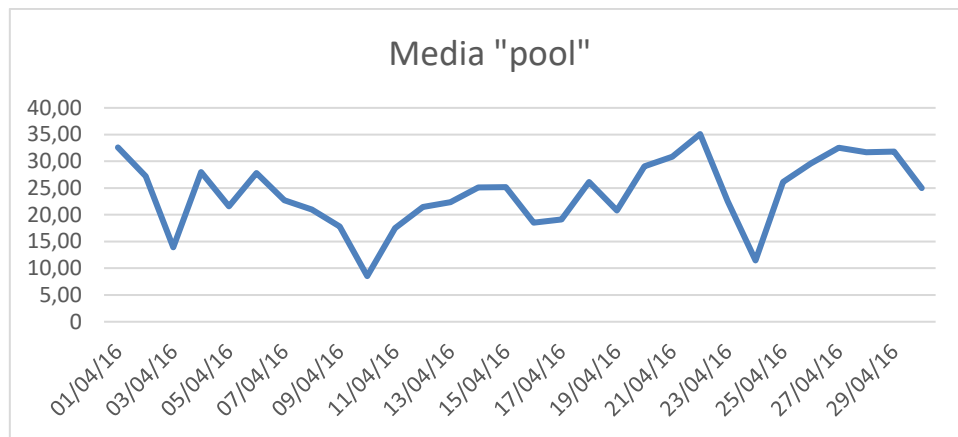


Gráfico 20.- Variación del precio "pool" del mercado eléctrico al inicio del almacenamiento prueba nº12. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Al final del periodo de almacenamiento el precio “pool” del mercado eléctrico alcanzaba los 25,76€/MWh, algo superior que cuando se hizo el acopio.

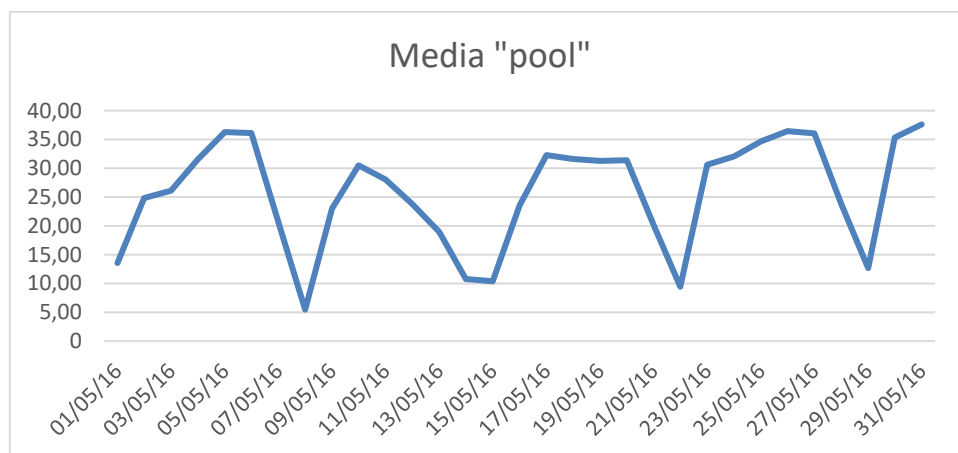


Gráfico 21.- Variación del precio “pool” del mercado eléctrico al final del almacenamiento prueba nº12. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Con los datos del precio “pool” al inicio y al final del almacenamiento, se puede obtener la retribución económica obtenida por la generación de energía eléctrica con esa biomasa.

Tabla 162.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Rendimiento Tecnología	Energía Inicial del Acopio (kWh)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (kWh)	Ri (€/MWh)	Ro (€/MWh)	Precio "pool" inicio almace. (€/MWh)	Precio "pool" Final almace. (€/MWh)	Retribución Inicio Alm. (€)	Retribución Final Alm. (€)
23%	668.151,99	F	691.278,49	33,21	54,69	24,11	25,76	74.839,71	78.570,71
		P	706.342,38						80.282,88

Para poder realizar un balance, se necesitan conocer los costes del acopio, es decir, el coste de compra y el coste de operación. Como se ha comentado anteriormente los costes de operación se encuentran entre 50 €/MWh – 70 €/MWh. Para ello, se tendrán en cuenta 2 escenarios, uno con el coste máximo de operación y otro con el coste mínimo.

Tabla 163.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
32.293,91	F	33.983,30	70,00	46.770,64	48.389,49	79.064,55	82.372,79
	P	34.723,84					49.443,97

El balance económico obtenido es negativo si los costes de operación alcanzan los 70 €/MWh generado. Habrá unos costes de entre 3.700€ - 4.200€, los que supone aproximadamente un 13% de pérdida con respecto al coste inicial del acopio.

Tabla 164.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
74.839,71	F	78.570,71	79.064,55	82.372,79	- 4.224,84	- 3.802,08
	P	80.282,88				84.167,81

En el caso de tener costes de operación próximos a 50€/MWh generado, el balance económico obtenido es positivo, a lo que hay que sumar el ahorro en la compra y la valorización del acopio durante el almacenamiento con el aumento de PCI.

**Tabla 165.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
32.293,91	F	33.983,30	50,00	33.407,60	34.563,92	65.701,51	68.547,22
	P	34.723,84			35.317,12		70.040,96

**Tabla 166.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº12. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
74.839,71	F	78.570,71	65.701,51	68.547,22	9.138,20	10.023,51
	P	80.282,88		70.040,96		10.241,92

Por lo tanto, se va a obtener un balance económico entre -4.000€ y 10.000€, dependiendo de los costes de operación y el precio “pool” del mercado.

A este balance aun hay que añadirle los costes de peaje, desvíos/penalizaciones e impuestos aplicables a la generación eléctrica realizada.

**Tabla 167.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº12. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Peajes Inicio Almac. (€)	Coste Peajes Final Almac. (€)	Costes Desvíos Inicio Almac. (€)	Costes Desvíos Final Almac. (€)	Costes Impuesto 7% Inicio Almac. (€)	Costes Impuesto 7% Final Almac. (€)	Coste Inicio Almac. Total (€)	Coste Final Almac. Total (€)
334,08	345,64	193,76	200,47	5.238,78	5.499,95	5.766,62	6.046,06
	353,17		204,84		5.619,80		6.177,81

Aplicando estos costes a los balances económicos calculados en los diferentes escenarios propuestos, el rango del balance económico final estará entre -10.000€ y 4.000€.

**Tabla 168.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº12. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
74.839,71	F	78.570,71	84.831,17	88.418,85	-9.991,46	-9.847,14
	P	80.282,88		90.345,62		-10.062,74

**Tabla 169.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº12. [Fuente: Elaboración Propia]**

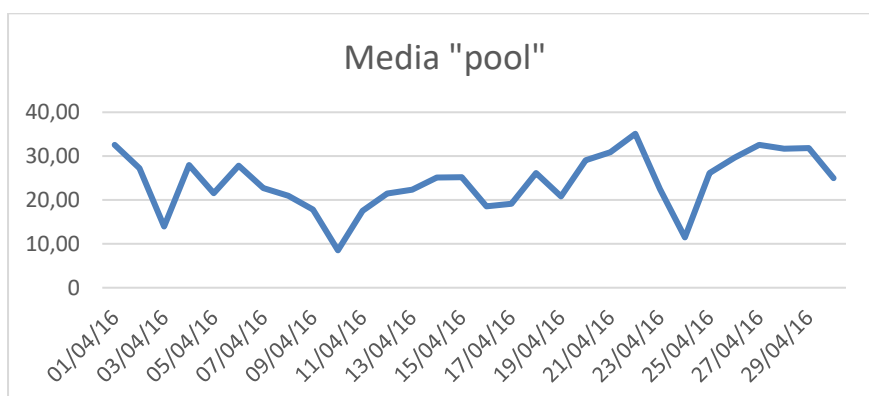
Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
74.839,71	F	78.570,71	71.747,57	74.593,28	3.092,14	3.977,43
	P	80.282,88		76.218,77		4.064,11

Como se puede observar, el margen económico es muy bajo, por lo que en cuanto que los costes aumenten un poco o el precio de la electricidad disminuya, no se producirá rentabilidad en el proceso de uso de esta biomasa.

### 5.3.3.- Prueba nº22

En esta prueba realizada también con poda de olivar triturada, se ha obtenido un balance energético positivo durante el almacenamiento, debido al secado natural del acopio en el parque, y también ahorro en la compra por la evaporación generada en el mismo.

Este acopio se realizó en el mes de Marzo de 2016, durante el cual el precio “pool” del mercado eléctrico varió según la siguiente tabla. La media mensual fue de 24,11€/MWh.



**Gráfico 22.- Variación del precio "pool" del mercado eléctrico al inicio del almacenamiento prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]**

El fin del almacenamiento se realizó durante el mes de Septiembre de ese mismo año, donde la media del “pool” se encontraba en 43,59€/MWh.

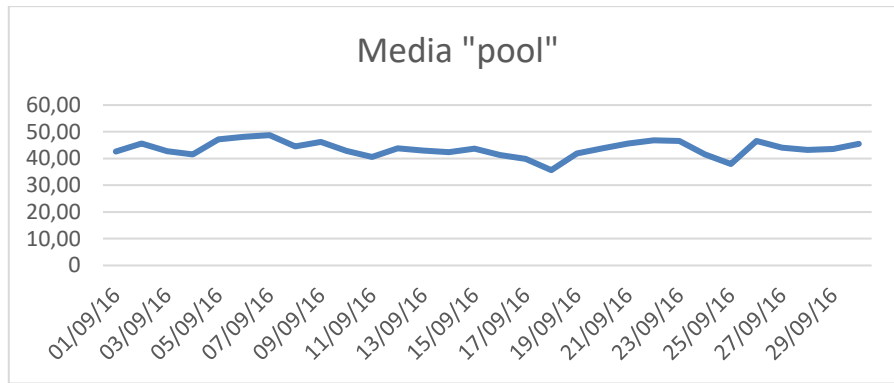


Gráfico 23.- Variación del precio "pool" del mercado eléctrico al final del almacenamiento prueba nº22. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Teniendo en cuenta estos datos del precio de la energía generada, se puede calcular la retribución económica recibida por la exportación de esa energía a la red.

Tabla 170.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Rendimiento Tecnología	Energía Inicial del Acopio (kWh)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (kWh)	Ri (€/MWh)	Ro (€/MWh)	Precio "pool" inicio almace. (€/MWh)	Precio "pool" Final almace. (€/MWh)	Retribución Inicio Alm. (€)	Retribución Final Alm. (€)
23%	888.054,99	F	967.112,67	33,21	54,69	24,11	43,59	99.471,04	127.165,65
		P	939.463,05						123.529,99

Para conocer si esta retribución es suficiente para soportar los costes concurrencios en la compra y operación de la biomasa del acopio, se realiza el balance económico, calculando con anterioridad los costes citados.

Para costes de operación altos se obtienen unos costes totales de entre 107.000€ - 115.000€.

Tabla 171.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
45.154,15	F	47.614,08	70,00	62.163,85	67.697,89	107.318,00	115.311,97
	P	46.252,28			65.762,41		112.014,69

Con la retribución económica recibida y los costes totales, se obtiene un balance económico negativo al inicio del almacenamiento, pero un balance positivo al final del periodo de almacenamiento. Esto es debido al gran aumento de PCI que se ha generado por el secado natural en el parque de biomasa.

**Tabla 172.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
99.471,04	F	127.165,65	107.318,00	115.311,97	-7.846,96	11.853,68
	P	123.529,99		112.014,69		11.515,30

Como es lógico, si ahora se tiene en cuenta un coste de operación de 50€/MWh, el balance energético será positivo.

**Tabla 173.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
45.154,15	F	47.614,08	50,00	44.402,75	48.355,63	89.556,90	95.969,71
	P	46.252,28			46.973,15		93.225,43

Se observa, que en este caso se obtiene un balance positivo en todos los casos, llegando a valores de hasta 31.000€ de beneficio.

**Tabla 174.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
99.471,04	F	127.165,65	89.556,90	95.969,71	9.914,14	31.195,94
	P	123.529,99		93.225,43		30.304,56

Ahora hay que restarle a este beneficio los costes de peajes e impuestos aplicados a esta retribución.

**Tabla 175.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Peajes Inicio Almac. (€)	Coste Peajes Final Almac. (€)	Costes Desvíos InicioAlmac. (€)	Costes Desvíos FinalAlmac. (€)	Costes Impuesto 7% InicioAlmac. (€)	Costes Impuesto 7% FinalAlmac. (€)	Coste Inicio Almac. Total (€)	Coste FinalAlmac. Total (€)
444,03	483,56	257,54	280,46	6.962,97	8.901,59	7.664,54	9.665,61
	469,73		272,44		8.647,09		9.389,26

El balance económico final será negativo siempre y cuando los costes de operación sean de alrededor de 70€/MWh. Conforme los costes de operación vayan siendo más bajos, el balance económico será positivo.

**Tabla 176.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
99.471,04	F	127.165,65	114.982,54	124.977,58	-15.511,50	2.188,07
	P	123.529,99		121.403,95		2.126,04

**Tabla 177.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]**

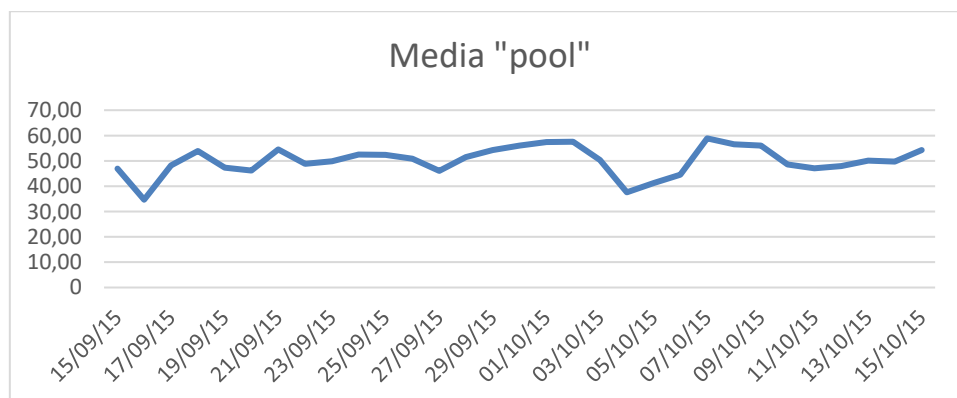
Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
99.471,04	F	127.165,65	97.221,44	105.635,32	2.249,6	21.530,33
	P	123.529,99		102.614,69		20.915,30

También influye el valor del “pool” y el aumento de PCI generado durante el almacenamiento del acopio.

#### 5.3.4.- Prueba nº27

En esta prueba realizada con pino, se ha conseguido un aumento en el PCI sin que la pérdida de peso haya afectado al balance energético. Además de producirse un ahorro en la compra de la biomasa gracias a la evaporación del agua contenida mediante el secado natural en el parque.

El acopio se realizó en el último cuatrimestre del año 2015. Durante el mes de almacenamiento el precio “pool” mantuvo una media de 50,06€/MWh. Al final del almacenamiento el precio “pool” era de 52,61€/MWh, algo mayor que cuando se realizó el acopio. Con la energía aportada por la biomasa del acopio y la retribución económica recibida por la generación eléctrica con esa biomasa, se puede realizar el balance económico del acopio.



**Gráfico 24.- Variación del precio "pool" del mercado eléctrico al inicio del almacenamiento prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]**

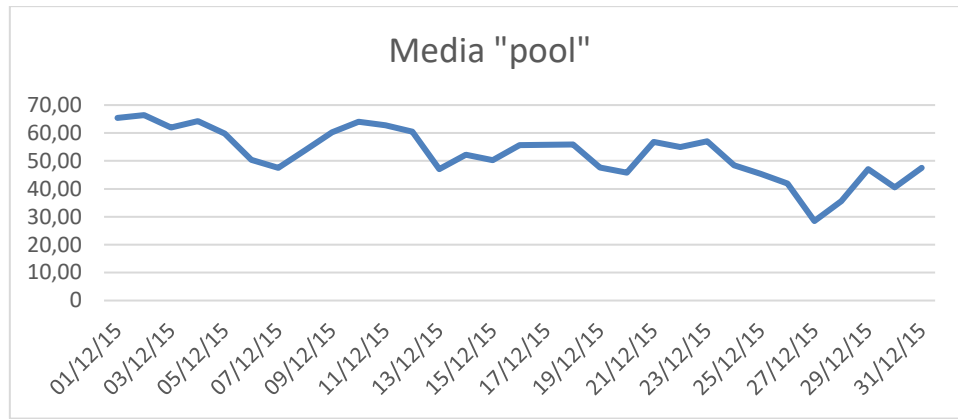


Gráfico 25.- Variación del precio "pool" del mercado eléctrico al final del almacenamiento prueba nº27. [Fuente: *Elaboración Propia*]

En este caso la diferencia entre la retribución económica al inicio y al final del almacenamiento va a depender más de la diferencia de energía que haya en cada momento del periodo de almacenamiento, ya que los datos del "pool" son muy similares.

Tabla 178.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Rendimiento Tecnología	Energía Inicial del Acopio (kWh)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (kWh)	Ri (€/MWh)	Ro (€/MWh)	Precio "pool" inicio almace. (€/MWh)	Precio "pool" Final almace. (€/MWh)	Retribución Inicio Alm. (€)	Retribución Final Alm. (€)
23%	509.213,69	F	613.064,55	33,21	54,69	50,06	52,61	70.251,12	86.141,69
		P	618.092,96						86.848,24

Para poder realizar el balance económico hay que calcular los costes totales. En este caso, para un escenario en el que los costes de operación son altos se obtienen unos costes totales de más de 70 mil euros.

Tabla 179.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
33.987,24	F	36.746,37	70,00	35.644,96	42.914,52	69.632,20	79.660,89
	P	37.047,76					80.314,27

El balance económico realizado teniendo en cuenta unos costes de operación altos salé positivo tanto al inicio como al final del almacenamiento.

**Tabla 180.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
70.251,12	F	86.141,69	69.632,20	79.660,89	618,92	6.480,80
	P	86.848,24		80.314,27		6.533,97

Por lo tanto, para costes de operación inferiores a 70€/MWh, el balance económico va a ser positivo.

**Tabla 181.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
33.987,24	F	36.746,37	50,00	25.460,69	30.653,23	59.447,93	67.399,60
	P	37.047,76			30.904,65		67.952,41

En este caso el balance económico asciende a unos beneficios de más de 18.000€ al final del periodo de almacenamiento.

**Tabla 182.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
70.251,12	F	86.141,69	59.447,93	67.399,60	10.803,19	18.742,09
	P	86.848,24		67.952,41		18.895,83

En este caso, en un rango de costes de operación de 50€/MWh – 70€/MWh, el balance económico será positivo, teniendo unos beneficios de entre 600€ y 18.000€. Pero a estos beneficios hay que restarle los costes de peajes, desvíos e impuestos aplicados a la generación eléctrica. Estos costes hacen que, con constes de operación altos, el balance pueda ser negativo.

**Tabla 183.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Peajes Inicio Almac. (€)	Coste Peajes Final Almac. (€)	Costes Desvíos InicioAlmac. (€)	Costes Desvíos FinalAlmac. (€)	Costes Impuesto 7% InicioAlmac. (€)	Costes Impuesto 7% FinalAlmac. (€)	Coste Inicio Almac. Total (€)	Coste FinalAlmac. Total (€)
254,61	306,53	147,67	177,79	4.917,58	6.029,92	5.319,86	6.514,24
	309,05		179,25		6.079,38		6.567,68

Realizando de nuevo el balance energético con los costes adicionales, efectivamente, se obtiene un balance negativo tanto al final como al inicio del almacenamiento.

**Tabla 184.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
70.251,12	F	86.141,69	74.952,06	86.175,13	-4.700,94	-33,44
	P	86.848,24		86.881,95		-33,71

Teniendo en cuenta costes de operación bajos, el balance económico será positivo, teniendo unos beneficios de hasta 12.000€ al final del almacenamiento.

**Tabla 185.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]**

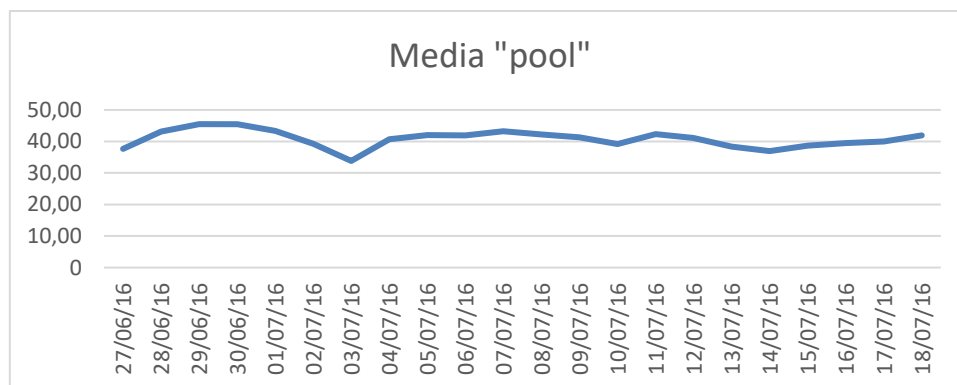
Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
70.251,12	F	86.141,69	64.767,79	73.913,84	5.483,33	12.227,85
	P	86.848,24		74.520,09		12.328,15

En este caso, el rango de beneficios estará entre 0€ y 12.000€, dependiendo principalmente de los costes de operación.

### 5.3.5.- Prueba nº49

En esta prueba realizada con sarmiento de vid, los resultados del balance energético y de la evaporación natural en el parque también han sido satisfactorios. Por lo tanto, se van a calcular los costes y retribuciones que supone la generación de energía con esa biomasa, para conocer si la gestión realizada sobre el acopio ha sido rentable o no.

Antes de nada, debemos conocer que precio tenía la electricidad en el mercado eléctrico, tanto al inicio como al final del almacenamiento.



**Gráfico 26.- Variación del precio "pool" del mercado eléctrico al inicio del almacenamiento prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]**

El precio medio al inicio del almacenamiento es de 40,80€/MWh, mientras que al final del almacenamiento el precio del mercado eléctrico se encontraba en 48,03€/MWh.

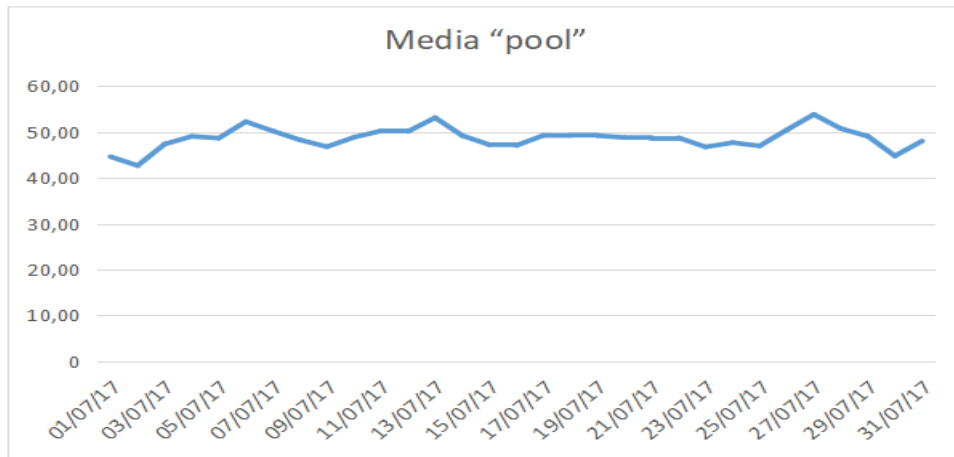


Gráfico 27.- Variación del precio "pool" del mercado eléctrico al final del almacenamiento prueba 49. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Con los precios del "pool" en ambos periodos del almacenamiento, se obtiene la retribución total recibida por la venta de electricidad.

Tabla 186.- Retribución económica obtenida al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Rendimiento Tecnología	Energía Inicial del Acopio (kWh)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (kWh)	Ri (€/MWh)	Ro (€/MWh)	Precio "pool" inicio almace. (€/MWh)	Precio "pool" Final almace. (€/MWh)	Retribución Inicio Alm. (€)	Retribución Final Alm. (€)
23%	411.076,76	F	473.792,48	33,21	54,69	40,80	48,03	52.905,58	64.402,61
		P	530.716,39						72.140,28

En relación a los costes del acopio, teniendo en cuenta unos costes de operación altos, se obtienen unos costes por encima de los 44.000€. Si se realiza un balance se obtiene que, aunque se tengan unos costes de operación altos, habrá unos beneficios considerables.

Tabla 187.- Coste económico máximo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
15.688,75	F	17.708,42	70,00	28.775,37	33.165,47	44.464,12	50.873,89
	P	19.836,00					56.986,15

**Tabla 188.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
52.905,58	F	64.402,61	44.464,12	50.873,89	8.441,46	13.528,72
	P	72.140,28		56.986,15		15.154,13

Para el caso en el que se tengan costes de operación y mantenimiento más bajos, los beneficios obtenidos en el balance económico serán mucho más altos.

**Tabla 189.- Coste económico mínimo al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Acopio Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Coste Acopio Final Alm. (€)	Costes Operación (€/MWh)	Coste Operación Inicio Alm. (€)	Coste Operación Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)
15.688,75	F	17.708,42	50,00	20.553,84	23.689,62	36.242,59	41.398,04
	P	19.836,00			26.535,82		46.371,82

**Tabla 190.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
52.905,58	F	64.402,61	36.242,59	41.398,04	16.662,99	23.004,57
	P	72.140,28		46.371,82		25.768,46

A este balance y a estos costes, hay que añadirle los costes correspondientes a los peajes, desvíos e impuestos generados por la exportación de energía.

**Tabla 191.- Coste de peajes, desvíos e impuestos prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]**

Coste Peajes Inicio Almac. (€)	Coste Peajes Final Almac. (€)	Costes Desvíos InicioAlmac. (€)	Costes Desvíos FinalAlmac. (€)	Costes Impuesto 7% InicioAlmac. (€)	Costes Impuesto 7% FinalAlmac. (€)	Coste Inicio Almac. Total (€)	Coste FinalAlmac. Total (€)
205,53	236,90	119,21	137,40	3.703,39	4.508,18	4.028,13	4.882,48
	265,36		153,91		5.049,82		5.469,09

Por lo tanto, con estos costes los balances económicos para los diferentes escenarios quedarán de la siguiente manera:

**Tabla 192.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación máximos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
52.905,58	F	64.402,61	48.492,25	55.756,37	4.413,33	8.646,24
	P	72.140,28		62.455,24		9.685,04

**Tabla 193.- Balance económico obtenido al inicio y final del almacenamiento del acopio según costes de operación mínimos, con los costes de peaje, desvíos y penalizaciones prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]**

Retribución Inicio Alm. (€)	Tipo de Medición (F/P)	Retribución Final Alm. (€)	Coste Total Inicio Almacen. (€)	Coste Total Final Almacen. (€)	Balance Inicio Almacen. (€)	Balance Final Almacen. (€)
52.905,58	F	64.402,61	40.270,72	46.280,52	12.634,86	18.122,09
	P	72.140,28		51.840,91		20.299,37

En esta prueba se obtiene un rango de beneficio en el balance económico de entre 4.000€ y 20.000€. Además de haber tenido un aumento del contenido energético del acopio gracias al secado natural en el parque y un ahorro en la compra de la biomasa.

## **5.4.- Resumen y conclusiones del capítulo**

Como ya se ha venido comentando a lo largo del estudio, la legislación es un factor determinante en el desarrollo de una tecnología. En el caso de la biomasa, no fue hasta la llegada del Real Decreto 661/2007, cuando se le dio un impulso importante a la generación eléctrica con biomasa, aplicando unas primas a aquellos kilowatios que eran producidos con biomasa. Además, este RD 661/2007, diferenciaba entre las diferentes biomásas según su procedencia, ofreciendo una mayor prima a aquellas biomásas que habían sido cultivadas con fines energético, es decir, los llamados “cultivos energéticos”.

Por lo tanto, la estructura retributiva del RD 661/2007 se basaba en una retribución a la inversión, marcada por una planta tipo, una retribución a la operación, en la que se diferenciará el uso de productos que procedan de otro proceso productivo o directamente de su aprovechamiento, y el precio “pool” del mercado más una prima dependiendo del tipo de biomasa que se utilice. Además de otros como el complemento de reactiva.

Pero con la llegada de la crisis económica, además de acciones como la reducción de horas de producción a 6.500 horas máximas anuales y el impuesto del 7% a la facturación anual por generación de energía eléctrica con biomasa, aparece el Real Decreto 413/2014, que deroga al RD 661/2007, con el que se elimina la prima establecida y en el que se iguala la retribución a la operación entre biomásas procedentes de aprovechamientos tanto agrícolas como forestales, es decir, se eliminan los cultivos energéticos y los diferentes grupos dentro de este tipo de biomásas y se consideran todos como iguales. Esto genera un cambio radical en el sector y una paralización del mismo, ya que con estos cambios la rentabilidad de las plantas se ve amenazada.

En este capítulo, se ha aplicado esta estructura retributiva a los resultados obtenidos de los ensayos de campo más representativos. Se ha observado que la variación del precio “pool” del mercado eléctrico y los costes de operación, van a afectar de manera significativa al balance económico, sobre todo los costes de operación. Por regla general, si los costes de operación son bajos y rondan los 50 €/MWh generado, los resultados salen positivos, incluso para momentos de “pool” bajo.

Estos costes de operación, se ven afectados por la calidad de la biomasa y, por lo tanto, influye en el coste de los mismos. Por lo que, una buena gestión del parque de almacenamiento, hace que la biomasa utilizada o consumida esté en estado óptimo para su uso y mejore los costes de operación de la planta.



## 6.- Conclusiones y Consideraciones Finales

---



## **6.- Conclusiones y Consideraciones Finales**

En la actualidad, la biomasa es una de las energías renovables cuyas aportaciones en el sector energético, cada vez son más significativas.

Al comenzar la investigación, la finalidad principal era estudiar el comportamiento de las diferentes biomásas durante su almacenamiento, antes de su uso como combustible para la generación de energía termo-eléctrica. Esta generación de energía puede verse afectada significativamente por el mal estado de la biomasa utilizada, por lo que un control de la calidad de la biomasa es esencial para un buen funcionamiento de una caldera de combustión para la generación de energía.

Todo esto se traduce en rentabilidad económica, puesto que, el principal punto de ingresos de este tipo de industria es la retribución económica percibida por la exportación de energía eléctrica. Por lo tanto, una buena calidad de la biomasa origina un buen intercambio y/o transferencia de calor o energía térmica, un mayor rendimiento de los equipos y, por lo tanto, una mayor generación de energía eléctrica.

Dada la poca información que existe acerca del almacenamiento de biomasa a gran escala y de como puede afectar a la rentabilidad de una planta, en esta tesis se ha realizado un estudio exhaustivo de las diferentes biomásas más utilizadas y de sus comportamientos como combustible. Se han realizado numerosas pruebas de campo, cuyos resultados, junto a la información ya existente en la bibliografía, se han aplicado en situaciones reales, llegándose a obtener buenos resultados.

Como resultado del análisis de los ensayos de campo, se ha propuesto un modelo de almacenamiento óptimo de biomasa a gran escala en plantas de generación de energía eléctrica. Este modelo se ha basado en el control de los principales factores que intervienen o afectan a la biomasa durante su almacenamiento.

## 6.1.- Conclusiones

En plantas de producción de energía eléctrica, la calidad de la biomasa es esencial para un buen funcionamiento de la planta, para una buena conservación (vida útil) y para una producción óptima. Controlar esta calidad es bastante complicado porque existen muchos tipos de biomásas y cada uno, a su vez, tiene características diferentes. Además, de sus diferentes comportamientos en función de su estado y las condiciones externas a las que estén sometidas.

El principal objetivo de esta tesis doctoral, ha sido el análisis del comportamiento de las diferentes biomásas durante su almacenamiento a gran escala, expuestas a diferentes condiciones y estados, para conocer la mejor manera de realizar un almacenamiento óptimo en el que la pérdida de cualidades físico – químicas de la biomasa sean las mínimas posibles y no afecten negativamente al proceso productivo. Este comportamiento se ha estudiado teniendo en cuenta las condiciones o características que la biomasa tenía en el momento del almacenamiento y su evolución durante el periodo de almacenamiento.

Se han estudiado las biomásas más comunes y utilizadas en plantas de combustión de biomasa para la generación de energía eléctrica, tales como pino, poda de olivar, sarmiento de vid, podas de frutales, chopo, hoja de almazara, orujillo, hueso.

Para ello, a parte del estudio bibliográfico que se ha realizado para conocer el comportamiento de las diferentes biomásas durante su almacenamiento y la evolución de sus características físico – químicas, se han realizado más de 65 pruebas de campo, en las que se ha estudiado el comportamiento de cada una de las biomásas almacenadas, los factores que afectan al mismo y de que manera.

Existen muchos factores que pueden afectar al almacenamiento de estas biomásas, pero, tal y como se refleja en la bibliografía revisada, el factor más determinante a la hora de realizar un almacenamiento de biomasa es la humedad. En las pruebas y ensayos realizados, se ha corroborado que la humedad es el factor más determinante cuando se va a realizar un almacenamiento de biomasa, siendo el causante, en gran medida, de la alteración del resto de factores. Una biomasa seca (<15%) puede ser almacenada durante periodos medios – largos sin generar grandes pérdidas o problemas de auto – calentamiento o auto – ignición, salvo excepciones o casos puntuales. Con humedades mayores, ya empiezan a tener mayor importancia el resto de factores, como son: la componente herbácea, la granulometría, tipo de biomasa, temperatura, tamaño del acopio.

De estos factores, el siguiente más importante se podría decir que es el tipo de biomasa y su composición. Es decir, biomásas leñosas son más fáciles de almacenar que biomásas herbáceas. Estas últimas suelen ser más húmedas, higroscópicas y más fácilmente

degradables por las bacterias. Esta degradación o fermentación afecta a la calidad de la biomasa y a las condiciones internas del acopio, generando un aumento de temperatura principalmente. Por regla general, en el primer instante en el que se almacena biomasa, sobre todo si está recién triturada, se produce un aumento de temperatura en el interior del acopio debido a la respiración de las células que aun quedan vivas en la madera. Esta respiración genera calor, cuya disipación va a depender del tamaño y distribución del acopio y de la granulometría de la biomasa almacenada.

Cuando se almacena una biomasa con una granulometría grande, permite realizar acopios más grandes ya que el aire puede atravesar con mayor facilidad los huecos que hay en el interior del acopio pudiendo llegar hasta el centro del mismo y refrigerarlo. Por lo contrario, si la granulometría es pequeña, impide o dificulta la entrada de aire al interior del acopio, ayudando a que la temperatura interna aumente y se produzca mayor fermentación, aumento de la humedad y deterioro de la calidad de la biomasa. La granulometría toma mayor importancia conforme el tamaño del acopio va siendo mayor. En acopios grandes, es muy complicado que el aire exterior pueda acceder hasta el centro del mismo, por lo que, si además de que el acopio es grande, la granulometría de la biomasa es pequeña, la refrigeración del interior del acopio va a ser muy complicada.

Por otro lado, el tamaño del acopio influye positivamente en la capacidad de almacenamiento del parque de biomasa, pero negativamente en la rotación de stock. Es decir, cuanto más grande es el acopio menos espacios vacíos hay en el parque, por lo que el volumen ocupado es mayor. Sin embargo, la rotación de stock es más lenta, lo que conlleva riesgos de fermentación, auto-calentamiento y dificulta los trabajos de actuación realizados sobre el acopio tales como desmonte, cortafuegos, extinción de incendios.

Como se ha podido observar, estos factores interactúan entre sí, dando lugar a fermentación y deterioro de la materia orgánica, lo que da lugar al aumento de la temperatura. Por lo que, se puede decir, que la temperatura es un factor consecuente o dependiente del resto de factores. Durante los ensayos realizados, se ha ido controlando la variación y evolución de la temperatura. Por norma general, debido a la actuación de las bacterias, la temperatura siempre ha experimentado un aumento exponencial en las 2 – 3 primeras semanas de almacenamiento (a humedades superiores al 15%). La velocidad del aumento de la temperatura va a depender, en primer lugar, de la humedad inicial con la que se almacene la biomasa y, en segundo lugar, de la componente herbácea de la misma.

Los principales resultados obtenidos de la fase experimental han sido los siguientes:

- Acopios con humedad baja y componente herbácea baja: la temperatura tiende a subir levemente, en algunas ocasiones, pero se mantiene constante e incluso

disminuye a veces, sobre todo en biomásas porosas y poco densas como el chopo. Estos acopios no suelen superar los 40°C de temperatura.

- Acopios con humedad media y componente herbácea baja: la temperatura sube en las primeras semanas a un rango de entre 50°C - 70°C, se mantiene durante un par de semanas y después, si las condiciones externas y meteorológicas son favorables, desciende levemente hasta mantenerse alrededor de los 50°C.
- Acopios con humedad alta y componente herbácea baja: en este caso, se va a depender bastante del tamaño del acopio y granulometría de la biomasa. Si el acopio tiene las condiciones físicas necesarias para una buena aireación, en las primeras semanas la temperatura va a ser bastante alta (60°C - 80°C), pero poco a poco el acopio irá refrigerándose y bajando a temperaturas más próximas a los 50°C - 60°C. En el caso contrario, el acopio aumentará de temperatura por encima de los 70°C y, dependiendo de las condiciones externas, puede llegar a superar los 80°C.
- Acopios con humedad baja y componente herbácea alta: en principio, el acopio tendrá una baja temperatura, la cual, aumentará poco a poco debido a la fermentación. Dependiendo del tamaño del acopio y la granulometría, el calor producido por esa fermentación será disipado o mitigado por la refrigeración generada por la corriente de aire generada en el interior del acopio. Cuanto más grande sea el acopio y menor la granulometría, menos refrigeración interior habrá, por lo que la temperatura será mayor. En estos casos, la temperatura ha ascendido en las primeras semanas poco a poco hasta llegar 60°C - 70°C e incluso 80°C, si el acopio es grande. Manteniéndose durante los meses de almacenamiento.
- Acopios con humedad media y componente herbácea alta: un acopio de biomasa herbácea, en el momento en el que comienza a tener algo de humedad (>15%), en cuestión de 1 – 2 semanas, puede llegar a aumentar su temperatura por encima de los 80°C, debido a la alta fermentación generada en su interior. Esta temperatura puede ser inferior si las demás características del acopio son favorables para la refrigeración. En ese caso, la temperatura puede mantenerse o bajar un poco, si el acopio es pequeño – mediano y la granulometría es media – grande.
- Acopios con humedad alta y componente herbácea alta: estos acopios son muy peligrosos, ya que en pocos días sus temperaturas se disparan por encima de los 85°C, independientemente del tamaño del acopio y la granulometría. Se produce una fermentación y degradación muy grande de la biomasa, lo que da lugar, en el interior del acopio, a zonas en las que exista ausencia de oxígeno y, por lo tanto, exista fermentación anaerobia, mayor descomposición y pérdida de características físico – químicas, generación de gases peligrosos.

De cara a la gestión del parque, entre todos los factores, principalmente la temperatura, va a ser el factor que va a marcar el periodo de almacenamiento de cada acopio. Es decir,

cuando se tenga almacenados varios acopios, cada uno irá evolucionando de manera diferentes, según sus características al inicio del almacenamiento y, aunque un acopio sea más antiguo o lleve más tiempo almacenado en el parque, si hay otro acopio más nuevo o moderno pero que está dando problemas de fermentación y su temperatura está generando auto-calentamientos y degradaciones severas de la biomasa, se actuará en primer lugar sobre este acopio.

Tras haber estudiado los diferentes métodos y técnicas de almacenamiento, según los resultados obtenidos, para poder controlar estos factores y tener un parque de almacenamiento fiable y seguro, el mejor método de almacenamiento es el “Metodo Multipila” con un sistema de rotación basado en el “FIFO” pero con algunas otras condiciones regidas por los factores principales o determinantes del almacenamiento como son: temperatura, humedad, componente herbácea, granulometría, tamaño del acopio y tiempo de residencia.

De esta forma, se ha desarrollado una propuesta de modelo de almacenamiento óptimo de biomasa, en el que se le realiza un seguimiento a cada uno de los acopios de biomasa y que se regirá por 3 reglas:

- 1.- Evolución del acopio. Es decir, según como se esté comportando el acopio y como sus factores varíen de forma negativa o positiva, la actuación sobre el mismo cobrará más o menos valor frente al resto.
- 2.- Condiciones y características de entrada. Tendrán prioridad aquellos acopios que tengan unos factores iniciales más desfavorables para el almacenamiento.
- 3.- En condiciones igual, se aplicará la técnica FIFO.

Para poder hacer un control cualitativo de la evolución y características de cada acopio, que nos permita hacer una comparativa, se han realizado una serie de tablas de importancia en las que se le ha dado unos valores a cada uno de los factores principales que intervienen en el almacenamiento. Siendo el “0” el valor de menor importancia y el “5” el valor de mayor importancia. Además, según sea de importante el factor, se le aplicará un porcentaje de importancia mayor a su valor, para destacarlos del resto.

Con esto, se consigue tener una tabla con una valoración numérica de cada acopio en la que, cuanto mayor sea el valor del acopio, con más urgencia se debe actuar sobre el acopio, ya sea consumiéndolo en la caldera, refrigerándolo, eliminándolo, etc. Esta tabla se va alimentando de datos diaria o semanalmente (la frecuencia que se estime oportuna), por lo que ofrecerá una información actualizada de la situación del parque de biomasa sobre el que actúe.

Con este método de almacenamiento, se consigue realizar una rotación de stock dinámica en el parque de biomasa, se evitan los peligros de auto-combustión e

incendios, se mantiene un orden y control de stock más exhaustivo, se conservan las características físico – químicas de la biomasa, lo que mejora la producción y rendimiento de la planta.

Para terminar, en este estudio se ha querido comprobar si, además de que esta herramienta sirva para gestionar y controlar un parque de biomasa de grandes dimensiones, podría servir para aumentar el contenido energético de los acopios de biomasa realizando un secado natural en el parque, lo que podría repercutir en la energía generada en la caldera de biomasa y, por lo tanto, en la generación de energía eléctrica, rendimiento y rentabilidad o beneficio por la retribución económica por la venta de electricidad. Para ello, se ha realizado un pequeño estudio de la situación energética actual y, junto a los ensayos realizados más representativos, se ha analizado la repercusión de la gestión del almacenamiento en la retribución económica.

Se han utilizado 6 ensayos en los que los resultados finales obtenidos en el almacenamiento han sido óptimos. En todos los ensayos se ha observado y concluido que los principales factores o costes que van a hacer que exista una retribución económica positiva o balance positivo van a ser: el precio del “pool” y los costes de operación de la planta. En todos los ensayos, cuando los costes de operación son bajos, alrededor de 50€/MWh generado, el balance energético – económico es positivo. Conforme los costes de operación van aumentando, si el precio “pool” del mercado eléctrico se encuentra por debajo de 35€/MWh, por regla general, el balance pasa a ser negativo. Por encima de este valor, el balance suele ser positivo, a no ser que los costes de operación se disparen por encima de los 70€/MWh.

Por lo tanto, no se ha considerado como un factor determinante en el almacenamiento de biomasa. Si nos ha servido este estudio para conocer la legislación vigente, como se aplica y las repercusiones que puede tener una mala gestión del almacenamiento en la retribución económica recibida por la generación de energía eléctrica.

Por último, se han analizado también los diferentes modelos retributivos que se han ido sucediendo a lo largo de las últimas décadas y se ha observado que, la biomasa, ha sido una de las energías renovables más olvidada, siendo una de las energías renovables que más capacidad de aportación energética al sector puede tener.

No fue hasta el año 94, con el RD 2366/1994, donde se estableció por primera vez una retribución económica primada para aquellas plantas de generación con biomasa para que pudieran ser competitivas en el sector. A partir de ese momento, tanto la legislación aplicable a la retribución económica por la generación de energía eléctrica con biomasa como el sector eléctrico, sufrieron muchas modificaciones que dieron lugar al RD 661/2007 que ha sido muy importante para el desarrollo de las energías renovables en España, pero sobre todo para la biomasa. Con este Real Decreto se aplicaba una prima económica a la energía eléctrica generada con biomasa. Pero, a partir de la crisis

económica mundial que comenzó en 2008, se sucedieron una serie de cambios normativos y de restricciones aplicadas a la generación de energía eléctrica con biomasa, que dio lugar a la llegada del RD 413/2014, que deroga el 661/2007. En este Real Decreto se elimina la prima económica a la generación de energía eléctrica con biomasa y se sustituye por unos parámetros retributivos, en los que se apoyará a la inversión y a la operación en función de la tecnología utilizada, producción/potencia instalada, biomasa utilizada, con una disponibilidad de 6.500 horas de trabajo equivalentes.

Al igual que le pasó al RD 661, el RD 413/2014 ha sufrido varias modificaciones a lo largo de los últimos años por medio de diferentes Órdenes Ministeriales, a través de las cuales se van exponiendo las retribuciones concedidas a aquellas nuevas plantas que se vayan a hacer efectivas. Con la Orden Ministerial 130/2017, se establece la aplicación de una retribución a la inversión "0", por lo que la retribución solo constará de una ayuda a la operación más el valor de kilowatio hora a precio pool del mercado eléctrico.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la cantidad de modificaciones, cambios y reducciones que legislativamente se van sucediendo, tiene mucha mayor importancia la buena gestión de las plantas de generación, para una mayor eficiencia y rentabilidad. Es en este punto, donde toma importancia uno de los principales objetivos establecidos en este estudio, la optimización de la biomasa utilizada en plantas de generación de energía eléctrica para un mayor rendimiento en el proceso, que ayude a afrontar aquellos posibles cambios legislativos que se vayan sucediendo.

## 6.2.- Líneas de investigación futuras

Existe un largo camino de avance y mejora dentro del campo del almacenamiento de la biomasa a gran escala, por lo tanto, se debe seguir aprendiendo, trabajando e investigando para mejorar procesos, métodos, producción, rendimientos y rentabilidad.

Tras los resultados obtenidos en este estudio, como posibles pasos a dar encaminados a esta mejora continua se pueden destacar:

- **Automatización / Informatización del modelo Combinado.** Se propone una herramienta dinámica, que sea práctica y que se tenga información de la situación actual de un parque de almacenamiento de biomasa a golpe de “click”. Para ello, el modelo debe ser adaptado a un programa informático que, enlazado con los programas o bases de datos de información de entradas/salidas de biomasa en los parques de almacenamiento y datos de laboratorio, pueda ir importando la información, gestionar los datos, hacer valoraciones y presentar los resultados tanto en informes como en mapas o planos de manera interactiva.
- **Uso de modelos de programación lineal.** Estas técnicas de programación son implementadas en la gestión de stock. La programación lineal es un método utilizado para resolver problemas de optimización. Con estos modelos, podemos conseguir una producción que consuma los mínimos recursos o maximizar los ingresos. Existen varios tipos de programación lineal en lo que cabe destacar la programación lineal fuzzy o difusa. Aunque la programación lineal es un método matemático que requiere valores exactos, este modelo difuso permite introducir variables imprecisas o con incertidumbre, con lo que se puede conseguir una imagen más exacta de la realidad debido a que los datos pueden ser variables dentro de un rango lógico de trabajo.
- **Uso de drones con cámara termográfica.** Una técnica que está empezando a utilizarse para controlar las existencias en parques de biomasa es el uso de drones. Estos drones obtienen una visión 3D de los acopios, obteniendo los volúmenes y, mediante la densidad de la biomasa, conseguir un recuento de stock o existencias. En este caso, es importante tener una buena organización en el parque y no tener ni acopios ni productos mezclados, para que la información se acerque lo máximo a la realidad. También se están utilizando drones con cámaras termográficas, las cuales realizan un mapa de temperaturas del parque en el que se puede observar cuales son los puntos más calientes y más fríos. Por lo que, ayuda a la toma de decisiones a la hora de utilizar la biomasa y también informa de los posibles riesgos de auto-calentamiento o incendio que se puedan generar.

- **Radiofrecuencia en parques de biomasa.** Es un buen sistema para la comunicación entre la base de datos, programa o modelo de gestión y los operarios. Con la radiofrecuencia, los operarios podrían recibir la información del camión o biomasa de entrada en el instante, lo que les permitirá manipular o desviar la mercancía conforme al procedimiento establecido sin pérdidas de tiempo y sin necesidad de mandos o acciones intermedias. Al igual que el operario recibe la información, este mismo devuelve información o contestación al modelo o programa de gestión para la confirmación de las operaciones tareas realizadas y concluidas. Además, desde laboratorio se enviaría información del estado de los acopios en respuesta a una información o registros previamente realizados en los mismos.
  
- **Códigos EAN.** Al igual que la radiofrecuencia, a través de códigos de barras se pueden identificar y diferenciar tanto los productos como los acopios en los que se realizaría la descarga. Este sistema es muy rápido y efectivo para tener información instantánea de la biomasa de entrada y que quede registrada en la base de datos. Es más complicada de utilizar a la hora de completar la información obtenida en laboratorio y en el parque de biomasa.
  
- **Técnicas SIG.** La utilización de sistemas de información geográfica, es algo similar a lo que se ha realizado en este estudio, con respecto a la sectorización del parque. En este caso, se podría aplicar esta sectorización como si de parcelas independientes se tratase y otorgar a cada parcela un uso diferente (tipo de biomasa). Posteriormente, se generarían diferentes mapas, en función del tipo de suelo, pudiéndose combinar unos con otros. Al ser mapas pixelados y conociendo el tamaño de cada píxel, se puede conocer el tamaño de cada sector, de cada acopio e, incluso, realizando mapas de relieve según la altura de los acopios, obtener el volumen o tamaño de cada uno, es decir, conocer el stock del parque.

## 6.3.- Publicaciones generadas en el marco de la Tesis

### 6.3.1.- Artículos

Título: *“Large-scale biomass storage for electricity generation. A comprehensive field-tests campaign in southern Spain”*

Autores: Lara Chaves, Pedro J.; Terrados Cepeda, Julio; Gallego Álvarez, Francisco J.; Hermoso Orzáez, Manuel J.

Tipo: Research Article

Revista: Biofuel, Bioproducts and Biorefining.

Publicación: 20 January 2022

Título: *“Influence of Moisture, Temperature and Microbial Activity in Biomass Sustainable Storage. Special focus on Olive Biomasses”*

Autores: Lara Chaves, Pedro J.; Terrados Cepeda, Julio; Gallego Álvarez, Francisco J.; Hermoso Orzáez, Manuel J.

Tipo: Research Article

Revista: International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources

Publicación: Volume 25 Issue 2 – August 2020

### 6.3.2.- Aportaciones a congresos

Título: “Aprovechamiento masivo para producción de electricidad del potencial biomásico procedente de la poda de olivo de la provincial de Jaén”

Autores: F.J. Gallego, J. Terrados, P.J. Lara, E. Castro y G. Almonacid.

Tipo: Comunicación

Congreso: Congreso Nacional de Medio Ambiente – CONAMA10

Lugar: Madrid, España.

Año: Noviembre 2010

Título: “Sustainable Management of Biomass Parks. A Methodological proposal”

Autores: F.J. Gallego, J. Terrados y P.J. Lara.

Tipo: Comunicación

Congreso: Euro Renewable Energy 2019 – New Frontiers in Renewable Energy & Resources

Lugar: Roma, Italia.

Año: 16 de Octubre de 2019



# Bibliografía

---



## Bibliografía

Afzal, M. et al. (2010) "Storage of communitied and uncommunitied forest biomass and its effect on fuel quality" en *BioResources*, vol. 5, 2010, p. 55 – 69.

Agencia Andaluza de la Energía (2011) "La Biomasa en Andalucía" en Consejería de Economía, Innovación y Ciencia, 2011.

Alakoski, E. et al. (2016) "From Wood pellets to Wood chips, risks of degradation and emission from the storage of woody biomass" en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, 2016, p. 376 – 383.

Allen, J. et al. (1998) "Logistics management and costs of biomass fuel supply" en *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 28.6, 1998, p. 463 - 477.

Anheller, M. (2009) "Biomass losses during short term storage of bark and recovered wood". Tesis Doctoral Martin Anheller. Suecia, 2009. Departamento de Energía y Tecnología, Universidad Sueca de Ciencias de la Agricultura.

APPA (2011) "Inventario de plantas de biomasa, biogás y pellet" en Asociación de Pequeños Agricultores y Ganaderos, 2011.

APPA (2018) "Regulación" en Asociación de Pequeños Agricultores y Ganaderos, 2011.

Atchison, J. y Hettenhaus, J. (2003) "Innovative methods for corn stover collecting, handling, storing and transporting" en *National Renewable Energy Laboratory*, 2003, Colorado.

Azcárate, B. y Mingorance, A. (1996) "La contribución de las energías renovables en la planificación energética española" en *Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI*, t. 9, 1996, p. 39 – 51.

Barontini, M. et al. (2014) "Storage dynamics and fuel quality of poplar chips" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 62, 2014, p. 17 – 25.

Bedane, A. H.; Afzal, M. T. y Sokhansanj, S. (2011) "Simulation of temperatura and moisture changes during storage of woody biomass owing to weather variability" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 35, 2011, p. 3147 – 3151.

Belbo, H. y Talbor, B. (2014) "Systems analysis of ten supply chains for whole tree chips" en *Forest*, vol. 5, 2014, p. 2084 - 2102.

Berndes, G.; Hoogwijk, M. y Van den Broek, R. (2003) "The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 25, 2003, p. 1 – 28.

Biomass Magazine (2017) "Biomass Power List" [online]. Available from <http://biomassmagazine.com/plants/listplants/biomass/US/> [07 March 2017]

BOE. "Boletín Oficial del Estado".

Boonmee, N. y Quintiere, J. (2002) "Glowing and flaming autoignition of wood" en *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 29, 2002, p. 289 – 296.

Buggeln, R. (1999) "Outside storage of wood chips" en *Biocycle*, 1999, p. 32 – 34.

Caslin, B. et al (2015) "Short rotation coppice willow" en *Best Practice Guidelines*, Teagasc, 2015, Irlanda.

Carras, J. y Youngt, B. (1994) "Self-heating of coal and related materials: models, application and test methods" en *Program Energy Combustion Selection*, vol. 20, 1994, p. 1 – 15.

Chaoui, H. y Eckhoff, S.R.(2014) "Biomass feedstock storage for quantity and quality preservation" en *Engineering and Science of Biomass Feedstock Production and Provision*, 2014, New York.

Comisión Europea 81/924/CEE (1981) "Recomendación del Consejo de 27 de Octubre de 1981 relativa a las estructuras tarifarias para la energía eléctrica en la Comunidad" en *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 1981.

Cortes Generales (1994) "Diario de Sesiones del Congreso de los Diputados", 1994.

Cuerdo, M. (1999) "Evaluación de los Planes Energéticos en España 1975-1998" en *Revista de Historia Industrial*. Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. Año 1999.

Cundiff, J. S.; Dias, N. y Sherali, H. D. (1996) "A linear programming approach for designing a herbaceous biomass delivery system" en *Bioresource Technology*, vol. 59, 1996, p. 47 – 55.

Curci, M. (2010) "Procurement, process and storage techniques for controlling off-gassing and pellet temperatures, en *Indeck Energy Biofuel Center*, 2010.

Delgado, M. et al. (1994) "La hoja del Olivo: Un subproducto por utilizar" en *Mundo Ganadero*, vol. 12, 1994, p. 44 – 48.

Díaz, M. (2009) "Las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico Español". Tesis de Máster Oficial en el Sector Eléctrico. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Madrid, 2009.

Directiva 96/92/CE (1996) "Directiva 96/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de Diciembre de 1996 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad" en Diario Oficial de las Comunidades Europeas en Bruselas, 1996.

Domingo, E. (2000) "Régimen Jurídico de las Energías Renovables y la Cogeneración Eléctrica" en Instituto Nacional de Administraciones Públicas de Madrid, 2000.

Eggleston, G. et al. (2014) "Brown and green sugarcane leaves as potential biomass: How they deteriorate under dry and wet storage conditions" en *Industrial Corps and Products*, vol. 57, 2014, p. 69 - 81.

Emery, I. R. y Mosier, N. S. (2012) "The impact of dry matter loss during herbaceous biomass storage on net greenhouse gas emissions from biofuels production" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 39, 2012, p. 237 – 246.

Emery, I.; Dunn, J. y Han, J. (2015) "Biomass storage options influence net energy and emissions of cellulosic ethanol" en *Bioenerg. Res.*, vol. 8, 2015, p. 590 – 604.

*EOI (2015) "Escuela de Organización Industrial", 2015.*

Eriksson, A. (2011) "Energy efficient storage of biomass at Vattenfall heat and power plants" en *Institutionen för energy och teknik*, 2011.

Ergül, E. y Ayrilmis, N. (2014) "Effect of outdoor storage conditions of Wood chip pile on the technological properties of Wood-based panel" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 61, 2014, p. 66 – 72.

Erlandsson, J. (2008) "Moisture content in logging residues: affecting factors" en Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, 2008, Suecia.

Ernstson, M. y Rasmuson, A. (1992) "Field and laboratory measurements of the air permeability of chipped forest fuel materials" en *Fuel*, vol. 71, 1992, p. 963 – 970.

Eslyn, W. E. (1967) "Outside Storage of Hardwood Chips in the Northeast" en *The Journal of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, vol. 50, 1967, p. 297 – 303.

FAO (1978) "Las Astillas de Madera: su producción, manipulación y transporte" en Estudio FAO sobre Montes, 1978.

FAO (2015) "Protección contra las heladas: fundamentos, prácticas y economía" en Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015.

Farnish, R. (2016) "Storage and Handling. Requirements for Biomass" en The Wolfson Centre for Bulk Solids Handling Technology in the University of Greenwich, 2016.

Farve, R. y Napper, C. (2009) "Biomass fuels and whole tree harvesting impacts on soil productivity" en *Inventory and Monitoring*, May 2009.

Ferrero, F. et al. (2009) "A mathematical model to predict the heating – up of large scale wood piles" en *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 22, 2009, p. 439 – 448.

Fierro, V. et al. (2001) "Model predictions and experimental results on self-heating prevention of stockpiles coals" en *Fuel*, vol. 80, 2001, p. 125 - 134.

Filbakk, T.; Høibø, O. y Nurmi, J. (2011) "Modelling natural drying efficiency in covered and uncovered piles of whole broadleaf trees for energy use" en *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, 2011, p. 454 - 463.

FLIR (2011) "User´s Manual" en FLIR Systems, public. No. T559580, February, 2011.

Forega-Trasmiras (2013) "Incidencias dos factores ambientais e tipo de almacenaxenacalidade da astilla para ose uso como biocombustible" en *Memoria de Traballos e Resultados*, 2013.

Fuller, W. (1985) "Chip pile storage: A review of practices to avoid deterioration and economic losses" en *TappoJournal*, vol. 68, Agosto 1985, p. 48.

Garstand, J. et al. (2002) "Identification and characterization of factors affecting losses in the large scale, non ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices" en *First Renewables Ltd*, 2002.

Gallis, C. (2003) "Probabilistic assessment of forest biomass storage times and its effect on cost: A beech biomass case study" en *Forest Products Journal*, vol. 53, 2003, p. 44 – 47.

Gautam, S. et al. (2011) "Changes in fuel quality of logging residues during field storage in northwestern Ontario" en *34<sup>th</sup> Council on Forest Engineering*, June 2011.

Gejdos, M. (2015) "Storage and fuel quality of coniferous wood chips" en *BioResources*, vol. 10, 2015, p. 5544 - 5553.

Gislerud, O. (1990) "Drying and Storing of Communitied Wood Fuels" en *International Energy Agency*, vol. 22, 1990, p. 229 – 244.

Gislerud, O. y Grønlien, H. (1977) "Storage of Whole-Tree Chip" en *Lagring av Heltreflis*, 1977.

Gold, S. y Suering, S. (2011) "Supply chain and logistics issues of bio-energy production" en *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, 2011, p. 32 – 42.

González, R. et al. (2011) "Biomass to energy in the southern United States: Supply chain and delivered cost" en *BioResources*, vol. 6, 2011, p. 2954 – 2976.

Hakkila, P. (2004) "Developing technology for large-scale production of forest chips" en *Wood Energy Technology Programme 1999 – 2003*, Helsinki 2004.

Halle Jr., J. (2017) "BiomassQuestions" [correo electrónico] a Lara C., P.J. [17 Marzo 2017].

Hamelinck, C.N., Suurs, R.A.A. y Faaij, A.P.C. (2005) "International bioenergy transport costs and energy balance" en *Biomass and Bioenergy*, vol. 29, 2005, p. 114 – 134.

He, X. et al. (2012) "Dry matter losses in combination with gaseous emissions during the storage of forest residues" en *Fuel*, vol. 95, 2012, p. 662 – 664.

Hogland, W.; Bramryd, T. and Persson, I. (1996) "Physical, biological and chemical effects of unsorted fractions of industrial solid waste in waste fuel storage" en *Waste Management and Research*, vol. 14, 1996, p. 197 – 210.

Hogland, W. y Marques, M. (2003) "Physical, biological and chemical processes during storage and spontaneous combustion of waste fuel" en *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 40, 2003, p. 53 – 59.

Huisman, W. (2003) "Optimising harvesting and storage systems for energy crops" en *International Conference on Crop Harvesting and Processing*, 2003, p. 1 – 19.

Huisman, W.; Venturi, P. y Molenaar, J. (1997) "Cost of supply chains of *Miscanthus Giganteus*" en *Industrial Crops and Products*, vol. 6, 1997, p. 353 – 366.

IEA Bioenergy (2013) "Health and Safety Aspects of Solid Biomass Storage, Transportation and Feeding" en *IEA Bioenergy Task 32, 36, 37 and 40*, 2013.

IDAE (2005) *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*, 2005.

Janzé, P. (2011a) "Biomass Storage Pile Basics" en *Biomass Handling*, 2011.

Janzé, P. (2011b) "Chips / Biomass Pile Inventory Management" en *Biomass Handling*, 2011.

Jirjis, R. (1995) "Storage and Drying of wood fuel" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 9, 1995, p. 181 – 190.

Jirjis, R. (2005) "Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 28, 2005, p. 193 – 201.

Jirjis, R.; Toro, A. y Nilsson, D. (1994) "Cold air ventilated and sealed storage of Wood-chips from willow" en *Departamento de Ingeniería Agrícola*, año 1994, Suecia.

Jirjis, R.; Pari, L. y Sissot, F. (2008) "Storage of poplar wood chips in northern Italy" en *World Bioenergy*, 2008.

Jones, J.C. (2000) "Commentary on the UN Test for Spontaneous Heating of Solid Substances" en *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 13, 2000, p. 177 – 178.

Kadioglu, Y. y Varamaz, M. (2003) "The effect of moisture content and air-drying on spontaneous combustion characteristics of two Turkish lignites" en *Fuel*, vol. 82, 2003, p. 1685 – 1693.

Kofman, P. (2007) "Delivery and storage of wood chip fuel" en *Coford Connects*, 2007.

Kofman, P. (2012) "Storage of short rotation coppice willow fuel" en *Coford Connects*, nº 30, 2012.

Krause, U. y Schmidt, M. (2001) "The influence of initial conditions on the propagation of smouldering fires in dust accumulations" en *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 14, 2001, p. 527 - 532.

Krzyżaniak, M. et al. (2016) "Effect of storage methods on willow chips quality" en *Biomass and Bioenergy*, vol. 92, 2016, p. 61 – 69.

Kumar, A. y Sokhansanj, S. (2007) "Switchgrass (*Panicum virgatum*, L.) delivery to a biorefinery using integrated biomass supply analysis and logistics (IBSAL) model" en *Bioresource Technology*, vol. 98, 2007, p. 1033 - 1044.

Larson, J. A. (2010) "Cost evaluation of alternative switchgrass producing, harvesting, storing and transporting system and their logistics in the Southeastern USA" en *Agricultural Finance Review*, vol. 70, 2010, p. 184 – 200.

Larson, J. A. et al. (2010) "Estimating the Impacts of Storage Dry Matter Losses on Switchgrass Production" en *The University of Tennessee, Department of Agricultural and Resource Economics*, año 2010, Knoxville.

LEA, (2007) "Combustión Espontánea de Granos" en *Leza, Escriña & Asociados S.A.*, circular 03.01, 2007.

Lenz, H. et al. (2015) "Open-air storage of fine and coarse wood chips of poplar from short rotation coppice in covered piles" en *Biomass and Bioenergy*, vol. 83, 2015, p. 269 – 277.

Lin, Y. y Pan, F. (2012) "Effect of In-Woods Storage of Unprocessed Logging Residue on Biomass Feedstock Quality" en *Forest Product Journal*, Vol. 63, 2012, p. 119 – 124.

Liu, Y. et al. (2015) "Experimental and simulation investigations on self-heat recuperative fluidized bed dryer for biomass drying with superheated steam" en *Fuel Processing Technology*, vol. 136, 2015, p. 79 – 86.

López de Castro, L. (1999) "La nueva Ley 54/1997, del Sector Eléctrico" en *Universidad Autónoma de Madrid*, 1999.

López de Castro, L. (2000) "La nueva configuración jurídica del sector eléctrico tras la Ley 54/1997" en *Universidad Autónoma de Madrid*, 2000.

López, I. (2008) "Evolución de pilas de astilla forestal bajo dos coberturas diferentes al aire libre: experiencia en Alp (Gerona)" en Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Boletín del CIDEU 5, 2008, p. 85 – 95.

Loria, K. (2014) "Surveying Storage Solutions" en Biomass Magazine, artículo 10853, 01 Septiembre 2014.

Löwegren, G. y Jonsson, L. (1987) "Storing of chipped logging residues and chipped oak stemwood in big piles" en Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, 1987.

Mahía, R. (2001) "Conceptos básicos de matemática económica para el manejo de series" en Universidad Autónoma de Madrid, 2001.

Manzone, M.; Balsari, P. y Spinelli, R. (2013) "small-scale storage techniques for fuel chips from short rotation forestry" en Fuel, vol. 109, p. 687 – 692.

Marco Legal Estable 1988-97 (1987) "Informe Marco Legal Estable de 1988 a 1997" en Red Eléctrica Española, 1987.

Mendoza A. D. (2009) "Prevención y Control de Autocombustión del Carbón in situ en la mina carbones del Cerrejon Limited". Proyecto Final de Carrera. Departamento de Ingeniería de Minas y Metalurgia. Universidad de Colombia. 2009.

Menéndez, U. (2014) "Nueva Regulación de la producción a partir de fuentes de energía renovable: ¿El fin de la incertidumbre?". Derecho Mercantil. Disponible en [http://www.uria.com/documentos/circulares/665/documento/5081/052\\_junio\\_2014\\_es.htm?id=5081](http://www.uria.com/documentos/circulares/665/documento/5081/052_junio_2014_es.htm?id=5081). Madrid, 2014.

Mills, J. (1989) "Spoilage and heating of stored agricultural products" en Research Branch Agriculture and Agri-Food Canada, 1989.

Moqbel, S.; Reinhart, D. y Chen, R. (2010) "Factors influencing spontaneous combustion of solid waste" en Waste Management, vol. 30, 2010, p. 1600 – 1607.

Noll, M. y Jirjis, R. (2012) "Microbial communities in large-scale Wood piles and their effects on wood quality and the environment" en Appl Microbiol Biotechnol, vol. 95, 2012, p. 551 – 563.

Nordic Innovation Centre (2008) "Guidelines for storing and handling of solid biofuels" en Nordtest Method, 2008.

Nurmi, J. (1991) "Long term storage of chips in large pile" en Polttohakkeen Pitaaikainen Varastointi Aumoissa, 1991.

Nurmi, J. (1993) "Heating Values of the above ground biomass of small-sized trees" en Acta Forestalia Fennica 236, 1993, Helsinki.

Nurmi, J. (1995) "The effect of whole-tree storage on the fuelwood properties of short-rotation salix crops" en Biomass & Bioenergy, vol. 8, 1995, p. 245 – 249.

Nurmi, J. (1999) "The storage of logging residue for fuel" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 17, 1999, p. 41 – 47.

Nurmi, J. (2002) "Storage alternatives affect fuelwood properties of Norway Spruce logging residues" en *New Zealand Journal of Forestry Science*, vol. 31, 2002, p. 289 - 297.

Nurmi, J. (2014) "Changes in volumetric energy densities during storage of whole-tree stocks from silvicultural thinning" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 61, p. 114 – 120.

Obernberguer, I. y Thek, G. (2010) "The Pellet Handbook: The production and thermal utilisation of biomass pellets" en *Earthscan*, 2010.

Ortiz, L.; Tejada, A. y Vázquez, A. (2001) "Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena Monte – Industria" en *Revista CIS – Madera*, 2001, p. 17 – 32.

Palmero, R. (2010) "Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones" en *Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural, Área de Aguas y Agricultura*, Febrero 2010.

Pari, L. et al. (2013) "Influence of chipping device and storage method on the quality of SRC poplar biomass" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 51, 2013, p. 169 – 176.

Pari, L. et al. (2015) "Alternative storage systems of Arundo Donx L. and characterization of the stored biomass" en *Industrial Crops and Products*, vol. 75, 2015, p. 59 – 65.

Pari, L. et al. (2015) "Poplar wood chip storage: effect of particle size and breathable covering on drying dynamics and biofuel quality" en *Biomass and Bioenergy*, vol. 81, 2015, p. 282 – 287.

Pecenka, R. et al. (2014) "Development of bio-physical properties during storage of poplar chips from 15 ha test fields" en *Biomass and Bioenergy*, vol. 65, 2014, p. 13 – 19.

PER (2011) "Plan de Energías Renovables 2011 – 2020".

Pettersson, M. y Nordfjell, T. (2007) "Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees" en *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, 2007, p. 782 – 792.

Proyecto INTRADER (2010) "Estudio de las características de la astilla forestal y buenas prácticas para su aplicación energética" en *Información y Transferencia para el Desarrollo Rural, Estudio E002, Centro Tecnológico Forestal de Cataluña*, 2010.

Ramírez, A.; García-Torrent, J. y Aguado, P.J. (2009) "Determination of parameters used to prevent ignition of stored materials and to protect against explosions in food industries" en *Journal of Hazardous Materials*, vol. 168, 2009, p. 115 – 120.

Ramírez, A.; García-Torrent, J. y Tascón, A. (2010) "Experimental determination of self-heating and self-ignition risks associated with the dusts of agricultural materials commonly stored in silos" en *Journals of Hazardous Materials*, vol. 175, 2010, p. 920 – 927.

REE (1998) "El Marco Legal Estable. Economía del Sector Eléctrico 1988-97" en Red Eléctrica Española, 1998.

Rentizelas, A. A. (2016) "Biomass Storage" en Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining, 2016, p. 127 – 146.

Rentizelas A. A.; Tatsiopoulos, I. P. y Tolis, A. (2009) "An optimization model for multi-biomass tri-generation energy supply" en Biomass & Bioenergy, vol. 33, 2009, p. 223 – 233.

Rentizelas, A. A.; Tolis, A. J. y Tatsiopoulos, I. P. (2009) "Logistics issues of biomass: The store problem and the multi-biomass supply chain" en Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, 2009, p. 887 – 894.

Rodero, P. (2009) "Buenas prácticas de almacenamiento de pellets de madera" en Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (AVEBIOM), 2009.

Röser, D. et al. (2011) "Natural drying treatments during seasonal storage of wood for bioenergy in different European locations" en Biomass & Bioenergy, vol. 35, 2011, p. 4238 – 4247.

Rupar, K. y Sanati, M. (2005) "The release of terpenes during storage of biomass" en Biomass & Bioenergy, vol. 28, 2005, p. 29 – 34.

Rynk, R. (2008) "Fires at Composting Facilities: Handling and Extinguishing Fires" en BioCycle Magazine, Environmental Protection: Air, Water And Fire, 2008, p. 37 – 40.

Salas, J. (1997) "Régimen Jurídico Administrativo de la Energía Eléctrica" en Real Colegio de España, 1997.

Sanderson, M.; Eggert, R. y Wiselogle, A. (1996) "Biomass losses during harvest and storage of switchgrass" en Biomass and Bioenergy, vol. 12, 1997, p. 107 – 114.

Sandoval, I. S. (2013) "La política medioambiental comunitaria y la europeización de las políticas energéticas nacionales de los estados miembros. La política europea de renovables y su impacto en España y en el Reino Unido" en Departament de Dret Públic i de Ciències HistòricoJurídiques de la Universitat Autònoma de Barcelona, 2013.

Saxe, C. (2007) "Big Bale Storage Losses; how different options stack up" en Wisconsin Team Forage, vol. 9, 2007.

Searcy, E. et al. (2011) "Impact of screening on behavior during storage and cost of ground small-diameter pine trees: a case study" en Forest Product Journal, vol. 61, 2011, p. 570 - 578.

Searcy, S.; Hartley, B. y Thomasson, J. (2014) "Evaluation of Modular System for Low-Cost Transport and Storage of Herbaceous Biomass" en Bioenergy Residues, vol. 7, 2014, p. 824 – 832.

Shinners, K. et al. (2007) "Comparison of wet and dry corn stover harvest and storage" en *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, 2007, p. 211 – 221.

Shipp, S. (2009) "Handling biomass and solid alternative fuels" en *First Energy Biomass Seminar*, Ohio, 2009.

Slaven, I. (2017) "Biomass Store Information" [correo electrónico] a Lara C., P.J. [6 Febrero 2017].

Slaven, I.; Haviarova, E. y Cassens, D. (2011) "Properties of Wood Waste Stored for Energy Production" en *Expert Reviewed BioEnergy*, 2011.

Stelte, W. (2012) "Guideline: Storage and Handling of Wood Pellets" en *ResultatKontrakt (RK) Report*, 2012.

Sotelo, J. A. (2002) "Desarrollo y Medioambiente en Europa: La política energética comunitaria" en *Observatorio Medioambiental*, vol. 5, 2002, p. 279 – 328.

Suadicani, K. y Gamborg, C. (1999) "Fuel quality of whole-tree chips from felled and summer dried Norway spruce on a poor Sandy soil and a rich loamy soil" en *Biomass & Bioenergy*, Vol. 17, 1999, p. 199 – 208.

Suadicani, K. y Heding, N. (1992) "Wood preparation, storage and drying" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 2, 1992, p. 149 – 156.

Suárez, B. (2010) "El PVC (Policloruro de Vinilo)" en *Facultada de Química e Ingeniería "Fray Rogelio Bacon"*, Argentina, 2010.

Tatsiopoulos, I. P. y Tolis, A. J. (2003) "Economic aspects of the cotton-stalk biomass logistics and comparison of supply chain methods" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 24, 2003, p. 199 – 214.

Thornley, P. (2008) "Airborne emissions from biomass based power generation systems" en *Environmental Research Letters*, vol. 3, 2008.

Thörnqvist, T. (1985) "Drying and Storage of Forest Residues for Energy Production" en *Biomass & Bioenergy*, vol. 7, 1985, p. 125 – 134.

Vassilev, S.; Vassileva, C. y Vassilev, V. (2015) "Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview" en *Fuel*, vol. 158, 2015, p. 330 – 350.

Wikipedia (2017). *La Enciclopedia Libre Interactiva*.

Williams, G.; Jofriet, J. y Rosentrater, K. (2008) "Biomass Storage and Handling: Status and Industry Needs" en *ASABE Annual International Meeting*, paper number: 08-2081, Rhode Island Convention Center, Rhode Island, 2008.

Wood S. M. y Layzell, D.B. (2003) "A Canadian Biomass Inventory: Feedstocks for a Bio-based Economy" en *BIOCAP Canada Foundation*, 2003.

Woody BUG (2002) "Woody Biomass Feedstock Yard Business Development Guide en The Federal Woody Biomass Utilization Working Group, Biomass Research and Development Board, 2002, USA.

Yasuhara, A.; Amano, Y. y Shibamoto, T. (2010) "Investigation of the self-heating and spontaneous ignitions of refuse-derived fuel (RDF) during storage" en *Waste Management*, vol. 30, 2010, p. 1161 – 1164.

Zárate, J. (2016) "La maderacomo combustible" en *Revista Forestal del Peru*, Facultad de Ciencias Forestales de Perú, vol. 14, 2016, p. 1 - 9.

Zafar, S. (2015) "Biomass Storage Methods" en *BioEnergy Consult*, 2015.



# Anexos

---



# Anexos

## Anexo I: Pruebas y Ensayos

### Prueba nº6

En la tabla, se muestran los datos del acopio evaluado en esta prueba. Se trata de un acopio de pino que se ha almacenado durante 3 meses (Marzo – Junio). Durante este periodo de almacenamiento se ha producido un secado natural del acopio. Esta pérdida de humedad se traduce en una pérdida de agua que contiene el acopio y, por lo tanto, en una pérdida del peso del acopio. A su vez, esta pérdida de humedad es inversa al valor del PCI del producto, ya que cuanto más seco esté el producto más PCI tendrá y mayor rendimiento energético se obtendrá de su combustión.

Una vez transcurridos los 3 meses de almacenamiento, se realiza una comprobación del peso del acopio y de la humedad media del mismo, en ese momento.

El cálculo o medición del peso del acopio se puede realizar de 2 formas:

- Procedimiento F: Cálculo a partir del contenido de humedad. Conociendo las diferentes humedades (inicial-final) y el peso del acopio al inicio del almacenamiento, se puede calcular el peso del acopio al final del almacenamiento, aplicando la fórmula de pérdida de peso por pérdida de humedad:

$$Kg \text{ Acopio} = Kg \text{ Inicio} * \left( \frac{(1 + \text{Humedad Final})}{(1 + \text{Humedad Inicial})} \right)$$

- Procedimiento P: Pesaje de producto en planta. Pesando de nuevo en una báscula industrial la cantidad de producto que quede en el acopio. Se puede hacer:
  - o Cargando camiones y pesándolos en una báscula.
  - o Moviendo el producto con una pala cargadora y contabilizando el número de movimientos realizados, sabiendo el peso de cada uno de ellos.

Aplicando la fórmula, al cabo de los 3 meses, el acopio habría perdido unos 90.480 kg de peso, supuestamente de agua evaporada. Con lo que quedaría en el acopio 765.920 kg de pino al 21,17% de humedad. Mientras que realizando la comprobación con una báscula pesadora se ha obtenido que se ha producido en el acopio una pérdida de humedad del 14,31% de humedad (4,77%/mensual) y una pérdida de peso de 66.540 kg, es decir, que quedarían en el acopio 789.860 kg al 21,17% de humedad.

Para la valoración del comportamiento de la biomasa durante el almacenamiento y la consistencia de ambos métodos, se van a comparar los dos datos, aunque lo lógico sería utilizar el dato obtenido mediante el pesaje del acopio al final del periodo de almacenamiento, ya que es un dato medido y no un dato estimado por una fórmula.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº6. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P) <sup>27</sup>	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G5-20	3	35,48	21,17	856.400	F	765.920	35 - 75
					P	789.860	

El siguiente paso sería conocer la repercusión energética que supone esta pérdida de humedad, ya que a grandes pérdidas de humedad el balance energético se vuelve negativo. Para ello, se ha analizado el PCS/PCI del producto al inicio y al final del almacenamiento, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº6. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.763,80	4.632,53	3.364,61	3.328,23

Como se observa en la tabla, después de 3 meses de almacenamiento el PCS del producto permanece casi igual ( $\approx 1\%$  de pérdida). Esto se puede deber a que el acopio ha estado durante un largo periodo tiempo a unas temperaturas interiores favorables para que actúen las bacterias y microorganismos, y degraden el producto. También hay que tener en cuenta la acción del medioambiente exterior como arrastre de partículas por acción del viento o lixiviados producidos por las lluvias, entre otros.

<sup>27</sup> F = Datos calculados mediante la aplicación de la fórmula.

P = Datos calculados mediante el pesaje del acopio al final del almacenamiento.

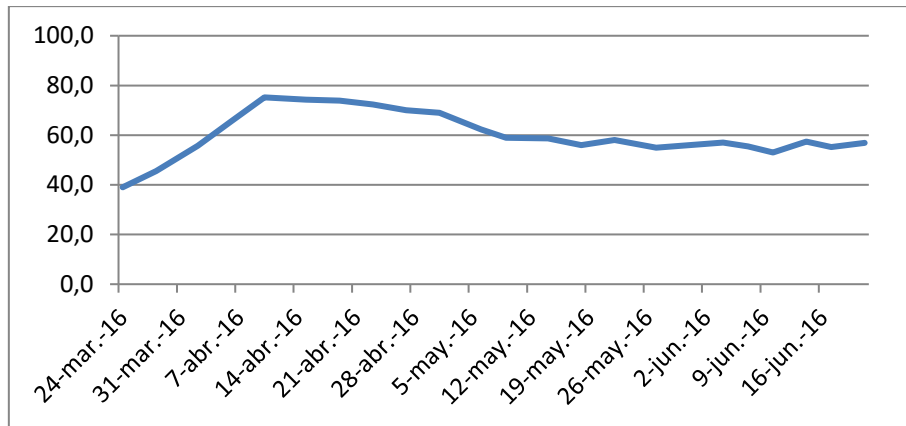


Gráfico.- Evolución de la temperatura del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Pero para saber si el balance energético es positivo, es decir, si se ha obtenido un aumento de energía real, hay que conocer el contenido energético del total del acopio tanto al inicio del almacenamiento como al final, y realizar su comparación.

El balance energético es negativo, es decir, el acopio tenía al inicio más energía que tras los 3 meses de almacenamiento. Para ambos casos, el cálculo realizado con los datos de pesaje y mediante la fórmula, se obtiene una pérdida de energía considerable. Esto se puede deber a la alta pérdida de humedad, una pérdida del 10% del peso inicial del acopio y, por supuesto, a que no ha habido ganancia de PCI.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G5-20	2.881.452.004,0	F	2.549.157.922,0	- 332.294.082,0
		P	2.628.835.748,0	- 252.616.256,2

Otro factor a tener en cuenta durante el almacenamiento es la cantidad de agua evaporada de forma natural y que no va a tener que ser evaporada en el proceso productivo, reduciéndose una pérdida de energía y aumento del rendimiento.

Si se aplica la fórmula de la pérdida de humedad se obtiene una cantidad de peso del acopio que se ha reducido o eliminado por evaporación y secado. Esto quiere decir que, durante la evaporación y secado, se han eliminado unas 90,48 toneladas de agua, en este caso. Para eliminar el agua en el proceso productivo, se hubiera tenido que aprovechar parte de la energía generada por la misma biomasa para evaporarla, generando una reducción de la energía útil para el proceso.

La cantidad de energía que se hubiera consumido para la evaporación del agua se puede calcular conociendo 2 factores: el calor latente de vaporización y el calor específico del agua.

- **Calor Latente de Vaporización:** es la energía requerida por una sustancia para cambiar de fase, en este caso de líquido a gaseoso. El calor latente de vaporización del agua es de 539,4 Kcal/kg. Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Energía Consumida} = \text{Kg H}_2\text{O} \times \text{Calor Latente Vaporización}$$

- **Calor específico:** es la cantidad de calor que hay que suministrar a una unidad de masa para subir su temperatura un grado. Si se considera una media de intervalo de temperatura de entre 25°C - 100°C y un calor específico del agua de 1 Kcal/kg\*k, la energía consumida se calcularía según la fórmula:

$$\text{Energía Consumida} = \text{Kg H}_2\text{O} \times \text{Calor Específico} \times \Delta T$$

La suma de estas dos variables corresponde al calor total consumido para evaporar la cantidad de agua referida.

Conociendo el PCI del acopio, se pueden obtener unos datos aproximados de las toneladas equivalentes de biomasa que se hubieran tenido que consumir para contrarrestar esa pérdida de energía en la evaporación del agua en el proceso productivo, con el coste que ello conlleva. Como se observa en la tabla, el secado natural en el parque contribuye a un ahorro en el consumo de biomasa y, por lo tanto, en el coste económico.

**Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]**

<b>Peso de H<sub>2</sub>O eliminado (Tm)</b>	<b>Calor Latente Vaporización H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Calor Específico H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Total Calor Consumido H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Toneladas Equivalentes (Tm)</b>	<b>Coste Toneladas (€)</b>
<b>90,48</b>	48.803.750,49	6.785.838,50	55.589.588,99	16,52	651,65

Dentro de este balance energético hay que incluir también el tema económico de compra de biomasa. Es decir, en el campo de la biomasa el producto, normalmente, se paga en función de la humedad que contenga en el momento de la entrega o compra. Por lo tanto, habría que incluir en este balance el valor del acopio al inicio del almacenamiento y el valor del acopio al final del almacenamiento. Y, con estos datos, comparar el ahorro económico generado por la compra de un producto más húmedo, es decir, más barato, que posteriormente se va a secar de manera natural (sin costes) durante el almacenamiento, con el valor que habría supuesto comprar ese producto seco y más caro.

Haciendo un sondeo por el mercado de compra y venta de biomasa, se pueden conocer los precios de compra y realizar estimaciones. En este estudio, se han realizado unas tablas de variación del precio en función de la humedad, en base a la situación actual del mercado de biomasa. Para el pino en concreto se ha estimado que el precio estará

entre 30 - 65 € la Tonelada (€/Tm) en función de la humedad. Si para este rango de precios se tiene en cuenta un rango de humedad del 0 al 60%<sup>28</sup>, el precio variará en 0,60€ por cada punto de humedad, por lo que estará marcado por la siguiente tabla:

Tabla.- Tabla de variación del precio del pino en función de la humedad. [Fuente: Elaboración Propia]

% Humedad	Precio €/Tm	% Humedad	Precio €/Tm
<b>10,00</b>	59,00	<b>26,00</b>	49,40
<b>11,00</b>	58,40	<b>27,00</b>	48,80
<b>12,00</b>	57,80	<b>28,00</b>	48,20
<b>13,00</b>	57,20	<b>29,00</b>	47,60
<b>14,00</b>	56,60	<b>30,00</b>	47,00
<b>15,00</b>	56,00	<b>31,00</b>	46,40
<b>16,00</b>	55,40	<b>32,00</b>	45,80
<b>17,00</b>	54,80	<b>33,00</b>	45,20
<b>18,00</b>	54,20	<b>34,00</b>	44,60
<b>19,00</b>	53,60	<b>35,00</b>	44,00
<b>20,00</b>	53,00	<b>36,00</b>	43,40
<b>21,00</b>	52,40	<b>37,00</b>	42,80
<b>22,00</b>	51,80	<b>38,00</b>	42,20
<b>23,00</b>	51,20	<b>39,00</b>	41,60
<b>24,00</b>	50,60	<b>40,00</b>	41,00
<b>25,00</b>	50,00	<b>41,00</b>	40,40

En relación a esta tabla y a los datos de humedad de los que se dispone, el valor del pino al inicio del almacenamiento sería de 43,70 €/Tm aproximadamente, lo que supone un coste total del acopio de 37.424,68 €.

Si la biomasa se hubiera comprado ya seca, el coste hubiera sido el siguiente:

- Teniendo en cuenta los kilogramos secos indicados por la fórmula, es decir, los 765.920 kg, el precio hubiera sido de 52,20 €/Tm, suponiendo un coste de 39.981,02 €.
- Mientras que con los 789.860 kg al 21,17% de humedad obtenidos en el pesaje, el coste sería de 41.230,69 €.

Haciendo una valoración de estos resultados se puede decir que:

- Teniendo en cuenta los datos del pesaje:

<sup>28</sup> Se considera que no se comprará biomasa por encima del 60% de humedad, ya que es inviable tanto para el proveedor como para el comprador. Por lo tanto, el precio más bajo al que se paga esta biomasa será el correspondiente a una biomasa al 60% de humedad. Mientras que el precio más alto corresponderá a una biomasa totalmente seca.

- La pérdida de energía no es del todo grande, teniendo en cuenta que se dispondría de menos biomasa con prácticamente la misma energía y más seca, lo que mejoraría el rendimiento durante el proceso de combustión en la caldera, ya que sería necesario evaporar menos agua debido a su baja humedad.
- Existe un ahorro económico en la compra del producto de hasta 3.000 €, si se hubiera comprado la cantidad de 789.860 kg al 21,17% de humedad, es decir, un ahorro de 8,5 €/Tm.
- Con respecto al peso final del acopio según la fórmula:
  - El coste de comprar la biomasa más seca sería muy similar.
  - Se produciría una pérdida de energía tal que, sumado al poco ahorro económico de la compra, hace que la valoración de los resultados sea negativa.

Si se compra de la biomasa más húmeda, para posteriormente searla en el parque, no supone un ahorro económico que pueda compensar la pérdida de energía y, seguramente, el balance será negativo.

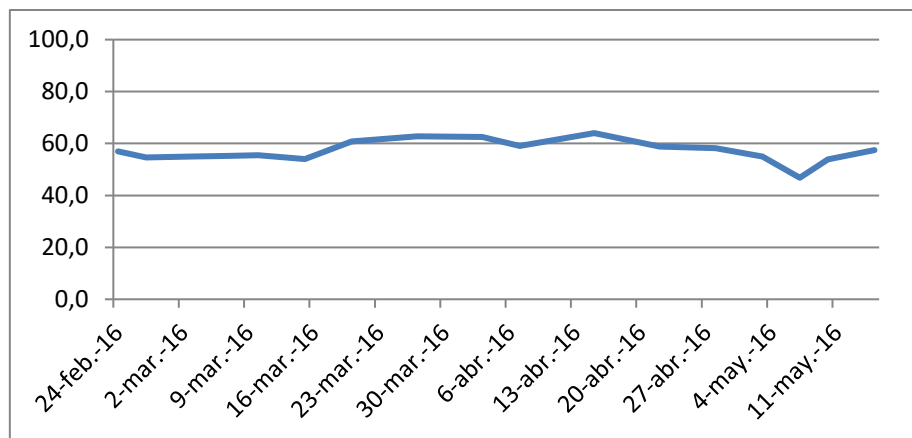
Si la energía aportada por la biomasa es inferior, la producción será menor y, por consiguiente, la retribución económica por la producción de energía será menor.

#### *Prueba nº7*

De nuevo se ha realizado la misma operación con otro acopio de pino y se ha tenido almacenado durante el mismo periodo de tiempo, 4 meses (Febrero – Mayo).

En este caso, la pérdida de humedad durante los 3 meses de almacenamiento ha sido de 16,57% (5,5%/mensual) y la pérdida de peso de 103.830 kg según la fórmula y de 82.010 kg según la comprobación por pesaje.

Las temperaturas a las que se ha mantenido el acopio prácticamente han sido constantes y no han superado los 65°C.



**Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]**

Que la temperatura haya estado próxima a los 60°C puede llegar a ser bueno para evitar la fermentación, ya que las bacterias difícilmente actúan a partir de 55°C - 60°C.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº7. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^{\circ}$ (°C)
Pino G5-20	3	30,48	13,91	817.640	F	713.810	40 - 65
					P	735.630	

En la tabla, se muestran los datos de PCS/PCI de la biomasa al inicio y al final del almacenamiento. Como se observa, la variación de PCS es mínima, por lo que se puede considerar que no ha habido fermentación y degradación, y que el PCS se ha mantenido constante.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº7. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.763,80	4.816,63	3.364,61	3.846,80

Con respecto al PCI, si se realiza el balance energético con el resultado obtenido con la fórmula de la pérdida de humedad durante los 3 meses de almacenamiento, se obtiene una pérdida mínima de energía. En cambio, utilizando el peso del acopio al final del periodo de almacenamiento marcado por la comprobación por pesaje, se obtiene un resultado positivo y una ganancia de energía durante el almacenamiento.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G5-20	2.751.039.720,0	F	2.745.884.308,0	- 5.155.412,0
		P	2.829.821.484,0	78.781.764,0

Según la fórmula de pérdida de la humedad del acopio durante el almacenamiento, se han perdido 103,83 toneladas. Esto quiere decir que se ha perdido ese peso en agua evaporada mediante un secado natural en el parque y no en el proceso de combustión, donde hubiera sido necesario consumir 18,96 toneladas adicionales para suplantar el consumo de energía térmica para la evaporación del agua.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
103,83	56.008.202,14	7.787.569,82	63.795.771,96	18,96	803,55

Respecto al coste de compra, al inicio del almacenamiento el acopio tenía una humedad media de 30,48%, lo que corresponde a 46,70 €/Tm y un valor total de 38.183,79 €. Al cabo de los tres meses la humedad ha bajado hasta el 13,91%, lo que correspondería a un coste por tonelada de 56,60 €/Tm y un valor total del acopio más seco de:

- Según la fórmula: 40.401,65 €
- Según el pesaje: 41.636,66 €.

En este caso, solo se obtiene resultado positivo tanto energético como económico si tenemos en cuenta que el acopio al final del periodo de almacenamiento pesa 735.630 kg al 13,91% de humedad. Como se puede observar, en este caso el balance energético es positivo, por lo que se ha conseguido eliminar humedad del acopio de pino, aumentando el contenido energético del mismo, sin que la reducción del peso del acopio suponga pérdidas energéticas ni económicas. Además, el coste de haber comprado la biomasa al 13,91% hubiera sido mayor en casi 2.500 €, lo que supondría un ahorro de unos 8 - 10 €/Tm.

#### Prueba nº8

En esta prueba se va a controlar un acopio de dimensiones algo mayores, alrededor de 1.500 toneladas, y se va a tener almacenado casi 2 meses (55 días), durante los meses de Abril y Mayo.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº8. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G5-20	1,83	36,07	26,81	1.560.120	F	1.453.950	45 - 75
					P	1.488.960	

En cada caso, la humedad del acopio se ha reducido 9,26% (4,98%/mensual) y se han perdido 106.170 kg y 71.160 kg de peso del acopio por esa reducción de humedad, respectivamente.

Los datos de PCS/PCI medidos son:

Tabla 194.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº8. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.686,14	4.524,87	2.858,42	2.962,50

Respecto al PCS, se ha producido una disminución durante el tiempo de almacenamiento ( $\approx 3,4\%$  de pérdida). Esto es debido a que al ser un acopio de mayor tamaño la refrigeración y el secado han sido menores, a lo que se le suma que el producto se acopió con una humedad alta, por lo que se ha generado un ambiente óptimo para la actuación de las bacterias y microorganismos.

Las temperaturas se han mantenido alta desde las primeras semanas de almacenamiento, lo que han generado mayor degradación, fermentación y reducción del ratio de evaporación del acopio.

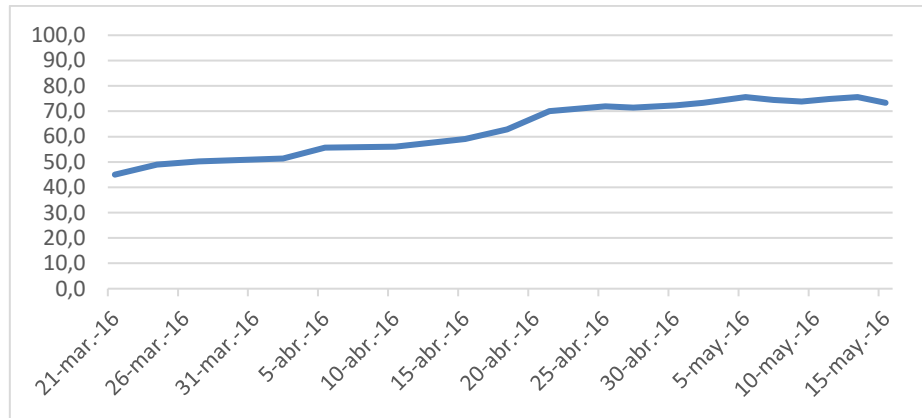


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

En cambio, debido a la pérdida de humedad por el secado en el parque, el PCI al final del periodo de almacenamiento es mayor, aunque no lo suficiente como para conseguir un balance de energía positivo:

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G5-20	4.459.478.210,0	F	4.307.326.875,0	- 152.151.335,0
		P	4.411.044.000,0	- 48.434.210,0

En este caso, durante el secado natural de la biomasa en el parque, el acopio ha perdido 106,17 toneladas de agua, lo que equivale a 22,82 toneladas de biomasa necesarias para secar su humedad durante la combustión. Teniendo en cuenta el coste de compra de la biomasa, se ha generado un ahorro económico de 892,19 €.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
106,17	57.268.729,49	7.962.837,80	65.231.567,29	22,82	892,19

Al ser negativo el balance energético, para que se puedan tener resultados favorables en esta prueba, el coste inicial del acopio debe de ser bastante menor a lo que hubiera costado comprar esa biomasa a la humedad final de secado. En este caso, se compró la biomasa a una humedad del 36,07%, que corresponde a un valor de 43,40 €/Tm y a un valor total del acopio de 67.709,21 €. Si la biomasa se hubiera comprado a un precio de 48,60 €/Tm (26,81% de humedad), el coste total de comprar la biomasa seca hubiera sido de:

- Según fórmula: 70.661,97 €
- Según pesaje: 72.363,46 €.

Teniendo en cuenta los datos de pesaje del acopio al final del periodo de almacenamiento, se ha producido un ahorro en la compra de la biomasa de aproximadamente 4.650 € y una disminución de la energía que aportaría el acopio en la combustión. El siguiente paso sería comprobar si esta pérdida de energía supondría una pérdida económica superior a los 4.650 €. Para ello habría que conocer que parte de la energía pérdida sería transformada en energía eléctrica y la retribución energética obtenida por ella.

#### Prueba nº9

En esta prueba, se ha realizado un acopio de pino de menor tamaño que el anterior y se ha tenido almacenado durante algo más de 2 meses (Febrero – Abril). Durante este periodo de tiempo se ha producido una pérdida de humedad de 5,22% (2,27%/mensual) y una pérdida de peso del acopio de 25.760 kg.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº9. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura ΔT <sup>a</sup> (°C)
Pino G5-20	2,33	24,84	19,62	616.020	F	590.260	35 - 65
					P	613.700	

La variación de PCS/PCI durante el almacenamiento es la siguiente:

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº9. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.680,59	4.710,71	3.255,72	3.467,72

La variación de PCS ha sido mínima, por lo que se puede decir que no ha habido degradación de la biomasa durante el almacenamiento. Si se ha producido variación en el PCI obteniendo una ganancia de energía al final del almacenamiento.

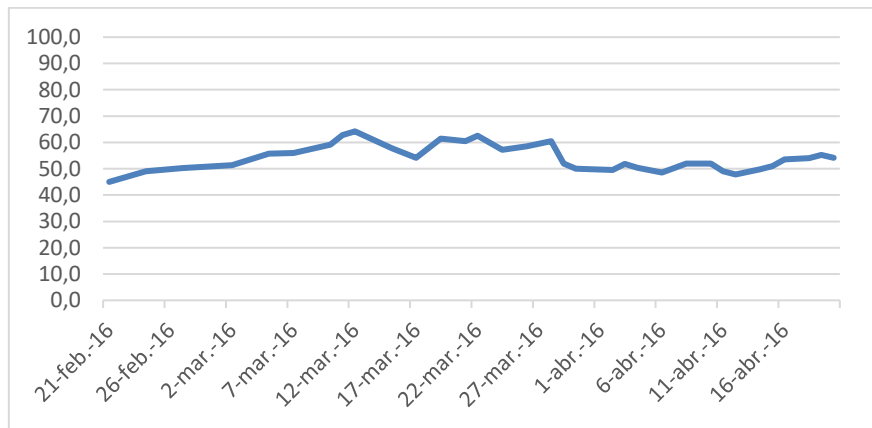


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Como se observa en el gráfico, no se han generado temperaturas peligrosas y, al estar la temperatura próxima a los 60°C, ha generado que haya poca fermentación. En las primeras semanas la temperatura ha aumentado, pero al ser un acopio mediano y de baja humedad en poco tiempo la temperatura ha ido descendiendo y estabilizándose.

Por lo tanto, con esta ganancia de energía el balance energético del almacenamiento de este acopio sería positivo en ambos casos:

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G5-20	2.005.588.634,0	F	2.046.856.407,0	41.267.773,0
		P	2.128.139.764,0	122.551.120,0

En este acopio la pérdida de peso por pérdida de humedad ha sido bastante baja, por lo que las toneladas equivalentes de biomasa ahorradas son muy pocas, alrededor de 4,86 toneladas. Teniendo en cuenta el coste de compra de esta biomasa, el ahorro que se generaría sería de unos 222,11 €.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
25,76	13.893.846,53	1.931.847,40	15.825.693,94	4,86	222,11

El coste del acopio ha sido de 51,00 €/Tm, es decir, de 31.417,02 €. En el caso de que se hubiera comprado la biomasa a una humedad de 19,62%, el coste hubiera sido de 53,40 €/Tm, haciendo un total de 31.519,88 € y 32.771,58 €, un coste cercano al realizado en cualquier da las valoraciones.

En este caso, no ha habido beneficio económico en la compra pero si se ha obtenido una valorización de la biomasa durante su almacenamiento y secado natural en el parque. Lo que supone un aumento del balance energético-económico total del proceso de producción.

#### Prueba nº10

En este caso se ha almacenado poda de olivo triturada durante los meses de Marzo y Abril, casi 2 meses de almacenamiento, para ver su comportamiento y compararlo con los resultados obtenidos con los acopios de pino.

En primer lugar, tal y como se puede observar en la tabla, hay que destacar que, en esta ocasión, los datos del peso final del acopio calculado con la fórmula y el medido por pesaje, son muy similares. También hay que destacar que la pérdida de humedad ha sido muy baja, casi no hay pérdida de humedad.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº10. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Olivo G5-10	1,87	25,04	24,85	1.010.020	F	1.008.490	35 - 89
					P	1.006.000	

Esto es debido a que la biomasa que se ha almacenado es de menor granulometría, por lo que complica la entrada del aire al interior del acopio, impidiendo su refrigeración y secado. Otro problema que ofrece esta biomasa es que es más herbácea, por lo que favorece la actuación microbiana y la fermentación, aumentando su temperatura interna a valores peligrosos cercanos a los 90°C. Este aumento de temperatura debido a la fermentación hace que dentro del acopio se generen un aumento de la humedad, debido a la respiración y digestión de los microorganismos y bacterias.

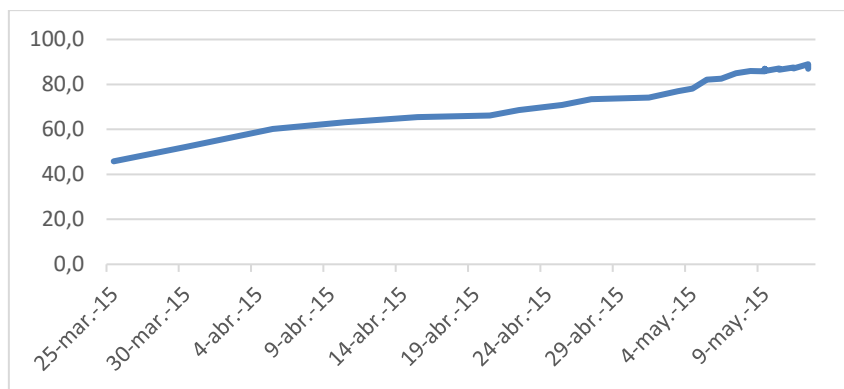


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Para saber el grado de fermentación que se ha podido generar en el acopio, se puede estudiar la variación de PCS durante el periodo de almacenamiento.

En la tabla, se observa como el PCS del producto ha disminuido en los casi 2 meses de almacenamiento casi un 5%, 2,5% mensual. Esto confirma que se ha producido una degradación de la materia seca del producto y que el almacenamiento no ha sido el idóneo.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de olivo de la prueba nº10. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Olivo G5-10	4.592,17	4.430,58	3.075,79	2.984,90

Con respecto al PCI, se han obtenido valores muy similares, por lo que no se ha conseguido valorización energética alguna. Además, al ser las humedades tan similares, el beneficio económico también es nulo.

Por lo tanto, según los datos que se han obtenido en esta prueba, se puede destacar que:

- ✓ El acopio realizado ha sido demasiado grande y no ha permitido la refrigeración y secado de la biomasa.
- ✓ Esto ha dado lugar a generar un ambiente óptimo para que se produzca fermentación. Muestra de ello son las altas temperaturas que se han alcanzado (87°C) y la pérdida de PCS.
- ✓ La poda de olivar es un producto con mayor contenido herbáceo, lo que dificulta su almacenamiento en acopios más grandes.
- ✓ También ha influido la granulometría del producto. Al ser una granulometría inferior, se reduce el paso de aire al interior del acopio.

#### Prueba nº11

Tras los resultados obtenidos en la prueba anterior, se ha realizado posteriormente un acopio más pequeño del mismo producto, algo más seco y se ha tenido almacenado durante 1 mes (Abril).

En este caso, la pérdida de humedad ha sido baja, pero si se relaciona esta pérdida de humedad con el corto periodo de almacenamiento, se obtiene un ratio de más del 2% de pérdida de humedad mensual.

Con respecto a la pérdida de peso, teniendo en cuenta la fórmula de pérdida de humedad, se obtiene una pérdida de peso de 4.900 kg en un mes. Una pérdida mensual de casi 1,7% de humedad. Mientras que la comprobación del peso final del acopio mediante pesaje por báscula se ha obtenido una pérdida de peso de 48.440 kg.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº11. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Olivo G5-10	1,0	22,99	20,84	279.420	F	274.520	20 - 65
					P	230.980	

En la tabla de PCS/PCI se observa como el PCS es prácticamente el mismo, por lo que se puede deducir que no ha existido degradación del producto. Este se debe a la baja humedad con la que se ha almacenado, que el acopio es más pequeño y que el tiempo de almacenamiento ha sido corto. También se puede saber si ha habido degradación o problemas de fermentación por el aumento de la temperatura del acopio, ya que no ha subido de los 65°C.

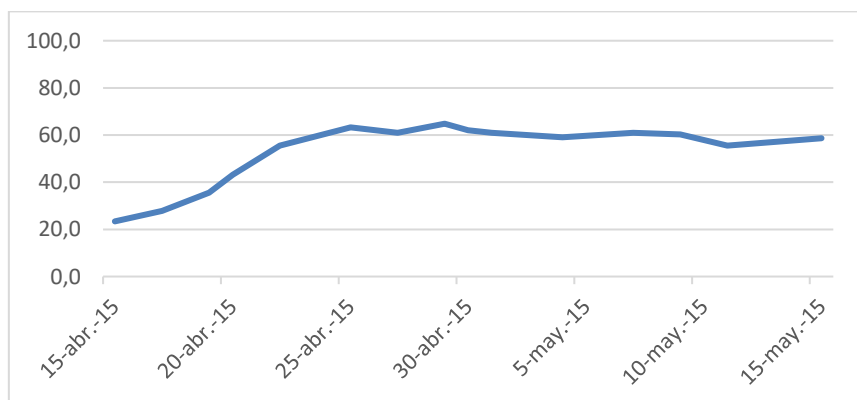


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Si la temperatura del acopio aumenta por encima de esos 65°C, se empiezan a producir reacciones químicas exotérmicas que generan un mayor aumento de la temperatura en menos tiempo, una mayor humedad y una mayor degradación.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de olivo de la prueba nº11. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
<b>Olivo G5-10</b>	4.509,24	4.532,55	3.070,54	3.264,90

El PCI al final del almacenamiento es mayor que al inicio, esto quiere decir que se ha producido un aumento de la energía del acopio durante el almacenamiento. Realizando el balance de energía se observa que, teniendo en cuenta el resultado de pérdida de peso obtenido aplicando la fórmula, el balance de energía es positivo. Aunque si se considera el dato obtenido mediante la comprobación de pesaje por báscula, se obtiene un balance negativo, debido a la alta pérdida de peso que se ha medido.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
<b>Olivo G5-10</b>	857.970.286,8	F	896.280.348,0	38.310.061,2
		P	754.126.602,0	- 103.843.684,8

Habrá que ver ahora si el ahorro económico obtenido en la compra del producto podría compensar la pérdida de peso que se ha producido durante el almacenamiento.

En esta prueba, se ha generado una pérdida de peso por evaporación de agua de 4,90 toneladas, lo que equivale a 0,98 toneladas de biomasa que se hubieran tenido que quemar para compensar la pérdida de energía utilizada en la evaporación de esa cantidad de agua.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Especifico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>4,90</b>	2.640.863,19	367.194,55	3.008.057,74	0,98	34,51

Al igual que con el pino, se ha realizado una tabla de precios estimada, en función de los precios del mercado.

Tabla.- Tabla de variación del precio de la poda de olivo triturada en función de la humedad. [Fuente: Elaboración Propia]

% Humedad	Precio €/Tm	% Humedad	Precio €/Tm
<b>10,00</b>	49,00	<b>26,00</b>	39,40
<b>11,00</b>	48,40	<b>27,00</b>	38,80
<b>12,00</b>	47,80	<b>28,00</b>	38,20
<b>13,00</b>	47,20	<b>29,00</b>	37,60

14,00	46,60	30,00	37,00
15,00	46,00	31,00	36,40
16,00	45,40	32,00	35,80
17,00	44,80	33,00	35,20
18,00	44,20	34,00	34,60
19,00	43,60	35,00	34,00
20,00	43,00	36,00	33,40
21,00	42,40	37,00	32,80
22,00	41,80	38,00	32,20
23,00	41,20	39,00	31,60
24,00	40,60	40,00	31,00
25,00	40,00	41,00	30,40

En este caso, el producto se acopió con una humedad de 22,99%, con un precio de 41,20 €/Tm, suponiendo un coste de 11.512,10 €. El coste de comprar la biomasa al 20,84% de humedad hubiera sido de aproximadamente 42,60 €/Tm. Por lo tanto, se habría tenido un coste total de 11.694,55 €, según los datos calculados con la fórmula, y de 9.839,75 €.

En el primer caso, el coste de comprar la biomasa habría sido prácticamente el mismo y el balance energético positivo, por lo que se tendría una biomasa con más contenido energético al mismo precio. Según el peso final calculado mediante pesaje, el balance energético sería negativo pero habría un ahorro en la compra de 1.672,52 €.

El siguiente paso sería ver si el balance económico generado en la producción de energía eléctrica con este acopio sería positivo o negativo, y si compensaría el ahorro obtenido en la compra.

#### *Prueba nº12*

Siguiendo la misma línea, se ha realizado un nuevo acopio, más grande que el anterior, con poda de olivo triturada y se ha tenido almacenado también durante 1 mes (Abril).

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº12. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Olivo G5-10	1,0	21,39	16,41	785.740	F	753.510	30 - 65
					P	769.930	

En este caso, la pérdida de humedad ha sido de 4,98%, el doble que en el caso anterior, aunque en este caso el peso del acopio es un poco más del doble. La pérdida de peso que se ha calculado es de 32.230 kg según fórmula de pérdida de peso y de 15.810 kg según la comprobación por pesaje.

En el caso de la temperatura, se han observado algunas zonas puntuales por encima de los 60°C, pero por lo general el acopio se ha mantenido entre 40°C - 50°C.

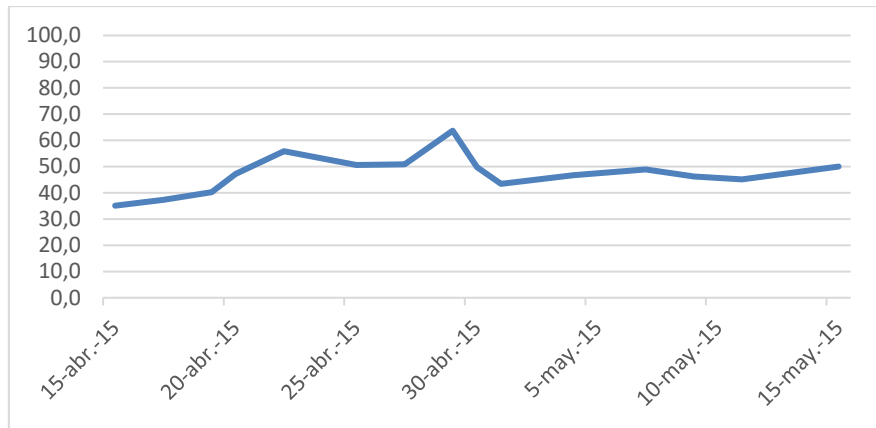


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Los datos de PCS/PCI analizados en laboratorio son los siguientes:

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de olivo de la prueba nº12. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
<b>Olivo G5-10</b>	4.395,70	4.472,36	3.179,56	3.430,32

Los datos de PCS obtenidos son similares al inicio y final del almacenamiento, por lo que se puede considerar que no se ha producido degradación de la biomasa y si se ha obtenido un aumento considerable del PCI del acopio al final del almacenamiento, dando lugar a un balance positivo en ambos casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
<b>Olivo G5-10</b>	2.498.307.474,0	F	2.584.780.423,0	86.472.949,0
		P	2.641.106.278,0	142.798.804,0

Al contrario que en el ensayo anterior, la pérdida de peso por evaporación ha sido mayor, llegando a evaporarse unas 32,23 toneladas de agua que equivalen a 6,23 toneladas de esta biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>32,23</b>	17.387.463,69	2.417.611,75	19.805.075,43	6,23	224,80

También se ha obtenido un ahorro económico con la compra del producto más húmedo y secado de forma natural durante el almacenamiento. El coste del acopio ha sido de 41,10 €/Tm, es decir, de 32.293,91 €. Si se hubiera comprado la biomasa a la humedad de 16,41%, el coste hubiera sido de 45,10 €/Tm, lo que supondría un coste de 33.983,31 € según el peso calculado con la fórmula y de 34.723,84 € según el pesaje.

Por lo tanto, con este acopio no solo se ha obtenido un aumento de la energía contenida en el acopio sin que se produzca degradación del mismo, sino también un ahorro en la compra de más de 1.000 € en el peor de los casos.

### Prueba nº13

En esta prueba se ha almacenado poda de olivo triturada durante 4 meses y medio (los meses de Febrero hasta Junio). Y los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº13. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Olivo G5-10	4,5	28,73	18,98	899.160	F	831.020	56 - 87
					P	847.500	

Durante este tiempo, se ha producido una pérdida de humedad de casi 10% (2,2%/mensual), lo que ha supuesto una pérdida de peso de 68.140 kg según la fórmula y de 51.660 kg mediante la comprobación por pesaje.

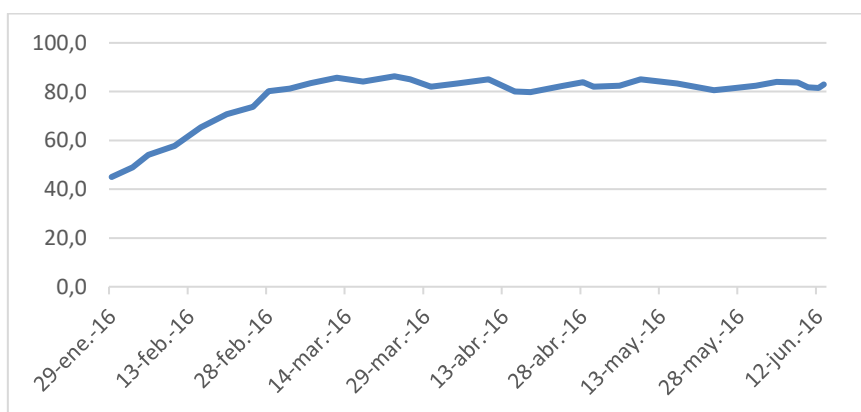


Gráfico.- Evolución de la temperatura del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Los resultados obtenidos de PCS indican que ha habido pérdida de materia seca por degradación del producto durante el almacenamiento y los de PCI indican que se ha producido un aumento del mismo.

El excesivo tiempo de almacenamiento y la humedad alta han originado que la temperatura pase de 56°C a 87°C, llegando a temperaturas peligrosas y produciendo

ciertas zonas de producto requemado o carbonizado. Lo que ha dado lugar a la pérdida de PCS.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de olivo de la prueba nº13. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
<b>Olivo G5-10</b>	4.589,31	4.391,22	2.956,41	3.418,92

El balance energético obtenido en esta prueba es positivo en ambos casos, por lo que se ha generado un beneficio energético durante el almacenamiento de este acopio.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
<b>Olivo G5-10</b>	2.658.285.616,0	F	2.841.190.898,0	182.905.282,0
		P	2.897.534.700,0	239.249.084,0

Este acopio ha tenido una pérdida de humedad del 10%, lo que ha supuesto una pérdida de peso en agua de 68,14 toneladas. Si esta cantidad de agua se hubiera tenido que evaporar en el hogar, se hubieran necesitado otras 14,16 toneladas adicionales de biomasa, lo que supondría un coste de aproximadamente 454,91 €.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>68,14</b>	36.753.222,63	5.110.292,36	41.863.514,98	14,16	454,91

Si se realiza el balance económico de la compra de esta biomasa, se obtiene que habiendo costado el total del acopio unos 33.988,25 € (37,80 €/Tm), el coste que hubiera supuesto comprar la biomasa a 18,98% de humedad hubiera sido de 36.232,47 € (43,60 €/Tm) según la fórmula y de 36.951,00 € según el peso comprobado por pesaje.

Como se puede observar, en esta prueba se ha obtenido un ahorro tanto energético como económico incluso en el peor de los casos.

#### Prueba nº14

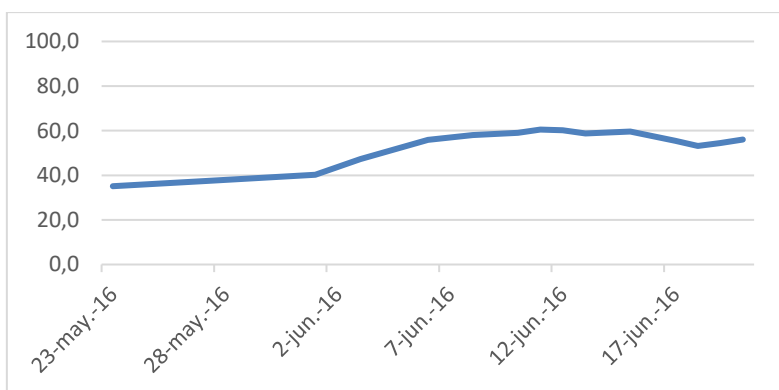
En este caso, se han almacenado 728,42 toneladas de poda de olivo triturada durante 1 mes (Mayo – Junio), en el cual, el acopio ha perdido casi un 7% de humedad.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº14. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Olivo G5-10	1,0	18,20	13,45	728.420	F	688.090	35 - 60
					P	726.130	

Aunque las analíticas de humedad indican que el acopio ha perdido humedad, según la comprobación realizada mediante pesaje en báscula se ha obtenido que apenas se ha perdido peso. Por otro lado, como se puede observar en la tabla de PCS/PCI, los resultados indican que se ha producido pérdida tanto de PCS como de PCI.

Puesto que la temperatura no ha superado los 60°C, se descarta la degradación del producto por calentamiento excesivo o por la acción de reacciones químicas exotérmicas.

Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Por lo tanto, esta degradación de la biomasa se puede deber a una rápida y fuerte actuación microbiana o a malas mediciones que hayan distorsionado los resultados, ya que son resultados muy dispares para un periodo de tiempo tan corto.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de olivo de la prueba nº14. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Olivo G5-10	4.614,13	4.027,68	3.460,25	3.187,66

En este caso el balance sería negativo solo con tener una pérdida tan grande del PCS/PCI de la biomasa.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Olivo G5-10	2.520.515.305,0	F	2.193.396.969,0	-327.118.335,6
		P	2.314.655.555,8	-205.859.749,2

Referente al agua evaporada, se han evaporado casi 40,33 toneladas de agua, lo que supondría un consumo de 7,16 toneladas más de consumo de biomasa para su evaporación.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>40,33</b>	21.755.618,85	3.024.974,81	24.780.593,67	7,16	263,44

Debido a que las pérdidas energéticas en el acopio han sido muy grandes, no se ha realizado balance económico.

#### Prueba nº15

En esta ocasión, se ha realizado la prueba con sarmiento de vid triturado. Se ha tenido el producto almacenado durante algo más de 2 meses (Febrero – Abril). Este acopio no es de dimensiones muy grandes, siendo de aproximadamente 150 toneladas de peso.

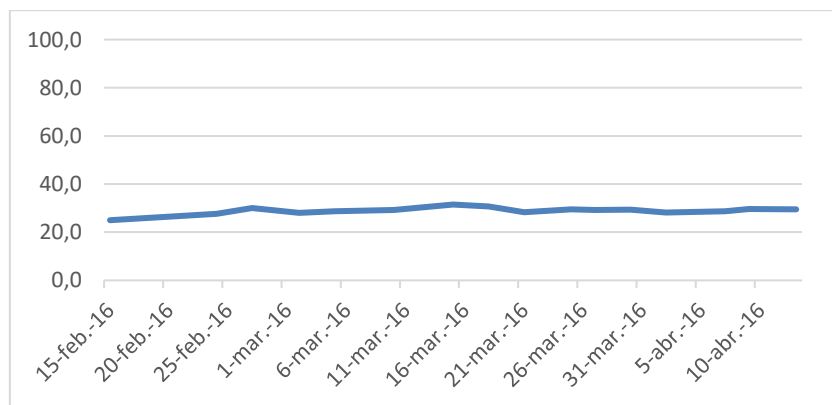


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Como se puede observar en la tabla, la humedad que se ha perdido ha sido muy baja ( $\approx 1,5\%$ ) y la pérdida de peso ha sido mínima. Es más, en la comprobación del peso final del acopio por pesaje en báscula, se ha obtenido un valor algo mayor que el medido inicialmente.

Otro dato a observar es la temperatura del acopio. En este caso no ha ascendido de los 31°C. Esto se debe a que, al ser un acopio más pequeño, la respiración y refrigeración del mismo es mayor. También tiene que ver que la humedad de almacenamiento del mismo ha sido relativamente baja.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº15. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^{\circ}$ (°C)
Sarmiento Vid G5-10	2,3	21,78	20,25	147.660	F	145.800	25 - 31
					P	149.500	

Con respecto al poder calorífico, no se ha producido disminución del PCS por lo que se confirma la no actuación microbiana. El PCI si ha sufrido un aumento de su valor, por lo que la biomasa se ha revalorizado durante su almacenamiento.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de sarmiento de vid triturado de la prueba nº15. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Sarmiento Vid G5-10	4.205,81	4.287,70	2.831,61	3.098,61

El balance que se ha obtenido en esta prueba ha sido positivo en cualquiera de los 2 casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Sarmiento Vid G5-10	418.115.532,6	F	451.777.338,0	33.661.805,4
		P	463.242.195	45.126.662,4

La baja pérdida de humedad indica que la evaporación ha sido muy poca y, por lo tanto, el ahorro económico por el consumo adicional de biomasa para la evaporación de esa humedad también va a ser muy bajo.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
1,86	1.003.936,44	139.590,72	1.143.527,15	0,40	16,51

Con respecto al coste del acopio, según el sondeo de precios realizado en el mercado, el precio del sarmiento de vid triturado se encuentra entre 15 – 50 €/Tm, en función de la humedad. Por lo tanto, se ha estimado una tabla de precios del sarmiento de vid en función de la humedad:

Tabla.- Tabla de variación del precio del sarmiento de vid triturado en función de la humedad. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>% Humedad</b>	<b>Precio €/Tm</b>	<b>% Humedad</b>	<b>Precio €/Tm</b>
<b>10,00</b>	39,00	<b>26,00</b>	29,40
<b>11,00</b>	38,40	<b>27,00</b>	28,80
<b>12,00</b>	37,80	<b>28,00</b>	28,20
<b>13,00</b>	37,20	<b>29,00</b>	27,60
<b>14,00</b>	36,60	<b>30,00</b>	27,00
<b>15,00</b>	36,00	<b>31,00</b>	26,40
<b>16,00</b>	35,40	<b>32,00</b>	25,80
<b>17,00</b>	34,80	<b>33,00</b>	25,20
<b>18,00</b>	34,20	<b>34,00</b>	24,60
<b>19,00</b>	33,60	<b>35,00</b>	24,00
<b>20,00</b>	33,00	<b>36,00</b>	23,40
<b>21,00</b>	32,40	<b>37,00</b>	22,80
<b>22,00</b>	31,80	<b>38,00</b>	22,20
<b>23,00</b>	31,20	<b>39,00</b>	21,60
<b>24,00</b>	30,60	<b>40,00</b>	21,00
<b>25,00</b>	30,00	<b>41,00</b>	20,40

Con respecto a estos precios, el acopio tubo un coste de aproximadamente 31,50 €/Tm, lo que supuso un coste total de 4.651,29 €. En el caso de comprar la biomasa a la humedad de 20,25%, el precio hubiera sido de 32,80 €/Tm aproximadamente. Esto hubiera supuesto un coste de 4.782,24 €, por el método de la fórmula, y de 4.903,60 €, por el método de pesaje.

En el primero de los casos el coste sería prácticamente el mismo pero se ha obtenido una biomasa con mayor contenido energético. En el segundo caso el coste hubiera sido mayor. Por lo que, en general, los resultados del acopio son positivos, ya que se ha conseguido tener una revalorización del acopio de sarmiento aumentando su contenido energético y reduciendo el coste de compra.

#### *Prueba nº16*

Se ha realizado otro acopio de sarmiento de vid triturado pero del doble de tamaño y se ha tenido almacenado durante algo más de 4 meses (Marzo – Julio). Durante este periodo se ha perdido un 9% de humedad, es decir, 2,25% mensual.

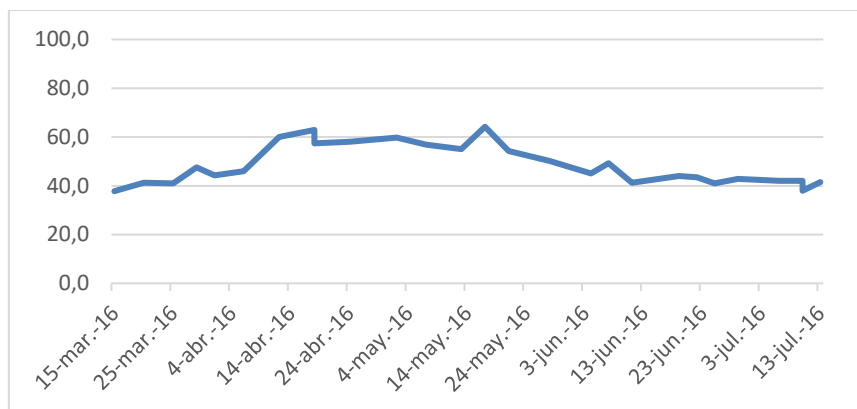


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Con respecto a la temperatura, el acopio llegó a los 65°C a la mitad del periodo pero en la última parte del mismo la temperatura descendió hasta estabilizarse alrededor de los 40°C.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº16. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Sarmiento Vid G5-10	4,2	18,68	10,58	377.880	F	349.150	29 - 65
					P	360.750	

Como se puede observar en la tabla, el PCS del acopio no ha descendido apenas, por lo que el producto no se ha degradado. Sin embargo, el PCI ha ascendido debido a la pérdida de humedad del acopio y se ha revalorizado.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de sarmiento de vid triturado de la prueba nº16. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Sarmiento Vid G5-10	4.301,63	4.286,75	3.011,61	3.544,15

En este caso el balance energético ha sido positivo en los 2 casos. Por lo que, sabiendo que la humedad que se ha perdido también ha sido bastante con respecto al peso, se puede deducir que el resultado de esta prueba será satisfactorio.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
	1.138.027.186,8	F	1.237.439.973,0	99.412.786,5

<b>Sarmiento Vid G5-10</b>	P	1.278.552.113,0	140.524.926,5
--------------------------------	---	-----------------	---------------

En este acopio se ha originado algo más de evaporación natural del agua del acopio que en el ensayo anterior, originándose un ahorro de 5,86 toneladas equivalente de biomasa en la combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>28,73</b>	15.496.192,43	2.154.643,00	17.650.835,42	5,86	246,23

El precio de compra de la biomasa de este acopio ha sido cerca de 38,90 €/Tm, lo que supone un coste total de 14.699,53 €. Si la biomasa se hubiera comprado a la humedad de 10,21%, que se corresponde con 43,80 €/Tm, el coste hubiera sido de 15.292,77 €, según la fórmula, y de 15.800,85 €, según la comprobación por pesaje.

El almacenamiento y control del acopio ha revalorizado la biomasa originando un ahorro económico en su compra y una mejora en el proceso de producción mediante la pérdida de humedad y aumento del PCI.

#### Prueba nº17

Siguiendo con la idea de diversificar la variedad de productos o biomasa a utilizar como combustible en la caldera de biomasa, se ha realizado otra prueba con restos de podas. Estos restos de podas se componen normalmente por residuos propios de jardinería, limpieza de medianas, podas de árboles no frutales.

En este caso, se han acopiado 231.800 kg durante más de 7 meses y medio. El acopio comenzó a finales del mes de Noviembre. Durante todo este tiempo, se ha perdido casi un 15% de humedad (2% mensual), muy poco para las necesidades de rotación y consumo de biomasa. Durante todo el periodo de almacenamiento las temperaturas del acopio se han mantenido bastante altas (60°C - 80°C), algo lógico debido a la composición de esta biomasa. Es una biomasa muy herbácea, por lo que es más susceptible de ser fermentada y de generar auto-calentamientos.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº17. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Restos de Podas G10-20	7,6	27,75	12,89	231.800	F	204.840	60 - 80
					P	215.300	

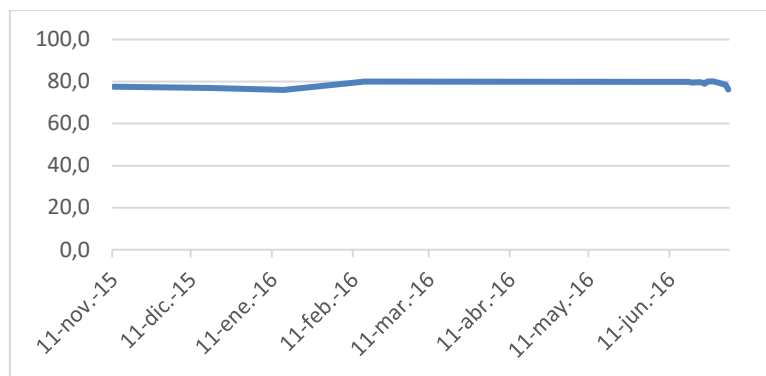


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

El PCS y PCI se han visto afectados negativamente durante el almacenamiento debido a la fermentación, disminuyendo el contenido energético del producto, generando un balance energético negativo, en cualquiera de los casos. Este es debido al alto tiempo de residencia o almacenamiento que se ha tenido el producto en el parque de biomasa.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de sarmiento de vid triturado de la prueba nº17. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Restos de Podas G10-20	4.372,08	4.253,16	3.508,01	3.414,24

Tal y como se puede observar en la tabla, la pérdida de PCS y PCI muestran que se ha producido una degradación del producto durante el almacenamiento, por lo que el balance será negativo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Restos de Podas G10-20	813.156.718,0	F	699.372.921,6	-113.783.796,4
		P	735.085.782,0	-78.070.846,0

En este caso, ha habido una evaporación de casi 27 toneladas de agua, lo que ha supuesto un ahorro en 4,72 toneladas equivalentes de esta biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
26,96	14.543.946,70	2.022.239,53	16.566.186,23	4,72	107,21

Este producto, al tener menor poder calorífico que otros, tiene un valor de mercado algo menor. El intervalo de precio de compra de esta biomasa aparece reflejado en la siguiente tabla:

Tabla.- Tabla de variación del precio de los restos de podas en función de la humedad. [Fuente: *Elaboración Propia*]

% Humedad	Precio €/Tm	% Humedad	Precio €/Tm
<b>10,00</b>	30,00	<b>26,00</b>	20,40
<b>11,00</b>	29,40	<b>27,00</b>	19,80
<b>12,00</b>	28,80	<b>28,00</b>	19,20
<b>13,00</b>	28,20	<b>29,00</b>	18,60
<b>14,00</b>	27,60	<b>30,00</b>	18,00
<b>15,00</b>	27,00	<b>31,00</b>	17,40
<b>16,00</b>	26,40	<b>32,00</b>	16,80
<b>17,00</b>	25,80	<b>33,00</b>	16,20
<b>18,00</b>	25,20	<b>34,00</b>	15,60
<b>19,00</b>	24,60	<b>35,00</b>	15,00
<b>20,00</b>	24,00	<b>36,00</b>	14,40
<b>21,00</b>	23,40	<b>37,00</b>	13,80
<b>22,00</b>	22,80	<b>38,00</b>	13,20
<b>23,00</b>	22,20	<b>39,00</b>	12,60
<b>24,00</b>	21,60	<b>40,00</b>	12,00
<b>25,00</b>	21,00	<b>41,00</b>	11,40

Por lo tanto, la biomasa se compró a 19,40 €/Tm, es decir, costó realizar el acopio alrededor de 4.496,92 €. Teniendo en cuenta la pérdida de humedad y la pérdida de peso, si se hubiera comprado la biomasa en las condiciones finales del almacenamiento, el coste total hubiera sido de 5.796,97 € (28,30 €/Tm), según la fórmula, y de 6.092,99 €, según la medición en báscula.

Se ha obtenido un ahorro en la compra y un alto secado de la biomasa, pero también se ha producido una considerable pérdida de energía.

#### *Prueba nº18*

Normalmente son productos que suelen estar mezclados, pero la cepa de viña es también otra biomasa a considerar. Aunque esta biomasa suele ser sucia y tener contenido en tierra y polvo, debido a que se encuentra enterrada.

A pesar de ello, se ha realizado una prueba con cepa de viña para ver el comportamiento de esta biomasa. En concreto, se han almacenado 1.550,23 toneladas durante aproximadamente 1 año y medio.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº18. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Cepa de Viña G15-25	17,4	19,20	15,66	1.550.230	F	1.504.190	25 - 35
					P	1.521.650	

Este producto, al ser prácticamente 100% leñoso y estar normalmente bastante seco, no genera problemas de fermentación. Además, su granulometría más grande hace que la refrigeración del acopio sea buena y no haya problemas de auto-calentamiento. Por lo que, la temperatura se ha mantenido muy baja.

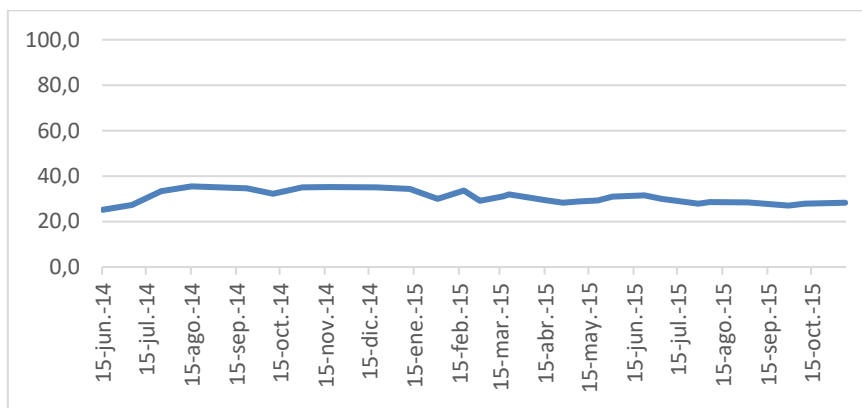


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

De ahí que se haya podido almacenar durante un largo periodo de tiempo sin que se generen problemas durante el almacenamiento. Este se muestra en los resultados de PCS y PCI obtenidos.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de sarmiento de vid triturado de la prueba nº18

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Cepa de Viña G15-25	4.400,00	4.410,74	3.167,72	3.414,58

Si se realiza el balance energético de este acopio, se obtiene que en ambos casos el balance será positivo, ya que no hay pérdida de PCS ni de PCI. Es más, la pérdida de humedad genera un aumento de PCI considerable.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)

<b>Cepa de Viña G15-25</b>	4.910.694.575,6	F	5.136.177.090,0	225.482.515,2
		P	5.195.795.657,0	285.101.081,4

La pérdida de peso por evaporación de la humedad del acopio ha sido de 46,04 toneladas de agua, lo que equivale a 8,93 toneladas adicionales de biomasa que se hubieran consumido para evaporar esa agua durante la combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Peso de H<sub>2</sub>O eliminado (Tm)</b>	<b>Calor Latente Vaporización H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Calor Específico H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Total Calor Consumido H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Toneladas Equivalentes (Tm)</b>	<b>Coste Toneladas (€)</b>
<b>46,04</b>	24.833.280,03	3.452.903,23	28.286.183,26	8,93	288,17

Según los datos analizados en el mercado, la cepa de viña se paga más o menos al mismo precio que el sarmiento de vid. Por lo tanto, tomando como referencia la tabla de precios estimada para el sarmiento de vid, el coste de la compra del acopio ha sido de 59.683,86 € (38,50 €/Tm). Si la biomasa se hubiera comprado a la humedad que ha presentado el acopio al final del periodo de almacenamiento, el coste total hubiera sido de 61.220,53 €, en el caso de la fórmula, y de 61.931,16 €, según la comprobación en báscula (40,70 €/Tm).

Los resultados de esta prueba han sido buenos, obteniendo un balance económico – energético positivo.

#### *Prueba nº19*

Para continuar con la idea de realizar pruebas con diferentes biomásas para después poder compararlas, en esta prueba se ha almacenado chopo durante 5 meses y medio (Noviembre – Marzo).

Se almacenaron 741.980 kg de chopo, de granulometría G5-20, con un 27,62% de humedad y, tras el periodo de almacenamiento, se había perdido cerca de 7,41% (1,3%/mensual), teniendo una humedad final de 20,21%.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº19. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Producto / Granulometría</b>	<b>Tiempo Residencia (meses)</b>	<b>Humedad inicial del acopio (%)</b>	<b>Humedad final del acopio (%)</b>	<b>Peso inicial (kg)</b>	<b>Tipo de Medición (F/P)</b>	<b>Peso final (kg)</b>	<b>Variación de Temperatura ΔT<sup>a</sup> (°C)</b>
<b>Chopo G5-20</b>	5,5	27,62	20,21	741.980	F	698.880	50 - 60
					P	672.920	

La pérdida de peso calculada es muy similar en los 2 casos, por lo que cualquier conclusión o resultado será prácticamente la misma en cada uno.

En este caso, el PCS se ha visto un poco afectado, seguramente a la alta duración del almacenamiento y por las temperaturas a las que se ha mantenido el acopio, propicias para la actuación de bacterias y reacciones de oxidación.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº19. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Chopo G5-20	4.467,71	4.326,62	2.825,05	3.132,53

Como se observa en la gráfica, la temperatura se ha mantenido durante todo el periodo de almacenamiento entre los 50°C y los 60°C.

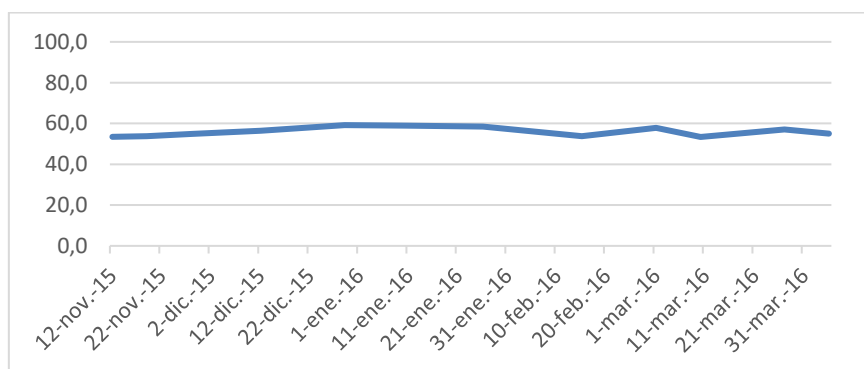


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

El balance energético que se obtiene es positivo en ambos casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Chopo G5-20	2.096.130.599,0	F	2.189.262.566,0	93.131.967,0
		P	2.107.942.087,6	11.811.488,4

Según la pérdida de humedad calculada en el acopio, se han evaporado 43,10 toneladas de agua durante el almacenamiento. Lo que significa que, durante el almacenamiento, se han ahorrado en el consumo casi 9,5 toneladas de biomasa con un coste de 392€.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
---	--	--	---	-----------------------------	---------------------

<b>43,10</b>	23.248.660,15	3.232.572,32	26.481.232,48	9,37	392,07
--------------	---------------	--------------	---------------	------	--------

Al igual que con el resto de productos, se ha sondeado el mercado y se ha estimado un valor de mercado para este producto. Este acopio tubo un coste de aproximadamente 33,40 €/Tm, lo que supuso un total de 24.782,13 €.

Tabla.- Tabla de variación del precio del Chopo Pretriturado en función de la humedad. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>% Humedad</b>	<b>Precio €/Tm</b>	<b>% Humedad</b>	<b>Precio €/Tm</b>
<b>10,00</b>	44,00	<b>26,00</b>	34,40
<b>11,00</b>	43,40	<b>27,00</b>	33,80
<b>12,00</b>	42,80	<b>28,00</b>	33,20
<b>13,00</b>	42,20	<b>29,00</b>	32,60
<b>14,00</b>	41,60	<b>30,00</b>	32,00
<b>15,00</b>	41,00	<b>31,00</b>	31,40
<b>16,00</b>	40,40	<b>32,00</b>	30,80
<b>17,00</b>	39,80	<b>33,00</b>	30,20
<b>18,00</b>	39,20	<b>34,00</b>	29,60
<b>19,00</b>	38,60	<b>35,00</b>	29,00
<b>20,00</b>	38,00	<b>36,00</b>	28,40
<b>21,00</b>	37,40	<b>37,00</b>	27,80
<b>22,00</b>	36,80	<b>38,00</b>	27,20
<b>23,00</b>	36,20	<b>39,00</b>	26,60
<b>24,00</b>	35,60	<b>40,00</b>	26,00
<b>25,00</b>	35,00	<b>41,00</b>	25,40

El coste que hubiera tenido a compra de los kilos del acopio seco sería de 37,80 €/Tm, siendo un total de 26.417,66 € en el caso de la fórmula, y de 25.436,38 € en el caso del control por pesaje.

Por lo tanto, también se han obtenido buenos resultados en esta prueba, en la que se ha conseguido secar la biomasa sin que se produzca pérdida de energía, obteniendo así un ahorro económico y un mejor balance energético.

#### *Prueba nº20*

La siguiente prueba se ha realizado con poda de olivo triturada con una humedad media en el inicio del acopio de 24,55% y se ha tenido almacenada durante 3 meses (Mayo – Julio). En la tabla se muestra los resultados obtenidos al final del almacenamiento. Como se puede observar se ha perdido cerca de un 8% de humedad (2,7%/mensual) y casi 75 toneladas de peso. El control del peso final del acopio es parecido para los 2 métodos.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº20. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Olivo G5-10	3	24,55	16,43	1.141.500	F	1.067.110	50 - 88
					P	1.047.600	

La temperatura ha ido aumentando progresivamente hasta alcanzar los 88°C en ciertos puntos, llegando a estabilizarse en las últimas semanas alrededor de los 85°C.

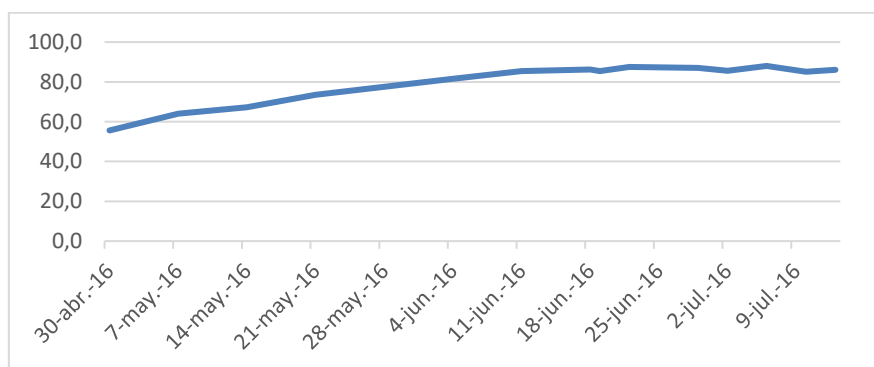


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Con respecto a la variación del PCS/PCI se ha observado cómo ha disminuido un poco el PCS, seguramente debido al efecto de las altas temperaturas alcanzadas en el acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº20. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Olivo G5-10	4.592,17	4.472,36	3.075,79	3.429,37

Debido a la pérdida de humedad, el PCI del acopio al final del almacenamiento es mayor que al principio, por lo que, junto con la baja pérdida de peso que se ha producido, hacen que el balance energético del acopio sea positivo en ambos casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Olivo G5-10	3.511.014.285,0	F	3.659.515.021,0	148.500.736,0
		P	3.592.608.012,0	81.593.727

En este caso, se ha producido una alta pérdida de humedad, por lo que la evaporación ha sido mayor y se ha perdido gran cantidad de peso en agua en el acopio. Como se

observa en la tabla, el equivalente en toneladas de biomasa quemadas durante la combustión para evaporar esa agua sería de 14,04 toneladas con un valor de 482,68€.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>74,39</b>	40.125.535,09	5.579.190,08	45.704.725,17	14,04	482,68

Teniendo en cuenta el coste inicial del acopio de 46.002,45 € (40,30 €/Tm), si se hubiera comprado la biomasa seca el coste hubiera sido de 45,15 €/Tm, es decir, un coste de 48.180,02 € según fórmula y un coste de 47.299,14 € según el pesaje en báscula.

Según los resultados, se puede decir que esta prueba ha sido positiva y que se ha mejorado el balance energético-económico del acopio.

#### Prueba nº21

De nuevo, se utiliza poda de olivo triturada para realizar un acopio de 808.000 kg y se tiene acopiado esta vez durante 4 meses (Mayo – Agosto). Como se refleja en la siguiente tabla, este acopio ha perdido durante este periodo de almacenamiento cerca de 12% de humedad, es decir, 3% mensual.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº21. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura ΔT <sup>a</sup> (°C)
<b>Olivo G5-10</b>	4	21,75	9,57	808.000	F	727.170	40 - 60
					P	752.630	

En esta prueba, la temperatura interior del acopio ha permanecido más baja y estable que en las pruebas anteriores, lo que ha favorecido a que la degradación del acopio sea menor. También ha permanecido durante varias semanas alrededor de 60°C, donde las bacterias dejan ya de actuar.

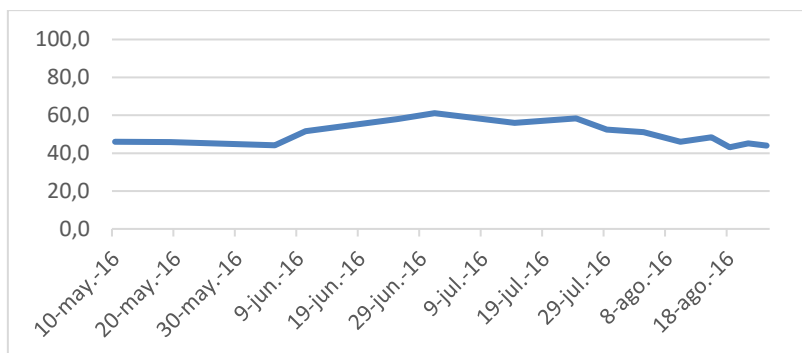


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Con respecto al PCS, según nos indican los resultados del análisis de PCS y PCI, se ha producido un aumento del PCS durante el almacenamiento. Tal y como se ha mencionado anteriormente, esto se debe a la complejidad de la toma de muestras, ya que, en teoría, el PCS debe de ser el mismo tanto al inicio como al final del almacenamiento, siempre y cuando no haya cambios en su composición elemental. Se considera que el PCS no varía siempre y cuando los valores sean aproximados.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº21. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
<b>Olivo G5-10</b>	4.398,57	4.521,58	3.364,85	3.804,31

El control de peso al final del almacenamiento ha dado resultados similares con un aumento del PCI al final del almacenamiento, lo que da lugar a que el balance energético sea positivo en ambos casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
<b>Olivo G5-10</b>	2.718.798.800,0	F	2.766.380.103,0	47.581.303,0
		P	2.863.237.835,0	144.439.035,0

Por evaporación o secado natural, ha llegado a perderse 80,83 toneladas de agua en los 4 meses de almacenamiento. Esto supone un ahorro de más de 500€ en biomasa durante la combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>80,83</b>	43.601.418,78	6.062.488,71	49.663.907,48	14,76	529,80

En este caso, el coste inicial fue de 42,00 €/Tm, mientras que el coste de haber comprado la cantidad necesaria de biomasa seca sería de 49,30 €/Tm. Realizando los totales, se obtendría un coste total inicial de 33.936 €, siendo los costes de la biomasa seca de 35.849,48 €, en el caso de la fórmula, y de 37.104,66 €, para el control por pesaje. En cualquiera de los 2 casos, se produce un ahorro energético y económico.

### Prueba nº22

La siguiente prueba se realiza con el mismo tipo de producto que la prueba anterior, pero durante un periodo de almacenamiento algo mayor, alrededor de los 4 meses y medio (Abril – Agosto). En esta ocasión también se produce una alta pérdida de humedad durante el periodo de almacenamiento (2,5%/mensual) y la pérdida de peso calculada mediante los 2 métodos es muy similar.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Olivo G5-10	4,5	22,74	11,63	1.090.680	F	991.960	40 - 87
					P	963.600	

Al igual que se ha producido una alta pérdida de humedad, también se han alcanzado temperaturas muy altas en el acopio, llegando hasta los 87°C y manteniéndose por encima de los 80°C durante casi todo el periodo de almacenamiento.

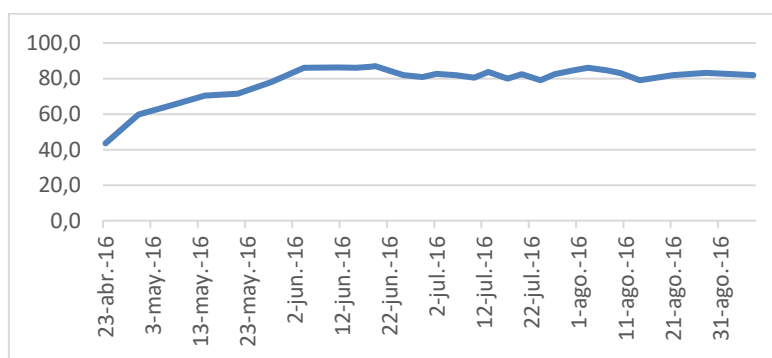


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Al igual que en el caso anterior, la variación de PCS ha sido pequeña, por lo que se puede considerar que no ha habido degradación del producto, a pesar de las altas temperaturas que se han producido en el acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº22. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
<b>Olivo G5-10</b>	4.389,23	4.452,30	3.044,48	3.645,47

Se ha producido un aumento considerable en el PCI medio del acopio, lo que ha supuesto que el balance energético que se obtiene del mismo es positivo para ambos métodos de cálculo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
<b>Olivo G5-10</b>	3.320.553.446,4	F	3.616.160.421,0	295.606.975,2
		P	3.512.774.892,0	192.221.445,6

De nuevo se ha producido una alta evaporación, más de 98 toneladas de agua, lo que corresponde a 19,92 toneladas equivalentes de biomasa ahorradas, con un coste de 704,50€.

Con respecto al balance económico de la compra de esta biomasa, se obtienen también datos positivos. La biomasa se compró a un precio de 41,40 €/Tm, lo que supuso un total de 45.154,15 €.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>98,72</b>	53.252.037,80	7.404.343,41	60.656.381,21	19,92	704,50

Teniendo en cuenta que se hubiera comprado la cantidad de biomasa que queda en el acopio al final del almacenamiento, a la humedad final, el coste hubiera sido de 48,00 €/Tm, haciendo un total de 47.614,08 €, en el caso del peso calculado con fórmula, y de 46.252,80 €, para el control de pesaje en báscula.

En cualquiera de los casos se obtiene un balance energético y económico positivo.

### Prueba nº23

Se realiza una nueva prueba con un acopio de poda de olivo triturada cuyo periodo de tiempo de almacenamiento ha sido casi 6 meses (Marzo – Agosto).

En este caso la pérdida de humedad ha sido más baja que en casos anteriores, llegando a una pérdida de 6,58% de la humedad inicial. También hay que destacar que el acopio es algo mayor, lo que afecta a la entrada de aire y refrigeración del mismo.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº23. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Olivo G5-10	5,8	27,29	20,71	1.279.700	F	1.213.510	55 - 89
					P	1.243.320	

Esto también se ha reflejado en la temperatura del acopio, la cual ha ido aumentando progresivamente hasta llegar a casi los 90°C de temperatura debido a la alta humedad inicial y a la falta de refrigeración.

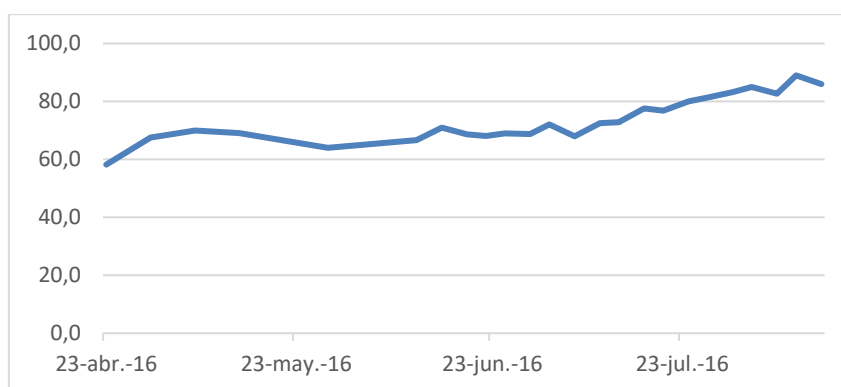


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

La variación del PCS es mínima, por lo que inicialmente la degradación de la biomasa ha sido pequeña y la disminución de la humedad del acopio ha generado un incremento en el PCI al final de periodo de almacenamiento.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº23. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Olivo G5-10	4.553,63	4.502,17	2.888,59	3.255,19

La pérdida de peso ha sido pequeña, sobre todo según el control por pesaje en báscula del acopio al final del almacenamiento. Esto nos indica que, junto al aumento de PCI, el balance energético del acopio será positivo en ambos casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Olivo G5-10	3.696.528.623,0	F	3.950.205.617,0	253.676.994,0
		P	4.047.242.830,0	350.714.207,0

En este ensayo, la pérdida de humedad por evaporación ha sido de 66,19 toneladas de agua, lo que hubiera supuesto una cantidad de 14,08 toneladas más de biomasa que se hubieran consumido durante la combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
66,19	35.700.201,78	4.963.876,78	40.664.078,56	14,08	463,20

El coste total del acopio al inicio del almacenamiento fue de 49.396,42 € (38,60 €/Tm). El coste de la biomasa al final del almacenamiento sería de 51.695,53 €, para el cálculo con la fórmula, y de 52.965,43 €, para el control del peso mediante pesaje en báscula.

Como se puede observar se obtienen beneficios en ambos casos, obteniéndose un mayor beneficio donde la pérdida de peso es menor.

#### Prueba nº24

La siguiente prueba se ha realizado con poda de olivo pretriturada<sup>29</sup>, con una granulometría entre 15 – 50 cm de longitud y un máximo de 5 cm de diámetro. Este acopio se tuvo almacenado durante 3 meses y medio (Abril – Julio), pero cuando se llevaba 2 mes de almacenamiento el producto se trituró<sup>30</sup> y se dejó almacenado triturado hasta el final del periodo de almacenamiento.

Como se observa en la tabla, esta biomasa se almacenó muy seca, por lo que la pérdida de más humedad va a ser muy complicada por secado natural, lo que se demuestra con los resultados obtenidos al final del periodo de almacenamiento.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº24. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
--------------------------	---------------------------	--------------------------------	------------------------------	-------------------	------------------------	-----------------	--

<sup>29</sup> Poda de olivo con una granulometría mayor a la necesaria para alimentar la caldera.

<sup>30</sup> La caldera de biomasa necesita que la biomasa sea lo más homogénea posible para una buena y estable producción, por lo que debe de tener una granulometría entre de 5 – 10 cm en sus 3 dimensiones.

<b>Olivo G15-50</b>	3,5	11,38	11,36	1.434.420	F	1.434.120	25 - 85
					P	1.403.730	

Lo que si se observa es qué tras la trituración, la temperatura del acopio, que estaba a unos 45°C más o menos, comenzó a subir rápidamente hasta llegar en pocas semanas por encima de los 80°C.

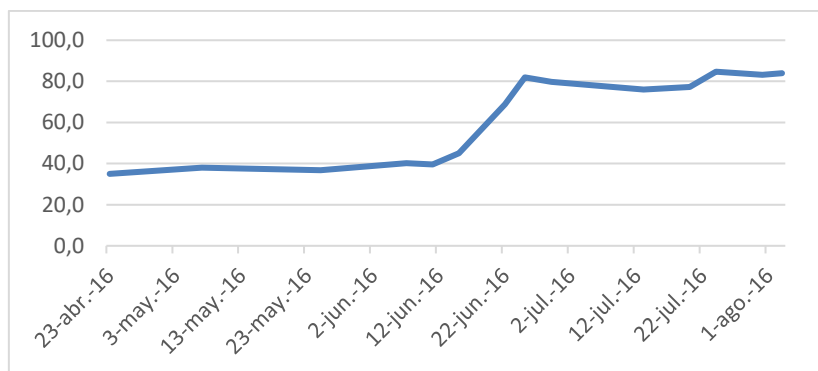


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Este dato es curioso y confirma lo comentado en el estado del arte, cuando la biomasa es triturada, las células vivas comienzan a respirar en un intento de recuperar o regenerar las paredes y fibras rotas o dañadas, lo que genera un aumento del calor en el acopio debido a esa respiración. Si además el acopio es grande, ese calor generado no se disipa ni refrigera, originando el aumento progresivo de la temperatura en su interior.

Pese al aumento de temperatura la degradación del acopio ha sido mínima, tal y como se observa en la variación de PCS.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº24. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
<b>Olivo G15-50</b>	4.416,14	4.394,97	3.622,18	3.611,12

Teniendo en cuenta los resultados, en esta prueba se ha conseguido mantener constantes las condiciones iniciales de la biomasa. Simplemente se ha perdido un poco de peso debido a la pequeña pérdida de humedad y, seguramente, en los trabajos de manipulación y trituración realizados. El balance energético - económico se podría considerar cero.

Por lo tanto, la evaporación ha sido casi nula, de 0,30 toneladas de agua evaporada.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
0,30	162.090,23	22.537,57	184,627,81	0,05	1,86

Tal y como se comenta en el estado del arte, almacenar la biomasa con mayor granulometría favorece la aireación del mismo y evita el auto-calentamiento y, por lo tanto, la degradación del producto. Por supuesto, lo que más ha influido en que el acopio se haya mantenido constante durante todo el almacenamiento, ha sido la humedad tan baja con la que se almacenó al inicio.

Estos resultados pueden dar una idea de cómo se podría almacenar la biomasa para periodos de tiempo largos, para que no se produzca degradación. Es decir, almacenar la biomasa en granulometrías grandes y triturarla justo antes de su consumo o utilización.

#### Prueba nº25

Este acopio se ha realizado también con pino de granulometría G5-20 y se ha tenido almacenado durante algo más de 2 meses, pero en meses más de verano (Mayo – Julio).

En este caso el acopio ha sido más pequeño, de alrededor de 1.000 toneladas. La humedad de entrada también ha sido alta, pero en este caso se ha producido una alta pérdida de humedad durante el periodo de almacenamiento, alrededor del 7%/mensual.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº25. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G5-20	2,3	30,68	13,99	1.013.560	F	884.070	30 – 55
					P	880.000	

Como se puede observar la pérdida de peso también ha sido considerable, por lo que, según se ha visto en ocasiones anteriores, puede verse afectado el balance energético negativamente.

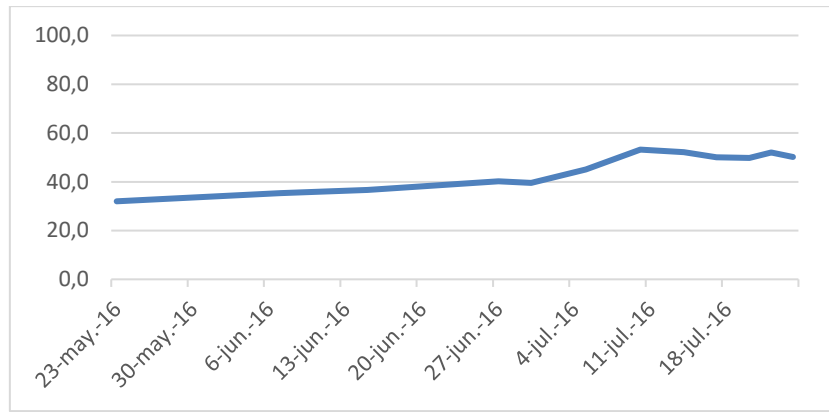


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

La refrigeración y secado del acopio ha sido rápida por lo que las temperaturas han sido bajas y no se ha producido degradación ni fermentación, tal y como indican los resultados de PCS.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº25. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.686,14	4.694,89	2.858,42	3.735,55

La alta pérdida de humedad hace que el PCI del producto al final del almacenamiento sea lo bastante alto como para compensar la pérdida de peso y obtener un balance energético positivo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G5-20	2.897.180.175,0	F	3.302.487.689,0	405.307.514,0
		P	3.287.284.000,0	309.103.825,0

La evaporación en este caso ha sido muy grande debido a la gran pérdida de humedad. Se han evaporado 129,49 toneladas de agua. Esto ha supuesto un ahorro de casi 1.200€ de mayor coste de compra de las toneladas equivalentes necesarias en la combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
129,49	69.845.382,90	9.711.538,22	79.556.921,12	27,83	1.176,25

En cuanto al ahorro económico, comprar la cantidad de biomasa seca obtenida al final del almacenamiento tendría un coste de 56,60 €/Tm, habiéndose comprado a 46,60 €/Tm. Por lo tanto, el coste total al inicio del almacenamiento fue de 47.231,90 €, mientras que el coste que hubiera supuesto la biomasa seca sería de 50.038,36 €, según los datos de la fórmula, y de 49.808 €, según el pesaje en báscula. Además de obtener un mayor rendimiento energético del acopio, se obtendría también un buen ahorro económico de más de 2.500 €.

#### Prueba nº26

Al igual que en la prueba anterior, se almacena un acopio de pino durante 2 meses y medio aproximadamente (Junio – Agosto), más o menos del mismo tamaño que el anterior, pero con la diferencia de que la humedad media del acopio al inicio del almacenamiento es bastante menor.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº26. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G5-20	2,6	20,26	8,84	1.078.880	F	976.410	30 – 60
					P	973.090	

En este caso, el ratio mensual de pérdida de humedad es inferior debido a que, en este caso, la humedad de la biomasa al inicio del almacenamiento es más baja (pérdida de  $\approx 4,3\%$  mensual). Como se observa, la pérdida de peso que se ha generado durante el almacenamiento también ha sido menor que en el caso anterior, ya que la humedad perdida ha sido menor.

La temperatura ha estado por encima de los 50°C, casi a lo largo de todo el periodo de almacenamiento, pero no se ha observado que haya afectado en demasía a la degradación del acopio.

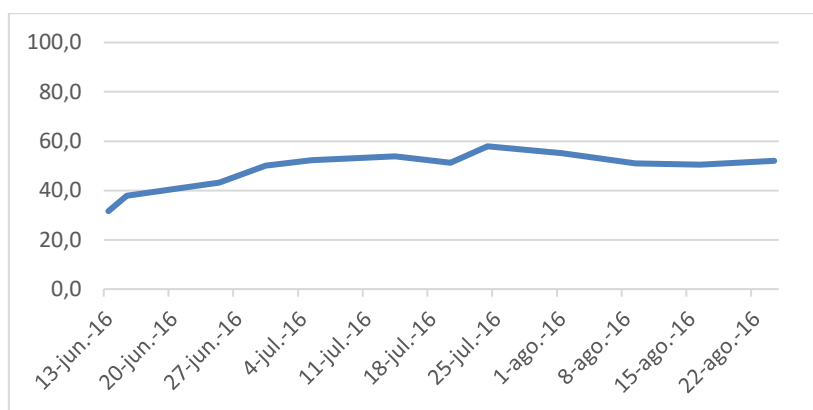


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

En esta ocasión tampoco se ha producido pérdida de PCS y, por lo tanto, se puede decir que no ha habido degradación de la biomasa durante su almacenamiento. Si se ha producido una considerable pérdida de peso por la pérdida de humedad.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº26. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.717,43	4.697,55	3.440,95	3.998,36

Si la pérdida de peso hubiera sido algo mayor, quizás se hubiera producido un efecto negativo en el balance energético, ya que la cantidad de biomasa que hubiera quedado en el acopio hubiera producido menos energía que la energía que se disponía al inicio del almacenamiento.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G5-20	3.712.372.136,0	F	3.904.038.688,0	191.666.552,0
		P	3.890.764.132,0	178.391.996,0

La pérdida de agua por evaporación ha sido de 102,47 toneladas, lo que equivale a 18,30 toneladas de biomasa que se hubieran tenido que quemar de más en la combustión para poder evaporar esa cantidad de agua.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
102,47	55.274.401,86	7.685.539,75	62.959.941,61	18,30	885,29

En esta prueba, el coste de la biomasa al inicio del almacenamiento fue de 52,80 €/Tm, lo que supuso un total de 56.964,86 €. Al final del almacenamiento la biomasa tenía un valor de 59,80 €/Tm, lo que hubiera supuesto un coste total de 58.389,32 €, según los datos de fórmula, y de 58.190,78 €, según el pesaje. En este caso el balance energético-económico sería positivo.

#### Prueba nº27

El acopio de pino que se estudia a continuación, se ha tenido almacenado durante un periodo de tiempo de 3 meses (Septiembre – Diciembre). La humedad media del acopio con la que se almacenó la biomasa al inicio del almacenamiento era de 35,64%.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G5-20	3	35,64	17,16	777.740	F	671.780	30 – 45
					P	677.290	

La pérdida de humedad ha sido aproximadamente de 6% al mes, llegando hasta un 17%, y se ha producido una pérdida considerable de peso de cómo mínimo 100 toneladas, según el control por pesaje en báscula.

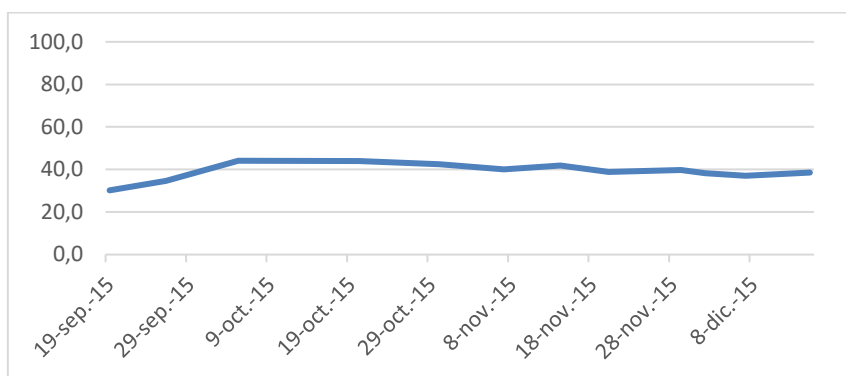


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

La temperatura se ha mantenido baja a lo largo del almacenamiento, sin superar los 45°C. Aunque se ha generado un ambiente óptimo para la actuación de las bacterias, al ser un acopio mediano y el producto tener una granulometría algo mayor, ha permitido la fácil refrigeración del acopio y la humedad la ha perdido rápidamente, sin dar lugar a auto-calentamientos y descomposición de la biomasa.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº27. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.448,73	4.500,44	2.448,14	3.412,32

No ha habido apenas variación en el PCS por lo que se puede descartar que haya habido degradación y descomposición de la biomasa. Si hay un gran aumento del PCI debido a la gran pérdida de humedad que se ha producido durante el periodo de almacenamiento.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G5-20	1.904.016.403,0	F	2.292.328.330,0	388.311.927,0
		P	2.311.130.212,0	407.113.809,0

Aunque la pérdida de peso del acopio haya sido grande, al no haber degradación de la biomasa, se ha producido una revalorización de la misma, generándose un aumento de PCI suficiente que ha hecho que el contenido energético del acopio, al final del periodo de almacenamiento, sea mayor que al inicio, compensando esa pérdida de peso.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
105,96	57.155.702,06	7.947.122,09	65.102.824,14	26,59	1.046,37

En este ensayo, se han llegado a evaporar más de 100 toneladas de agua que, en el caso de que se hubieran introducido en la caldera, hubieran repercutido en un aumento de 26,59 toneladas de biomasa consumida para su evaporación, con un coste de 1.046,37€.

En este caso, el secado natural en el parque será rentable. El coste inicial del acopio fue de 43,70 €/Tm, es decir, un total de 33.987,24 €. Comprando los kilos de biomasa secos al final del periodo de almacenamiento, el coste hubiera sido de 36.746,37 €, en el caso del control de peso por fórmula, y de 39.079,66 €, teniendo en cuenta el peso calculado por báscula (54,70 €/Tm).

Como se observa, en cualquiera de los 2 casos el balance es positivo.

#### Prueba nº28

En la siguiente prueba, se ha almacenado pino durante un periodo de tiempo algo superior a 4 meses (Abril – Julio). La humedad de la biomasa, al inicio del acopio, es bastante alta, pero al igual que en el caso anterior, se ha producido gran pérdida de humedad, sobre todo en el primer mes. Esta gran pérdida de humedad, repercute en una alta pérdida de peso en el acopio.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº28. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G5-20	4,3	37,35	14,73	852.200	F	711.870	40 – 70

La temperatura ha subido rápidamente en el primer mes y, posteriormente, se ha mantenido en valores cercanos a los 70°C. A esta temperatura, la acción de las bacterias es nula, aunque si se producen reacciones de oxidación que pueden degradar la biomasa.

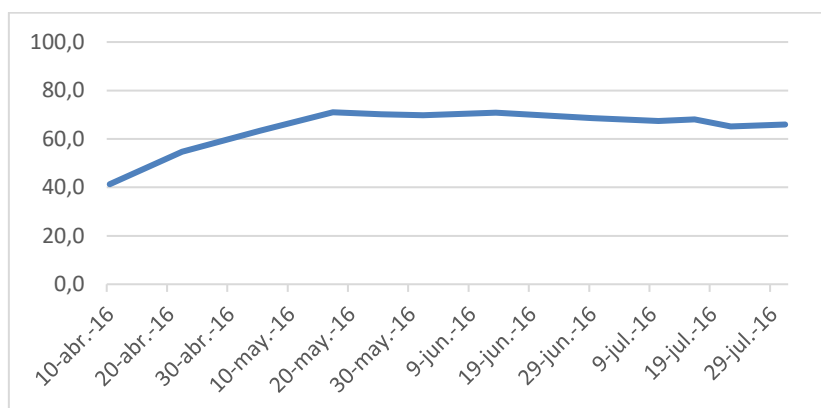


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Al igual que en la prueba anterior, el PCS se mantiene más o menos constante mientras que el PCI ha aumentado debido a la pérdida de humedad.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº28. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.447,83	4.587,18	2.439,14	3.612,24

Aún teniendo una alta pérdida de peso en el acopio, el balance energético obtenido es positivo, ya que el aumento en el PCI compensa esa pérdida de humedad.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G5-20	2.078.635.108,0	F	2.571.445.289,0	492.810.181,0
		P	2.542.764.103,0	464.128.995,0

La alta pérdida de humedad ha originado una gran pérdida de peso por evaporación de agua. Se han evaporado más de 140 toneladas de agua contenidas en el acopio de

biomasa. Esto supone 35,35 toneladas equivalentes de biomasa con un coste de 1.355,38€.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
140,33	75.695.211,58	10.524.918,18	86.220.129,76	35,35	1.355,38

En cuanto al coste inicial, fue de 36.303,72 € (42,60 €/Tm), mientras que el coste de haber comprado la biomasa seca hubiera sido de 40.007,09 € y 39.560,87 €, según métodos de fórmula y pesaje, respectivamente (56,20 €/Tm).

### Prueba nº29

Este acopio se tuvo almacenado durante un periodo de tiempo de un poco más de 3 meses y medio (Diciembre – Marzo). En este caso, el pino almacenado tenía al inicio del almacenamiento una humedad de 19,17% (más bajas que en ocasiones anteriores).

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº29. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura ΔTª (°C)
Pino G5-20	3,6	19,17	18,78	541.140	F	539.370	30 – 50
					P	535.600	

Como se observa, la pérdida de peso y de humedad ha sido baja. Además, la temperatura, exceptuando algún punto un poco más alto, se ha mantenido generalmente baja, sin superar los 50°C. Esto ha podido deberse a que el tamaño del acopio es algo menor que los realizados anteriormente, lo que ha favorecido a la conservación de las condiciones iniciales de la biomasa acopiada.

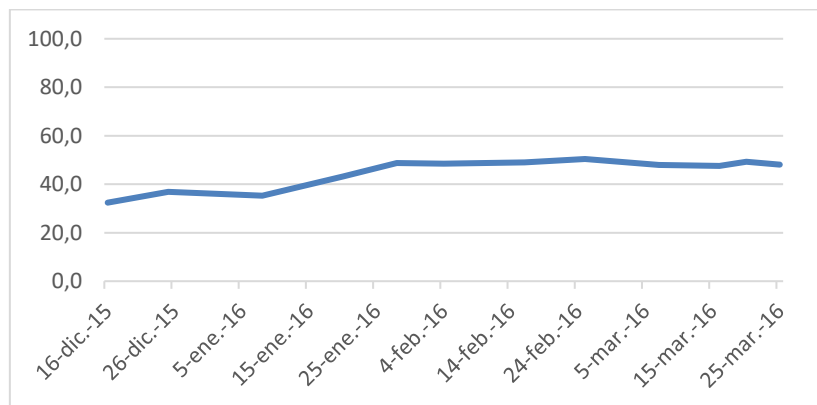


Gráfico 28.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Esto se puede corroborar con los datos de PCS/PCI obtenidos en los que la variación es pequeña entre el inicio y el final del periodo de almacenamiento.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba n°29. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G5-20	4.716,53	4.701,05	3.440,05	3.497,15

Por lo tanto, tanto el contenido energético del acopio como el coste económico del será prácticamente el mismo al final del almacenamiento.

La evaporación en este caso ha sido mínima, por lo que el ahorro económico en la evaporación también va a ser prácticamente nulo.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
1,77	955.252,64	132.821,56	1.088.074,20	0,32	15,51

Tal y como se comenta en el estado del arte, los resultados indican que cuanto más seca se almacene la biomasa y cuanto menor sea el tamaño del acopio mejor se conservarán sus características.

#### Prueba n°30

Al igual que en la prueba anterior, este acopio estuvo almacenado durante 3 meses y medio, entre los meses Noviembre y Marzo.

Este acopio es de condiciones similares al anterior, siendo este un poco más grande, lo que ha podido causar que la temperatura en el interior del mismo haya sido algo mayor. La pérdida de humedad ha sido baja, al igual que la pérdida de peso

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba n°30. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G5-20	3,5	21,00	18,53	784.800	F	768.780	40 – 55
					P	722.330	

Que no haya habido algo más de pérdida de humedad puede ser debido a las temperaturas exteriores (meses de invierno) y a que el acopio es más grande.

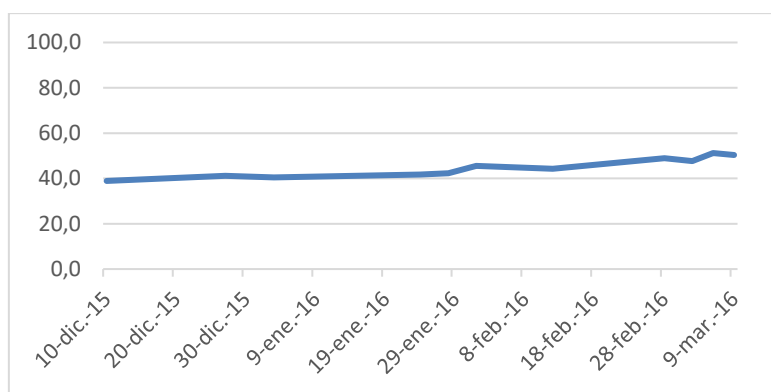


Gráfico 29.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Al igual que la pérdida de humedad, la variación en el PCS y PCI ha sido mínima, por lo que el producto del acopio ha mantenido sus condiciones iniciales, sin degradarse, estando en algunos momentos a temperaturas por encima de los 50°C.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de pino de la prueba nº30. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
<b>Pino G5-20</b>	4.616,53	4.661,54	3.440,95	3.482,81

La variación pues del contenido energético del acopio y, por lo tanto, el coste económico de acopio tanto al inicio como al final del almacenamiento serán muy similares.

En este acopio se han evaporado 16,02 toneladas de agua, lo que equivale a 2,86 toneladas equivalentes de biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>16,02</b>	8.641.348,48	1.201.522,31	9.842.870,80	2,86	137,16

### Prueba nº31

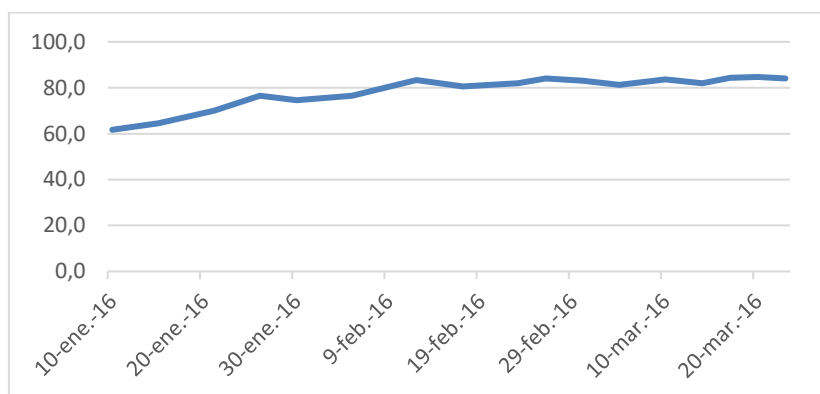
En esta ocasión, la prueba se realiza con hoja de almazara triturada. Esta hoja se almacenó con una humedad media de 40,38% y se tuvo almacenada durante un poco más de 2 meses y medio.

Como se puede observar en la tabla, la humedad perdida por la hoja durante su almacenamiento es prácticamente nulo. Se observa, que existe pérdida de peso en el acopio, lo que debe estar ocasionado por la fermentación del acopio.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº31. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G5	2,6	40,39	40,01	2.516.820	F	2.510.010	45 – 85
					P	2.409.710	

Este producto no permite que el aire penetre en el acopio y lo refrigere, lo que origina que en muy poco tiempo el acopio aumente de temperatura, llegando a valores próximos a los 90°C.

Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Estos datos están muy influidos por el tamaño del acopio y la composición herbácea del mismo. Como se observa, la fermentación debida a la alta humedad y al alto porcentaje de contenido herbáceo de este producto, ha hecho que el acopio haya subido de temperatura muy rápido en poco tiempo y que se haya producido una pérdida de PCS, debido a la degradación de la biomasa por las malas condiciones y la actividad microbiana.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº31. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hoja de Almazara G5	4.725,23	4.546,46	2.328,92	2.346,11

La pérdida del contenido energético del acopio (PCS), aunque el PCI se haya mantenido durante el almacenamiento, indica que el contenido energético final del acopio será menor que el inicial.

Haciendo un balance de energía, si se tiene en cuenta que la pérdida de peso es mínima, tal y como nos indica la fórmula de pérdida de humedad, se tendrá un pequeño beneficio energético y el coste será prácticamente el mismo. En el caso del pesaje por báscula, la pérdida de peso es grande, por lo que el balance energético es negativo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Hoja de Almazara G5	5.861.472.434,0	F	5.888.759.561,0	27.287.127,0
		P	5.653.444.728,0	-208.027.706,0

Tratándose de hoja de almazara y de su alta predisposición para ser fermentada y degradada en poco tiempo, tal y como se ha comentado en el estado del arte, se observa como en el poco tiempo de almacenamiento el acopio ha perdido bastante poder energético debido a la fermentación. Este factor nos lo indica la alta diferencia entre el PCS del inicio del almacenamiento y el PCS al final del almacenamiento.

Con respecto a la evaporación, en este caso solo se han evaporado 6,81 toneladas de agua, lo que equivale a 1,80 toneladas de biomasa adicionales que se hubieran tenido que quemar para poder evaporar esa agua contenida en la biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
6,81	3.674.603,81	510.929,34	4.185.533,15	1,80	57,99

#### Prueba nº32

Se ha realizado otro acopio de hoja de almazara triturada, esta vez durante la mitad de tiempo y con la mitad del tamaño de la prueba anterior (mes de Febrero). El acopio tiene alrededor de las 1.000 toneladas con una humedad media de 34,72% al inicio del almacenamiento.

Con esta prueba, se ha podido observar que al cabo de un mes la hoja de almazara ya empieza a superar los 70°C de temperatura.

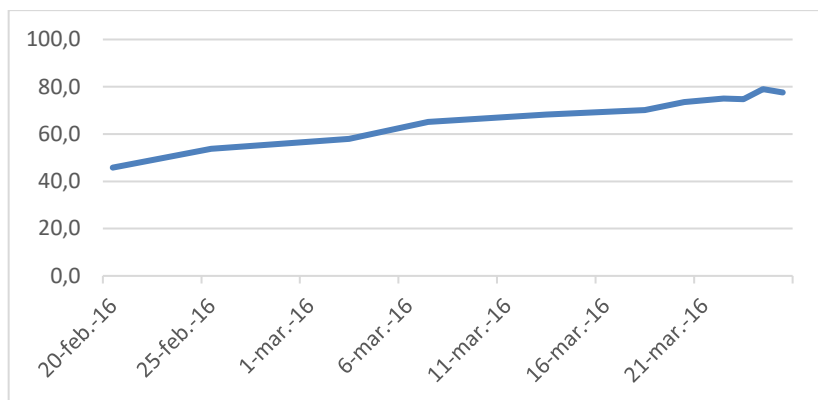


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

También se puede ver cómo, aunque el acopio es más pequeño, el aire no entra hasta todos los puntos del acopio para refrigerarlo y secarlo, con lo que la humedad disminuye bastante poco.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº32. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G5	1,3	34,72	33,37	1.021.140	F	1.010.870	45 – 80
					P	831.200	

Según la fórmula de pérdida de humedad, se observa como la pérdida de peso ha sido baja, ya que la pérdida de humedad ha sido baja. Al haberse perdido tan poca humedad, el ahorro por la evaporación o secado natural en el parque va a ser muy bajo.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
10,27	5.539.919,47	770.289,14	6.310.208,61	2,32	82,32

Sin en cambio, según el control de pesaje con báscula del peso final del acopio, se observa como la pérdida de peso ha sido bastante grande, lo que se puede atribuir a la degradación, fermentación de la hoja, lo que justifica la pérdida de PCS.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº32. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hoja de Almazara G5	4.953,22	4.843,26	2.721,10	2.862,06

Se confirma con este acopio, lo comentado tanto en el estado del arte como en el apartado 5.1.2.4, que por poco tiempo que esté almacenada esta biomasa su degradación es muy rápida, por lo que en pocas ocasiones se pueden obtener beneficios energético-económicos en el almacenamiento de la misma.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Hoja de Almazara G5	2.778.624.054,0	F	2.893.170.592,0	114.546.538,0
		P	2.378.944.272,0	-399.679.782,0

Si se tiene en cuenta que hay pérdida de PCS, se puede decir que esto ha generado pérdida de peso en el acopio además del generado por la pérdida de humedad. Por lo que, se debería tener en cuenta el valor más desfavorable de este balance, lo que indica que no se obtendría beneficio energético con esta prueba.

#### Prueba nº33

Se ha realizado otra prueba con hoja de almazara triturada, en la que las condiciones son muy similares a las de la prueba anterior. Aunque esta vez, el tiempo de residencia ha sido de un poco más de 2 meses, durante los meses de Febrero y Marzo.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº33. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G5	2,1	33,08	32,94	1.305.880	F	1.304.510	45 – 85
					P	1.321.030	

Como se puede observar, la pérdida de peso en este acopio ha sido mínima. Por lo que, no se ha conseguido evaporar y secar apenas el acopio. Esto es debido a que el acopio es más grande y dificulta el secado natural del mismo. Por lo tanto, el ahorro de secado es prácticamente despreciable.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
1,37	741.019,19	103.033,81	844.053,01	0,32	11,51

La temperatura en el acopio ha ascendido hasta los 85°C, dando lugar a puntos peligrosamente calientes en el acopio.

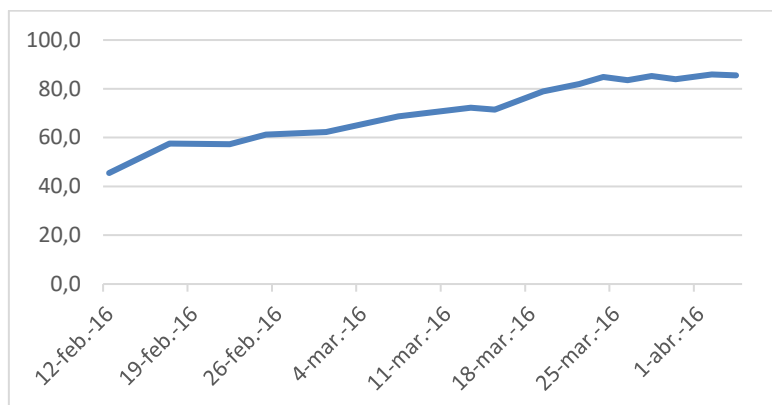


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Se observa una evolución de la temperatura en aumento en breve periodo de tiempo debido a la falta de refrigeración del acopio y a la alta fermentación generada en las primeras semanas debido a la tipología de esta biomasa.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº33. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hoja de Almazara G5	4.737,32	4.479,88	2.604,09	2.641,45

Al igual que ha pasado en otras pruebas con hoja de almazara, el valor del PCS al final del periodo de almacenamiento ha disminuido y, la humedad y el PCI, se han mantenido prácticamente iguales. Esto indica que ha habido fermentación y, por lo tanto, pérdida energética del acopio, aunque la humedad y el peso final sean muy parecidos.

#### Prueba nº34

En esta prueba se ha realizado un acopio de hoja de almazara sin triturar, algo más pequeño y se ha tenido almacenado durante 4 meses (de Enero a Abril).

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº34. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G10	4,0	32,40	31,21	901.000	F	892.880	45 – 90
					P	924.000	

Aunque el acopio ha sido más pequeño y la humedad algo más baja que en anteriores ocasiones, y aunque la hoja se haya almacenado sin triturar, no ha ayudado a que el acopio se seque y refrigere de forma natural. Es más, se han llegado a alcanzar los 90°C debido al excesivo tiempo de almacenamiento, lo que también ha producido una pérdida del contenido energético del acopio (PCS) muy grande.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº34. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hoja de Almazara G10	4.845,27	4.249,84	2.551,70	2.567,63

En este caso, el PCI no ha variado ya que la humedad es prácticamente igual pero, debido a la gran pérdida de PCS, el contenido energético total del acopio y, por lo tanto, el balance energético del acopio será negativo.

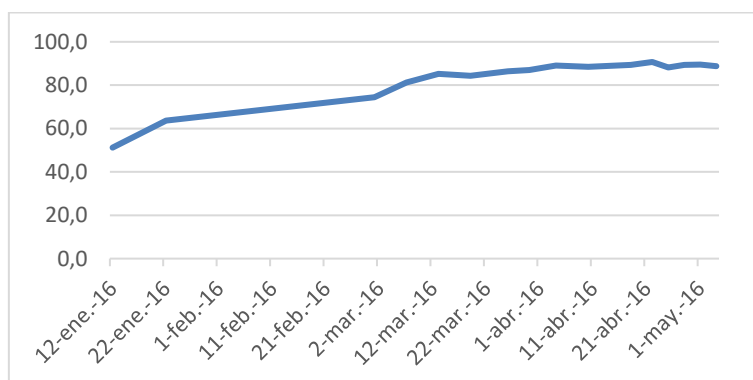


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Como es lógico, el ahorro en la evaporación también es mínimo. Se han evaporado 8,12 toneladas de agua lo que equivale a 1,96 toneladas de biomasa que se hubieran tenido que consumir de más en el proceso de combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
8,12	4.380.357,13	609.059,67	4.989.416,80	1,96	35,20

Prueba nº35

De nuevo se ha realizado otra prueba con hoja de almazara triturada. En este caso el acopio es algo más pequeño y se ha almacenado durante casi 3 meses (Marzo-Abril-Mayo).

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº35. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G5	2,8	34,16	32,50	851.140	F	840.630	45 – 90
					P	866.300	

Como se puede observar, la pérdida de humedad durante el periodo de almacenamiento ha sido baja, por lo que la pérdida de peso en función de la humedad también ha sido baja. Con respecto a la pérdida de peso según el pesaje en báscula del acopio, se han contabilizado más kilogramos, pero no una cantidad excesiva. Por lo que, se puede considerar como una desviación en el pesaje y se tiene en cuenta que no ha habido pérdida de peso durante el periodo de almacenamiento.

Con respecto a la temperatura, se ha producido una evolución de la misma muy similar a casos anteriores, en los que en las primeras semanas la temperatura subía muy rápidamente por encima de valores de 80°C.

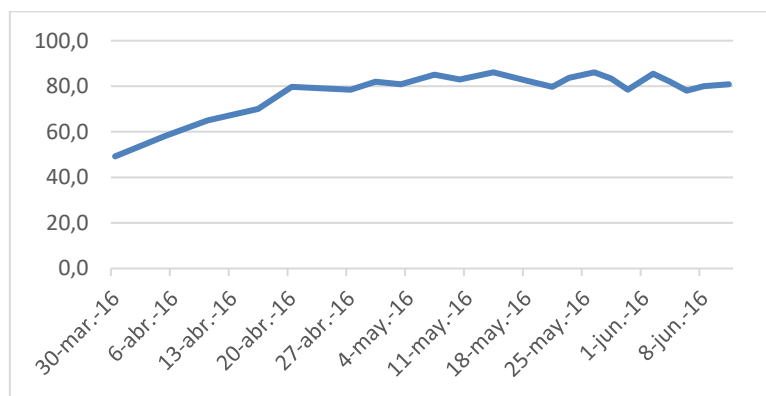


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

En este caso también se ha producido una gran pérdida de PCS, lo que indica que se ha producido degradación en el acopio, algo lógico debido a las altas temperaturas que se han alcanzado.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº35. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)

<b>Hoja de Almazara G5</b>	4.815,26	4.594,71	2.651,17	2.741,17
----------------------------	----------	----------	----------	----------

Por otro lado, el PCI al final del periodo de almacenamiento ha sido algo mayor que al inicio y, debido a la poca pérdida de peso que ha habido en el acopio, el balance energético obtenido, aunque mínimo, sale positivo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Hoja de Almazara G5	2.256.516.833,0	F	2.304.309.737,0	47.792.904,0
		P	2.374.675.571,0	118.158.737,0

La evaporación en este caso ha sido de 10,51 toneladas de agua que equivalen a 2,44 toneladas de biomasa, suponiendo un pequeño ahorro en la combustión de 86,47€.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>10,51</b>	5.669.229,36	788.268,82	6.457.498,18	2,44	86,47

Realizando un sondeo sobre los precios de mercado de la hoja de almazara, el rango de precio de compra-venta se encuentra entre 10 €/Tm y 20 €/Tm:

Tabla.- Tabla de variación del precio de la hoja de almazara en función de la humedad. [Fuente: Elaboración Propia]

% Humedad	Precio €/Tm	% Humedad	Precio €/Tm
<b>10,00</b>	20,30	<b>26,00</b>	17,58
<b>11,00</b>	20,13	<b>27,00</b>	17,41
<b>12,00</b>	19,96	<b>28,00</b>	17,24
<b>13,00</b>	19,79	<b>29,00</b>	17,07
<b>14,00</b>	19,62	<b>30,00</b>	16,90
<b>15,00</b>	19,45	<b>31,00</b>	16,73
<b>16,00</b>	19,28	<b>32,00</b>	16,56
<b>17,00</b>	19,11	<b>33,00</b>	16,39
<b>18,00</b>	18,94	<b>34,00</b>	16,22
<b>19,00</b>	18,77	<b>35,00</b>	16,05
<b>20,00</b>	18,60	<b>36,00</b>	15,88
<b>21,00</b>	18,43	<b>37,00</b>	15,71
<b>22,00</b>	18,26	<b>38,00</b>	15,54
<b>23,00</b>	18,09	<b>39,00</b>	15,37
<b>24,00</b>	17,92	<b>40,00</b>	15,20
<b>25,00</b>	17,75	<b>41,00</b>	15,03

En este caso, la hoja de almazara se compró a un precio de 16,30 €/Tm, lo que supuso un total de 13.873,58 €. Después del almacenamiento, el valor de esa hoja de almazara era de 16,48 €/Tm. Esto supone un total de 13.853,58 €, según la fórmula, y de 14.276,62 €, según el pesaje en báscula. Solo se consigue un poco de beneficio económico si se tiene en cuenta el dato de pérdida de peso calculado mediante el pesaje por báscula.

### Prueba nº36

En la siguiente prueba, se ha realizado un acopio similar al anterior, con mayor humedad inicial (37% aprox.) y se ha almacenado durante el mismo periodo de tiempo.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº36. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G5	2,8	37,58	35,61	974.760	F	960.770	55 – 90
					P	904.470	

Como se observa en este acopio, al estar más húmedo, se han producido mayor de focos calientes en el acopio, llegando en apenas 1 meses a estar a 90°C de temperatura.

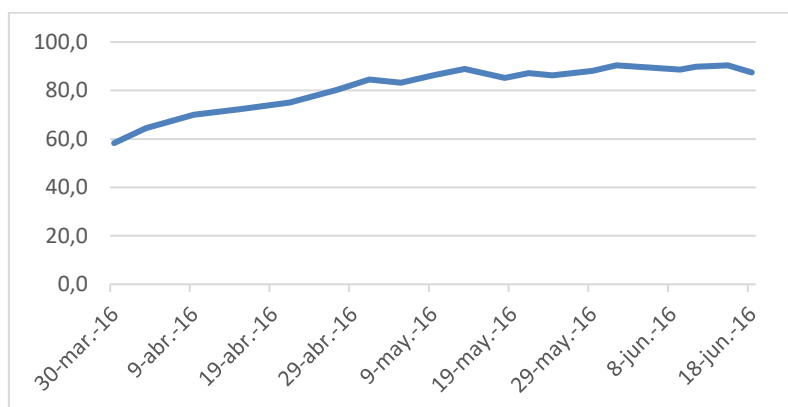


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

También se ha producido una gran pérdida de peso, posiblemente debido a la pérdida de humedad y también debido a las altas temperaturas del acopio, que degradan el producto, al igual que a la fermentación.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº36. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)

<b>Hoja de Almazara G5</b>	4.985,93	4.891,21	2.587,31	2.774,53
----------------------------	----------	----------	----------	----------

En este caso, las pérdidas por PCS no son muy altas y se ha conseguido aumentar un poco el PCI del acopio al final del almacenamiento debido a la pérdida de humedad por secado natural.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Hoja de Almazara G5	2.444.645.726,0	F	2.665.685.188,0	221.039.462,0
		P	2.509.479.149,0	64.833.423,0

Realizando el balance energético del almacenamiento de este acopio, se observa que el balance es positivo y que se ha conseguido obtener una valorización del acopio mediante el secado natural en el parque de biomasa.

Con respecto al ahorro en la combustión por el secado natural de la humedad de la biomasa en el parque, se han eliminado 13,99 toneladas de agua que equivalen a 3,32 toneladas de biomasa que se hubieran consumido de más para poder evaporarla.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>13,99</b>	7.547.800,91	1.049.471,76	8.597.272,67	3,32	112,82

Con respecto al balance económico, el coste del acopio fue de 15.206,26 € (15,60 €/Tm). Al final del almacenamiento el coste del acopio hubiera sido de 15.324,28 € según fórmula y de 14.426,30 € según el pesaje por báscula (15,95 €/Tm). Lo que indica que en esta prueba se ha obtenido un balance energético-económico positivo.

#### Prueba nº37

En la siguiente prueba, se ha vuelto a almacenar hoja de almazara, pero esta vez sin triturar. En este caso con bastante menos humedad y durante un mayor periodo de tiempo.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº37. [Fuente: Elaboración Propia]

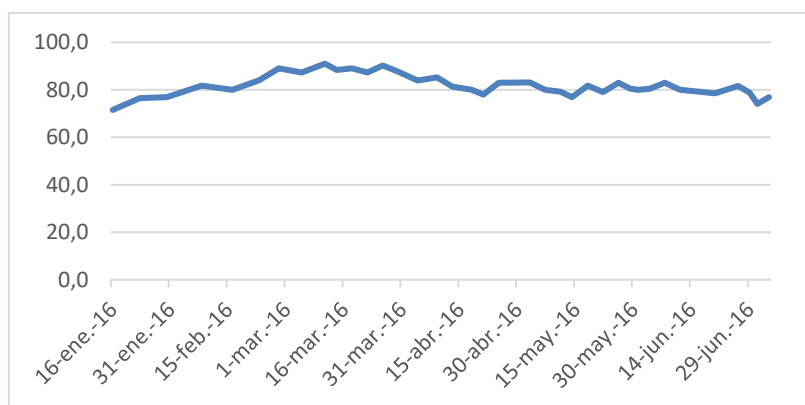
Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura ΔT <sup>a</sup> (°C)
--------------------------	---------------------------	--------------------------------	------------------------------	-------------------	------------------------	-----------------	---

<b>Hoja de Almazara G10</b>	6,4	28,53	19,38	1.725.720	F	1.602.820	55 – 90
					P	1.495.670	

Como se observa, la pérdida de humedad ha sido bastante elevada al igual que la pérdida de peso. Esta pérdida de peso ha sido debida, en gran parte, a la pérdida de humedad del acopio.

La hoja ha sido almacenada sin triturar lo que ha favorecido al secado y aireación del acopio. Además, de haberse almacenado con una humedad relativamente baja para los valores de humedad que normalmente tiene este producto.

En este caso la humedad ha aumentado rápido en las primeras semanas hasta valores de 90°C pero luego ha bajado un poco y se ha estabilizado alrededor de los 80°C.



**Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]**

Como se puede observar en la tabla, la pérdida de PCS en este acopio también ha sido considerable, lo que ha podido ayudar a la pérdida de peso. Con respecto al PCI, debido a la pérdida de humedad, se obtiene una ganancia de energía.

**Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba n°37. [Fuente: Elaboración Propia]**

<b>Producto / Granulometría</b>	<b>PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)</b>	<b>PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)</b>	<b>PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)</b>	<b>PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)</b>
<b>Hoja de Almazara G10</b>	4.895,16	4.702,29	3.226,94	3.476,01

Haciendo el balance energético del acopio al final del periodo de almacenamiento se obtiene que, aunque el PCI haya aumentado, la gran pérdida de peso en el acopio hace que el contenido energético del mismo sea menor que el inicial y, por lo tanto, tener un balance energético negativo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Hoja de Almazara G10	5.568.794.896,0	F	5.571.418.348,0	2.623.452,0
		P	5.198.963.876,0	-369.831.020,0

Con esta prueba se demuestra que una pérdida de humedad excesiva también genera pérdida energética en el acopio.

La evaporación en este caso ha sido muy alta, se han eliminado 122,90 toneladas de agua por medio de secado natural.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>122,90</b>	66.291.225,10	9.217.356,10	75.508.581,20	23,40	421,19

Esto hubiera supuesto que se hubieran consumido 23,4 toneladas de biomasa adicionales en la combustión para la evaporación del agua.

#### Prueba nº38

La siguiente prueba se realizó con hoja de almazara sin triturar con una humedad de más del 40%, almacenada durante 4 meses (Noviembre a Febrero). En este caso, al ser la humedad tan alta y el acopio de gran tamaño, se generaron numerosos puntos calientes en el acopio que llegaron a temperaturas por encima de los 85°C.

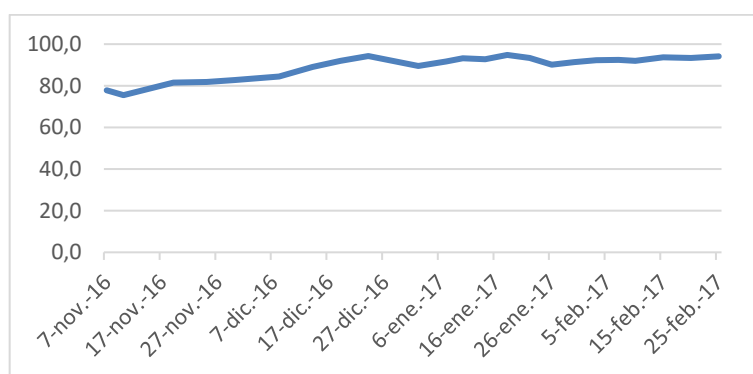


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Este calentamiento ha sido generado por la descomposición y fermentación rápida del acopio a causa de la combinación de la alta humedad y la alta proporción de componente herbácea.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº38. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G10	4,1	40,84	35,35	1.355.360	F	1.302.550	60 – 95
					P	1.222.920	

Aunque el PCI del acopio al final del almacenamiento es mayor que al inicio, la fermentación ha dado lugar a pérdida de PCS en el acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº38. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hoja de Almazara G10	4.761,84	4.666,22	2.427,96	2.643,60

La pérdida de peso en el acopio ha sido de algo más de 52 toneladas, una pérdida bastante grande, no solo debida a la pérdida de humedad sino también a la descomposición.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
52,81	28.484.862,24	3.960.631,57	32.445.493,80	13,96	193,71

Esas toneladas de agua evaporada equivalen a 13,96 toneladas de biomasa que se han ahorrado de consumir y de comprar para producir la misma energía, gracias al secado natural en el parque de biomas.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Hoja de Almazara G10	3.290.759.865,0	F	3.443.421.180,0	152.661.315,0
		P	3.232.911.312,0	-57.848.553,0

Al igual que en la prueba anterior, aunque se ha perdido algo de humedad y se ha ganado en PCI, la alta pérdida de peso hace que el balance energético del acopio sea negativo en el caso del cálculo de peso según el pesaje. En el caso de la fórmula, el

balance es positivo, pero teniendo en cuenta los valores de PCS y los valores del pesaje, lo más probable es que el balance sea negativo.

**Prueba nº39**

De nuevo un acopio con hoja de almazara sin triturar almacenado durante 3 meses. En este caso en las primeras semanas el acopio ya había llegado a los 90 grados de temperatura lo que supone que se haya generado gran degradación del producto.

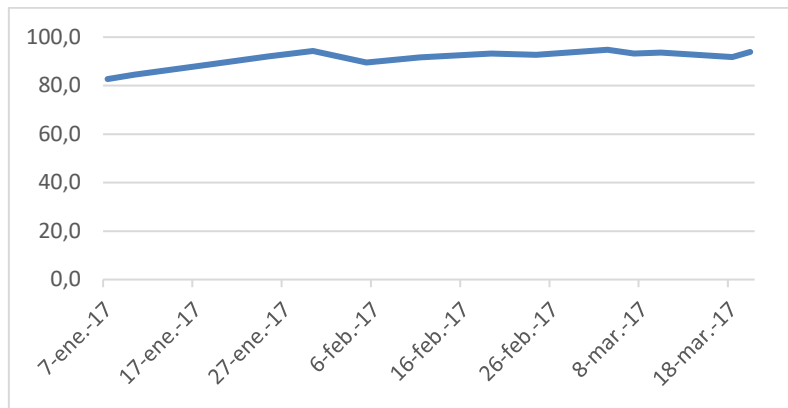


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Esta degradación más la pérdida de humedad hacen que el acopio, al final del almacenamiento, haya tenido una gran pérdida de peso.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº 39. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G10	3	36,04	28,50	2.278.580	F	2.152.320	60 – 95
					P	2.077.950	

También se observa, que la alta temperatura del acopio ha afectado al PCS, generando una gran pérdida de energía en el acopio. Apareciendo zonas del acopio en descomposición y podridas.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº 39. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hoja de Almazara G10	5.138,80	4.618,94	2.913,23	2.957,94

Como se puede comprobar, el PCI apenas ha variado, por lo que con la pérdida de peso que se ha generado y la pérdida de PCS, el balance energético del acopio va a ser negativo.

Con respecto a la evaporación, se ha producido una gran pérdida de peso de hasta 126,26 toneladas, según los datos iniciales y finales de humedad. Por lo tanto, las toneladas equivalentes de biomasa que se han ahorrado en esta prueba han sido de 26,63 toneladas.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
126,26	68.104.405,81	9.469.466,88	77.573.872,69	26,63	462,69

#### Prueba nº40

En esta prueba, la hoja de almazara que se ha almacenado tenía una humedad más o menos baja y se ha almacenado durante casi 2 meses y medio.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº40. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G10	2,3	24,70	22,32	1.435.280	F	1.407.830	60 – 99
					P	1.387.850	

Aunque la humedad no es muy alta, en las primeras semanas de almacenamiento, la temperatura del acopio asciende muy rápidamente hasta por encima de los 90 grados, llegando en algún punto a casi alcanzar los 100°C.

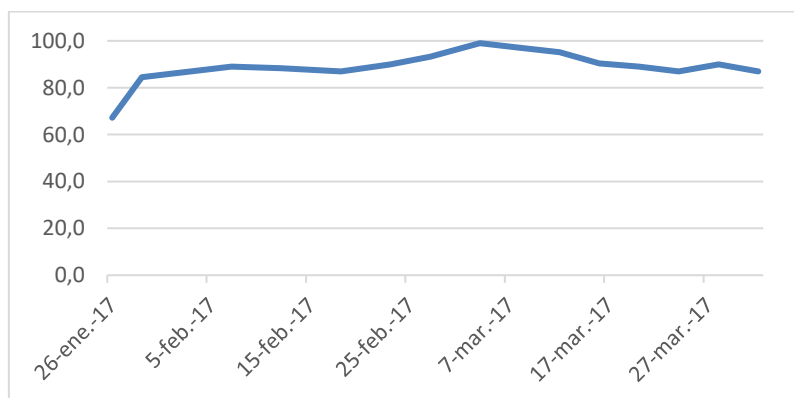


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

En este caso, al haberse actuado sobre el acopio con mayor brevedad, la pérdida de peso es menor que en casos anteriores pero la pérdida de PCS es grande debido a la degradación por las altas temperaturas alcanzadas.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº 40. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hoja de Almazara G10	4.756,51	4.485,74	3.359,87	3.157,37

Como se observa en la tabla, también se ha producido pérdida de PCI, lo que indica que se ha generado en el acopio una alta fermentación, degradación y descomposición que le ha afectado en gran medida. Lo que supone un balance energético negativo.

La pérdida de peso por evaporación tampoco ha sido muy grande. En este ensayo se han ahorrado 5,02 toneladas equivalente de biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
27,45	14.807.082,81	2.058.826,86	16.865.909,67	5,02	90,36

#### Prueba nº41

Viendo los resultados de las últimas pruebas realizadas con hoja de almazara, se ha realizado otra prueba con un acopio de menor tamaño y que se ha tenido almacenado menos de un mes. Además, la humedad inicial del acopio ha sido muy baja, para ser hoja de almazara.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº41. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hoja de Almazara G10	0,8	18,65	13,83	439.280	F	421.430	40 – 65
					P	425.480	

Al haber sido un corto periodo de tiempo, la temperatura no ha tenido tiempo de aumentar a valores altos, por lo que la degradación ha sido mucho menor que en el resto de los casos. Algo que también se deduce de la conservación del PCS.

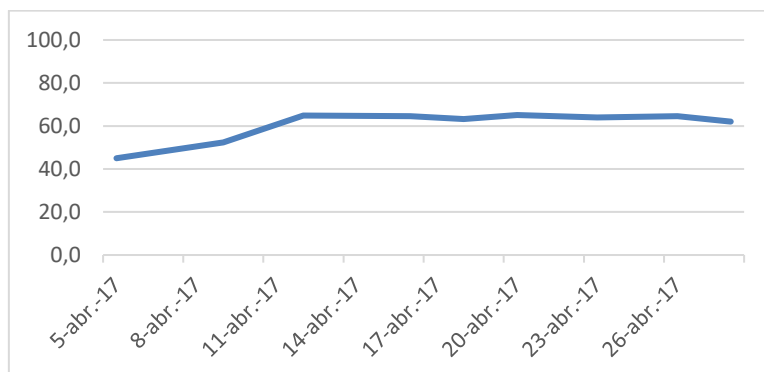


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

La pérdida de peso en el acopio durante el almacenamiento no ha sido muy alta. Como no ha habido pérdida de PCS ni de PCI, esta pérdida de peso se le puede achacar a la pérdida de humedad, principalmente.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de hoja de almazara de la prueba nº41. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hoja de Almazara G10	4.379,90	4.576,58	3.527,71	3.644,12

Se observa incluso, que el poder calorífico es algo mayor al final del almacenamiento, lo que hace pensar que, en este caso, el balance energético será positivo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Hoja de Almazara G10	1.549.652.448,0	F	1.535.741.492,0	-13.910.956,0
		P	1.550.500.177,0	847.729,0

Al realizar el balance energético, se observa que, si se tienen en cuenta el peso final del acopio según el cálculo por la fórmula, el balance sale negativo. Mientras que teniendo en cuenta los resultados del pesaje por báscula, el balance energético sale positivo pero por muy poco.

Al ser un acopio de menor tamaño y de humedad baja, la pérdida de peso puede afectar, en mayor medida, al balance del acopio. En este caso se han perdido 17,85 toneladas de

agua lo que corresponde a un ahorro en consumo de 3,11 toneladas equivalentes de biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
17,85	9.625.685,51	1.338.387,86	10.964.073,38	3,11	55,94

Con respecto al coste del acopio, teniendo en cuenta los datos del pesaje por báscula, el acopio al inicio del almacenamiento tenía un valor de 8.258,46€ (18,80 €/Tn). Después de un mes de almacenamiento y con una pérdida de humedad, por secado natural, de casi el 5%, el coste del acopio sería de 8.295,30€ (19,50 €/Tn). El balance energético-económico que se obtiene es positivo, pero mínimo.

#### Prueba nº42

En este caso, la prueba se ha realizado con un acopio de chopo pretriturado (G10 - 15) durante algo más de 2 meses. El acopio, al ser de menor tamaño, ha perdido gran parte de la humedad que tenía al inicio del almacenamiento. A esto también se le suma que el chopo es una biomasa muy porosa y poco densa, lo que ayuda a su aireación, refrigeración y secado.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº42. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura ΔT <sup>a</sup> (°C)
Chopo G10-15	2,3	15,97	6,87	156.720	F	144.420	35 - 50
					P	131.330	

En las primeras semanas de almacenamiento, el acopio ya había perdido gran parte de la humedad, lo que ha favorecido, junto al tamaño del acopio, que no se haya producido apenas calentamiento del mismo, exceptuando en algún punto aislado en el que se ha llegado a los 50 grados.

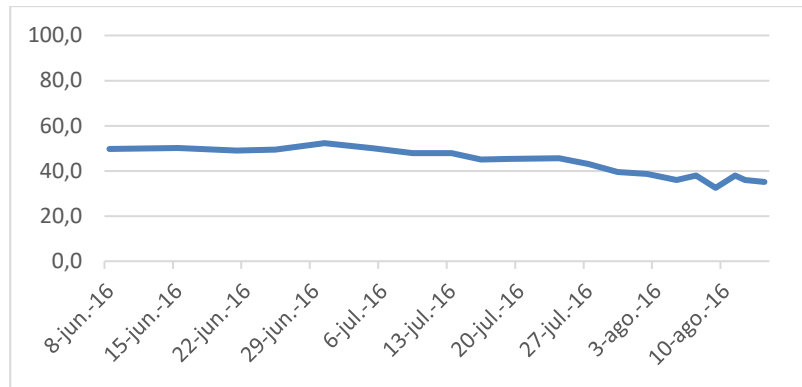


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Como se puede observar, aunque los datos y aspecto físico del acopio son buenos, se ha producido pérdida en el PCS del acopio según los datos de laboratorio. Esto se puede deber a que la baja temperatura haya ayudado a la proliferación de las bacterias y a su actividad.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de chopo de la prueba nº42. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Chopo G10-15	4.467,71	4.331,41	3.447,75	3.756,84

Dado a que se ha generado pérdida de humedad, el PCI del acopio ha aumentado a lo largo del almacenamiento, pero solo se origina que el balance energético del acopio sea positivo, por poco, según la fórmula y negativo según el valor del pesaje en báscula.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Chopo G10-15	540.331.380,0	F	542.562.832,8	2.231.452,8
		P	493.385.797,2	-46.945.582,8

Tampoco se ha generado un gran ahorro con la evaporación o secado natural en el parque. Se han evitado 2,19 toneladas equivalentes de biomasa adicionales en el proceso de combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
12,30	6.633.322,31	922.319,57	7.555.641,88	2,19	88,60

En el aspecto económico, el precio del chopo al inicio del almacenamiento era de 40,40 €/Tm. Al final del almacenamiento el chopo tendría un valor de 45,5 €/Tm. Esto hace que el valor total del acopio al final del almacenamiento sea de 6.571,11 € y 5.975,52 €, según medición por fórmula y pesaje, respectivamente. Frente al valor inicial del acopio de 6.331,49 €. Lo que supone que, teniendo en cuenta la pérdida de peso por pérdida de humedad, se obtendría un beneficio muy pequeño durante el almacenamiento. Mientras que, si se tiene en cuenta el valor del pesaje en báscula, el balance será negativo.

### Prueba nº43

Se ha realizado otra prueba con un acopio de chopo, en este caso, bastante más grande y durante algo más de un año de periodo de almacenamiento.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº43. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Chopo G10-15	13,9	35,74	24,19	1.869.880	F	1.710.750	35 - 65
					P	1.536.810	

En esta prueba, la pérdida de peso ha sido bastante, lo que puede deberse a la pérdida de humedad (10%) y a la pérdida de PCS, la cual se ha producido por la degradación de la biomasa, por parte de las bacterias, al haber estado tanto tiempo almacenada.

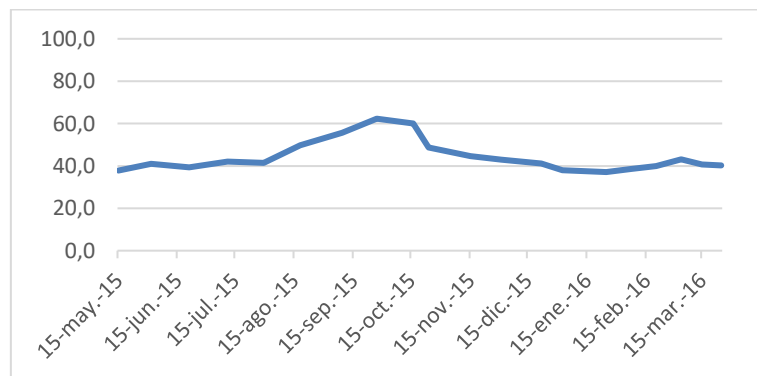


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Aunque la temperatura no ha alcanzado más de los 65°C, su efecto sobre el acopio ha sido medio-alto, ya que ha generado un entorno adecuado para la vida y proliferación de las bacterias. Este hecho se ha llegado a constatar en los tonos grisáceos y blanquecinos que han aparecido en algunas partes del acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de chopo de la prueba nº43. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Chopo G10-15	4.488,38	4.265,34	2.896,55	2.903,51

Aunque ha habido pérdida de humedad, la variación en el PCI ha sido muy poca, otro dato que confirma que se ha producido degradación de la biomasa durante el almacenamiento.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Chopo G10-15	5.416.200.914,0	F	4.967.179.733,0	-449.021.181,0
		P	4.462.143.203,0	-954.057.711,0

Como se preveía, según lo comentado anteriormente, el balance energético obtenido en el almacenamiento de este acopio ha sido negativo para ambos casos. Debido a la alta pérdida de humedad, el balance económico de la compra resulta positivo, ahorrando cerca de 3.000€ en el caso de que se comprar el acopio con las condiciones de peso y humedad al final del almacenamiento.

En este caso, al estar la biomasa bastante húmeda se ha producido gran evaporación y gran pérdida del agua del acopio, llegando a evaporarse 159,13 toneladas de agua.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
159,13	85.832.651,89	11.934.462,17	97.767.114,06	33,75	1.257,54

La equivalencia de esas toneladas de agua en toneladas de biomasa es de 33,75 toneladas, con un coste de más de 1.200€.

#### Prueba nº44

De nuevo se ha realizado un acopio de chopo durante un periodo de tiempo de algo más de 6 meses. Este acopio es de pequeño tamaño y se almacenó con una humedad bastante alta.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº44. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Chopo G10-15	6,5	39,45	15,19	144.720	F	119.540	25 - 47
					P	115.200	

Al ser un acopio pequeño, la humedad que se ha perdido ha sido muy grande y en muy poco tiempo, principalmente en las primeras semanas. La temperatura se ha mantenido baja, llegando en los primeros días a casi los 50°C en algunos puntos.

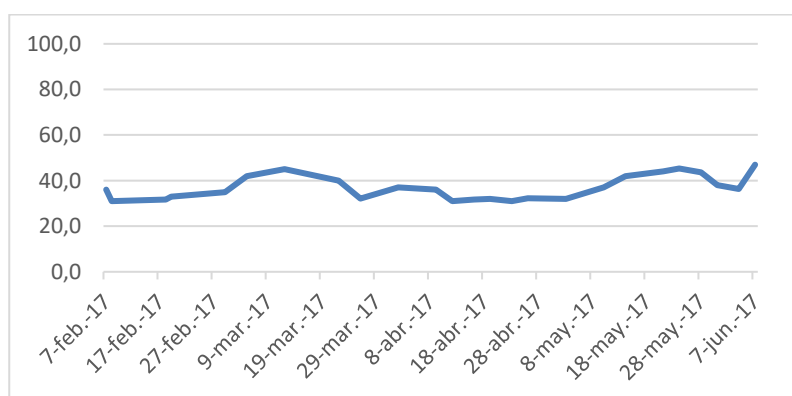


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

La alta pérdida de humedad ha sido la principal causante de la pérdida de peso del acopio, ya que no se ha observado ningún otro signo de degradación en el acopio. Quizás una pequeña reducción en el PCS, pero poco significativa.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de chopo de la prueba nº44. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Chopo G10-15	4.509,04	4.464,42	2.345,35	3.482,00

La alta pérdida de humedad hace que el aumento en el PCI también sea significativo y que el balance energético sea positivo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Chopo G10-15	339.419.052,0	F	416.238.280,0	76.819.228,0
		P	401.126.400,0	61.707.348,0

Al ser un acopio pequeño, la pérdida de peso en agua no va a ser muy grande y significativa. En este caso se han evaporado 25,18 toneladas de agua, lo que equivale a 6,60 toneladas de esta biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
25,18	13.580.375,36	1.888.261,31	15.468.636,67	6,60	179,52

Con respecto al precio de compra, el acopio de chopo al inicio del mantenimiento tenía un valor de (26,30 €/Tm) 3.806,00 €. Mientras que el valor del acopio con las características presentadas al final del almacenamiento sería de (40,80 €/Tm) 4.877,23 €, según el peso calculado con la fórmula, y de 4.700,00 €, según el pesaje por báscula.

Esto hace ver que, en este acopio, aunque ha estado durante mucho tiempo almacenado, se ha conseguido una valorización de la biomasa almacenada. Debido, principalmente, al tamaño del acopio y al producto, que es muy poroso, de baja densidad y de rápido secado.

#### Prueba nº45

La siguiente prueba se ha realizado con poda de frutal (naranja, manzano, melocotonero, frutales en general).

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº45. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Poda de Frutal G10-15	11,5	10,98	7,61	1.011.160	F	980.460	25 - 35
					P	982.880	

Al ser un producto normalmente muy seco, ha permitido realizar un acopio de gran tamaño y tenerlo almacenado durante un largo periodo de tiempo sin que se produzca un aumento en la temperatura y degradación por la acción de las bacterias.

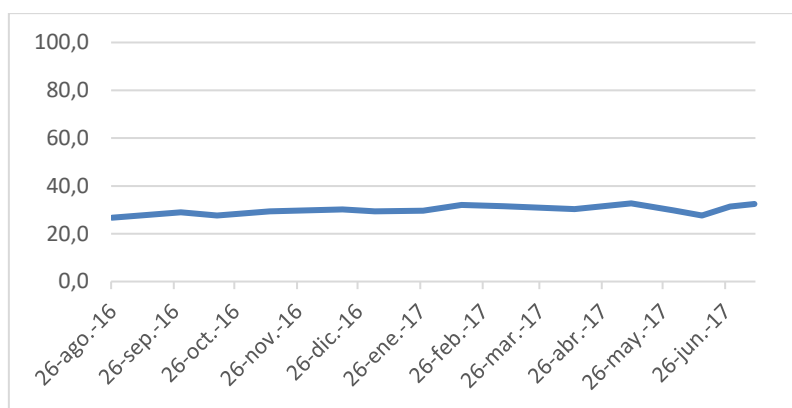


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

La temperatura se ha mantenido prácticamente estable durante todo el periodo de almacenamiento.

Como se puede observar, la variación del PCS es bastante baja, al igual que el aumento en el PCI, por la poca pérdida de humedad. En este caso, el balance energético es negativo, ya que el aumento de PCI es mínimo y no compensa la pérdida de peso generada en el acopio por la pérdida de humedad.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de poda de frutal de la prueba nº45. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Poda de Frutal G10-15	4.464,57	4.379,54	3.684,38	3.767,12

Teniendo en cuenta que el producto se ha tenido almacenado durante un largo periodo de tiempo se puede considerar que los resultados no son del todo negativos, ya que la pérdida de energía del acopio es de entre el 0,6% y el 1,5%.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Poda de Frutal G10-15	3.725.497.680,0	F	3.693.510.475,0	-31.987.205,0
		P	3.702.626.905,0	-22.870.775,0

En este caso, la evaporación ha sido muy baja, debido principalmente a que la humedad inicial ya era bastante baja. Cuanto más baja es la humedad de la biomasa, más lentamente la pierda y con mayor dificultad.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>30,70</b>	16.562.122,93	2.302.853,58	18.864.976,50	5,12	187,97

Las toneladas equivalentes de biomasa que se han ahorrado en la combustión han sido de algo más de 5 toneladas, bastante poco para el tamaño del acopio.

Con respecto al valor económico del acopio, haciendo un sondeo en el mercado del coste de este producto se ha obtenido la siguiente tabla:

Tabla.- Tabla de variación del precio de la poda de frutal en función de la humedad. [Fuente: Elaboración Propia]

% Humedad	Precio €/Tm	% Humedad	Precio €/Tm
<b>10,00</b>	34,00	<b>26,00</b>	24,40
<b>11,00</b>	33,40	<b>27,00</b>	23,80
<b>12,00</b>	32,80	<b>28,00</b>	23,20
<b>13,00</b>	32,20	<b>29,00</b>	22,60
<b>14,00</b>	31,60	<b>30,00</b>	22,00
<b>15,00</b>	31,00	<b>31,00</b>	21,40
<b>16,00</b>	30,40	<b>32,00</b>	20,80
<b>17,00</b>	29,80	<b>33,00</b>	20,20
<b>18,00</b>	29,20	<b>34,00</b>	19,60
<b>19,00</b>	28,60	<b>35,00</b>	19,00
<b>20,00</b>	28,00	<b>36,00</b>	18,40
<b>21,00</b>	27,40	<b>37,00</b>	17,80
<b>22,00</b>	26,80	<b>38,00</b>	17,20
<b>23,00</b>	26,20	<b>39,00</b>	16,60
<b>24,00</b>	25,60	<b>40,00</b>	16,00
<b>25,00</b>	25,00	<b>41,00</b>	15,40

Según la tabla, al inicio del almacenamiento el acopio tenía un valor de 33.813,19€ (33,44€/Tm). Teniendo en cuenta la humedad del acopio al final del periodo de almacenamiento el valor del acopio sería de 35,50€/Tm, un total de 34.806,33€ según la pérdida de peso calculada por la fórmula y de 34.892,24€ según el pesaje por báscula.

En ambos casos, el coste del acopio hubiera sido mayor, por lo que ha habido un ahorro económico en la compra, lo que se contrarresta con la pérdida de energía generada durante el almacenamiento.

### Prueba nº46

Al igual que en caso anterior, se ha realizado un acopio de poda de frutales de gran tamaño y durante un largo periodo de tiempo.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº46. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Poda de Frutal G10-15	11,5	18,08	12,00	1.483.480	F	1.407.090	25 - 37
					P	1.418.960	

En este caso, el producto estaba algo más húmedo que en caso anterior, lo que ha dado lugar a que la pérdida de humedad sea mayor y, por lo tanto, que haya una mayor pérdida de peso.

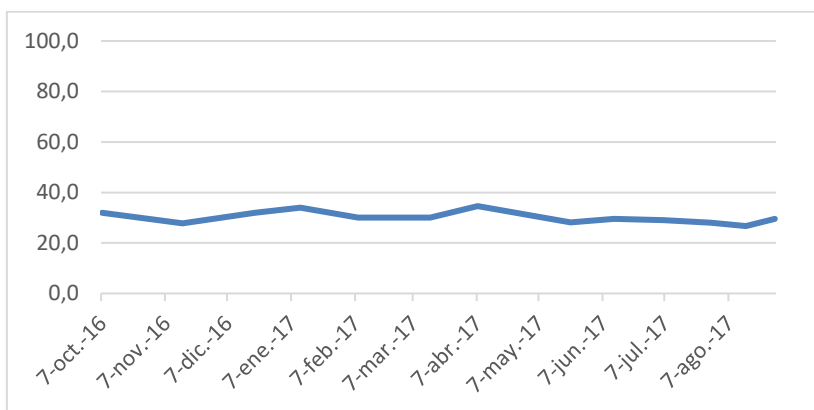


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Se observa cómo no ha habido degradación de la biomasa durante el almacenamiento debido a la rápida refrigeración del acopio, a las bajas temperaturas alcanzadas y a que este producto tiene una componente herbácea muy baja o casi nula.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de poda de frutal de la prueba nº46. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Poda de Frutal G10-15	4.353,92	4.352,39	3.253,28	3.534,39

El PCI ha aumentado debido a la pérdida de humedad, haciendo que el balance energético sea positivo en todos los casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Poda de Frutal G10-15	4.826.175.814,0	F	4.973.204.825,0	147.029.011,0
		P	5.015.158.034,0	188.982.220,0

En este caso, aunque la pérdida de humedad no ha sido grande, se han evaporado 76,39 toneladas de agua del acopio, lo que supone un ahorro en el consumo de 14,43 toneladas equivalentes de biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>76,39</b>	41.202.149,40	5.728.886,18	46.931.035,58	14,43	474,27

Esta reducción de humedad implica un ahorro económico en la compra de la biomasa, ya que al inicio del almacenamiento el acopio costó alrededor de 43.320 € y, teniendo en cuenta la humedad al final del periodo de almacenamiento, el valor del acopio ascendería aproximadamente a 46.150 €, según fórmula, y 46.540 €, según pesaje en báscula.

Se puede concretar que este tipo de producto, se puede almacenar en grandes cantidades y en grandes periodos de tiempo sin que se tenga riesgo de fermentación y auto-calentamiento, siempre y cuando la humedad no sea muy alta. Esto se debe a que es un producto muy leñoso, normalmente seco y poroso, que ayuda a su refrigeración.

#### Prueba nº47

Continuando con la comparativa entre diferentes biomásas, en esta prueba se ha utilizado sarmiento de viña, esta vez pretriturado. Se ha realizado un acopio de grandes dimensiones y se ha tenido almacenado durante 8 meses.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº47. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Sarmiento de Vid G10-15	8,0	27,46	10,58	1.621.150	F	1.406.440	25 - 75
					P	1.442.830	

Como se observa, la pérdida de humedad durante el periodo de almacenamiento ha sido bastante, lo que ha repercutido en la reducción del peso del acopio. También se han generado algunos puntos calientes, llegando la temperatura alrededor de 75°C en algunas partes del acopio y en las primeras semanas.

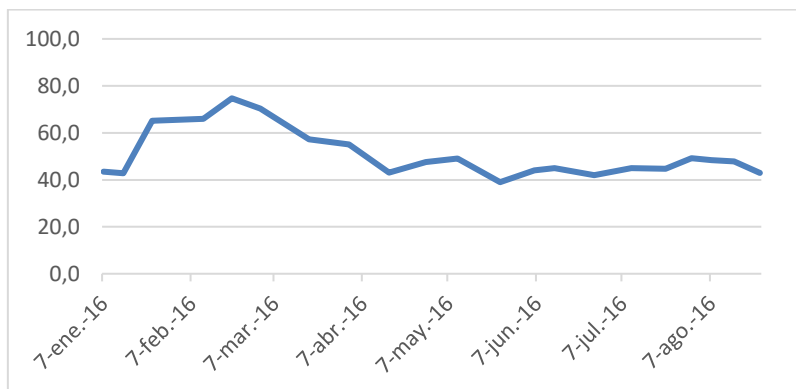


Gráfico.-Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Como se puede observar, después de las primeras semanas el acopio ha comenzado a refrigerarse y ha descendido de temperatura hasta estabilizarse alrededor de los 40°C. Esto es debido a que al ser un producto pretriturado, poco herbáceo, de baja densidad y bastante poroso, ha perdido pronto gran parte de su humedad, lo que ha originado la refrigeración y enfriamiento del acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Sarmiento de Vid de la prueba nº47. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Sarmiento de Vid G10-15	4.301,63	4.286,75	3.011,61	3.544,15

Debido a que el producto se ha secado rápido y a que el producto es poco herbáceo, se ha producido poca fermentación y pérdidas, por lo que el PCS casi se ha mantenido y el PCI ha aumentado a causa de la alta pérdida de humedad.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Sarmiento de Vid G10-15	4.882.271.551,0	F	4.984.634.326,0	102.362.775,0
		P	5.113.605.944,0	231.334.393,0

Como se puede observar, aunque la pérdida de peso es bastante grande, el balance sale positivo.

Al haber tan alta pérdida de humedad y ser el acopio tan grande, la pérdida de peso por evaporación de agua ha sido también muy grande.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Peso de H<sub>2</sub>O eliminado (Tm)</b>	<b>Calor Latente Vaporización H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Calor Específico H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Total Calor Consumido H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Toneladas Equivalentes (Tm)</b>	<b>Coste Toneladas (€)</b>
<b>214,68</b>	115.795.710,66	16.100.627,18	131.896.337,84	43,80	1.437,02

Se han evaporado 214,68 toneladas de agua, lo que supondría unas 43,80 toneladas equivalentes de biomasa que se han dejado de consumir en la combustión para poder generar la misma energía. Teniendo un ahorro económico de más de 1.400€.

Con respecto al coste económico del acopio, va a ser algo más barato que el del sarmiento de vid triturado. Al inicio del almacenamiento, el acopio tenía un coste de 22,50 €/Tm, lo que suponen un total de 36.475,88 €.

Tabla.- Tabla de variación del precio del sarmiento de vid pretriturado en función de la humedad. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>% Humedad</b>	<b>Precio €/Tm</b>	<b>% Humedad</b>	<b>Precio €/Tm</b>
<b>10,00</b>	35,00	<b>26,00</b>	25,40
<b>11,00</b>	34,40	<b>27,00</b>	24,80
<b>12,00</b>	33,80	<b>28,00</b>	24,20
<b>13,00</b>	33,20	<b>29,00</b>	23,60
<b>14,00</b>	32,60	<b>30,00</b>	23,00
<b>15,00</b>	32,00	<b>31,00</b>	22,40
<b>16,00</b>	31,40	<b>32,00</b>	21,80
<b>17,00</b>	30,80	<b>33,00</b>	21,20
<b>18,00</b>	30,20	<b>34,00</b>	20,60
<b>19,00</b>	29,60	<b>35,00</b>	20,00
<b>20,00</b>	29,00	<b>36,00</b>	19,40
<b>21,00</b>	28,40	<b>37,00</b>	18,80
<b>22,00</b>	27,80	<b>38,00</b>	18,20
<b>23,00</b>	27,20	<b>39,00</b>	17,60
<b>24,00</b>	26,60	<b>40,00</b>	17,00
<b>25,00</b>	26,00	<b>41,00</b>	16,40

Tras el periodo de almacenamiento, teniendo en cuenta la humedad final, el acopio tendría un valor de 34,60 €/Tm. Según los resultados de peso obtenidos por la fórmula, el valor total del acopio al final del almacenamiento sería de 48.662,82 €. Según los resultados de pesaje en báscula el coste del acopio sería 49.921,92 €. En ambos casos, el ahorro económico es considerable, llegando a ahorrarse más de 10.000 € en la compra del acopio y su posterior secado natural en el parque de biomasa.

*Prueba nº48*

Se ha realizado otra prueba con sarmiento de vid, en este caso triturado. En esta prueba se ha de destacar que el acopio estuvo almacenado durante un periodo de tiempo muy largo, debido a problemas operativos que no permitieron mover o consumir el acopio antes.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº48. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Sarmiento de Vid G5-10	10,1	21,69	14,77	989.560	F	933.270	25 - 48
					P	1.086.100	

A pesar de eso, como la humedad del acopio era baja al inicio, no se han producido puntos calientes en el acopio. Solo se han alcanzado temperaturas cercanas a los 50°C en algunos puntos.

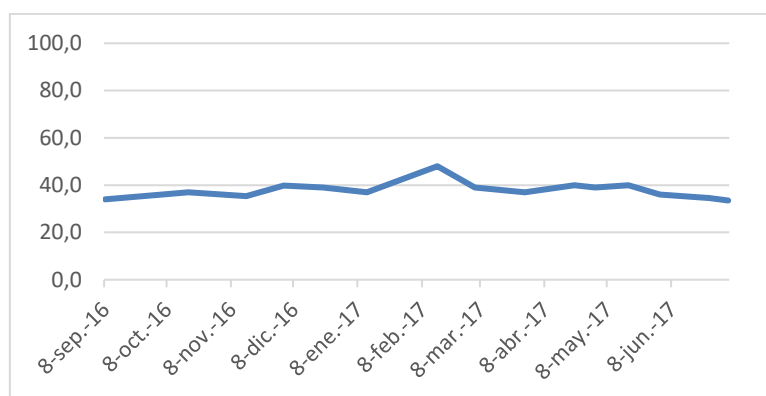


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Aunque el tiempo de almacenamiento haya sido grande, la pérdida de humedad no ha sido excesiva. Sí se obtienen resultados algo anómalos en la medición de pesaje del peso final del acopio en báscula. No es normal ni fiable que un acopio, después de un periodo de tiempo y habiendo tenido pérdida de humedad, haya ganado en peso al final del almacenamiento. Por lo que, el resultado obtenido mediante el pesaje en báscula ha sido descartado.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Sarmiento de Vid de la prueba nº48. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Sarmiento de Vid G5-10	4.314,57	4.123,00	3.053,25	3.207,48

En este caso, se produce algo más de pérdida de PCS en el acopio. Es normal, y bastante poco, dicho sea, debido al alto periodo de almacenamiento y a las temperaturas medias que favorecen la proliferación de las bacterias y su actuación. Además, el aumento de PCI no es mucho, por lo que el balance energético obtenido en el acopio es negativo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Sarmiento de Vid G5-10	3.021.374.070,0	F	2.993.444.860,0	-27.929.219,0
		P	-	-

En este acopio se ha tenido una evaporación más baja, debido a que la humedad inicial era menor. Se han evaporado 56,29 toneladas de agua, lo que equivale a 11,33 toneladas de biomasa que se hubieran consumido en la combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
56,29	30.361.160,68	4.221.518,45	34.582.679,13	11,33	463,56

La pérdida de peso, el balance energético negativo y la degradación del acopio hacen que no se obtengan resultados satisfactorios en esta prueba. Lo que indica que no se deben extender los periodos de almacenamiento, ya que cuanto mayor es la permanencia de la biomasa en el parque mayormente se ve afectada por bacterias, inclemencias del tiempo, mecanizados, etc.

#### Prueba n°49

Viendo los resultados obtenidos en la prueba anterior, se realizó otro acopio de condiciones similares y se tuvo almacenado durante un periodo de tiempo también largo. En este caso el acopio se ha realizado más pequeño y de producto pretriturado.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba n°49. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Sarmiento de Vid G10-15	14,5	22,58	11,25	570.500	F	517.790	35 - 45
					P	580.000	

En esta prueba también se ha obtenido un resultado de pesaje por báscula algo mayor que al inicio del almacenamiento. Pero en este caso, si puede tomarse como válido porque la variación es muy poca y se ha podido producir por alguna mala medición o error. Por lo tanto, en este caso se va a considerar que según el pesaje en báscula no se ha producido pérdida de peso en el acopio. Aunque, si se observa la pérdida de humedad, que ha sido de casi del 50% de la inicial, lo lógico es que hubiera habido una pérdida de peso también alta. Esto se debe a que el producto es poco denso, de bajo peso y, por lo tanto, la humedad es mayormente superficial y más fácil de secar.

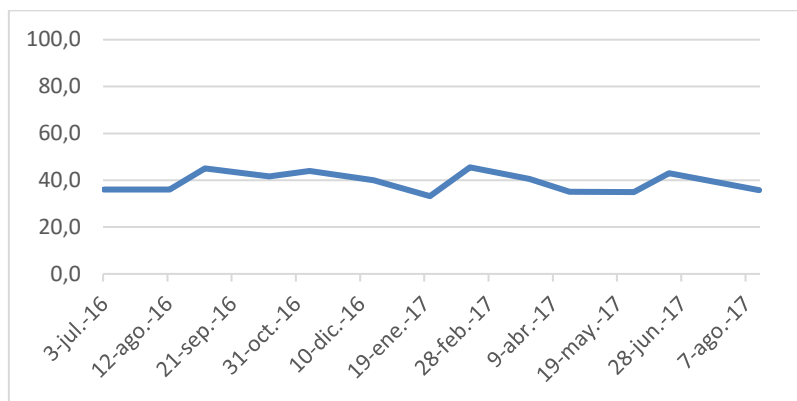


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

La temperatura del acopio se ha mantenido constante durante todo el periodo de almacenamiento, sin superar los 45°C de temperatura.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Sarmiento de Vid de la prueba nº49. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Sarmiento de Vid G5-10	3.904,19	4.182,51	2.694,25	3.421,41

Con respecto al PCS y PCI, el PCS del acopio se ha mantenido, incluso dando resultados mayores a los iniciales, mientras que el PCI ha aumentado bastante debido a la alta pérdida de humedad. También puede pasar que el aumento de PCS sea debido a que un pequeño porcentaje del acopio se haya carbonizado al estar tanto tiempo almacenado y en condiciones de ausencia de oxígeno y temperatura, perdiéndose los productos volátiles de descomposición térmica [Zárate, J., 2016].

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
	1.537.069.605,0	F	1.771.571.884,0	234.502.279,0

<b>Sarmiento de Vid G5-10</b>	P	1.984.417.800,0	447.348.195,0
-------------------------------	---	-----------------	---------------

Haciendo el balance energético del acopio al final del periodo de almacenamiento, los resultados salen positivos para esta prueba, consiguiendo valorizar el acopio sin que se produzca deterioro del mismo. Esto se debe principalmente al tipo de biomasa que es poco herbácea, bastante seca y poco densa, lo que favorece a su rápido secado y a la reducción de la fermentación.

La alta pérdida de humedad indica que se puede haber generado una gran evaporación natural del agua contenida en la biomasa del acopio. Pero, al ser un acopio pequeño, la cantidad perdida por evaporación es menos significativa que si el acopio es mayor.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Peso de H<sub>2</sub>O eliminado (Tm)</b>	<b>Calor Latente Vaporización H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Calor Específico H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Total Calor Consumido H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Toneladas Equivalentes (Tm)</b>	<b>Coste Toneladas (€)</b>
<b>52,71</b>	28.433.055,39	3.953.428,17	32.386.483,56	12,02	426,09

En esta prueba, solo se han ahorrado 12,02 toneladas de biomasa equivalentes en la combustión, con un ahorro de 426,09€.

En el aspecto económico, el acopio tuvo un coste de 15.688,75 € (27,50 €/Tm) al inicio del almacenamiento. Teniendo en cuenta los pesos finales y la humedad final, el coste del acopio hubiera sido de 34,20 €/Tm, dando un total de 17.708,42 €, en el caso del peso obtenido por fórmula, y de 19.836,00 €, en el caso del pesaje en báscula. Se obtiene, por lo tanto, un balance energético-económico positivo en todos los casos.

#### *Prueba nº50*

La siguiente prueba se ha realizado con restos de podas. Esta biomasa, como ya se ha comentado anteriormente, es una biomasa muy herbácea y, por lo tanto, fácilmente fermentable.

El acopio ha sido más pequeño que el otro acopio realizado con este mismo producto, ya que, en la otra prueba, con tiempos de almacenamiento similares, se produjo una pérdida de energía debido a la fermentación.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº50. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Producto / Granulometría</b>	<b>Tiempo Residencia (meses)</b>	<b>Humedad inicial del acopio (%)</b>	<b>Humedad final del acopio (%)</b>	<b>Peso inicial (kg)</b>	<b>Tipo de Medición (F/P)</b>	<b>Peso final (kg)</b>	<b>Variación de Temperatura ΔT<sup>a</sup> (°C)</b>
<b>Restos de Podas G10-15</b>	8,8	10,65	10,55	171.680	F	171.520	40 - 60
					P	154.600	

En este caso, al ser el acopio más pequeño y con una humedad más baja, no se han producido grandes cambios y las temperaturas se han mantenido por debajo de los 60°C.

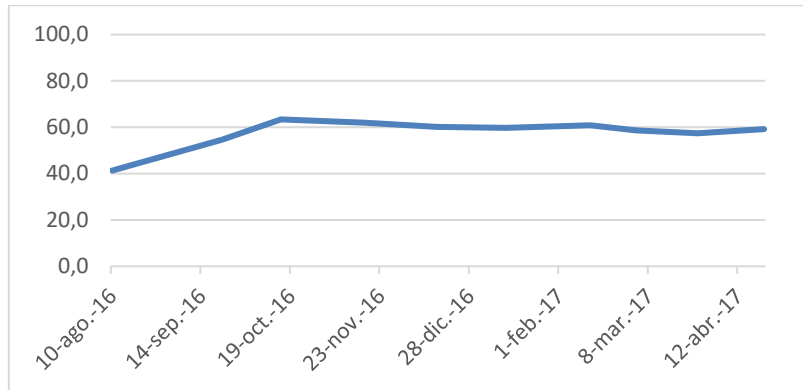


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Como se puede observar, los valores de PCS y de PCI son muy similares, por lo que se puede considerar que no se ha producido apenas degradación y variación en el acopio durante el periodo de almacenamiento.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Restos de Podas de la prueba nº50. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Restos de Podas G10-15	4.201,58	4.240,46	3.569,24	3.504,77

La pequeña disminución del PCI puede deberse a alguna variación o diferencia en el transcurso desde la toma de muestras hasta su análisis en laboratorio, ya que viendo el valor del PCS no demuestra que haya pérdida de energía. Y si la hay es muy pequeña.

Viendo estos resultados se puede deducir que el balance energético-económico sería más o menos neutro en este caso. Con respecto a la evaporación, también es mínima, por no decir nula. Se han evaporado 0,16 toneladas de agua, lo que equivale a 0,03 toneladas de biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
0,16	86.480,79	12.024,58	98.505,38	0,03	0,85

*Prueba n°51*

En esta prueba se ha almacenado pino pretriturado durante algo más de 7 meses. El acopio se ha realizado de un tamaño mediano - grande y su humedad inicial ha sido bastante baja, debido principalmente a que el acopio se hizo en el mes de Agosto. Aunque el acopio haya permanecido almacenado durante los meses de invierno, se ha producido una reducción en la humedad durante el almacenamiento.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba n°51. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^{\circ}$ (°C)
Pino G10-15	7,2	13,34	9,37	828.700	F	799.670	30 - 50
					P	750.390	

Esta reducción de humedad ha hecho que se produzca una reducción en el peso del acopio considerable, sobre todo si se tiene en cuenta el valor obtenido mediante el pesaje en báscula. Las temperaturas no han aumentado de los 50°C y se han mantenido más o menos estables durante el almacenamiento.

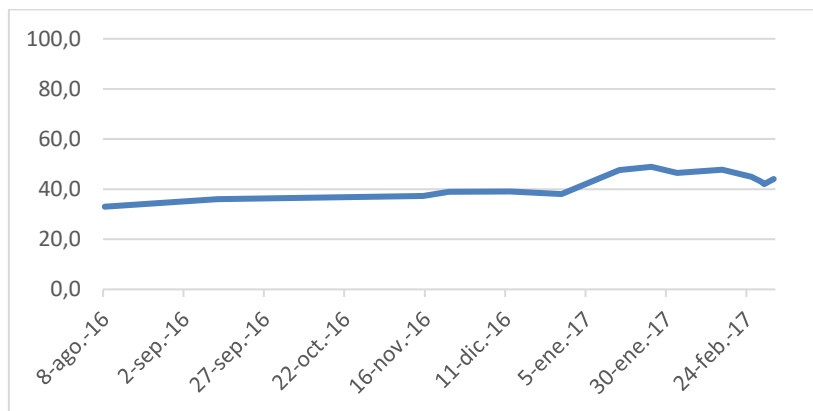


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Como se observa en la tabla, no se ha producido deterioro de la biomasa y la variación de PCS es mínima. En lo que respecta al PCI, se ha producido un pequeño aumento, correspondiente a la pérdida de humedad del acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Pino de la prueba n°51. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G10-15	4.639,84	4.709,12	3.722,98	3.933,82

Aunque se ha producido un aumento de PCI, la pérdida de peso ha sido contraproducente para el balance energético del acopio. Teniendo en cuenta el valor de peso final del acopio obtenido mediante la fórmula de pérdida de peso por humedad, se obtiene una pequeña valorización energética de la biomasa. Mientras que en el caso del pesaje en báscula, se obtiene un balance energético negativo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G10-15	3.085.233.526,0	F	3.145.757.839,0	60.524.313,0
		P	2.951.899.189,0	-133.334.337,0

Al ser la humedad inicial bastante baja, la evaporación de gran cantidad de agua es muy complicado. En este caso, se han conseguido evaporar 29,03 toneladas de agua, lo que equivale a 4,79 toneladas de biomasa no consumida de más en el proceso de combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>29,03</b>	15.657.253,37	2.177.037,45	17.834.290,82	4,79	251,25

Con respecto al valor económico del acopio, al inicio del almacenamiento tenía un valor de 57,00 €/Tm, lo que supone un total de 47.235,90 €. Al final del almacenamiento, teniendo en cuenta la humedad final del acopio, el valor del mismo sería de 47.420,43 €, teniendo en cuenta el peso obtenido por fórmula, y de 44.498,13 €, según el pesaje por báscula (59,30 €/Tm). Por lo que, la pérdida de peso por humedad ha generado que el balance económico también sea negativo en esta prueba.

Esto representa que, a mayor pérdida de peso, con mayor seguridad el balance energético-económico del acopio sea negativo y se obtengan pérdidas durante el almacenamiento del acopio.

Prueba nº52

En la siguiente prueba se ha realizado un acopio de pino pretriturado de características similares que el anterior, exceptuando que la humedad inicial del producto es mucho más alta. Se ha tenido almacenado casi el mismo periodo de tiempo.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº52. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G10-15	8,7	29,62	22,25	831.520	F	784.210	30 - 45
					P	787.280	

Para haber estado almacenado durante tan largo periodo de tiempo y tener una humedad alta, la pérdida de humedad no ha sido tan excesiva como se esperaba. La temperatura tampoco ha aumentado en demasía, no llegando a superar los 45°C. La pérdida de peso si ha sido considerable.

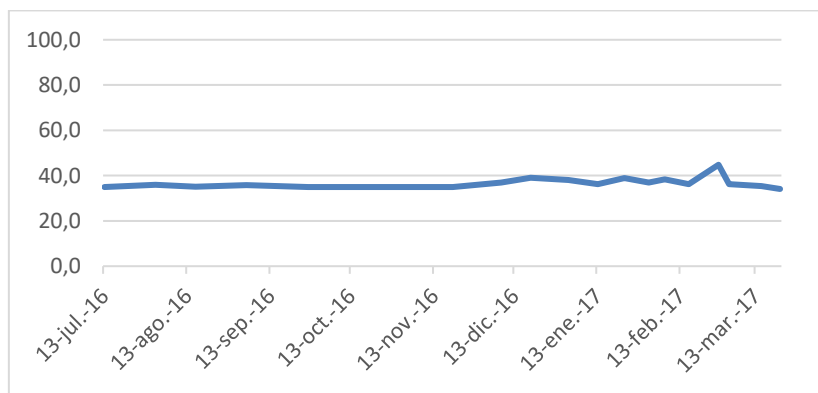


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Por otro lado, se observa que el PCS ha decrecido un poco con respecto al inicial. Lo que indica que, con la alta humedad con la que se había almacenado la biomasa, se haya podido producir fermentación y se haya degradado un poco el producto. El PCI si ha aumentado conforme a la variación de humedad en el acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Pino de la prueba nº52. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G10-15	4.688,86	4.595,74	2.948,04	3.245,12

Si se hace balance energético del almacenamiento, se obtiene positivo en ambos casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G10-15	2.451.354.220,0	F	2.544.855.555,0	93.501.335,0
		P	2.554.818.073,0	103.463.853,0

Con respecto a la evaporación o secado natural del acopio en el parque, se han conseguido evaporar 47,31 toneladas de agua, suponiendo un ahorro de 9,86 toneladas equivalentes de biomasa que no se han tenido que consumir de más.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
47,31	25.519.587,44	3.548.329,73	29.067.917,17	9,86	422,85

Comparando el coste del acopio inicial con lo que hubiera costado el acopio en las condiciones finales de almacenamiento se deduce que se obtiene una mínima ganancia por el secado natural de la biomasa. Si se tiene en cuenta el pesaje por báscula el coste inicial de 39.247,74€ (47,20 €/Tm) sería menor al coste de 40.623,65€. Mientras que teniendo en cuenta la humedad final y el peso final calculado mediante la fórmula de pérdida de humedad el coste del acopio sería de 40.465,24€ (51,60 €/Tm), produciéndose un pequeño ahorro económico y energético.

#### Prueba nº53

En este caso se ha realizado un acopio con pino pretriturado un poco más grande que los anteriores, con una humedad un poco más baja y se ha tenido almacenado durante casi el mismo periodo de tiempo que el anterior.

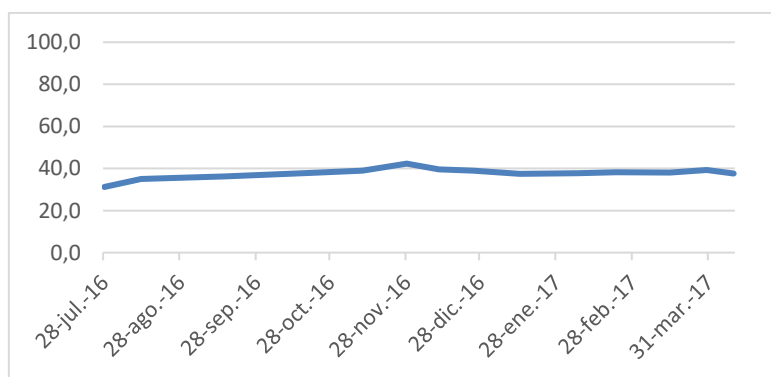


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Al tener una humedad media-baja al inicio del almacenamiento, no se han generado puntos calientes de importancia y la temperatura no ha ascendido de los 45°.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº53. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura ΔT <sup>a</sup> (°C)
Pino G10-15	8,9	19,88	19,07	956.300	F	949.840	30 - 45
					P	853.200	

Como se puede observar, la pérdida de humedad ha sido mínima, por lo que la pérdida de peso por humedad también lo va a ser.

Aunque la pérdida de humedad es mínima, el PCI del acopio ha aumentado algo más de lo que se espera según la humedad final del mismo. En el caso del PCS, se observa que al final del almacenamiento, el acopio también ha aumentado un poco su contenido energético seco total.

**Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Pino de la prueba nº53. [Fuente: Elaboración Propia]**

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G10-15	4.443,59	4.632,78	3.240,83	3.438,78

Si esto se relaciona con la pérdida de peso, sobre todo con la alta pérdida de peso calculada en el pesaje por báscula, se puede deducir que el largo periodo de almacenamiento ha generado una pequeña carbonización de la biomasa, aumentando su contenido en carbono y perdiendo parte de sus contenidos volátiles.

Con respecto al balance económico, de nuevo se observa como una pérdida de peso excesiva en el acopio, ya sea por pérdida de humedad o por otras pérdidas de fermentación, deterioro, erosión, arrastre, genera un balance energético negativo.

**Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]**

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G10-15	3.099.205.729,0	F	3.266.290.795,0	167.085.066,0
		P	2.933.967.096,0	-165.238.633,0

La evaporación ha sido baja y se han ahorra 1,22 toneladas equivalentes de biomasa.

**Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]**

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
6,46	3.485.325,81	484.611,49	3.969.937,30	1,22	59,54

El coste económico de este acopio al inicio del almacenamiento ascendió a 53,10 €/Tm, suponiendo un total de 50.779,53€. Al final de almacenamiento el coste del acopio sería de 53,50 €/Tm. Es decir, un valor total de 50.816,44€, en el caso de los datos por

fórmula, y de 45.646,20€, según los datos del pesaje. Como se observa, la alta pérdida de humedad influye de manera negativa al balance energético-económico.

#### Prueba nº54

Un nuevo acopio de pino pretriturado, en este caso más grande, superando ya las 1.000 toneladas de peso. Su humedad inicial es algo alta y se ha tenido almacenado durante casi 10 meses.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº54. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G10-15	9,7	29,62	23,94	1.019.720	F	975.060	30 - 40
					P	977.200	

A lo largo del almacenamiento de este acopio no se han apreciado anomalía de aumentos de temperatura ni indicios de fermentación. La pérdida de peso que se ha producido es principalmente debida a la pérdida de humedad. Aunque para haber sido un periodo de almacenamiento largo, no se ha producido gran pérdida de humedad en el acopio.

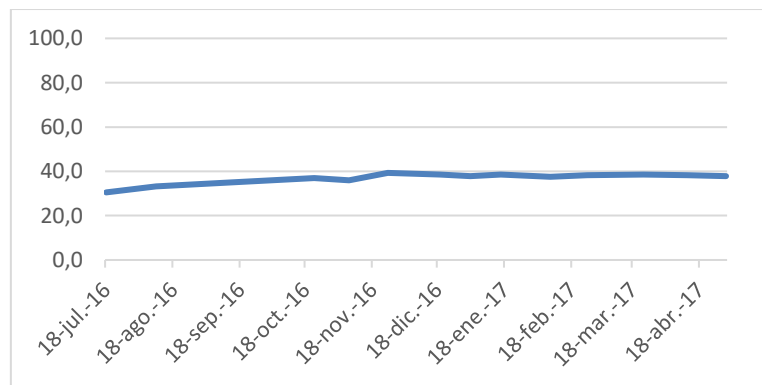


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

El PCI ha aumentado, debido a la pérdida de humedad. Mientras que se observa que se ha generado una pequeña pérdida en el PCS del acopio. Como ya se ha comentado anteriormente, esto se debe al largo periodo de almacenamiento.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Pino de la prueba nº54. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G10-15	4.688,86	4.513,69	2.948,04	3.102,53

En este caso, el balance energético del acopio está influenciado por la pérdida de humedad principalmente. En este caso, el balance sale levemente positivo en ambos casos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G10-15	3.006.175.348,0	F	3.025.152.902,0	18.977.554,0
		P	3.031.792.316,0	25.616.968,0

La evaporación también ha sido baja, llegando a evaporarse 44,66 toneladas de agua. Esto equivale a 9,31 toneladas equivalente de biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
44,66	24.088.694,04	3.349.373,48	27.438.067,52	9,31	399,14

Con respecto al precio, el coste del acopio al inicio del almacenamiento fue de 48.130,78€ (47,20 €/Tm). Al final del almacenamiento el valor del acopio sería menor, si se tienen en cuenta los datos de la fórmula, unos 49.240,53€. Mientras que según los datos del pesaje el valor del acopio sería mayor, ascendiendo a 49.348,60€ (50,50 €/Tm).

Por lo tanto, el balance tanto energético como económico sale muy levemente positivo. Casi se puede decir que las condiciones se han mantenido constantes a lo largo del periodo de almacenamiento. Esto es bueno, teniendo en cuenta el periodo de almacenamiento tan largo que se ha tenido en este ensayo.

#### Prueba nº55

Se realiza otro acopio de pino más grande que los anteriores y se tiene almacenado durante aproximadamente un mes más que en el caso anterior. Por lo contrario, la humedad del acopio es bastante baja. Por lo tanto, la pérdida de humedad durante el almacenamiento también es baja, así como la pérdida de peso.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº55. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G10-15	10,6	15,61	14,58	1.466.620	F	1.453.550	30 - 60

La baja humedad ha permitido realizar un acopio grande y mantenerlo almacenado durante un largo periodo de tiempo sin que se produzcan temperaturas excesivas dentro del mismo, llegando a tener algunos puntos máximos de casi 60°C.

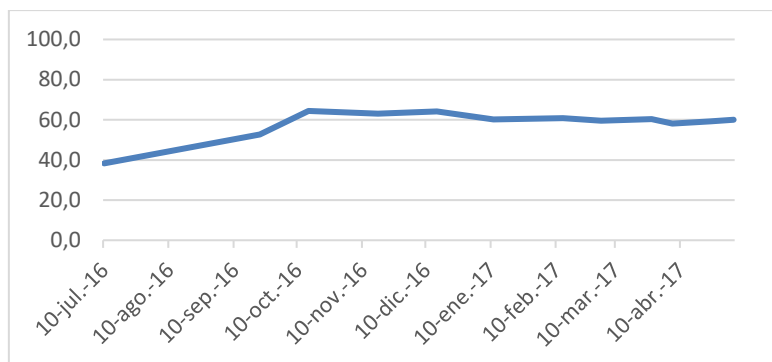


Gráfico.- Evolución de la temperatura del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Aunque las condiciones de temperatura han sido óptimas para la actuación de las bacterias y el tiempo de almacenamiento ha sido alto, no se ha observado variación en el poder calorífico del acopio producido por degradación o fermentación. Esto es debido principalmente a la baja humedad con la que se ha almacenado el producto.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Pino de la prueba nº55. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G10-15	4.610,25	4.634,28	3.779,36	3.809,89

Teniendo en cuenta la pérdida de peso del acopio y la pequeña variación que hay en el PCI, el balance energético del acopio sale levemente negativo.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G10-15	5.542.884.963,0	F	5.537.865.610,0	-5.019.353,0
		P	5.524.530.994,0	-18.353.967,0

Al igual que en el resto de casos en el que la humedad inicial es baja, la pérdida de humedad también lo es y, por lo tanto, existe una evaporación muy baja.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
---	--	--	---	-----------------------------	---------------------

<b>13,07</b>	7.048.072,60	979.987,85	8.028.060,44	2,12	108,58
--------------	--------------	------------	--------------	------	--------

Con respecto al precio, el acopio tenía un valor inicial de 55,60 €/Tm, al inicio del almacenamiento, mientras que con la humedad final del almacenamiento tendría un valor de 56,30 €/Tm. Esto supondría, según los resultados de peso obtenidos por fórmula, un total de 81.834,86€, y de 81.637,82€, según los resultados del pesaje en báscula. Esto supone una pequeña ganancia o ahorro en el coste del acopio mínima respecto a los 81.544,07€ del coste inicial del acopio.

Destacar en esta prueba que, pese al volumen de almacenamiento y el periodo del mismo, no se han producido grandes pérdidas y la biomasa se ha conseguido mantener en buen estado.

#### Prueba nº56

Se realiza un acopio de pino de humedad muy baja y de gran tamaño. Se tiene almacenado durante más de 8 meses. Como se puede observar, la pérdida de humedad y la pérdida de peso son mínimas.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº56. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino G10-15	8,7	12,12	10,59	1.180.800	F	1.164.690	30 - 45
					P	1.174.660	

Con respecto al poder calorífico, se produce una pérdida muy pequeña tanto en el PCS como en el PCI. Esto puede deberse a que se haya producido algo de fermentación, debido a que las temperaturas se han mantenido entre los 35°C - 45°.

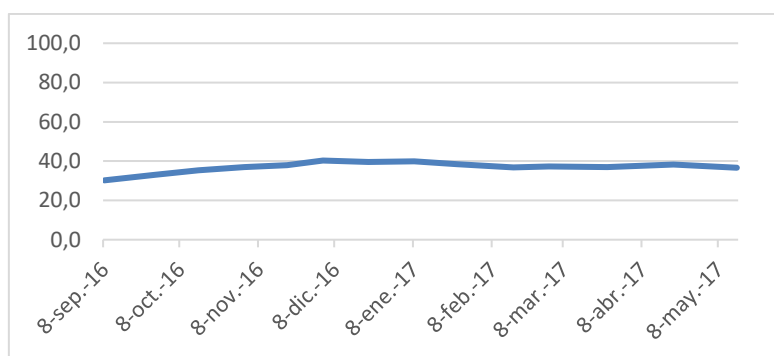


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Como se podido ir observando, cuando los acopios tienen una humedad inicial muy baja, la temperatura no suele aumentar y se mantiene constante lo largo del tiempo.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Pino de la prueba nº56. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G10-15	4.634,42	4.536,88	3.778,73	3.767,99

También puede deberse al deterioro generado en el acopio por el alto periodo de almacenamiento e, incluso, a la degradación por las inclemencias del tiempo, ya que este acopio estuvo almacenado durante los meses de otoño e invierno. Por lo tanto, el balance energético del acopio será también negativo en este caso.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino G10-15	4.461.924.384,0	F	4.388.540.273,0	-73.384.111,0
		P	4.426.107.133,0	-35.817.251,0

De nuevo, la evaporación ha sido baja, llegando a unas 16,11 toneladas de agua evaporadas, aproximadamente.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
16,11	8.691.517,89	1.208.498,04	9.900.015,93	2,62	139,29

Con respecto al precio, también se obtiene un balance económico levemente positivo para ambos casos, pasando de tener un valor inicial de 68.014,08€ a un valor de 68.367,30€ y de 68.952,54€, según datos por fórmula y pesaje, respectivamente.

Se vuelve a comprobar en esta prueba que los resultados de la realización de acopios grandes no suelen ser satisfactorios.

#### Prueba nº57

Se vuelve a realizar una comprobación con un acopio de gran tamaño, almacenado durante largo periodo de tiempo y de humedades relativamente bajas.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº57. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del	Humedad final del	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
--------------------------	---------------------------	---------------------	-------------------	-------------------	------------------------	-----------------	--

		acopio (%)	acopio (%)				
Pino G10-15	13,3	16,07	13,23	2.671.540	F	2.606.060	30 - 60
					P	2.476.220	

Como se puede observar, en esta prueba la pérdida de peso ha sido mucho más grande que en las anteriores. Esto se debe a que cuanto mayor es el acopio mayor es el efecto de la pérdida de humedad y el deterioro sobre el mismo.

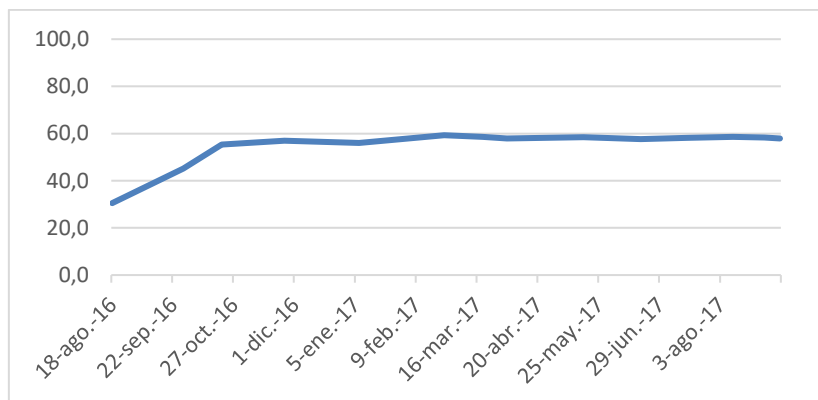


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

En este caso, se han llegado a temperaturas de 60°C lo que supone una mayor degradación del producto, ya sea por los puntos calientes alcanzados, como por el buen medio generado para la actuación de las bacterias.

Se observa que se ha producido pérdida de PCS en el acopio, indicando que se ha producido degradación en el acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Pino de la prueba nº57. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino G10-15	4.589,63	4.376,19	3.545,12	3.654,83

Con respecto al PCI, en este caso se produce algo más de pérdida de humedad y, por lo tanto, el PCI aumenta. Pero este aumento de PCI no hace que el balance del acopio sea positivo, ya que el aumento de PCI es muy pequeño para contrarrestar la gran pérdida de peso que se ha producido, sobre todo en los datos obtenidos por el pesaje con báscula.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)

<b>Pino G10-15</b>	9.470.929.884,0	F	9.524.706.270,0	53.776.386,0
		P	9.050.163.142,0	-420.766.742,0

La pérdida de humedad no es muy alta, pero al tratarse de un acopio de gran tamaño, la pérdida de agua o evaporación se hace mayor. En este caso, se han evaporado 65,48 toneladas de agua del acopio. Esto supone un ahorro en la combustión de 11,35 toneladas equivalentes, con un coste de 577,03€.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Peso de H<sub>2</sub>O eliminado (Tm)</b>	<b>Calor Latente Vaporización H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Calor Específico H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Total Calor Consumido H<sub>2</sub>O (Kcal)</b>	<b>Toneladas Equivalentes (Tm)</b>	<b>Coste Toneladas (€)</b>
<b>65,48</b>	35.321.156,05	4.911.172,98	40.232.329,03	11,35	577,03

La alta pérdida de peso que se ha producido durante el almacenamiento, también ha generado un balance económico negativo en el caso del pesaje. El valor inicial del acopio fue de 148.377,33€ (55,54€/Tm). Al final del almacenamiento el valor del acopio suponía unos 57,30 €/Tm, es decir, un total de 149.327,24€, según los datos obtenidos mediante la fórmula, y de 141.887,41€, según los datos de pesaje.

#### Prueba nº58

En el siguiente ensayo, se almacena una gran cantidad de poda de olivo pretriturada durante casi un año. El acopio, al ser el producto de mayor granulometría, pierde bastante humedad en el almacenamiento, ya que permite el paso de aire al interior del acopio y su refrigeración es mayor.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº58. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Producto / Granulometría</b>	<b>Tiempo Residencia (meses)</b>	<b>Humedad inicial del acopio (%)</b>	<b>Humedad final del acopio (%)</b>	<b>Peso inicial (kg)</b>	<b>Tipo de Medición (F/P)</b>	<b>Peso final (kg)</b>	<b>Variación de Temperatura ΔT<sup>a</sup> (°C)</b>
<b>Poda de Olivo G15-25</b>	11,7	23,01	11,50	1.506.020	F	1.365.050	30 - 50
					P	1.352.760	

Esto se observa también en que las temperaturas no han sido altas, exceptuando algunos puntos aislados en los que se han situado alrededor de los 50°C.

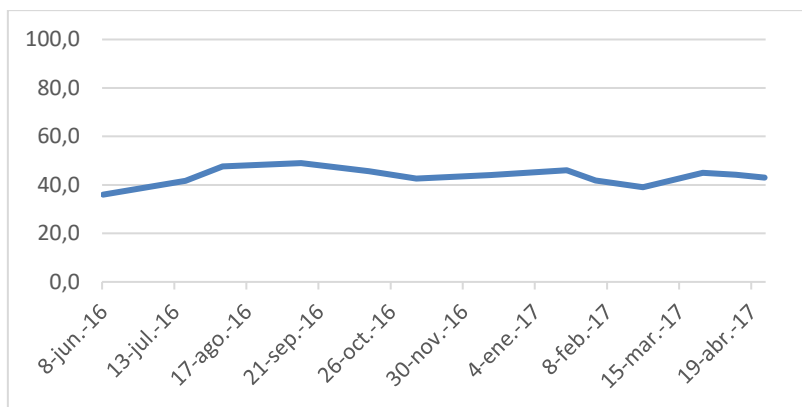


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

La pérdida de peso es bastante grande y está ligada principalmente a la pérdida de humedad, ya que no se observa que se haya producido degradación y el PCS apenas ha variado. Esta pérdida hace que el PCI del acopio haya aumentado bastante y que la biomasa se haya revalorizado con secado. Solo hay que comprobar que la pérdida de peso no sea excesiva y genere un balance energético negativo.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Poda de Olivo de la prueba nº58. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Poda de Olivo G15-25	4.230,91	4.291,67	3.243,29	3.707,01

Realizando el balance energético se obtienen resultados positivos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Poda de Olivo G15-25	4.884.459.605,0	F	5.060.254.001,0	175.794.396,0
		P	5.014.694.847,0	130.235.242,0

En este acopio se ha originado una evaporación de agua de 140,97 toneladas, lo que equivale a 26,70 toneladas adicionales de biomasa que se hubieran consumido en la combustión.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>140,97</b>	76.037.440,23	10.572.502,81	86.609.943,04	26,70	806,86

En el aspecto económico, la alta pérdida de humedad va a variar bastante el valor del acopio en cuanto a precio por tonelada. Esto va a suponer, que aunque se haya producido bastante pérdida de peso, el valor del acopio al final del almacenamiento sea mayor que el valor al inicio del almacenamiento. El valor del acopio al inicio del almacenamiento era de 54.517,92€ (36,20 €/Tm). Tras el periodo de almacenamiento el acopio se había revalorizado llegando a tener un valor de 65.522,40€, teniendo en cuenta los datos de pérdida de peso según fórmula, y de 64.932,48€, según los datos de pesaje en báscula (48,00 €/Tm),

Teniendo en cuenta la ganancia de energía y la pérdida de humedad, se puede decir que se han obtenido resultados positivos.

### Prueba nº59

Se realiza la misma operación que en la prueba anterior, pero en este caso se utiliza poda de olivo triturada. Se ha tenido almacenada la biomasa durante algo más de un año. Como se observa, la temperatura en este caso ha ascendido hasta los 80°C de temperatura, generando problemas de auto-calentamiento y degradación de la biomasa.

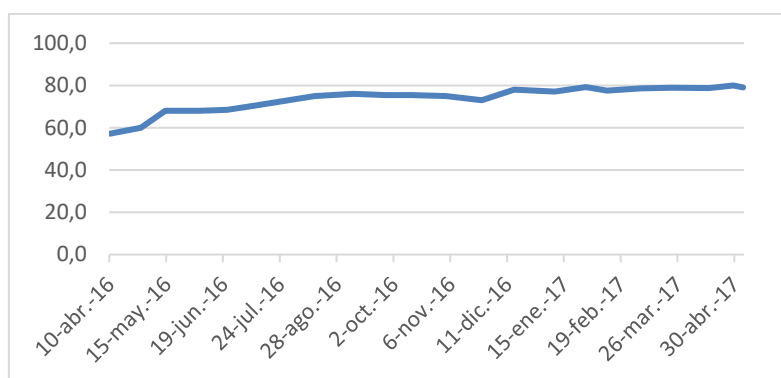


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

También se observa, que al contrario que en el caso anterior, la humedad no ha variado tanto. Esto se debe a que, al tener una granulometría más pequeña, el aire no penetra en el acopio con tanta facilidad y no puede llegar a las partes internas y secarlas o refrigerarlas.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº59. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Poda de Olivo G5-10	13,5	23,25	18,10	1.399.880	F	1.341.390	30 - 80
					P	1.209.030	

Observando la variación del PCS, se confirma la existencia de degradación, no solo por las altas temperaturas, sino también por la mayor actuación de las bacterias sobre el producto triturado y durante un largo periodo de almacenamiento.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Poda de Olivo de la prueba n°59. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Poda de Olivo G5-10	4.539,15	4.260,39	3.188,85	3.175,40

El PCI apenas varía, por lo que los resultados de la revalorización energética de este acopio son negativos.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Poda de Olivo G5-10	4.464.007.338,0	F	4.259.449.806,0	-204.557.532,0
		P	3.839.153.862,0	-624.853.476,0

Estos resultados indican que la granulometría es muy importante a la hora de realizar un acopio de mayor o menor tamaño. Cuando menor sea la granulometría menor tamaño debe de tener el acopio para que se puedan conservar de la mejor manera sus cualidades y características físico-químicas. Por lo contrario, una mayor granulometría permitirá aumentar el tamaño del acopio.

La evaporación no ha sido tan grande como se esperaba, teniendo en cuenta el tamaño del acopio y la humedad.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
58,49	31.551.648,28	4.387.047,87	35.938.696,15	11,27	395,41

Se han evaporado 58,49 toneladas de agua que equivaldrían a casi 11 toneladas de esta biomasa, si se hubiera consumido a la humedad inicial.

#### Prueba n°60

En esta prueba se ha realizado un acopio, también parecido a los anteriores, con poda de olivo triturada, pero se ha tenido almacenado durante algo más de 1 mes. Como se

observa en la tabla, el acopio no ha perdido mucha humedad, por lo tanto, no ha perdido mucho peso y la temperatura del acopio se ha mantenido en valores cercanos a los 40°C, llegando en algunos puntos a los 50°C.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº60. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Poda de Olivo G5-10	1,3	18,96	17,05	1.272.140	F	1.251.660	25 - 50
					P	1.269.600	

Hay que destacar que, el contenido inicial de humedad del acopio junto con el pequeño periodo de tiempo que se ha tenido almacenado el acopio han ayudado a que la tanto la temperatura como la degradación sean bajas, además de que la pérdida de humedad no haya sido mayor por falta de tiempo.

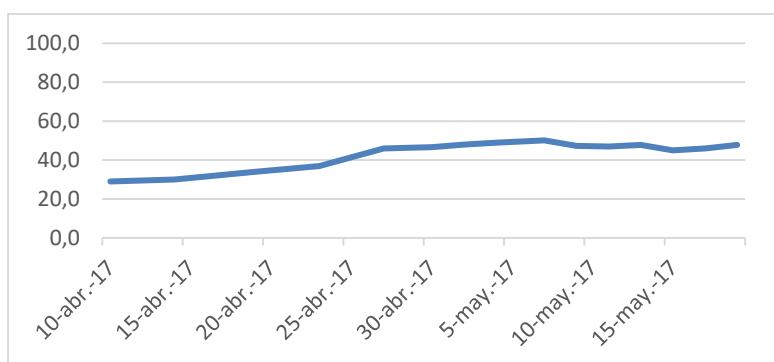


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Con respecto a la variación de PCS y PCI, se observa que el PCS apenas ha variado. Lo que confirma que apenas ha habido degradación. Con respecto al PCI, se obtiene un pequeño aumento del mismo debido a la pérdida de humedad del acopio.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Poda de Olivo de la prueba nº60. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Poda de Olivo G5-10	4.541,46	4.503,71	3.364,13	3.425,57

Al ser una variación de PCI tan baja, el aumento energético del acopio es mínimo. Teniendo en cuenta la pérdida de peso obtenida en el pesaje en báscula, se obtienen datos algo mayores, al ser menor la pérdida de peso.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Poda de Olivo G5-10	4.279.644.338,0	F	4.287.648.946,0	8.004.608,0
		P	4.349.103.672,0	69.459.334,0

Con respecto al balance económico, el valor inicial del acopio era de 55.401,69€ (43,55 €/Tm). Tras el periodo de almacenamiento, el acopio tenía un valor de 56.011,79€, según datos de fórmula, y de 56.814,60€, según los datos de pesaje en báscula.

Por lo que, se produce un ahorro económico y, en líneas generales, se podría decir que el balance energético-económico en esta prueba es positivo.

En el caso de la evaporación, la pérdida de peso en agua es de 20,48 toneladas, equivalente a 3,74 toneladas de biomasa y un ahorro en el coste de compra de 139,89€.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
20,48	11.046.219,61	1.535.903,73	12.582.123,34	3,74	139,89

Comentar que en cortos periodos de almacenamiento la biomasa se conserva y no se deteriora, lo que ayuda en gran medida a su revalorización en el parque de biomasa mediante secado natural.

#### Prueba nº61

En la siguiente prueba se realiza de nuevo un acopio grande de poda de olivo triturada y se tiene almacenado durante algo más de 1 año. Como se observa en la tabla el acopio ha reducido su humedad casi a la mitad de la inicial, lo que ha supuesto una gran pérdida de peso.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº61. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura ΔT <sup>a</sup> (°C)
Poda de Olivo G5-10	13	25,58	13,88	1.574.340	F	1.427.600	45 - 100
					P	1.465.800	

La pérdida de peso por evaporación ha sido de 146,74 toneladas de agua, lo que equivale a 30,17 toneladas de biomasa adicionales, con un coste de 1.020,68€.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>146,74</b>	79.151.729,96	11.005.524,19	90.157.254,15	30,17	1.020,68

A esta pérdida de peso también se le aplica la acción y degradación de la temperatura y fermentación por la actuación de las bacterias. En algunos puntos del acopio se han llegado a alcanzar los 100°C de temperatura, valores ya peligrosos tanto para la aparición de llama como para la carbonización y degradación de la biomasa. Sobre todo en zonas internas del acopio donde hay déficit de oxígeno y no hay refrigeración.

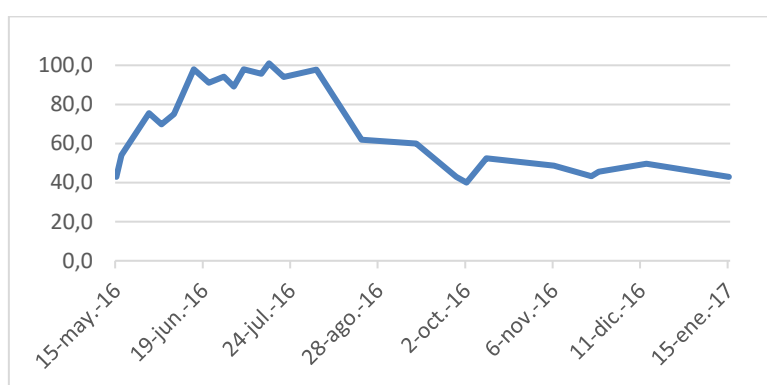


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Este acopio, al cabo de un poco más de mes y medio, se tuvo que mover, voltear y refrigerar, para reducir esos niveles altos de temperatura. Después de eso, la temperatura se comenzó a mantener entre los 40°C - 55°C.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Poda de Olivo de la prueba nº61. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
<b>Poda de Olivo G5-10</b>	4.469,59	4.045,76	2.987,94	3.179,37

La alta temperatura, la media-alta humedad inicial y el largo tiempo de almacenamiento, han afectado en gran medida al PCS del acopio. El PCI ha aumentado un poco, debido a la pérdida de humedad, pero el aumento ha sido mínimo, aunque la pérdida de humedad haya sido grande. Este es otro factor que indica la degradación y deterioro que ha tenido la biomasa.

Como era de esperar, el balance energético de esta prueba sale negativo en todos los casos ya que la alta pérdida de PCS hace que la alta pérdida de humedad no compense el aumento del PCI.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Poda de Olivo G5-10	4.704.033.459,0	F	4.538.868.612,0	-165.164.847,0
		P	4.660.320.546,0	-43.712.913,0

Con respecto al valor económico del acopio, debido a la alta variación de humedad y de peso, el coste del acopio sería mayor al final del almacenamiento, pero en detrimento de la pérdida de energía.

Al igual que en pruebas anteriores, se puede deducir de esta prueba que hacer un acopio grande con producto triturado, herbáceo, húmedo y tenerlo almacenado durante un largo periodo de tiempo, no es conveniente ya que se van a producir grandes pérdidas energéticas y económicas.

#### Prueba nº62

En este caso se utiliza poda de olivo pretriturada para realizar un acopio de grandes dimensiones. Este acopio se tiene almacenado durante 15 meses. Como se puede observar, la pérdida de humedad ha sido mínima. Esto se debe a la humedad inicial es bastante baja, lo que sumado al gran tamaño del acopio<sup>31</sup>, hace que la refrigeración y secado del mismo sea mucho menor, sobre todo en las partes más internas.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº62. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Poda de Olivo G15-25	15,1	11,38	11,29	1.625.820	F	1.624.510	30 - 75
					P	1.393.200	

La temperatura asciende en las primeras semanas hasta los 75°C. Después comienza a descender poco a poco hasta mantenerse entre los 40°C - 50°C.

<sup>31</sup> Al ser poda pretriturada tiene un mayor volumen y, por lo tanto, el tamaño del acopio o espacio ocupado por el mismo es mayor que el ocupado por acopios de poda triturada.

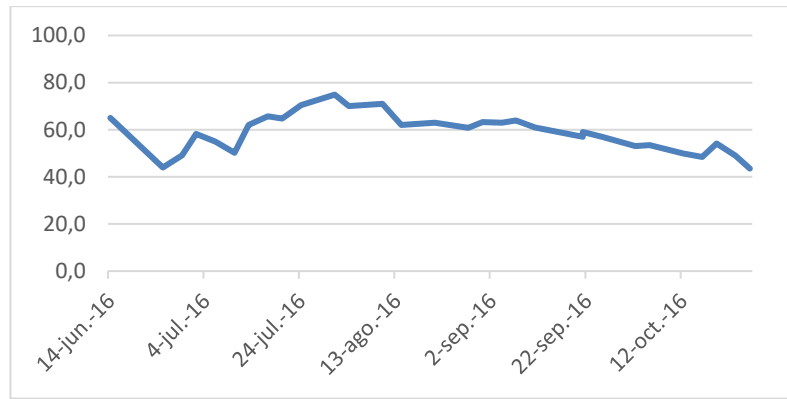


Gráfico.- Evolución de la temperatura del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Con respecto al PCS y PCI, no existe apenas variación en ambos, por lo que el contenido energético del acopio se ha mantenido durante el almacenamiento.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Poda de Olivo de la prueba nº62. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Poda de Olivo G15-25	4.416,14	4.434,82	3.622,18	3.642,79

Cabe destacar, que en la comprobación de peso realizada mediante el pesaje en báscula de la biomasa al final del almacenamiento, se han obtenido unas pérdidas de peso bastante grandes, no habiendo un motivo aparente para ello. Viendo los resultados obtenidos, se podría decir que esa pérdida de peso se debe a pérdidas físicas y de mecanizado del producto o algún fallo en el control y medición del peso.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Poda de Olivo G15-25	5.889.012.687,0	F	5.917.748.783,0	28.736.096,0
		P	5.075.135.028,0	-813.877.659,0

Teniendo en cuenta los resultados y el estado del acopio al final del almacenamiento, se observa que el balance energético es más probable que sea positivo que negativo y que, en el control de pesaje, haya habido algún error.

La evaporación ha sido mínima, generándose una pérdida de peso en agua de 1,31 toneladas de agua, equivalentes a 0,22 toneladas de biomasa adicionales.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
1,31	708.628,64	98.530,12	807.158,76	0,22	8,13

Referente al valor económico del acopio, va a ser prácticamente el mismo, puesto que tanto la humedad como el peso no han variado.

En este caso, almacenar poda de gran granulometría y seca, hace que el acopio, aunque sea algo grande, pueda refrigerarse y mantener sus condiciones iniciales casi iguales hasta el final del almacenamiento.

#### Prueba nº63

Se realiza un acopio pequeño con poda de olivo triturada con una humedad alta (casi 30%) y se tiene almacenada durante algo más de 6 meses de almacenamiento. Como se observa en la tabla se ha producido más de un 10% de pérdida de humedad, lo que supone una alta pérdida de peso del acopio.

Se han evaporado 63,72 toneladas de agua del acopio, lo que supone un ahorro de 13,55 toneladas equivalentes de esta biomasa.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
40,70	21.951.789,11	3.052.250,99	25.004.040,10	8,66	276,96

Aunque la pérdida de humedad ha sido bastante alta, la pérdida de peso por evaporación no lo es tanto debido a que el tamaño del acopio es más pequeño.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº63. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Poda de Olivo G5-10	6,2	28,97	17,63	462.640	F	421.940	30 - 85
					P	419.410	

Las temperaturas han llegado a valores altos en algunos puntos, lo que ha generado degradación de la biomasa. Estas temperaturas altas se deben a que la biomasa se ha acopiado inicialmente con una humedad alta.

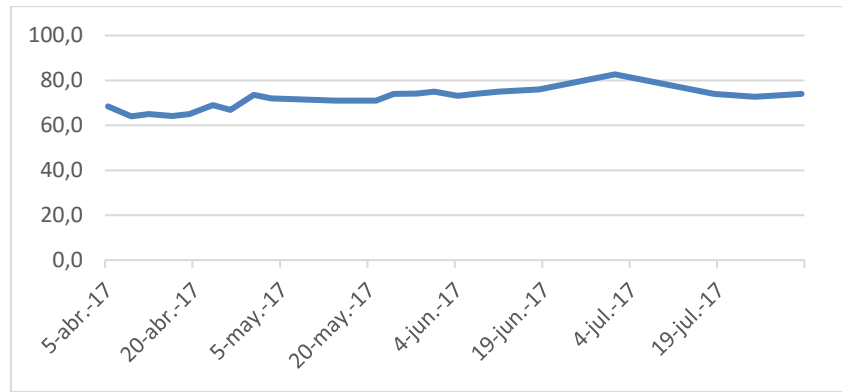


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Las altas temperaturas y la alta humedad han hecho que el acopio haya tenido una pérdida de PCS a lo largo del almacenamiento, aunque la pérdida no es muy grande. El PCI aumenta debido a la gran pérdida de humedad que se ha generado.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de Poda de Olivo de la prueba nº63. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Poda de Olivo G5-10	4.559,48	4.484,48	2.888,59	3.383,02

En este caso, el balance energético que se obtiene en ambos casos es positivo. Aunque haya habido una pequeña disminución en el PCS por degradación, el aumento de PCI ha sido bastante alto para contrarrestar esa degradación y la pérdida de peso por humedad.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Poda de Olivo G5-10	1.336.377.277,0	F	1.427.431.459,0	91.054.182,0
		P	1.418.872.418,0	82.495.141,0

Con respecto al coste del acopio, al inicio del almacenamiento tuvo un coste de 37,60 €/Tm, lo que supone un total de 17.395,26€. Mientras que, teniendo en cuenta las condiciones del acopio al final del almacenamiento, el valor del mismo sería de 44,50 €/Tm. Según los resultados de peso teniendo en cuenta la fórmula de la pérdida de humedad el valor final del acopio sería de 18.776,33€, y según los resultados del pesaje en báscula el valor final del acopio sería de 18.663,75€.

Lo que supone, que el balance energético-económico en este acopio resulte positivo.

*Prueba n°64*

A parte de las pruebas anteriores, se han realizado algunas pruebas con hueso y orujillo.

En el caso del orujillo, ocurre prácticamente al revés que con la poda. Al ser un producto muy seco, homogéneo, granulado y de granulometría muy baja, permite su almacenamiento en grandes acopios y compactados. Esto favorece y aumenta la cantidad de producto o stock almacenado en el parque. De todas las pruebas que se han realizado, los resultados obtenidos son muy parecidos en todos los casos.

Se ha realizado un acopio de orujillo de grandes dimensiones y se ha tenido almacenado durante casi 16 meses.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba n°64. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Orujillo G1-G3	15,9	14,84	14,10	3.580.580	F	3.557.530	30 - 35
					P	3.575.000	

Como se observa, la pérdida de humedad es muy baja al igual que la pérdida de peso. La temperatura apenas ha aumentado durante el periodo de almacenamiento debido a que no ha habido fermentación y la humedad de almacenamiento ha sido lo suficientemente baja para que no genere el recalentamiento interno del mismo.

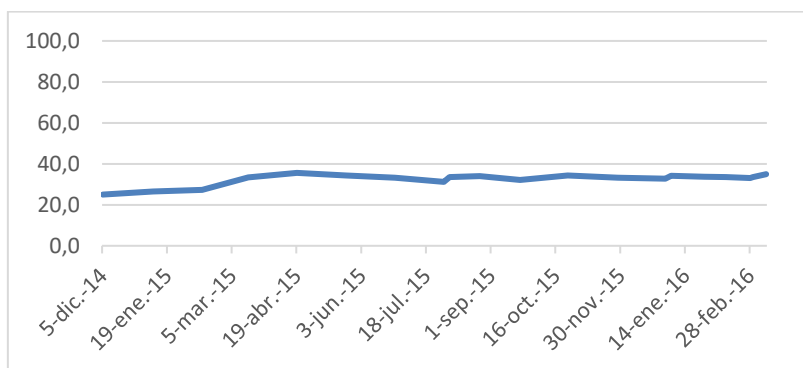


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Con respecto al PCI y PCS del orujillo, no existen grandes diferencias entre el inicio y el final del almacenamiento. Se genera un poco de aumento en el PCI debido a la pequeña pérdida de humedad.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de orujillo de la prueba nº64. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Orujillo G1-G3	4759,56	4.766,13	3.700,5	3.794,47

Por lo tanto, el balance en este acopio va a ser positivo, ya que la pérdida de peso es mínima, no se ha producido degradación y aumenta el PCI.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Orujillo G1-G3	13.249.936.290,0	F	13.498.940.860,0	249.004.570,0
		P	13.565.230.250,0	315.293.960,0

Con respecto a la evaporación, en el caso del orujillo, va a ser mínima. Ya que, la mayoría de los acopios van a tener una humedad inicial baja y su pérdida de humedad va a ser mínima.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
23,05	12.431.574,00	1.728.528,09	14.160.102,09	3,83	168,37

El precio del orujillo, por regla general suele ser el mismo indiferentemente de la humedad que tenga, ya que se considera que siempre va a tener unas humedades bajas y se va a mantener entre un rango de humedad muy reducido (5% - 15%).

La situación actual es complicada para el orujillo ya que su precio ha bajado en el último quinquenio desde precios por encima de los 35€ - 40€ tonelada a menos de 10€ - 12€ a los que se encuentra en la actualidad. Por lo tanto, el valor del acopio al final del periodo de almacenamiento va a ser menor que cuando se compró la biomasa, independientemente de que el precio por diferencia de humedad sea el mismo.

#### Prueba nº65

En esta prueba, se ha realizado un acopio de orujillo algo más pequeño y se ha tenido almacenado durante un periodo de tiempo de casi 1 año.

Al igual que en el caso anterior la pérdida de humedad es muy baja, ya que la humedad inicial también lo es. Al igual que la pérdida de peso que es mínima casi nula. Por lo tanto, la evaporación también ha sido mínima en este caso.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº65. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Orujillo G1-G3	11,8	10,00	8,64	2.192.860	F	2.165.750	30 - 35
					P	2.192.900	

Con respecto a la variación de PCS y PCI, se produce un ligero aumento del PCI del acopio, mientras que el PCS se mantiene igual.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de orujillo de la prueba nº65. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Orujillo G1-G3	4.890,65	4.889,91	4.155,50	4.185,29

Esto hace que el balance sea también positivo, ya que no existe pérdida de peso ni pérdida de PCI.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Orujillo G1-G3	9.112.429.730,0	F	9.064.291.818,0	-48.137.912,0
		P	9.177.922.441,0	65.492.711,0

Si se tuviera en cuenta la pérdida de peso según la fórmula de la humedad, el balance sería negativo pero, tal y como ya se ha comentado en otras ocasiones, el resultado más representativo y real es el calculado mediante el pesaje de camiones en báscula, siempre y cuando las diferencias nos sean muy significativas.

#### *Prueba nº66*

Se realiza otro acopio de orujillo de dimensiones inferiores a las anteriores. Se tiene almacenado durante algo más de 1 año. Como se observa, la pérdida de peso y de humedad es baja. No se han producido cambios en el acopio ni se ha observado ningún signo de degradación en el mismo.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº66. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Orujillo G1- G3	13,0	10,00	8,18	1.318.100	F	1.296.290	30 - 35
					P	1.316.330	

Con respecto al PCI y PCS, al final del almacenamiento se produce una muy pequeña reducción en el PCS del acopio, originada principalmente por un tiempo de almacenamiento largo y la exposición a las condiciones del medioambiente. El PCI se mantiene más o menos igual.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de orujillo de la prueba nº66. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Orujillo G1-G3	4.700,50	4.651,91	4.110,11	4.140,47

Por lo tanto, el balance energético en este acopio será muy cercano a neutro, ya que se ha producido muy poca pérdida de peso, de humedad, y un aumento pequeño en el PCI.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Orujillo G1-G3	5.417.535.991,0	F	5.367.249.856,0	-50.286.135,0
		P	5.450.224.875,0	32.688.884,0

El orujillo es un producto que puede ser almacenado en grandes cantidades sin que se produzca una degradación y pérdidas de consideración, siempre y cuando se mantenga almacenado en buenas condiciones durante su periodo de almacenamiento.

#### Prueba nº67

Como ya se ha comentado con anterioridad, la humedad es el factor más importante en el almacenamiento por lo que, si se almacena orujillo con una humedad un poco más alta de lo normal, por regla general, se generarán problemas de auto-calentamiento en el interior del acopio.

Esto ha ocurrido en esta prueba. Se almacenó orujillo con una humedad por encima del 15% en un acopio de grandes dimensiones.

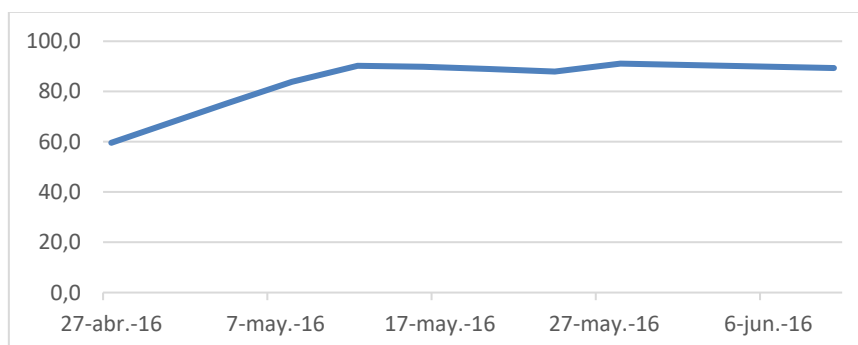
Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba nº67. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Orujillo G1-G3	2,0	18,70	-	2.900.380	F	-	30 - 90
					P	-	

Debido a las inclemencias del tiempo y al deterioro de la capa superficial del acopio, esta capa se ha ido secando y agrietando, permitiendo el paso del aire al interior del acopio. Al estar el acopio húmedo en su interior, se produce un aumento de calor, que se ve favorecido, arrastrado y extendido por el aire de entrada, actuando este como acelerante del auto-calentamiento.

Imagen.- Acopio de orujillo caliente. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Al poco tiempo del almacenamiento, se ha tenido que desmontar el acopio y enfriar ciertas zonas que habían llegado a temperaturas altas. Con lo que se han generado degradaciones y pérdidas de material durante el proceso de saneamiento del acopio.

Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: *Elaboración Propia*]

### Pruebas con acopios de hueso de aceituna

Con respecto al hueso de aceituna, se ha realizado un seguimiento al comportamiento de varios acopios. En este caso, no se ha podido realizar un estudio tan exhaustivo como con otras biomásas, ya que esta biomasa, por lo general, no es utilizada para la producción de energía eléctrica. Sino que es vendida como combustible para calefacción. Por lo tanto, al generarse durante el proceso productivo se va vendiendo casi de forma paralela a su producción.

Normalmente, la humedad inicial de extracción del hueso es algo alta, de entre el 20% - 25%. El hueso es un producto que pierde rápidamente la humedad porque es muy poroso y leñoso, pero al ser un producto de granulometría muy pequeña, no permite el paso del aire al interior del acopio para su secado y refrigeración. Requiere un secado a base de volteo manual o mecánico (secadero).

Por lo tanto, al ser un producto de venta, la cual necesita que se haga lo más seca posible, es necesario voltear y extender el producto para aumentar la velocidad de secado y evitar calentamiento en el interior del acopio. Estas acciones se suelen realizar hasta que se reduce la humedad por debajo del 15%.

Estos movimientos generan pérdidas y degradación, además de descontrol en la contabilización de la cantidad almacenada.

Tabla.- Datos de los acopios realizados en la prueba nº68 (Valores estimados). [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Hueso G1	2	25,00	15,00	2.500.000	P	2.400.000	30 - 35
Hueso G1	3	22,00	13,00	1.800.000	P	1.720.000	30 - 35
Hueso G1	2	23,00	11,00	2.000.000	P	1.895.000	30 - 35

Como se puede observar en la tabla, el PCS del producto apenas varía, ya que al ser un producto muy poroso y leñoso apenas sufre fermentación y degradación. Si existiera pérdida de PCS se deberá principalmente a los efectos del trabajo mecánico sobre el acopio de remonte, volteo, extendido, etc.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI de los acopios de hueso de la prueba n°68. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Hueso G1	4.851,07	4.833,25	3.539,02	4.001,14
Hueso G1	4.901,75	4.854,90	3.618,29	4.136,18
Hueso G1	4.798,15	4.820,04	3.577,65	4.199,51

Al reducir la humedad en tantos puntos, el PCI aumenta también bastante lo que genera un aumento energético del producto, es decir, un balance positivo. Conservando además las características físicas y químicas del producto durante su almacenamiento.

#### *Acopio de Poda de Olivo Triturada tapado con un plástico*

Ya se ha comentado, en el estado del arte, que para tapar los acopio y protegerlos de las inclemencias del tiempo hay que utilizar lonas impermeables y transpirables. Pero estas lonas son muy caras y son inviables para su uso en este tipo de plantas, donde se almacenan grandes cantidades de biomasa.

Para realizar una prueba similar a las descritas en el estado del arte y para que el coste sea lo más reducido posible, se ha utilizado un plástico para tapar un acopio de poda de olivo triturada. A este plástico se le han realizado una serie de agujeros pequeños en su parte superior para permitir la respiración del acopio y la salida del vapor generado en el acopio. La idea de esta prueba era evitar la entrada de aire al acopio y que el propio acopio expulsara la humedad por la parte superior.

La humedad inicial del acopio no era del todo alta, alrededor del 25% de humedad. Pero la respiración caliente del acopio hacia condensar el agua en el plástico originando un aumento de humedad en el acopio, sobre todo en las partes altas, además de un calentamiento continuo y rápido.

En cuestión de un mes aproximadamente, el acopio se encontraba a casi 100°C de temperatura en la gran parte del mismo, por lo que se tuvieron que realizar acciones de saneamiento sobre él.

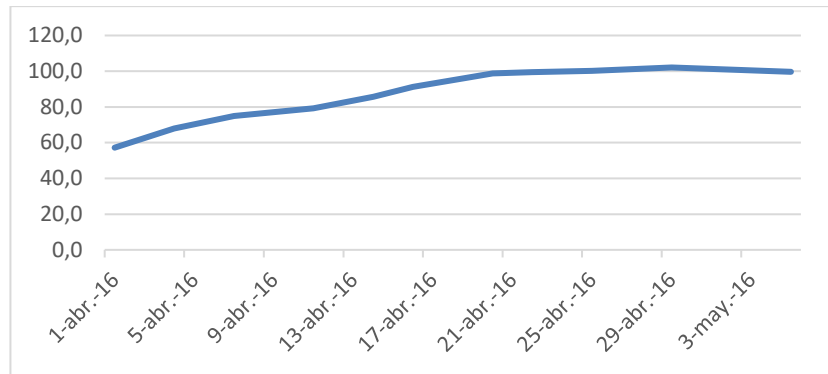


Gráfico.- Evolución de la temperatura en el acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

El acopio estaba tan caliente que a la hora de sanearlo y entrar el aire al interior del acopio se generaba llama. Teniendo que utilizar el sistema contra incendios para así poder reducir el fuego y refrigerar el acopio. También se observó que la condensación en el plástico y la humidificación de la capa superior del acopio, crearon una capa esponjosa que hacía de retención del calor dentro del acopio.

Se tuvo que abrir y extender todo el acopio e ir volteando para refrigerar. Incluso, en algunas ocasiones, manguear con agua la parte superior del acopio extendido, ya que algunas partes más calientes al contactar con el aire continuaban humeando y generando llama.

Con esta prueba se ha deducido que no se puede eliminar la entrada de aire ambiente al acopio para que ayude a su refrigeración y aireación. Ya que, si no tiene entrada de aire no existe circulación dentro del mismo y el calor no es expulsado por la parte superior (efecto chimenea) en forma de vapor.

#### *Acopios de tronco en rollo para su posterior triturado en planta*

Siguiendo con la idea de poder realizar todo tipo de pruebas con todo tipo de productos o biomasa posibles, se hizo un seguimiento a un acopio de tronco de pino en rollo, almacenado durante casi 1 año.

La intención de esta prueba es intentar secar el tronco en el parque y, una vez seco, proceder a su trituración y consumo inmediato. Evitando así que las células vuelvan a reactivarse y calentar/fermentar la biomasa. El problema del tronco de pino es que, si tiene un diámetro mayor a 10 centímetros, pierde su humedad interna muy lentamente. Por lo que, necesita mucho tiempo para su secado. Si el tronco se tritura sin estar seco del todo, el producto triturado y acopiado puede dar problemas de auto-calentamiento.

Otra dificultad, es la toma de muestras. Se hicieron numerosas pruebas para la medición de humedad del interior de los troncos:

- ✓ Barrena. El método de la barrena, aunque en principio es la forma más sencilla de extraer una muestra del interior del tronco, presenta el inconveniente de que

provoca una gran pérdida de humedad, puesto que se calienta mucho la barrena y este calor se lo transmite a la muestra en forma de cilindro que se genera en su interior.

- ✓ Rodaja con Motosierra. Este muestreo consiste en cortar varias rodajas de varias partes del tronco y llevarlas a laboratorio para la medición de su humedad. Puede afectar a la medición si se tarda mucho en realizar el corte de la rodaja, ya que la sierra puede calentar la muestra y evaporar parte del agua contenida.
- ✓ Corte con Hacha. Con el hacha la toma de muestras es algo más complicada por el trabajo que conlleva la obtención de gran cantidad de muestra. Por otro lado, es el sistema que menos calienta la muestras y cuyos resultados pueden ser más fiables.

En esta prueba, se optó por el muestreo mediante rodajas cortadas con motosierra, no sólo por rapidez y representatividad, sino porque así se tomaba la sección completa del tronco. Es decir, se sacaba la humedad de toda la rodaja y no parte de ella. Esto se decidió porque se observó que las rodajas tenían diferentes humedades según se iba alejando o acercando al centro de la misma.

Con respecto a los resultados de la prueba, no se tienen los datos de pérdida de peso según báscula, ya que el producto se fue consumiendo conforme se iba triturando y los controles no se realizaron correctamente. Si se conoce la humedad de las rodajas del tronco y la humedad del tronco una vez triturado que, debido al trasiego de producto, fricción en el molino, volteo, etc., no será la real pérdida por evaporación natural.

Tabla.- Datos del acopio realizado en la prueba de tronco de pino. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Tiempo Residencia (meses)	Humedad inicial del acopio (%)	Humedad final del acopio (%)	Peso inicial (kg)	Tipo de Medición (F/P)	Peso final (kg)	Variación de Temperatura $\Delta T^a$ (°C)
Pino en rollo	12,0	34,94	28,80	6.295.580	F	6.009.120	30 - 35
					P	-	

Como se observa, se ha perdido bastante peso por evaporación natural del agua. Según los resultados, se han perdido 286,46 toneladas de agua, lo que equivale a 60,72 toneladas ahorradas en la combustión, reduciendo el coste en más de 1.800€.

Tabla.- Energía consumida en la evaporación del agua de la biomasa del acopio. [Fuente: Elaboración Propia]

Peso de H <sub>2</sub> O eliminado (Tm)	Calor Latente Vaporización H <sub>2</sub> O (Kcal)	Calor Específico H <sub>2</sub> O (Kcal)	Total Calor Consumido H <sub>2</sub> O (Kcal)	Toneladas Equivalentes (Tm)	Coste Toneladas (€)
<b>286,46</b>	154.516.319,34	21.484.471,54	176.000.790,88	60,72	1.807,07

Con respecto al PCI y PCS, el PCS ha bajado un poco seguramente debido a las inclemencias del tiempo que han degradado la parte superficial de la pila de troncos. Además del largo periodo de almacenamiento. El PCI ha aumentado un poco gracias a la pérdida de humedad.

Tabla.- Tabla de variación de PCS/PCI del acopio de tronco de pino. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	PCS al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCS al final del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Inicio del almacenamiento (Kcal/kg)	PCI al Final del almacenamiento (Kcal/kg)
Pino en rollo	4.690,17	4.504,07	2.898,42	2.992,50

Esto hace que el balance sea negativo, influenciado por la alta pérdida de peso.

Tabla.- Balance de energía obtenido durante el almacenamiento. [Fuente: Elaboración Propia]

Producto / Granulometría	Energía Inicial del Acopio (Kcal)	Tipo de Medición (F/P)	Energía Final del Acopio (Kcal)	Balance Energético (Kcal)
Pino en rollo	18.247.234.983,0	F	17.982.291.600,0	-264.943.380,0
		P	-	-

## Anexo II: Análisis de la Legislación en materia de Energías Renovables

### Análisis del Régimen Jurídico

En este apartado se va a realizar un estudio y desarrollo de la planificación energética y cambios legislativos que se han llevado a cabo en España a lo largo de las últimas décadas, centrándonos en los últimos años en los que la crítica situación económica ha dado lugar a la realización de grandes cambios en el sector eléctrico y, en gran medida, en el sector de las energías renovables.

Para poder entrar en contexto y conocer cómo ha ido evolucionando la planificación y legislación energética en España, se debe retroceder a los años 50 donde aparecen los primeros antecedentes de la actual planificación energética española en las previsiones adoptadas en relación con el sector eléctrico, e incorporadas posteriormente a los planes de desarrollo. [Domingo, E., 2000]

#### *Inicios de la planificación energética Española*

El primer plan con vocación globalizadora fue el "Plan de Electricidad 1954-1963"<sup>32</sup>, aunque del mismo se ha afirmado que "no constituía sino un mero cálculo de previsiones y orientaciones probables del sector eléctrico durante un determinado periodo de tiempo". El siguiente hito en la planificación energética es el "I Plan de Desarrollo 1964-67", que incorporaba un programa de instalación de centrales eléctricas, entre las que se incluían centrales hidráulicas, térmicas y nucleares, pero, por supuesto, no se hacía referencia alguna a centrales abastecidas por energías renovables o sistemas de cogeneración eléctrica. Tampoco se encuentran referencias a estas tecnologías energéticas en el "II Plan de Desarrollo". Mediante Orden de 31 de Julio de 1969 se aprobó el "Plan Eléctrico Nacional"<sup>33</sup>. La aprobación del "III Plan de Desarrollo 1972-75" tampoco supuso novedad alguna en cuanto a la planificación del sector eléctrico. [Domingo, E., 2000]

Tras la Segunda Guerra Mundial, la mayoría de los países europeos (Francia, Italia, Reino Unido, etc.), ante los problemas de suministro eléctrico existentes, optaron por la creación de empresas de titularidad pública, en régimen de monopolio, que garantizaran el suministro de una energía cada vez más necesaria para la reconstrucción de sus economías ya que, por diversas circunstancias, las empresas eléctricas privadas en competencia era incapaces de asegurar el suministro. España, por lo contrario, optó

---

<sup>32</sup> Plan que no llegó a publicarse

<sup>33</sup> Este plan afecta de manera directa a la producción de energía eléctrica mediante la tipificación de la potencia y las características que han de reunir las nuevas centrales y grupos de generación; nuevas centrales, entre las que no aparecen las de cogeneración y energías renovables. Salas Hernández, J., (1977)

por un modelo plural, con empresas públicas y privadas, coordinadas entre sí sobre una base voluntaria.

Con la apertura al exterior de la economía española a partir de la entrada en vigor del Plan de Estabilización de 1959, el sector energético se vio profundamente afectado al poder acceder a un petróleo más barato en los mercados internacionales, lo que significó su utilización de manera intensiva en el proceso de desarrollo industrial que tuvo lugar en España durante la década de los sesenta. A raíz de la crisis de 1973, originada por la guerra árabe israelí, surge una espectacular escalada de los precios del petróleo. Acontecimiento que se traduce en la necesidad de elaborar una planificación energética global ante la inseguridad del autoabastecimiento energético y la situación energética del momento. [Azcárate, B. y Mingorance, A., 1996]

Situación energética que se puede describir de la siguiente manera:

- Disminución importante de la participación del carbón nacional, apenas compensado por el desarrollo de la energía hidroeléctrica.
- Escaso esfuerzo de prospección e investigación de los recursos energéticos propios.
- Práctica inexistencia del gas y exceso de dependencia del petróleo.
- Un desarrollo industrial con un fuerte peso de actividades básicas de altos consumos de energía.
- Una política de precios caracterizada por el continuo abaratamiento de la energía en términos reales y unas tarifas eléctricas de carácter regresivo que no han contribuido a la moderación del consumo.
- Falta de estímulos adecuados para reducir los consumos específicos.

Esta nueva planificación energética debe de ir encaminada a la consecución de nuevos objetivos como: ahorro en el consumo, eficiencia energética, diversificación en la oferta, potenciación de los recursos autóctonos, reducción en la dependencia del petróleo, investigación y desarrollo de nuevos recursos energéticos. [Domingo, E., 2000]

#### *PEN 75*

En un primer intento por realizar una planificación energética integral a medio plazo en España, se realiza el "Plan Energético Nacional de 1975-1985". Este plan nace de la necesidad por parte de las autoridades españolas de diseñar una estrategia planificadora con la que hacerse fuerte debido al shock mundial de precios petrolíferos en 1973 ya que, en España, en esos momentos, el consumo de energía primaria estaba representado por el petróleo en 2/3 del total. Este PEN 75 tenía 2 ideas básicas:

1. Alinearse con los países occidentales en respuesta al shock petrolífero.
2. Reafirmar la necesidad de una planificación integral para hacer frente a la crisis.

Era un PEN orientado a reemplazar la participación del petróleo en el consumo primario por otras fuentes de energía.

No existen en el PEN 75 previsiones respecto a las energías renovables como alternativa energética, recayendo fundamentalmente los objetivos de sustitución del petróleo sobre la energía nuclear. La idea final que se traslucía del PEN-75 era la inevitabilidad de que siguiera creciendo el consumo energético por encima del PIB, si no se querían dañar las posibilidades de crecimiento, lo que requería una ambiciosa expansión de la oferta, que debía ser eléctrica nuclear. [Cuerdo, M., 1999]

Los resultados de la primera experiencia planificadora en materia energética fueron muy pobres, como puede observarse en la tabla 1.

Tabla.- Participación fuentes de energía primaria. [Fuente: Ministerio de Industria (1978)]

<b>Participación de las fuentes primarias de energía en el consumo energético en 1973 y 1976</b>		
<b>Fuente</b>	<b>1973</b>	<b>1976</b>
<b>Carbón</b>	17,3	15,4
<b>Petróleo</b>	66,7	72,1
<b>Gas Natural</b>	1,4	2
<b>Energía Nuclear</b>	2,6	2,6
<b>Energía Hidráulica</b>	12	7,9

Sin embargo, a causa de las turbulencias políticas que trajo consigo el régimen anterior, el primer PEN nunca entró en vigor. Con el nuevo régimen político y la agudización de la crisis energética y económica, el PEN 1975 será abandonado, quedando España sin un marco de directrices de política energética necesario para dar respuesta a la crítica situación reinante. [Sandoval, I. S., 2013]

#### *PEN 78*

En 1977, en cumplimiento de los Pactos de la Moncloa que se tradujeron en reformas en materia energética, fue aprobado por el Congreso de los Diputados el Plan Energético Nacional para el decenio 1978-1987.

Ante la situación de crisis energética en que se encuentra España, con el factor añadido de la transición política que España estaba sufriendo en esa época, y la vulnerabilidad que representa la dependencia del exterior, el PEN 78 plantea una estrategia encaminada a satisfacer los objetivos de ahorro y uso racional de la energía, utilización preferente de las energías nacionales que incrementen el grado de autoabastecimiento, y sustitución del petróleo por otras fuentes primarias; junto a estos objetivos, el PEN 78 introduce por primera vez la variable medioambiental como criterio definidor de la política energética, al pretender una protección adecuada del marco ecológico.

En relación con el desarrollo de las energías renovables, no se integran en la estructura de oferta de energía primaria prevista en el espacio temporal que abarca el plan; el PEN 78 pretende satisfacer la demanda prevista a través de la utilización prioritaria de la energía hidráulica, de una atención preferente al carbón, teniendo en cuenta las reservas de carbón nacional, de un incremento en el uso del gas natural y, sobre todo, y como primer objetivo, a través de la energía nuclear. [Domingo, E., 2000]

El sector energético Español, que no fue ajeno a las crisis energéticas de los años 1973 y 1979, entra en la década de los años 80 con graves problemas estructurales y financieros debidos a:

- Inadecuado dimensionamiento y estructura del parque generador.
- Bajo nivel de ingresos como consecuencia de la contracción de la demanda y del insuficiente nivel de tarifas.
- Elevado inmovilizado en curso, consecuencia del retraso en la puesta en servicio de las centrales nucleares en construcción.
- Alto endeudamiento debido a las inversiones en generación y a la revalorización de la deuda en moneda extranjera, particularmente en dólares.
- Costes financieros elevados, debido a diversos problemas y a los altos tipos de interés. [REE, 1998]

#### *Ley 82/1980 de Conservación de la Energía*

La Constitución Española de 1978 intentó descentralizar el estado unitario al tiempo que exploraba fórmulas para mantener la cohesión política, reportándose una sucesión de Planes Energéticos Nacionales, con la intención de solucionar el gran número de deficiencias del nuevo panorama político. Hasta ahora, en esta sucesión de planes energéticos, no se habían tenido en cuenta las energías renovables como posibles fuentes primarias de sustitución de los combustibles fósiles. No fue hasta el año 1980 con la adopción de la "*Ley 82/1980 de Conservación de la Energía*" (en adelante Ley 82/80) con la que España tuvo su primer marco legal para el apoyo de las energías renovables. Como consecuencia, en los años 80 se desarrollaron nuevas tecnologías como la eólica, la fotovoltaica o la termoeléctrica, en las que España centró parte de sus recursos humanos y financieros. No fue hasta pasado unos años, cuando se comenzaron a desarrollar energías como los biocarburantes o las energías geotérmicas. [Sandoval, I. S., 2013]

La Ley 82/1980 de Conservación de la Energía establece los principios básicos y normas, así como incentivos, para potenciar las acciones encaminadas a:

- Optimizar rendimientos de los procesos de transformación de la energía.
- Potenciar la adopción de fuentes de energía renovable, reduciendo los usos de hidrocarburos.

- Promover la utilización de energías residuales.
- Analizar y controlar el desarrollo de grandes proyectos.
- Controlar las relaciones entre autogeneradores y compañías eléctricas distribuidoras.
- Fomentar acciones que repercutan en la reducción de la dependencia energética exterior.

Esta ley establece que podrán acogerse a los beneficios que se contemplan en la misma, aquellas personas físicas y jurídicas que realicen una serie de actividades establecidas y detalladas, entre las que se encuentran todas aquellas aplicaciones que se destinen a la reducción del consumo de hidrocarburos en sustitución por energías renovables y reducción de los consumos de energía.

Los beneficios otorgados serán:

- Reducción del 50% de la base en los actos y contratos relativos a los empréstitos que emitan las empresas españolas y los préstamos que las mismas concierten con organismos internacionales o con bancos o instituciones financieras, cuando los fondos así obtenidos se destinen a financiar inversiones reales nuevas con fines de ahorro energético o de autogeneración de electricidad.
- Bonificación del 95% de la cuota que corresponda a los rendimientos de los empréstitos que emitan y de los préstamos que concierten con organismos internacionales o con bancos o instituciones financieras, cuando los fondos así obtenidos se destinen a financiar inversiones reales nuevas con fines de ahorro energético o de autogeneración de electricidad.
- Se considerará que las amortizaciones de las instalaciones sustituidas o de las pérdidas sufridas en su enajenación, conforme a un plan libremente formulado por la empresa beneficiaria, cumplen el requisito de efectividad.
- Exención de la Licencia Fiscal del Impuesto Industrial a que diera lugar la realización de actividades comprendidas en la presente ley durante los 5 primeros años del devengo del tributo.

Las personas físicas y jurídicas a las que se refiera esta ley, también podrán gozar de:

- Hasta el 30% de la inversión para aquellas que impliquen la realización de trabajos de investigación.
- Acceso preferente al crédito oficial. Importe dedicado exclusivamente a la financiación de las inversiones.
- Inclusión en el coeficiente de inversión de los efectos representativos de créditos que conceden los bancos.
- Expropiación forzosa de los bienes y derechos necesarios para el establecimiento o ampliación de las instalaciones.

No obstante, a pesar de las numerosas planificaciones energéticas que se habían ido haciendo con el paso de paso de los años, no es hasta 1981 cuando aparece el primer Real Decreto<sup>34</sup> donde se hace referencia, por primera vez de forma concreta, a la utilización de energías renovables por instalaciones autogeneradoras, en concreto a la minihidráulica [Sandoval, I. S., 2013]. Se considera como objetivo primordial construir, adaptar y ampliar para su utilización, instalaciones de producción hidroeléctrica de una potencia de hasta cinco mil KVA, ya se destine la energía producida a consumo propio o a su conexión con la red eléctrica. *BOE nº 150 24 Junio 1981*

A raíz de la publicación de la Ley 20/80, se empieza a desarrollar, en mayor medida, el fomento de las energías renovables mediante reales decretos como el Real Decreto 907/1982<sup>35</sup>, donde se indica que podrán considerarse como autogeneradores eléctricos aquellos que utilicen energías renovables, cualquiera que sea su potencia y rendimiento de sus instalaciones (*BOE nº 11 del 10 Mayo 1982*), y el Real Decreto 1544/1982, donde se exenta la energía eléctrica generada por las nuevas centrales hidroeléctricas de su inclusión en el sistema de redistribución parcial entre empresas de la tarifa correspondiente a los costes de los combustibles. También quedará exenta la energía producida por la ampliación de las instalaciones. (*BOE nº 169 del 16 Julio 1982*).

### *PEN 83*

Tanto en el PEN 75 como en el del año 79, no se contemplan las cuestiones de eficiencia energética y el uso de las energías renovables en detrimento de los combustibles fósiles. Por lo tanto, se realizó un nuevo plan energético en 1982, “El Plan Energético Nacional 1983-1992” (en adelante PEN 83), encaminado a llevar a cabo esa política energética y enfrentar las diferentes crisis energéticas que estaba sufriendo Europa debido a las subidas exponenciales del precio del petróleo.

Como había señalado “El informe Saint-Geours” de la Comisión Europea<sup>36</sup>, la nueva fuente se denominaba “*ahorro energético*” y sobre ella debía basarse la política energética de los años 80. La Comisión estableció un programa general, dejando a cada uno de los países miembros la libre elección de sus prioridades, en función de las situaciones nacionales. Los principales puntos de ese esquema fueron los siguientes:

- Una política transparente y realista de precios e impuestos sobre la energía.
- La revisión progresiva al alza de las calidades exigidas respecto a los nuevos edificios, así como de los sistemas de calefacción.

---

<sup>34</sup> Real Decreto 1217/1981, de 10 de Abril, para el fomento de la producción hidroeléctrica en pequeñas centrales.

<sup>35</sup> Real Decreto 907/1982, de 3 de Abril, sobre fomento de la autogeneración de energía eléctrica, para lograr ahorros de energía.

<sup>36</sup> Llamado así por el nombre del economista francés que presidió el grupo de trabajo que lo realizó. Su principal conclusión fue bastante alentadora: cabía hacer frente al reto energético sin poner en peligro los valores, las tradiciones, el bienestar y las libertades a las que estaban apegados los europeos.

- Un código de construcción con normas obligatorias para oficinas y otros servicios; especialmente en lo relativo a los sistemas de calefacción y de acondicionamiento de aire o de ventilación.
- Créditos para el acondicionamiento de los inmuebles existentes, y un programa modélico para las viviendas y oficinas pertenecientes al sector público.
- Un esfuerzo de investigación científica y de créditos, para asegurar la promoción comercial de los nuevos métodos y equipos destinados a economizar energía.
- Créditos destinados a fomentar las inversiones industriales economizadoras de energía, y para el desarrollo de las actividades de asesoría y peritaje en favor de las pequeñas y medianas empresas. Fomento de la producción combinada y de la utilización racional del calor y de la electricidad.
- Un gran esfuerzo de información, de educación cívica y de publicidad respecto a los precios de la energía, al consumo de los equipos a las posibles economías con el etiquetado de los aparatos electrodomésticos, la medición y facturación individual de la calefacción en los inmuebles de viviendas múltiples, métodos normalizados de medición respecto al consumo de los vehículos, campañas sobre ahorro de energía en el transporte, programas educativos en las escuelas a todos los niveles y reciclaje e información de los profesionales.

Corolario obligado de cuanto antecede, este PEN 83 es diferente a todos, ya que por primera vez oferta y demanda son contempladas como parte de un todo. [Sotelo, J. A., 2002]

Tabla.- Estructura Prevista por el PEN-83 y Consumo Real por fuente en 1992. [Fuente: Ministerio de Industria]

<b>Resultados del PEN-83, en función de la estructura de consumo por fuentes prevista en el plan (en % sobre el consumo total)</b>		
<b>Fuente Energética</b>	<b>Previsto</b>	<b>Consumo Real</b>
<b>Carbón</b>	12,5	5,6
<b>Productos Petrolíferos</b>	63,7	65,1
<b>Gas Natural</b>	6,2	8,0
<b>Electricidad</b>	17,6	17,8
<b>Energías Renovables</b>	-	3,5

En esos momentos no se podía definir cuál era la oferta real de las energías renovables y, mucho menos, cual era la demanda de las mismas. Este conjunto es esencial para establecer medidas y respuestas para resolver los problemas que plantean su desarrollo tecnológico y comercialización.

De ahí, dicta el PEN 83, que la primera acción a emprender sea la elaboración de un Plan de Energías Renovables. Muchos de los objetivos que plantea el PEN 83 pueden favorecerse y conseguirse con la participación de las energías renovables. En este plan, se habla de biomasa como: “utilización de residuos que generalmente son quemados”

(*Plan Energético Nacional 1983-1992*). Sitúa a la biomasa, mediante una tabla de prioridades, como una de las energías renovables con mayor nivel de aplicación y un nivel tecnológico avanzado (Cuadro 3.6.1 del PEN 83). También indica su prioridad de aplicación en los 3 grandes sectores consumidores, donde la sitúa como la energía con mayor prioridad de implantación dentro del sector de industria y agricultura (Cuadro 3.6.2 del PEN 83).

A pesar de que las energías renovables no fueron integradas en las previsiones de oferta de energías primarias y no se establecieron objetivos en términos cuantitativos, es indudable que el PEN 83 opta por las energías renovables como alternativa y complemento energético para satisfacer los objetivos de política energética del estado.

Debido a los 3 principios básicos que debían regir el sistema eléctrico, dictados por el PEN 83: planificación a medio y largo plazo de las instalaciones, explotación unificada de las medidas de producción y transporte, y un sistema de percepción de ingresos que garantice la estabilidad financiera, aparecen una serie de leyes y reales decretos encaminados a cumplir con lo plasmado en esos principios básicos.

En primer lugar, en relación al segundo principio, se publica la Ley 49/1984, 26 de Diciembre, sobre Explotación Unificada del Sistema Eléctrico Nacional, donde se redacta que se generará un servicio público que optimizará la conexión entre los productores y los consumidores de energía eléctrica, es decir, se nombrará o asignará a una sociedad anónima las funciones de explotación, mantenimiento, mejora, seguridad, ampliación, etc., todo lo necesario para optimizar la explotación y conseguir un mínimo coste medio total de abastecimiento del mercado nacional. *BOE nº 312 del 29 Diciembre 1984*

En relación al tercer principio básico en los que se debía regir el PEN 83, se publica el Real Decreto 1538/1987, por el que se determina la tarifa eléctrica de las empresas gestoras del servicio con el objetivo de proporcionar un marco de referencia estable referido al sistema de ingresos de las empresas que suministran energía eléctrica. Este real decreto junto con sus normas de desarrollo, además de otras órdenes y resoluciones que se fueron publicando hasta 1995, constituyó el cuerpo del llamado "Marco Legal Estable", que definió la regulación del sector eléctrico durante los años 1988 - 1977. (Véase Imagen 1) *Marco Legal Estable 1988-97 (1987)*

Antes de que se publicara la Ley 49/1984 sobre Explotación Unificada, se publica la Orden Ministerial de 30 de Julio de 1984, por la que se establece un nuevo sistema de compensaciones en el sistema eléctrico minimizando los costes de abastecimiento del sistema eléctrico. También garantiza a las empresas la cobertura de los costes estándar objeto de compensación y promueve la competitividad entre ellas. En esta orden se determina la forma de calcular las compensaciones de generación y mercado.

Posteriormente a esta orden, aparecen dos nuevos reales decretos: el Real Decreto 91/1985, por el que se constituye Red Eléctrica de España S.A. para que gestione la

explotación unificada del sistema eléctrico nacional, de acuerdo con lo que dice la Ley 49/1984, y el Real Decreto 441/1986, por el que se establecen nuevas tarifas eléctricas, el cual será revisado y modificado por el Real Decreto 162/1987, de 6 de Febrero, por el que se actualizan las tarifas eléctricas de acuerdo con las necesidades derivadas de las variaciones de los costes del sector en el año 1987. Para diseñar esta estructura tarifaria se tendrán en cuenta los principios contenidos en la "Recomendación del Consejo de la CEE de 27 de Octubre de 1981, relativa a las estructuras tarifarias para la energía eléctrica en la Comunidad". *Comisión Europea 81/924/CEE*

#### *PER 86*

En 1986, debido a los objetivos marcados por el PEN 83 y a la necesidad de coordinar e impulsar todos los esfuerzos implicados en el desarrollo y utilización de las energías renovables para conseguir una mayor participación de las mismas en el abastecimiento energético, aparece el primer "Plan de Energías Renovables de 1986 a 1988" (en adelante PER 86-88), donde se establecen unos objetivos concretos y las medidas y acciones para conseguirlos. Este plan constó de 6 planes sectoriales, referidos a cada uno a una de las energías renovables consideradas de importancia en el momento. En lo que respecta a la biomasa, el PER 86-88 tenía como objetivo: realizar acciones de mejora de la eficiencia energética, planificación e implantación de energías renovables y actuaciones en el mercado para promover el ahorro y la diversificación de la energía. *[IDAE, 2005]*

A través de este Plan se pudo definir una política energética integral en materia de energías renovables que establecería unos objetivos concretos y unos medios y programas de acción para la consecución de los mismos. Uno de los principales logros de este Plan fue la importante labor de documentación realizada para la elaboración de mapas de recursos, con el objeto de obtener mayor precisión en cuanto al potencial de cada una de las tecnologías. *[EOI, 2015]*

También se publica el Real Decreto 1075/1986, de 2 de Mayo, por el que se establecen normas sobre las condiciones de suministros de energía eléctrica y la calidad de este servicio.

#### *PEN 91*

Entre toda esta maraña de cambios y revisiones legislativas aparece el último "Plan Energético Nacional 1991 - 2000" (en adelante PEN 91), cuyos principales objetivos son:

- La minimización de costes
- La diversificación energética
- El autoabastecimiento
- La protección ambiental

#### Principales normas del Marco Legal Estable

- REAL DECRETO 1538/1987, de 11 de diciembre, por el que se determina la tarifa eléctrica de las empresas gestoras del servicio. (BOE 16/12/87)
- ORDEN de 29 de diciembre de 1987, por la que se determinan los costes estándares de operación y mantenimiento, de estructura y de capital circulante necesarios para el suministro de energía eléctrica, y sus procedimientos de actualización. (BOE 30/12/87)
- ORDEN de 29 de diciembre de 1987, por la que se fijan los valores estándares brutos y netos y vida útil de las instalaciones de generación eléctrica que hayan entrado en explotación antes del 31 de diciembre de 1987 y el procedimiento para su actualización, así como el régimen aplicable a la "Empresa Nacional de Electricidad, Sociedad Anónima", como empresa productora no integrada en ningún subsistema. (BOE 31/12/87)
- ORDEN de 30 de diciembre de 1987, por la que se introducen cuentas especiales de activo para la Periodificación de gastos derivados de las inversiones en instalaciones complejas especializadas en explotación del sistema eléctrico. (BOE 04/01/88)
- ORDEN de 19 de febrero de 1988, por la que se regula la retribución de las empresas eléctricas integrantes del sistema eléctrico peninsular. (BOE 26/02/88)
- RESOLUCIÓN de 5 de abril de 1988 de la Dirección General de la Energía, por la que se establece la metodología que regula la retribución de las empresas eléctricas integrantes del sistema eléctrico peninsular y el sistema de incentivos.
- ORDEN de 19 de diciembre de 1988 sobre corrección de desviaciones en la determinación de la tarifa eléctrica de las empresas gestoras del servicio. (BOE 27/12/88)
- ORDEN de 22 de diciembre de 1988, por la que se determinan los costes estándares de distribución de energía eléctrica y el procedimiento para su actualización. (BOE 29/12/88)
- RESOLUCIÓN de 21 de febrero de 1989 de la Dirección General de la Energía, por la que se establecen los costes de extensión de vida útil para las centrales hidráulicas y térmicas convencionales. (BOE 10/03/89)
- RESOLUCIÓN de 26 de abril de 1989 de la Dirección General de la Energía, por la que se establecen los costes de extensión de vida útil para las instalaciones de generación nuclear. (BOE 24/05/89)
- RESOLUCIÓN de 6 de febrero de 1990 de la Dirección General de la Energía, por la que se actualiza la metodología que regula la retribución de las empresas eléctricas integrantes del sistema eléctrico peninsular y el sistema de incentivos.
- ORDEN de 3 de diciembre de 1993, por la que se establecen modificaciones en las Órdenes de desarrollo del Real Decreto 1538/1987, de 11 de diciembre, por el que se determina la tarifa eléctrica de las empresas gestoras del servicio. (BOE 15/12/93)
- ORDEN de 17 de diciembre de 1993, por la que se establecen modificaciones en la Orden de 19 de febrero de 1988, por la que se regula la retribución de las empresas eléctricas integrantes del sistema eléctrico peninsular. (BOE 22/12/93)
- REAL DECRETO 2366/1994, de 9 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables. (BOE 11/12/94)
- ORDEN de 15 de diciembre de 1995, por la que se establecen modificaciones a las Órdenes de desarrollo del Real Decreto 1538/1987, de 11 de diciembre, por el que se determina la tarifa eléctrica de las empresas gestoras del servicio. (BOE 16/12/95)

#### Imagen.- Principales Normas que componen El Marco Legal Estable 1987. [Fuente: Marco Legal Estable]

En este plan se incluye aumentar la contribución de los autogeneradores a la generación de energía eléctrica contemplando dos nuevos tipos de actividad claramente diferenciados: "la cogeneración y la generación a partir de energías renovables". [Cuerdo, M., 1999]

#### RD 2366/94

Para llevar a cabo estos objetivos, la gestión de instalaciones que cumpla con los requisitos y especificaciones descritas debe de estar incentivada, para que su régimen de producción se ajuste a las necesidades del sistema eléctrico. Para ello aparece el Real Decreto 2366/1994, de 9 de Diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, en el que se desarrolla reglamentariamente el capítulo II del Título I de la Ley 82/1980, sobre Conservación de la Energía, relativo a los requisitos y procedimientos para acogerse al régimen especial, a las condiciones de entrega de energía y al régimen económico. En este real decreto se dicta que podrán acogerse al régimen especial aquellas instalaciones que utilicen como combustible principal la "biomasa"<sup>37</sup>(90% de la energía primaria utilizada). El principal requisito es la inscripción en el Registro General de Instalaciones de Producción de Régimen Especial.

Fue el primer real decreto sobre producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables con el principal objetivo de aumentar el incentivo económico para este tipo de instalaciones y así lograr el cumplimiento de los objetivos que se planteaban

<sup>37</sup> No pueden acogerse a este RD 2366/1994 aquellas instalaciones que hubieran entrado en funcionamiento antes de la entrada en vigor de la Ley 82/1980, sobre conservación de la energía.

en el PEN 91. Este real decreto, junto con la Orden de 12 de Enero de 1995, establecen el precio de la energía entregada a la red de servicio público, mediante la aplicación de una serie de fórmulas. [Díaz, M., 2009]

### *Ley LOSEN*

El 31 de Diciembre de este mismo año, se publica, en un primer intento por reorganizar la industria eléctrica, la Ley 40/1994, de Ordenación del Sistema Eléctrico<sup>38</sup>, cuyo objetivo principal es garantizar la seguridad de suministro eléctrico, al menor coste posible y con una calidad adecuada. En líneas generales, la Ley LOSEN trató de adaptar el modelo energético español al proceso de liberalización impulsado desde la Unión Europea<sup>39</sup>. La LOSEN entre sus objetivos propuso el establecimiento de 2 regímenes diferenciados de generación eléctrica:

- Régimen ordinario → Retribución por el sistema de ofertas a través del operador del mercado.
- Régimen especial → Retribución establecida por la suma al precio de mercado de una prima fija predeterminada por el Gobierno.

La principal aportación de la Ley LOSEN al desarrollo de las energías renovables fue definir el concepto de régimen especial como base para el sistema eléctrico español. Esta ley deroga la Ley 49/1984, sobre explotación unificada, el RD 91/1985, por el que se constituye la sociedad “Red Eléctrica”, y todas aquellas disposiciones dentro de la Ley 82/1980, sobre conservación de la energía, que se opongan a esta ley, entre otras derogaciones.

En paralelo, el RD 2366/1994 explicitó los elementos del régimen especial e introdujo los reglamentos específicos de acceso prioritario a la red. [Sandoval, I. S., 2013]

### *Ley 54/1997 del Sector Eléctrico*

Desde los años 70 se iba asentando la idea de que es posible técnicamente y deseable económicamente un modelo de regulación del sector eléctrico basado en principios de mercado. Esta idea se ha aceptado totalmente en los años 90, reflejándose en una transformación profunda en la configuración jurídica de las actividades que engloba el sector eléctrico, derivado de la evolución de las fuerzas del mercado, de la innovación tecnológica y del análisis económico. Este cambio radical en el modelo de regulación de la electricidad es debido a razones tanto jurídicas como ideológicas y económicas. Las

---

<sup>38</sup> Conocida como Ley LOSEN.

<sup>39</sup> En palabras del entonces Ministro de Industria y Energía, Eguiagaray Ucelay, el propósito de esta ley fue: “[...] servir al objetivo primordial de otorgar la máxima seguridad jurídica al funcionamiento del sistema eléctrico nacional [...], sobre todo en un contexto como el europeo, en el que se han producido ya cuatro iniciativas legales en los últimos años y un debate importante sobre lo que haya de ser el mercado interior energético de la Unión Europea. *Diario de Sesiones del Congreso de los Diputados. Cortes Generales (1994)*

exigencias de apertura en el Mercado Interior Europeo<sup>40</sup> unidas a la política liberalizadora que se estaba desarrollando y a la búsqueda de la eficiencia energética mediante la apertura de la competencia, propiciaron la realización de una nueva ley que regulara y reorganizara la situación actual en el sector eléctrico. Esta es la Ley 54/1997, del Sector Eléctrico, de 27 de Noviembre, en lo relativo a los requisitos y procedimientos para acogerse al régimen especial, a los procedimientos de inscripción en el Registro correspondiente, a las condiciones de entrega de la energía y al régimen económico. [López de Castro, L., 2000]

En definitiva, tiene como fin básico establecer la regulación del sector eléctrico, con el triple y tradicional objetivo de garantizar el suministro eléctrico, garantizar la calidad de dicho suministro y garantizar que se realice al menor coste posible, todo ello sin olvidar la protección del medioambiente, aspecto que adquiere especial relevancia dadas las características de este sector económico. En la generación de energía eléctrica se reconoce el derecho a la libre instalación y se organiza su funcionamiento bajo el principio de libre competencia. La retribución económica de la actividad se asienta en la organización de un mercado mayorista. Se abandona el principio de retribución a través de unos costes de inversión fijados administrativamente a través de un proceso de estandarización de las diferentes tecnologías de generación eléctrica.

Esta ley dicta que no es necesaria la intervención estatal, solo la que la propia regulación específica supone para garantizar el suministro de energía, su calidad y su bajo coste. La presente ley, incorpora las previsiones contenidas en la Directiva 96/92/CE del Parlamento Europeo<sup>41</sup>, sobre normas comunes para el mercado interior. Por lo tanto, queda derogada la Ley 40/1994 de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional, salvo la disposición octava, y cualquier otra norma en cuanto se oponga a lo dispuesto en esta ley. [López de Castro, L., 2000]

En este mismo año 1997, se publican dos reales decretos cuya función es la de coordinar, controlar y gestionar todas las actividades realizadas desde el punto de generación hasta el punto de consumo. Estos son: el Real Decreto 2017/1997, de 26 de Diciembre, por el que se organiza y regula el procedimiento de liquidación de costes de transporte, distribución y comercialización a tarifa de los costes permanentes del sistema y de los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento, y el Real Decreto 2019/1997, de 26 de Diciembre, por el que se regula y organiza el mercado de producción de energía eléctrica.

---

<sup>40</sup> Directiva 96/92/CE

<sup>41</sup> La Directiva 96/92/CE del Parlamento Europeo establece normas comunes en materia de generación, transmisión y distribución de electricidad. Define las normas relativas a la organización y el funcionamiento del sector de la electricidad, el acceso al mercado, los criterios y procedimientos aplicables a las licitaciones y la concesión de las autorizaciones, así como la exportación de las redes. *Directiva 96/92/CE (1996)*

**RD 2818/98**

En 1998, se produce una revisión y modificación del RD 2366/1994, en la que se establecen nuevas clasificaciones dentro de los grupos de biomasa, el tipo de residuo o el tamaño de la central. También se modifican los términos umbrales de potencia, limitando la capacidad máxima de las instalaciones que quieran acogerse a esta nueva normativa marcada por el Real Decreto 2818/1998, de 23 de Diciembre, sobre producción eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. [Díaz, M., 2009]

El RD 2818/1998 es el desarrollo reglamentario de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico. En este real decreto se establece unos incentivos para aquellas instalaciones que requieren una ayuda para poder situarse en posición de competencia en el mercado libre. Para las instalaciones basadas en energías renovables y residuos no existe límite temporal debido a sus beneficios medioambientales y a que sus costes y nivel tecnológico no les permiten la competencia en un mercado libre. La nueva metodología de retribución, que este real decreto establece, se resumen en la siguiente fórmula:

$$R = P_m + P_r \pm ER$$

Donde:

- R:     Retribución en pesetas/kWh
- P<sub>m</sub>:    Precio del mercado
- P<sub>r</sub>:     Prima
- ER:     Complemento por Energía Reactiva

Este mismo año se establecen unas tarifas de acceso a las redes (RD 2820/1998), en las que los peajes serán únicos sin perjuicio de sus especialidades por niveles de tensión y uso que se haga de la red.

De forma paralela a todos estos cambios, existe una política de apoyo a las energías renovables que se puede dividir en 3 fases:

- 1º Plan de Energías Renovables (PER 86)
- 2º Plan de Energías Renovables (PER 89)
- Programa de Energías Renovables para el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (PER-PAEE, 1991 – 2000)<sup>42</sup>. Este último plan tiene unos objetivos bien definidos:

---

<sup>42</sup> PAEE → Conjunto de medidas tendentes a lograr una utilización más racional de la energía, bien con actuaciones sobre la demanda que aseguren un menor consumo de energía para los mismos niveles de actividad económica y de bienestar de los ciudadanos, bien con la promoción de nuevas modalidades de oferta energética (cogeneración y energías renovables) por agentes distintos a los tradicionales, con

- Minimización de los costes
- Diversificación de fuentes
- Potenciación de los recursos autóctonos
- Protección Medioambiental

Este programa apuesta por la sustitución del petróleo y el carbón, por el gas natural y la industria de cogeneración. [Azcárate, B. y Mingorance, A., 1996]

Según el Ministerio de Industria y Energía, en 1996, ya se habían superado los objetivos establecidos para cada uno de los grupos de energías renovables, exceptuando los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y la Biomasa, que estaban creciendo con mayor lentitud.

Tabla.- Producción de Energía Eléctrica con Energías Renovables. [Fuente: Ministerio de Industria y Energía]

	PRODUCCIÓN (GWH/AÑO)	POTENCIA (MW)
<i>Minihidráulica</i>		
Objetivo 1991/2000	2.474	779
Realizado y en ejecución 31.12.96	2.587,6	732,7
% sobre objetivo	104,6%	94,1%
<i>RSU</i>		
Objetivo 1991/2000	1.297,5	239
Realizado y en ejecución 31.12.96	686,5	94,1
% sobre objetivo	52,9%	39,4%
<i>Eólica</i>		
Objetivo 1991/2000	403	168
Realizado y en ejecución 31.12.96	1.536,9	647,5
% sobre objetivo	381,4%	385,4%
<i>Solar fotovoltaica</i>		
Objetivo 1991/2000	4,5	2,5
Realizado y en ejecución 31.12.96	6,7	3,9
% sobre objetivo	148,9%	156%
<i>Total</i>		
Objetivo 1991/2000	4.179	1.188,5
Realizado y en ejecución 31.12.96	4.817,7	1.478,2
% sobre objetivo	115,3%	124,4%

### PER 2000

En el año 2000, al término del periodo de aplicación de este PAEE, se publica un nuevo plan de fomento de energías renovables llamado “Plan de Fomento de las Energías Renovables para el periodo 2000 – 2010” (PER 2000). El principal objetivo de este plan es el de duplicar la participación de las energías renovables como energía primaria en el mercado de producción español. Se modificará y revisará en 2005 mediante el “Plan de Energías Renovables 2005 – 2010” (PER 2005). En 2004, el Balance del Plan de Fomento señalaba que era necesario introducir cambios urgentes y sustanciales en el marco en el que se desarrollaban las energías renovables en España, sobretodo la biomasa, ya que su crecimiento se estaba desarrollando sensiblemente por debajo del ritmo necesario para alcanzar los objetivos finales. De ahí que se realice una revisión del PER 2000 y aparezca el nuevo PER 2005, que coincide con la elaboración de un “Plan de Acción 2005 – 2007”, que plantea las líneas prioritarias de actuación para el lanzamiento de las

efectos beneficiosos sobre el autoabastecimiento, la eficiencia y la conservación del medioambiente. (PEN 91)

medidas contempladas en la “Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004 – 2012” (PEAEE 2004). [IDAE, 2005]

Esta revisión surge de la necesidad de establecer una nueva situación y contexto ya que, debido al crecimiento de consumo de energía, notablemente superior al previsto, y al desarrollo de las energías renovables sensiblemente inferior al previsto, las situaciones e hipótesis realizadas en el PER 2000 no eran acertadas y no se acercaban a la realidad.

#### *PEAEE 2004*

Como se ha comentado anteriormente, en 2004 aparece el PEAEE 2004 por el que se establecen una serie de medidas para cada uno de los sectores involucrados en el sistema energético español, con la intención de seguir mejorando el control, organización y desarrollo de este sistema energético, de manera que se cumplan los objetivos definidos de la forma más eficiente y sostenible posible.

Ligado a este, el “Plan de Acción de 2005” tiene la intención de inventariar y concretar las actuaciones necesarias en cada sector para llevar a cabo las medidas propuestas en el PEAEE 2004.

Durante la iniciativa del PER 2000, continuada por el PEAEE 2004 y el PER 2005, para conseguir una serie de objetivos, aparecen una serie de reales decretos que coordinan y establecen los incentivos y tarifas para cada una de las partes que componen el sistema eléctrico español. En busca de una estructuración y planificación de política energética que cumpla con los objetivos marcados tanto en los planes energéticos nacionales y de renovables como en las directivas europeas, se han sucedido y se siguen sucediendo una serie de cambios legislativos.

Tras la aparición del Real Decreto – Ley 6/2000, en el que se establecían las medidas para fomentar la competencia tras la reciente liberalización y una propuesta de estructura y actualización de precios de tarifas de acceso, era necesaria la publicación de unos reales decretos que desarrollaran esta ley en el ámbito de instalaciones acogidas a Régimen Especial. Para ello aparecen, el Real Decreto 1164/2001, de 26 de Octubre, por el que se establecen nueva nomenclatura de tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución, y nuevas tarifas de acceso, y el Real Decreto 841/2002, por el que se regula la incentivación a las empresas en régimen especial, acogidas al RD 2818/1998.

Este RD 841/2002 tiene como objetivo regular las ofertas económicas de venta de energía a través del operador del mercado de determinadas instalaciones de producción en régimen especial. Para ello incorpora un nuevo sistema de retribución del mercado basado en:

- a. El precio obtenido de la casación de las ofertas y demandas en el mercado diario y el precio obtenido de la casación en los mercados intradiarios.
- b. La retribución por la prestación de servicios en los mercados de operación del sistema: solución de restricciones técnicas, resolución de desvíos generación – consumo y servicios complementarios.
- c. El coste de la garantía de potencia de 0,009015 €/kWh, por la energía excedentaria vertida en general, y por la producción neta, en el caso de las energías renovables no consumibles.
- d. Las correcciones a que haya lugar como consecuencia de las desviaciones o alteraciones de la programación horaria final.

Las instalaciones de producción en régimen especial que realicen ofertas a través del mercado de producción y estén acogidas al RD 2818/1998, percibirán por la energía excedentaria realmente vertida las primas que le correspondan en aplicación de dicho real decreto.

En este mismo año 2002, el RD 2017/1997, será modificado por el Real Decreto 1432/2002, de 27 de Diciembre, por el que se establece una nueva metodología para la aprobación o modificación de la tarifa eléctrica media o de referencia. A partir de la entrada en vigor de este real decreto la tarifa eléctrica medio o de referencia se establecerá como relación entre los costes previstos necesarios para retribuir las actividades destinadas a realizar el suministro de energía eléctrica y la previsión, para el mismo periodo considerado, de la demanda en consumidor final determinada por el Ministerio de Economía.

La demanda prevista se calculará aplicando la variación real de la demanda de cada sistema peninsular, insular y extrapeninsular en el año móvil correspondiente al último mes cerrado, previo a la determinación de la tarifa media, sobre el consumo real en este mismo año móvil, teniendo en cuenta las pérdidas de transporte y distribución.

Los costes previstos para retribuir las actividades destinadas al suministro de energía eléctrica a considerar en el cálculo de la tarifa eléctrica media o de referencia incluirán:

- Costes de producción.
- Costes de transporte.
- Costes de distribución.
- Costes de comercialización.
- Costes permanentes del sistema.
- Costes de diversificación y seguridad de abastecimiento.
- Descuento de costes doblemente contabilizados.
- Coste correspondiente al desajuste de ingresos de las actividades reguladas anterior a 2003.

- Costes correspondientes a las revisiones derivadas de los costes de generación extrapeninsular.

#### *RD 436/2004*

En 2004, se publica un nuevo real decreto, que modifica y deroga los RD 2818/1998 y RD 841/2002, presentando una nueva metodología de retribución en el sistema eléctrico español. Este es el Real Decreto 436/2004, de 12 de Marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Se establece una nueva división de las instalaciones acogidas al régimen especial. Es más flexible en cuanto a los requerimientos a las centrales de biomasa, reduciendo los porcentajes de consumo de combustible principal, que tiene que superar la misma para acogerse a este real decreto. A diferencia del RD 841/2002, las instalaciones con potencias superiores a 10 MW deberán comunicar a la distribuidora una previsión de su producción de energía eléctrica, en cada uno de los periodos de programación. Este real decreto introduce un nuevo término o incentivo a la participación en el mercado eléctrico, para aquellas instalaciones que decidan basar su retribución en la venta libre de su energía en el mercado eléctrico.

#### *RD 661/2007*

Como sustitución del RD 436/2004, se publica en 2007, un real decreto que ha marcado una época dentro de la planificación energética española y en el desarrollo de las energías renovables en España. El Real Decreto 661/2007, de 25 de Mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. El RD 661/2007 establece unos objetivos de potencia instalada coincidentes con los del “Plan de Energías Renovables 2005”, un complemento de energía reactiva y otro para incentivar la eficiencia de aquellas instalaciones a las que se le exija un rendimiento eléctrico equivalente y aquellas cogeneraciones con potencia entre 50 – 100 MW.

Con la entrada en vigor de este real decreto, la liquidación de las tarifas, primas y complementos lo hará la Comisión Nacional de la Energía, acción que antes hacía la empresa distribuidora a la que le correspondiera. Este real decreto no tiene carácter retroactivo. En lo que respecta a plantas de generación cuyo combustible principal sea la biomasa (Grupo B), en concreto las que utilicen residuos forestales y agrícolas, cultivos energéticos y otras operaciones silvícolas (Grupo B.6), la planta recibirá:

- ✓ La prima: que será una cantidad adicional al precio que resulte del mercado organizado. (Artículo 36 del RD 661/2007)
- ✓ El complemento de Reactiva: toda instalación acogida al régimen especial recibirá un complemento que se fija como un porcentaje en función del factor de potencia con el que se entregue la energía. Este complemento será de 7.8441 c€/kWh, que será revisado anualmente. (Anexo V del RD 661/2007)

Los importes de las tarifas del grupo B se actualizarán anualmente tomando como referencia el incremento del IPC menos el valor establecido en la disposición adicional primera de este RD, que indica que el valor de referencia establecido para el IPC será de 25 puntos básicos<sup>43</sup> hasta el 31 de Diciembre de 2012 y de 50 puntos básicos a partir de entonces.

El RD 661 también introduce la novedad de reconocer como un derecho de los productores en régimen especial la prioridad en el acceso y conexión a la red eléctrica frente a las generadoras en régimen ordinario. (Anexo XI del RD 661/2007).

Debido a que la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico Español está basada de acuerdo con las previsiones contenidas en la Directiva 96/92/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad en materia de generación, transmisión y distribución de electricidad, tras la publicación de la Directiva 2003/54/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de Junio de 2003, por la cual se establecen nuevas normas comunes para completar el mercado interior de la electricidad y que deroga a la 96/92/CE, es obvio, que la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico debía ser revisada y rectificada en aquellos puntos en los que fuera afectada por el cambio de normas en la directiva europea. Para realizar estas modificaciones aparece la Ley 17/2007, de 4 de Julio, por la que se modifica la Ley 54/1997, para adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/54/CE.

Ya en 2006, mediante el Real Decreto – Ley 7/2006, de 23 de Junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector eléctrico, también se modifica la Ley 54/1997, debido a la directiva 2004/8/CE, relativa al fomento de la cogeneración y generación con fuentes de energía renovable, que modifica a la Directiva 92/42/CEE, sobre de requisitos de rendimiento de las calderas.

Por lo tanto, la Ley 54/1997, del Sector Eléctrico, queda modificada en primer lugar por la Ley 7/2006 y, posteriormente, por la Ley 17/2007.

### *PER 2011*

Todos estos cambios y el continuo estudio para el apoyo y fomento de la utilización de energías renovables para la generación de energía, hace que en 2008 se comience a estudiar la necesidad de realizar un nuevo plan de energías renovables debido a que se acercaba la finalización de vigencia del PER 2005. La finalización de este plan unido a los nuevos objetivos establecidos en la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Abril de 2009, relativa al fomento del uso de fuentes renovables, hace que en el año 2010, se publique el nuevo “Plan de Energías Renovables 2011 – 2020” (PER 2011). Este PER 2011 se basa en un diagnóstico sobre la situación de las energías

---

<sup>43</sup> En terminología de análisis financiero, el término “punto básico” se refiere a una milésima de punto porcentual. Por ejemplo, si se rebaja desde un 5,75% a un 5,50% el tipo de interés, se dice que la rebaja ha sido de 250 puntos básicos. [48]

renovables en España en el año 2010, y en la definición de unos escenarios de futuro que contienen hipótesis sobre la evolución de un buen número de parámetros en el horizonte del año 2020, determinantes para la implantación de estas tecnologías. [PER, 2011]

En 2009 se publica el Real Decreto 6/2009, de 30 de Abril, por el que se adoptan medidas en el sector energético y se aprueba el bono social. Este real decreto vuelve a modificar algunas partes de la Ley 54/1997, además de apartados puntuales del RD 661/2007, pero sin modificar la metodología de aplicación de las tarifas en régimen especial. Este RD 6/2009 estableció límites para acotar el incremento del déficit tarifario sin conseguirlo, ya que tras su aprobación se han producido una serie de circunstancias sobrevenidas que han tenido una incidencia directa sobre la previsión del déficit tarifario del sistema eléctrico y que han determinado que los límites máximos de déficit establecidos se hayan visto ampliamente superados.

En consecuencia, aparece el Real Decreto – Ley 14/2010, de 23 de Diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico, cuyo objetivo es abordar con carácter urgente la corrección de ese déficit tarifario. En primer lugar, dado que las instalaciones de generación, especialmente las de régimen especial, han experimentado un crecimiento significativo, se ha producido un incremento de las inversiones en las redes de transporte y distribución. Esto hace que, en los tiempos de déficit y crisis actual, se aplique un peaje a los generadores actuales para que contribuyan a pagar esas inversiones y costes generados, fijándose este peaje en 0,5 €/MWh, tomando como referencia el marco establecido al respecto por la normativa vigente de la Unión Europea. En segundo lugar, para reducir los costes imputables a la tarifa, se establece que las empresas productoras del régimen ordinario financiarán el “Plan de Acción 2008 – 2012”. En tercer lugar, es razonable que los productores en régimen especial también contribuyan para mitigar el sobrecoste del sistema, por lo que, en los últimos meses se han estado aprobando una serie de medidas regulatorias dirigidas a productores de energía eólica, termosolar y cogeneración. Por último, este RD también indica que es necesario aumentar las propuestas generales del estado para poder tener aval para hacer frente al déficit.

Debido al gran aumento de las instalaciones de generación de energía eléctrica acogidas al régimen especial, aparece la necesidad de modificar y actualizar el RD 661/2007, sobre todo para energías con un crecimiento excesivo como la solar fotovoltaica y eólica. Para ello, aparece el Real Decreto 1565/2010, de 19 de Noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Este real decreto establece el complemento de reactiva en un porcentaje del valor 8,2954 c€/kWh<sup>44</sup>.

---

<sup>44</sup> Rango de factor de potencia obligatorio de referencia entre 0,98 capacitivo y 0,98 inducido.

Las medidas adoptadas hasta la fecha no han sido suficientes para poder llegar a suprimir el déficit tarifario. Este déficit constituye en sí mismo una barrera para el adecuado desarrollo del sector en su conjunto y en particular para la continuación de las políticas de fomento a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable y alta eficiencia.

Por otro lado, los objetivos recogidos en el recientemente aprobado PER 2011, hace disponer al gobierno de un margen de maniobra para actuar sobre la senda de la implantación de instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuente de energía renovable. También hay que añadir que la capacidad de generación instalada en este momento es necesaria para asegurar la cobertura de la demanda prevista para los próximos años. La compleja situación económica y financiera aconseja la supresión de incentivos para la construcción de estas instalaciones, al menos hasta que se solucione el principal problema del sistema eléctrico: “el déficit tarifario”.

#### *RD-Ley 1/2012*

Por lo tanto, resulta necesario diseñar un nuevo modelo retributivo, suprimiendo los regímenes económicos incentivadores para ciertas instalaciones acogidas al régimen especial y ordinario de las mismas tecnologías. Aparece pues, el Real Decreto – Ley 1/2012, de 27 de Enero, por el que se procede a la supresión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energías renovables y residuos. Las instalaciones ya inscritas en el Registro de Preasignación de Retribución antes de la entrada en vigor de este real decreto – ley, seguirán recibiendo los incentivos económicos que le correspondan en función de lo descrito en el RD 661/2007 y en sus posteriores modificaciones.

Según la Directiva 2009/72/CE<sup>45</sup>, de 13 de Julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad, se requieren unas modificaciones, en materia de energía, de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico para adoptar nuestro sistema eléctrico al mercado, por la Comunidad Europea. A causa de esto, se publica el Real Decreto – Ley 13/2012, de 30 de Marzo, para introducir esas nuevas directrices y modificar las partes necesarias de la Ley 54/1997. También se incorpora a este real decreto la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes de energía renovable, con el fin de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero, así como de promover la eficiencia energética y reducir la contaminación debida al transporte.

---

<sup>45</sup> Esta directiva deroga a la Directiva 2003/54/CE, por la que se establecen nuevas normas comunes para el mercado interior de la electricidad en 2003.

### *Ley 15/2012*

La coyuntura económica y déficit tarifario que se está viviendo en estos momentos junto a otras circunstancias tales como el cambio climático, calentamiento global, cuidado del medioambiente, hace que a finales de este año 2012, el gobierno decida aplicar medidas urgentes y duras sobre las instalaciones de generación. Para ello, el gobierno publica la Ley 15/2012, del 27 de Diciembre, de Medidas Fiscales para la Sostenibilidad Energética, en la cual se fija un canon o impuesto a pagar sobre el valor de la producción de energía eléctrica. Este impuesto será del 7% de la base imponible de lo recibido por la exportación anual de energía eléctrica, entrando en vigor a partir del 1 de Enero de 2013.

El 20 de Diciembre de 2012, la Comisión Nacional de la Energía publica un informe en el que se realiza una propuesta de Orden para establecer los peajes de acceso, tarifas y primas de las instalaciones de régimen especial a partir del 1 de Enero de 2013. Esto da lugar a la publicación de la Orden Ministerial IET/221/2013, del 14 de Febrero, por la que se establecen esos peajes y tarifas para instalaciones de régimen especial a partir del 1 de Enero de 2013.

Los datos comunicados por la Comisión Nacional de Energía en su informe 35/2012, de 20 de diciembre, sobre la propuesta de orden por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2013 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial, ha puesto de manifiesto la aparición de nuevas desviaciones en las estimaciones de costes e ingresos motivadas por distintos factores, tanto para el cierre de 2012 como para 2013 que, en el contexto económico actual, harían casi inviable la cobertura de los mismos con cargo a los peajes eléctricos y a las partidas previstas provenientes de los Presupuestos Generales del Estado.

Estas desviaciones se deben en gran medida a un mayor crecimiento del coste del régimen especial por un incremento en las horas de funcionamiento superior a las previstas y por un incremento de los valores retributivos por su indexación a la cotización del Brent, y a una minoración de los ingresos por peajes por una caída de la demanda muy acusada que se consolida para este ejercicio.

La alternativa que se plantea sería un nuevo incremento de los peajes de acceso que pagan los consumidores eléctricos. Esta medida afectaría de manera directa a las economías domésticas y a la competitividad de las empresas, ambas en una delicada situación dada la actual coyuntura económica.

Ante este escenario, el Gobierno ha considerado para paliar este problema la adopción de determinadas medidas urgentes de reducción de costes que eviten la asunción de un nuevo esfuerzo por parte de los consumidores, contribuyendo a que éstos, mediante el consumo y la inversión, puedan colaborar también a la recuperación económica.

### *RD-Ley 2/2013*

Por lo cual, se publica el Real Decreto – Ley 2/2013, de 1 de Febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero, en el que se adoptan las siguientes decisiones para disminuir los costes del sector eléctrico:

- Actualizaciones de retribuciones de actividades del sistema eléctrico vinculadas al Índice de Precios de Consumo (IPC). Con efectos desde el 1 de enero de 2013, en todas las metodologías que, estando vinculadas al Índice de Precios de Consumo, rigen la actualización de las retribuciones, tarifas y primas que perciban los sujetos del sistema eléctrico por aplicación de la normativa sectorial, se sustituirá dicho índice por el Índice de Precios de Consumo a impuestos constantes sin alimentos no elaborados ni productos energéticos.
- Modificaciones en el RD 661/2007:
  - En las tablas 1 y 2 del artículo 35, se modifica el valor de la prima de referencia de todos los subgrupos, que pasa a tener un valor de 0 c€/kWh.
  - En la tabla 3 del artículo 36, se modifica el valor de la prima de referencia de todos los subgrupos, que pasa a tener un valor de 0 c€/kWh y se suprimen los valores de los límites superiores y límites inferiores.
- Opción de venta de electricidad. Las instalaciones que a la entrada en vigor del presente real decreto estuvieran vendiendo su electricidad mediante la metodología del precio resultante del mercado organizado pasarán automáticamente a la metodología de venta de electricidad mediante tarifa regulada, salvo que comuniquen de forma expresa a la Dirección General de Política Energética y Minas su deseo de permanecer en la otra opción.

Entre los años 2004 y 2012 los ingresos del sistema eléctrico por peajes de los consumidores se han incrementado en un 122 por ciento, mientras que el aumento de los costes regulados del sistema en dicho periodo ha sido de un 197 por ciento. De entre las partidas de costes que han contribuido en mayor medida a dicho incrementodestacan las primas del régimen especial y las anualidades de déficits acumulados, partidas que se han multiplicado por seis y por nueve respectivamente en dicho periodo. Estas cifras dan cuenta del carácter insostenible del déficit del sector eléctrico y de la necesidad de adoptar medidas urgentes de vigencia inmediata que permitan poner término a dicha situación. Estas circunstancias hacen patente tanto la necesidad imperiosa de adoptar de forma inmediata una serie de medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico como, a la par, la pertinencia de acometer una revisión del marco regulatorio que permita su adaptación a los acontecimientos que definen la realidad del sector en cada periodo determinado en aras del mantenimiento de la sostenibilidad del sistema eléctrico.

### *RD-Ley 9/2013*

En base a estos principios, y en línea con las modificaciones anteriormente referidas, se publica el Real Decreto – Ley 9/2013, de 12 de Julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico. En este real decreto se articula, con carácter urgente, una serie de medidas, equilibradas, proporcionadas y de amplio alcance, destinadas a garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico como presupuesto ineludible de su sostenibilidad económica y de la seguridad de suministro, y dirigidas a todas las actividades del sector eléctrico.

EL RD – Ley 9/2013 modifica, entre muchos otros, el artículo 30.4 de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, donde se redacta la metodología de cálculo de la retribución por la venta de energía eléctrica generada. Las instalaciones podrán percibir una retribución específica compuesta por un término por unidad de potencia instalada, que cubra, cuando proceda, los costes de inversión de una instalación tipo que no pueden ser recuperados por la venta de la energía y un término a la operación que cubra, en su caso, la diferencia entre los costes de explotación y los ingresos por la participación en el mercado de dicha instalación tipo. Para el cálculo de dicha retribución específica se considerarán, para una instalación tipo, a lo largo de su vida útil regulatoria y en referencia a la actividad realizada por una empresa eficiente y bien gestionada:

- a) Los ingresos estándar por la venta de la energía generada valorada al precio del mercado de producción.
- b) Los costes estándar de explotación.
- c) El valor estándar de la inversión inicial.

Expresado mediante una ecuación, podría verse de la siguiente forma:

$$\text{Retribución Total (€)} = \text{Precio Mercado (€/kWh)} + \text{Retribución a la Operación (€/kWh)} + \text{Retribución a la inversión (€/kWh)}$$

Este régimen retributivo no sobrepasará el nivel mínimo necesario para cubrir los costes que permitan competir a las instalaciones en nivel de igualdad con el resto de tecnologías en el mercado y que posibiliten obtener una rentabilidad razonable por referencia a la instalación tipo en cada caso aplicable. Con esta modificación queda derogado el RD 661/2007. Entraría en vigor a partir del 13 de Julio de 2013.

Para evitar que el crecimiento del coste del régimen y la disminución de ingreso por peajes, debido al fomento de las energías renovables, afecten a las economías domésticas, se concede un crédito extraordinario por importe de 2.200.000.000 €, para poder cubrir o hacer cobertura a parte de los costes originados en el sistema eléctrico por el empleo de fuentes de energía renovable. Esto está dictaminado en la Ley 15/2013, de 17 de Octubre, por la que se establece la financiación con cargo a los Presupuestos Generales del Estado de determinados costes del sistema eléctrico.

### *Ley 24/2013*

Los continuos cambios normativos han supuesto una importante distorsión en el normal funcionamiento del sistema eléctrico, algo que es necesario corregir con una actuación del legislador que aporta la estabilidad regulatoria que la actividad eléctrica necesita. Esta seguridad regulatoria, unida a la necesidad de acometer las reformas necesarias para garantizar la sostenibilidad del sistema a largo plazo y de resolver las señaladas deficiencias existentes en el funcionamiento del sistema, aconsejan la aprobación de una reforma global del sector, basada en un nuevo régimen de ingresos y gastos del sistema eléctrico, que trate de devolver al sistema una sostenibilidad financiera perdida hace largo tiempo y cuya erradicación no se ha conseguido hasta la fecha, mediante la adopción de medidas parciales. Esta reforma se realiza a través de la publicación de la Ley 24/2013, de 26 de Diciembre, del Sector Eléctrico, cuyo objetivo es establecer la regulación del sector eléctrico con una finalidad de garantizar el suministro de energía eléctrica, y de adecuarlo a las necesidades de los consumidores en términos de seguridad, calidad, eficiencia, objetividad, transparencia y el mínimo coste.

En esta ley se sigue manteniendo la misma metodología de retribución establecida en el RD – Ley 9/2013 y añade que:

- ✓ El valor de la inversión inicial se determinará mediante el procedimiento de concurrencia competitiva para otorgar el régimen retributivo adicional a cada instalación.
- ✓ La energía eléctrica imputable a la utilización de un combustible en una instalación de generación que utilice como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles no será objeto de régimen retributivo específico, salvo en el caso de instalaciones híbridas entre fuentes de energía renovables no consumibles y consumibles, en cuyo caso la energía eléctrica imputable a la utilización de la fuente de energía renovable consumible sí podrá ser objeto de régimen retributivo específico.

También define que se desarrollarán programas de renovación de instalaciones de cogeneración y residuos, en el marco normativo que determine el sistema de obligaciones de eficiencia energética derivado de la aplicación de la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo<sup>46</sup>, de 25 de Octubre de 2012, y con la finalidad de contribuir al objetivo nacional de eficiencia energética.

---

<sup>46</sup> La presente Directiva establece un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión a fin de asegurar la consecución del objetivo principal de eficiencia energética de la Unión de un 20 % de ahorro para 2020, y a fin de preparar el camino para mejoras ulteriores de eficiencia energética más allá de ese año. En ella se establecen normas destinadas a eliminar barreras en el mercado de la energía y a superar deficiencias del mercado que obstaculizan la eficiencia en el abastecimiento y el consumo de energía. Asimismo, se dispone el establecimiento de objetivos nacionales orientativos de eficiencia energética para 2020.

Con la entrada en vigor de esta nueva Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, se producen una serie de cambios y derogaciones importantes, entre las que destacan:

- Derogación de la Ley 54/1997, salvo las disposiciones adicionales sexta, séptima, vigésima primera y vigésima tercera.
- Se modifica la disposición adicional primera del RD – Ley 14/2010.
- Derogación de los artículos 3 y 4 del RD – Ley 2/2013.
- Con efectos desde el 19 de Octubre de 2013, queda derogada la Ley 15/2013.
- Se modifica la disposición adicional cuarta del RD – Ley 9/2013.
- Otras normas de igual o inferior rango.

#### *RD 413/2014*

Tras esta nueva Ley del Sector Eléctrico, como última reforma legislativa, referida al ámbito de la producción de energía eléctrica mediante el uso de fuentes de energía renovable, se publica el Real Decreto 413/2014, de 6 de Junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, cogeneración y residuos. En este real decreto se desarrollan los principios concretos establecidos en el RD 9/2013, sobre el régimen retributivo aplicable a instalaciones de producción de energía a partir de la utilización de fuentes renovables, y que has sido integrados en la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico.

El ámbito de aplicación del Real Decreto 413/2014, son las instalaciones de cogeneración, las instalaciones que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no fósiles (solar, eólica, hidroeléctrica y centrales que utilicen como combustible principal biolíquidao, biogás y biomasa), así como las instalaciones que utilicen residuos como energía primaria.

Su contenido se basa en los derechos y obligaciones de los productores, en el régimen retributivo específico y en los procedimientos y registros administrativos. El régimen retributivo, se basa en distintos estándares por tecnologías (IT), en los que se establece:

- 1.- Clasificación de las instalaciones tipo, en función de su tecnología, potencia instalada, antigüedad del sistema eléctrico, etc.
- 2.- El conjunto de parámetros retributivos que le corresponde a cada instalación tipo, referidos a ingresos estándar por la venta de energía, costes estándar de explotación, el valor de la inversión inicial y de la vida útil regulatoria, a horas equivalentes de funcionamiento de instalación, etc.
- 3.- Qué parámetros pueden ser actualizados en cada periodo o semiperiodo regulatorio.

La retribución total es la suma de la retribución por la venta de energía al mercado y de la retribución específica de cada tecnología, que depende a su vez de las retribuciones a la inversión y a la operación. [APPA, 2018]

Como ya se ha comentado, en este real decreto se hace una clasificación de los diferentes tipos de instalaciones y se les asigna un código. A cada una de ellas le corresponderá un conjunto de parámetros retributivos:

- ✓ Retribución a la inversión (€/MW). Para calcular este valor se tendrá en cuenta el valor estándar de la inversión inicial que resulte del procedimiento de concurrencia competitiva que se establezca para otorgar el régimen retributivo específico a cada instalación. Por lo tanto, se multiplicará la retribución a la inversión, de la instalación tipo asociada, por la potencia con derecho a régimen retributivo específico, sin perjuicio de la corrección en función del número de horas equivalentes de funcionamiento.
- ✓ Retribución a la operación (€/MWh). Para cada periodo de liquidación se multiplicarán la retribución a la operación, de la instalación tipo asociada, por la energía vendida en el mercado de producción en cualquiera de sus formas de contratación en dicho periodo, imputable a la fracción de potencia con derecho a régimen retributivo específico, sin perjuicio de la corrección en función del número de horas equivalentes de funcionamiento.

Para el cálculo de la energía imputable a la fracción de potencia con derecho a régimen retributivo específico se multiplicará la energía correspondiente por el ratio resultante de dividir la potencia con derecho a régimen retributivo específico entre la potencia instalada:

$$\text{Energía Imputable} = \text{Energía} \times (\text{Potencia Reg.} / \text{Potencia Inst.})$$

Para calcular la potencia con derecho a régimen retributivo específico se tomará como valor la potencia inscrita en el registro en estado de explotación para dicha instalación.

- ✓ Incentivo a la inversión por reducción del coste de generación.
- ✓ Vida útil regulatoria.
- ✓ Nº de horas de funcionamiento mínimo
- ✓ Umbral de funcionamiento
- ✓ Nº de horas de funcionamiento máximas a efectos de la percepción de la retribución a la operación.
- ✓ Límites anuales superiores e inferiores del precio del mercado.
- ✓ Precio medio anual del mercado diario e intradiario.

Serán parámetros retributivos aquellos necesarios para calcular los anteriores:

- ✓ Valor estándar de la inversión inicial de la instalación tipo.
- ✓ Estimación del precio del mercado diario e intradiario.
- ✓ Nº de horas de funcionamiento de la instalación tipo.
- ✓ Estimación del ingreso futuro por la participación en el mercado de producción.

- ✓ Otros ingresos de explotación como ayudas públicas o de otro carácter.
- ✓ Tasa de actualización que toma como valor el de la rentabilidad razonable.
- ✓ Coeficiente de ajuste de la instalación tipo.
- ✓ Valor neto del activo.

Los criterios para aplicar este régimen retributivo específico a una instalación comprendida en los grupos B.6, B.7 y B.8 son:

1. Que se conecte a un mismo punto de red, tipo subestación, centro de transformación.
2. Que la diferencia entre sus fechas de inscripción definitiva en el registro de administración de instalaciones de producción de energía eléctrica no se superior a 60 meses.

Los caracteres retributivos que le corresponden a cada instalación tipo se establecen en la Orden IET/1045/2014, de 16 de Junio, por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

El RD 413/2014 establece una serie de plazos de revisión de parámetros. Cada periodo regulatorio (6 años), pueden revisarse o prorrogarse los parámetros retributivos mediante una Ley aprobada por el Congreso. No podrá modificarse el valor de la inversión inicial y la vida útil reconocidas a la instalación. Cada semiperiodo regulatorio (3 años), se hacen estimaciones de ingresos por la venta de energía y se realiza el ajuste por desviaciones en el precio del mercado del semiperiodo anterior.

Además, semestralmente (Orden 1345/2015), se revisan los valores de retribución a la operación para tecnologías cuyos costes de explotación dependa esencialmente del precio del combustible (cogeneración, biomasa y residuos). Con la publicación de los posteriores Reales Decretos, se establecen convocatorias para la asignación de MW (RD 947/2015: 200 MW biomasa y 500 MW eólica) y para subastas tecnológicas (RD 315/2017: 3.000 MW para subasta neutra; RD 615/2017: 3.000 MW para subasta eólica y fotovoltaica).

Entre las distintas órdenes que complementan al RD 413/2014, destacan la Orden 1045/2014, en la que se aprueban instalaciones tipo y se establecen los parámetros retributivos de 2013-2016; y la ya mencionada Orden 1345/2015, que establece revisiones de la retribución a la operación, que ha sido atajada semestralmente desde 2015 a través de las posteriores órdenes. [APPA, 2018]

A partir de estas, se han publicado más órdenes con especificaciones o actualizaciones a las anteriores:

- Orden 1168/2014, por la que se determina la fecha de inscripción automática de determinadas instalaciones en el registro de régimen retributivo específico.
- Orden 1344/2015, por la que se aprueban las instalaciones tipo y sus correspondientes parámetros retributivos, aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Orden 1953/2015, por la que se modifica la Orden IET/1459/2014, por la que se aprueban los parámetros retributivos y se establece el mecanismo de asignación del régimen retributivo específico para nuevas instalaciones eólicas y fotovoltaicas en los sistemas eléctricos de los territorios no peninsulares.
- Orden 2735/2015, por la que se establecen los peajes de acceso de energía eléctrica para 2016 y se aprueban determinadas instalaciones tipo y parámetros retributivos de instalaciones de producción de energía eléctrica.
- Orden 1209/2016, por la que se establecen los valores de la retribución a la operación correspondientes al segundo semestre natural del año 2016 y se aprueba una instalación tipo y sus correspondientes parámetros retributivos.
- Orden 130/2017, por la que se actualizan los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, a efectos de su aplicación al semiperiodo regulatorio que tiene su inicio el 1 de Enero de 2017.
- Orden 555/2017, por la que se establecen los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a las instalaciones de tratamiento y reducción de purines.
- Orden 1046/2017, por la que se establecen los valores de la retribución a la operación correspondientes al segundo semestre natural del año 2017. Se aprueban instalaciones tipo y se establecen sus correspondientes parámetros retributivos, aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica.
- Orden 360/2018, por la que se establecen los valores de la retribución a la operación correspondientes al segundo semestre natural del año 2018, se aprueban instalaciones tipo y se establecen sus correspondientes parámetros retributivos, aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica.

## Análisis del Régimen Económico

Una vez hecho un repaso a la evolución del marco regulatorio en el área de las energías renovables, se va a realizar en este apartado un estudio de cómo ha ido variando el régimen económico en relación a los numerosos cambios de metodologías de planificación energética, metodologías de distribución del sector eléctrico y metodologías de retribuciones que se han ido sucediendo a lo largo de las últimas décadas.

### *RD 2366/1994*

Como se ha comentado en el apartado anterior, no fue hasta los años 80 cuando se empezaron a realizar las primeras políticas de apoyo a las energías renovables y comenzaron a aparecer las primeras normativas que tenían en cuenta las energías renovables como una alternativa energética que había que fomentar y ayudar para favorecer su crecimiento, desarrollo e implantación. Pero no fue hasta la entrada en vigor del RD 2366/1994, donde se produce la primera gran actuación sobre el régimen retributivo al que se acogían las instalaciones de producción de energía eléctrica con fuentes de energía renovable, introduciéndolas en el régimen especial. [Díaz, M., 2009]

En base a, la entrada en vigor de este real decreto y a que no es hasta principios de los años 90, cuando se empiezan a construir las primeras plantas de generación de energía eléctrica con biomasa [APPA, 2011], se van a tomar el cambio retributivo, generado por el RD 2366/1994, como punto de inicio o de partida de esta parte del estudio del régimen económico.

Anteriormente a este RD 2366/1994, el régimen retributivo estaba basado principalmente en la retribución de unas tarifas de venta de energía eléctrica, aplicadas por las empresas acogidas al Sistema Integrado de Facturación de Energía Eléctrica (SIFE). Estas tarifas se iban actualizando atendiendo a los costes previstos para el ejercicio económico del siguiente año.

El RD 2366/1994, junto con la Orden de 12 de Enero de 1995, por la que se establecen las tarifas eléctricas, cambian por completo esta metodología de retribución teniendo en cuenta la potencia eléctrica de la instalación, como parámetro determinante de la tensión teórica de entrega, y la garantía de potencia, características de la energía, y periodos horarios como elementos de medida de la calidad de la energía entregada. El precio de venta de la energía cedida por los productores al sistema eléctrico se componía por un término de facturación de potencia, un término de facturación de energía y, cuando proceda, recargos o descuentos como consecuencia de la discriminación horaria o el factor de potencia.

La facturación total de la energía cedida será la que resulte la fórmula:

$$F_t = (PF * T_p + E_c * T_e \pm DH \pm ER) * K_f - AI$$

Donde:

- ✓  $F_t$  → Facturación en €
- ✓  $PF$  → Potencia a facturar expresada en kW calculada mediante:

$$P_{gd} = P_g * (d - d_o / 1 - d_o)$$

Donde:

- $P_{gd}$  → Potencia garantizada disponible
- $P_g$  → Potencia garantizada
- $d$  → Disponibilidad garantizada de la central en tanto por uno
- $d_o$  → 0,30, disponibilidad por debajo de la cual no se abona término de potencia

\*La potencia a facturar se determinará por las siguientes condiciones:

- ✓ Una potencia garantizada:  $PF = P_{gd}$
- ✓ Dos potencias garantizadas:  $PF = 0,8 P_{gd}(p \text{ y } II) + 0,2 P_{gd}(v)$
- ✓ Tres potencias garantizadas:  $PF = 0,5 P_{gd}(p) + 0,3 P_{gd}(II) + P_{gd}(v)$
- ✓  $T_p$  → Término de potencia de aplicación de acuerdo con la tabla 4.
- ✓  $E_c$  → Energía cedida medida en kWh.
- ✓  $T_e$  → Término de energía de aplicación de acuerdo con la tabla 4.

Tabla.- Términos de energía y potencia para instalaciones con potencia igual o inferior a 25 MVA o de cualquier potencia incluidas en la planificación, acogidas al régimen especial. [Fuente: Orden de 12 de Enero de 1995]

Tipo de instalación	Potencia Instalada	$T_p$ (€/kW y mes) <sup>47</sup>	$T_e$ (€/kWh)
Grupo a	$P \leq 100$	2,098	0,070
Grupo b	$P \leq 100$	4,189	0,062
Grupos c, d y e	$P \leq 15$	10,734	0,049
	$15 < P \leq 30$	10,398	0,047
	$30 < P \leq 100$	10,085	0,045
Grupo f	$P \leq 10$	2,098	0,070

- ✓  $DH$  → Complemento de discriminación horaria. Se calcula:

$$CH = T_{ej} * (\sum E_i * (C_i / 100))$$

<sup>47</sup> Los precios que aparecen en el RD 2366/1994 están en pesetas. Se realiza la conversión a Euros utilizando el valor de 1€ = 166,386 pesetas.

Donde:

- CH → Recargo o Descuento.
- Ei → Energía Consumida en cada uno de los periodos horarios definidos para cada tipo de discriminación horaria.
- Ci → Coeficiente de recargo o descuento.
- Tej → Precio del término de energía de la tarifa general<sup>48</sup> de media utilización correspondiente a la tensión de suministro.

Para los generadores acogidos al régimen especial, según dice el RD 2366/1994, se podrá elegir entre 3 tipos de discriminación horaria:

- ✓ Tipo 2<sup>49</sup>: Discriminación horaria con contador de doble tarifa. De uso general. El coeficiente de recargo y la duración de cada periodo será:

Tabla.- Coeficiente Discriminación Horaria Tipo 2. [Fuente: Elaboración Propia]

Periodo Horario	Duración	Coeficiente
<b>Horas Punta</b>	4 horas / día	+ 40
<b>Horas Llano y Valle</b>	20 horas / día	-

- ✓ Tipo 3: Discriminación con contador de triple tarifa, sin discriminación de sábado y festivos. De uso general. Los coeficientes de recargo y duración de cada periodo son:

Tabla.- Discriminación Horaria Tipo 3. [Fuente: Elaboración Propia]

Periodo Horario	Duración	Coeficiente
<b>Horas Punta</b>	4 horas / día	+ 70
<b>Horas Llano</b>	12 horas / día	-
<b>Horas Valle</b>	8 horas / días	-43

- ✓ Tipo 4: Discriminación horaria con contador de triple tarifa y discriminación de sábados y festivos. De uso general. Los coeficientes de recargo y duración de cada periodo son:

<sup>48</sup> Para el caso de instalaciones integradas en el Grupo b, la tarifa será la llamada Tarifa 2.2 de las tarifas aplicables por las empresas acogidas al Sistema Integrado de Facturación de Energía Eléctrica (SIFE) publicadas en la Orden del 14 de Octubre de 1983, la cual desarrollo el RD 2660/1983, por el que se establecen nuevas tarifas eléctricas.

<sup>49</sup> Para las instalaciones que opten calcular la potencia como el cociente entre la energía entregada y el número de horas.

Tabla.- Discriminación Horaria Tipo 4. [Fuente: Elaboración Propia]

Periodo Horario	Duración	Coficiente
<b>Horas Punta</b>	6 horas / día de Lunes a Viernes	+ 70
<b>Horas Llano</b>	10 horas / día de Lunes a Viernes	-
<b>Horas Valle</b>	8 horas / días de Lunes a Viernes 24 horas / día en Sábados y Domingos	-43

Este complemento de discriminación horaria será de aplicación a todos los suministros de tarifa de alta tensión, entre los que se encuentra la Tarifa 2.2 (Grupo b).

- ✓ ER → Complemento por energía reactiva. Es un valor porcentual aplicable a la facturación básica (Kr). Se basa en un recargo o descuento en función del factor de potencia que consiga la instalación. Si el factor de potencia es mayor a 0,9 el complemento será un abono para el generador y si fuese inferior un descuento. Este factor de potencia se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\cos \varphi = W_a / (\sqrt{W^2_a + W^2_r})$$

Donde:

- $W_a$  → Cantidad registrada por el contador de energía activa.
- $W_r$  → Cantidad registrada por el contador de energía reactiva.

El valor porcentual Kr, aplicable a la facturación básica, se calcula a partir de este factor de potencia:

$$Kr (\%) = (17 / \cos^2 \varphi) - 21$$

Cuando el valor sea negativo se aplicará una bonificación en porcentaje igual al valor absoluto del mismo. La aplicación de esta fórmula da los siguientes resultados:

Tabla.- Complemento de energía reactiva según el factor de potencia. [Fuente: Elaboración Propia]

Cos $\varphi$	Descuento (%)	Abono (%)
<b>1,00</b>	-	4,0
<b>0,95</b>	-	2,2
<b>0,90</b>	0	0
<b>0,85</b>	2,5	-
<b>0,80</b>	5,6	-
<b>0,75</b>	9,2	-

- ✓ Kf → Coeficiente que se determina a partir de:

$$Kf = Kc * Kp$$

Donde:

- Kc → Coeficiente de costes incluidos en tarifas no evitados. Tendrá unos valores para cada tipo de instalación:

**Tabla.- Coeficiente costes incluidos en tarifas no evitados. [Fuente: Elaboración Propia]**

Tipo de Instalación	Potencia Instalada	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5 y sig.
<b>Grupo b</b>	P ≤ 100 MVA	0,90	0,88	0,86	0,85	0,85

- Kp → Coeficiente de aportación a la política energética. Este coeficiente tendrá un valor para el Grupo b de 1,07.
- ✓ Al → Incumplimiento de potencia garantizada. En el caso de que dentro de un periodo horario determinado la energía que se entrega se produzca con una potencia inferior a la potencia garantizada, el producto tendrá que realizar un abono (como una devolución) en relación a esa energía cedida con potencia inferior y a las horas de cada periodo horario donde se haya producido:

$$\text{Periodo de Punta} = ((0,5 * Tp) / Hp) + Te + ((Ci / 100) * Tej)$$

$$\text{Periodo de Llano} = ((0,3 * Tp) / Hll) + Te$$

$$\text{Periodo de Valle} = ((0,2 * Tp) / Hv) + Te + ((Ci / 100) * Tej)$$

Donde:

- ✓ Tp → Término de Potencia
- ✓ H → Horas del periodo horario
- ✓ Te → Término de energía
- ✓ Ci → Coeficiente de recargo o descuento aplicado
- ✓ Tej → Término de energía correspondiente a media utilización de acuerdo con la tarifa de aplicación.

### RD 2818/1998

El Real Decreto 2366/1994 quedó obsoleto tras la liberación del mercado eléctrico español con la entrada en vigor de la Ley 54/1997, del Sector Eléctrico. Esta ley establecía un modelo basado en la libre competencia en la generación y la existencia de

un régimen especial de producción de energía eléctrica, como régimen diferenciado del ordinario.

En este contexto, como desarrollo reglamentario de esta ley, en lo que se refiere al régimen especial, se aprobó el Real Decreto 2818/1998, de 23 de Diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración, que establece un sistema de incentivos para aquellas instalaciones de régimen especial con potencia igual o inferior a 50 MW, necesario para situar a las mismas en posición de competencia en un mercado libre. Para las instalaciones basadas en energías renovables y de residuos, dicho sistema de incentivos no tiene límite temporal ya que, por sus especiales características y nivel tecnológico, los mayores costes de este tipo de instalaciones no les permite la competencia en un mercado libre. [Díaz, M., 2009]

Este nuevo sistema retributivo está basado en:

$$R = P_m + P_R \pm E_R$$

Donde:

- ✓ R → Retribución €/kWh.
- ✓ P<sub>m</sub> → Precio de mercado. Según los datos del Operador del Mercado Eléctrico (OMEL), para el año 1998 el precio medio ponderado del mercado era de 0,026 €/kWh generado.
- ✓ P<sub>r</sub> → Prima establecida. Este real decreto establece una nueva clasificación en los diferentes tipos de instalaciones que se pueden acoger al régimen especial, estando la biomasa integrada en el Grupo b.6. La prima para este grupo b.6 será de 0,03 €/kWh<sup>50</sup>. Las instalaciones del grupo b.6 también podrán optar por no aplicar las primas establecidas y aplicar en todas las horas un precio total a percibir de 0,065 €/kWh<sup>51</sup>.
- ✓ E<sub>R</sub> → Complemento por energía reactiva. Será el considerado con carácter general en la normativa de tarifas. Si el factor de potencia es superior a 0,9, supondrá un abono para el productor. De lo contrario supondrá un descuento. Por lo tanto, el complemento de energía reactiva

---

<sup>50</sup> La prima será de 5,07 pesetas / kWh generado. Esta prima se actualizará anualmente por el Ministerio de Industria y Energía, teniendo en cuenta el precio medio de venta de la electricidad, que se aplicará sobre la suma del precio de mercado y la prima. Para ello el Ministerio de Industria y Energía deberá estimar el precio de mercado medio anual:

$$PM = I / E$$

Donde:

- ✓ I → Ingresos previstos por la venta de electricidad, sin IVA ni otro tributo.
- ✓ E → Energía suministrada prevista.

<sup>51</sup> Precio total de 10,83 pesetas / kWh generado. Estos precios se actualizarán de la misma forma que se ha detallado anteriormente.

se calculará de la misma forma que en el modelo retributivo anterior, marcado por la Orden de 12 de Enero de 1995.

A parte de estos complementos, según el Real Decreto 2019/1997, de 26 de Diciembre, por el que se regula y organiza el mercado de energía eléctrica tendrán derecho a percibir retribución por “*garantía de potencia*” las unidades de producción que estén obligadas a presentar ofertas en el mercado de producción, siempre que acrediten un funcionamiento de 100 horas equivalentes a plena carga durante los últimos 5 años. Según la Orden de 29 de Diciembre de 1997, por la que se regulan algunos aspectos del RD 2019/1997, en el caso de instalaciones de producción de energía eléctrica acogidas al régimen especial el coste por garantía de potencia se considerará incluido en su precio de retribución.

Un año más tarde, se publica la Orden de 17 de Diciembre de 1998, por la que se modifica la Orden de 29 de Diciembre de 1997, donde se ratifica que no tendrá derecho a cobro de garantía de potencia la energía producida por instalaciones acogidas al régimen especial.

Con la liberación del mercado eléctrico, se establecen unas tarifas de acceso a las redes que deberán de ser pagadas por aquellas instalaciones que utilicen las redes de transporte y distribución de energía eléctrica, con el fin de poder soportar los costes derivados de su utilización y explotación. Según el Real Decreto 2820/1998, de tarifa de acceso a las redes, esta tarifa será de aplicación para los autoprodutores, consumidores, distribuidores, etc. que exporten o utilicen las redes, sin hacer mención o diferenciación a las instalaciones acogidas al régimen especial. Por lo tanto, se considera que el régimen especial no está exento de pagar esos peajes y desvíos, al igual que el régimen ordinario.

Estas tarifas se componen por 2 términos: Un término de potencia y un término de energía. Dependiendo de si son tarifas de acceso de alta tensión o de baja tensión, el método de cálculo de estos 2 términos es diferente. Teniendo en cuenta las características de las instalaciones y tecnologías sobre biomasa, base de este estudio, se van a considerar los cálculos mediante las tarifas de acceso de alta tensión. Por lo tanto, esta tarifa estará compuesta por:

- ✓ Potencia a facturar: el término de facturación de potencia será el sumatorio resultante de multiplicar la potencia contratada en cada periodo tarifario por el término de potencia correspondiente.

$$FP = \sum T_p * P_c$$

Donde:

- $P_c$ : Potencia contratada en el periodo tarifario en kW.

- Tp: Precio anual del término de potencia del periodo tarifario.
- ✓ Término de facturación de energía: será el sumatorio resultante de multiplicar la energía consumida en cada periodo tarifario por el precio término de energía correspondiente.

$$FE = \sum Ei * Te$$

Donde:

- Ei: Energía entregada en el periodo tarifario en kWh.
- Te: Precio del término de energía del periodo tarifario.

Según dice este real decreto, además de estos 2 términos, la tarifa también puede estar compuesta, en su caso, por los complementos de discriminación horaria y por energía reactiva. Estos complementos se aplican cuando se esté hablando de baja tensión. Aspecto que es modificado con la entrada en vigor del Real Decreto 1164/2001, de 26 de Octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica, en el que se establece que las tarifas de acceso de alta tensión tendrán también el componente de la energía reactiva en su facturación, aplicándose un valor o tarifa a la energía reactiva producida en cada uno de los periodos tarifarios.

#### *RD 841/2002*

El sistema retributivo dispuesto en el RD 2818/1998 es modificado varios años después por el Real Decreto 841/2002, de 2 de Agosto, por el que se regula para instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción, y la adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida. Esto sucede debido a que se publican, mediante el RD – Ley 6/2000, una serie de medidas urgentes encaminadas a fomentar la competencia dentro del nuevo sistema eléctrico liberalizado. Esta serie de medidas requieren que se realice un desarrollo reglamentario del RD – Ley 6/2000 en el ámbito de las instalaciones acogidas al Régimen Especial.

Con este fin se publica el RD 841/2002, el cual presenta una modificación del modelo retributivo establecido para las instalaciones acogidas al régimen especial y que opten por vender su electricidad libremente en el mercado. Esta retribución está compuesta por:

- El precio obtenido de la casación de las ofertas y de las demandas en el mercado diario y el precio obtenido de la casación en los mercados intradiarios.

- La retribución por la prestación de servicios en los mercados de operación del sistema: solución de restricciones técnicas, resolución de desvíos generación-consumo y servicios complementarios.
- El coste de garantía de potencia de 0,009015 €/kWh, por la energía excedentaria vertida en general, y por la producción neta, en el caso de las energías renovables no consumibles.
- Las correcciones a que haya lugar como consecuencia de las desviaciones o alteraciones de la programación horaria final.

Por lo tanto, añadiendo el nuevo complemento, el modelo retributivo quedaría tal que:

$$R = P_m + PR \pm ER + G_p$$

Donde:

- ✓ R → Retribución.
- ✓ P<sub>m</sub> → Precio de mercado.
- ✓ Pr → Prima establecida.
- ✓ ER → Complemento por energía reactiva.
- ✓ G<sub>p</sub> → Garantía de potencia.

Las primas aplicables en este real decreto no se modificarán con respecto al RD 2818/1998.

Este nuevo complemento de garantía de potencia, que se empezará a cobrar a partir de 2002 por las instalaciones de producción de energía eléctrica acogidas al régimen especial, solo será de aplicación para aquellas instalaciones que decidan vender su electricidad libremente en el mercado y participar en él.

#### *RD 436/2004*

Con la intención de llegar a cumplir con los objetivos marcados en el PER 2000, se vuelve a realizar una nueva modificación en la metodología de retribución de la producción de energía eléctrica en régimen especial. Con la publicación del Real Decreto 436/2004, de 12 de Marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, se establece un régimen económico basado en una metodología de cálculo de la retribución compatible con la metodología para la aprobación o modificación de la tarifa eléctrica media o de referencia, regulada por el RD 1432/2002.

Se diferencian 2 opciones para la venta de la energía eléctrica producida en régimen especial:

1.- Ceder la electricidad a una empresa distribuidora a cambio de un precio fijo de venta, expresado en forma de tarifa regulada, establecido para todos los periodos de programación.

1.a.- La tarifa regulada que recibirán las instalaciones que decidan ceder la electricidad a una empresa distribuidora consistirá en un porcentaje de la tarifa eléctrica media o de referencia definida para cada año.

1.b.- El complemento de reactiva vendrá definido por un porcentaje de la tarifa eléctrica media o de referencia de cada año (Tabla 11).

1.c.- El coste de los desvíos de producción de energía generados en los diferentes periodos de programación. Este coste será solo aplicable a las instalaciones que decidan vender su electricidad mediante tarifa regulada y que tengan una potencia instalada superior a 10 MW, ya que están obligadas a notificar o realizar una programación de su producción en cada periodo, con anterioridad al inicio del mismo. Será de aplicación para desviaciones entre la programación y la producción real de más del 5%. En el caso de que el desvío sea mayor a 5%, el coste del desvío será el 10% del resultado de multiplicar la tarifa eléctrica media o de referencia por la suma de los desvíos que se hayan producido en el mismo periodo para el que se estén realizando los cálculos.

$$R_{reg} = (E_i * T_{reg}) \pm ER - D_p$$

Donde:

- $R_{reg}$ : Retribución con tarifa regulada.
- $E_i$ : Energía cedida.
- $T_{reg}$ : Tarifa regulada.
- $ER$ : Complemento de energía reactiva.
- $D_p$ : Desvíos de producción.

Según el Real Decreto 1802/2003, de 26 de Diciembre, por el que se establece la tarifa para el año 2004, la tarifa regulada para instalaciones del grupo b.6 en el año 2004 es de 6,8575 c€/kWh cedido.

2.- Vender la electricidad libremente en el mercado. Por lo tanto, el precio de venta de la electricidad será el precio que resulte del mercado organizado o precio negociado, complementado por un incentivo y por una prima, si le corresponde.

2.a.- Las instalaciones que decidan vender la electricidad libremente al mercado recibirán un porcentaje de entre el 80 – 90 % de la tarifa eléctrica media o de referencia de cada año, más un complemento por incentivo, más una prima, en el caso de que le corresponda.

2.b.- La prima consistirá en un porcentaje de la tarifa eléctrica media o de referencia de cada año. Este porcentaje será del 40%.

2.c.- Estas instalaciones también recibirán un incentivo por participación en el mercado que consistirá en un porcentaje de la tarifa eléctrica media o de referencia de cada año, correspondiente a un 10% de la misma.

2.d.- El complemento de reactiva vendrá definido por un porcentaje de la tarifa eléctrica media o de referencia de cada año (Tabla 11).

2.e.- Según se expone en la disposición adicional segunda de este real decreto, tendrán derecho a un complemento por garantía de potencia aquellas instalaciones acogidas al régimen especial que hayan optado por vender su energía libremente en el mercado.

$$R_m = (E_i * (T_m + P_r + I_m)) + G_p \pm E_R$$

Donde:

- R<sub>m</sub>: Retribución con tarifa de mercado.
- E<sub>i</sub>: Energía cedida.
- T<sub>m</sub>: Tarifa de mercado.
- P<sub>r</sub>: Prima.
- I<sub>m</sub>: Incentivo por participación en el mercado.
- G<sub>p</sub>: Garantía de Potencia.
- E<sub>R</sub>: Complemento de energía reactiva.

Tabla.- Complemento de Reactiva según el RD 436/2004. [Fuente: Elaboración Propia]

<b>Complemento por Energía Reactiva</b>				
<b>Tipo de Factor de Potencia</b>	<b>Energía Activa y Reactiva</b>	<b>Bonificación por ciento</b>		
		<b>Punta</b>	<b>Llano</b>	<b>Valle</b>
<b>Inductivo</b>	Factor de Potencia < 0,95	-4	-4	8
	< 0,96 y ≥ 0,95	-3	0	6
	< 0,97 y ≥ 0,96	-2	0	4
	< 0,98 y ≥ 0,97	-1	0	2
	< 1 y ≥ 0,98	0	2	0
	1	0	4	0
<b>Capacitivo</b>	< 1 y ≥ 0,98	0	2	0
	< 0,98 y ≥ 0,97	2	0	-1
	< 0,97 y ≥ 0,96	4	0	-2
	< 0,96 y ≥ 0,95	6	0	-3
	< 0,95	8	-4	-4

A la entrada en vigor del RD 436/2004, la Tarifa Media o de Referencia para el año 2004 es de 7,2072 c€/kWh. Según el RD 1802/2003, la prima correspondiente a instalaciones del grupo b.6.2 es de 3,325 c€/kWh cedido.

En este Real Decreto aparece también el término de Garantía de Potencia, que consiste en un cobro por parte de aquellas instalaciones acogidas al régimen especial que hayan optado por vender su energía libremente en el mercado.

#### *RD 661/2007*

En el año 2007, se prevé necesaria una modificación del régimen jurídico y económico que regula el régimen especial debido al gran crecimiento que ha experimentado este régimen en los últimos años y al comportamiento que han experimentado los precios de mercado, en el que en los últimos tiempos han tomado más relevancia ciertas variables no consideradas en el régimen retributivo para el régimen especial de años anteriores, lo que conlleva a un cambio en el esquema retributivo, desligándolo de la Tarifa Eléctrica Media o de Referencia.

Para ello se publica el Real Decreto 661/2007, de 25 de Mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en Régimen Especial. En este real decreto, al igual que en el anterior, se diferencia entre 2 mecanismos de retribución:

- Ceder la electricidad a una empresa distribuidora a cambio de una tarifa regulada. Aquellas instalaciones que decidan vender su electricidad mediante tarifa regulada, también podrán acogerse, con carácter voluntario, al régimen de discriminación horaria de 2 periodos, donde recibirán:
  - Para periodos de punta el resultado de multiplicar el valor de la tarifa regulada que le corresponda por 1,0462.
  - Para periodos de valle el resultado de multiplicar el valor de la tarifa regulada que le corresponda por 0,9670.
  
- Vender la electricidad en el mercado al precio que resulte en el mercado organizado más una prima, según le corresponda. Además, se establecen unos límites inferiores y superior para esta suma. Por lo tanto, la prima se calcula:
  - Si el resultado de la suma entre el precio del mercado y la prima, se encuentra entre el límite inferior y el límite superior, el valor a percibir será la prima establecida para esa hora.
  - Si el resultado de la suma es inferior o igual al límite inferior, el valor a percibir será la diferencia entre el límite inferior y el precio de mercado de esa hora.

- Para valores comprendidos entre el resultado de restar el límite superior y la prima de referencia y el límite superior, la prima a percibir será la diferencia entre el límite superior y el precio de mercado de referencia para esa hora.
- Si el precio de mercado es mayor al límite superior, la prima a percibir será 0 en esa hora.

Independientemente de la metodología de retribución que se elija, toda instalación acogida al régimen especial recibirá un complemento de energía reactiva, que se fijará con un porcentaje del valor 7,8441 c€/kWh, en función del factor de potencia con el que se entregue la energía. El porcentaje del factor de potencia viene representado en la tabla 11.

Tabla.- Complemento de Energía Reactiva según el RD 661/2007. [Fuente: *Elaboración Propia*]

<b>Complemento por Energía Reactiva</b>				
<b>Tipo de Factor de Potencia</b>	<b>Energía Activa y Reactiva</b>	<b>Bonificación por ciento</b>		
		<b>Punta</b>	<b>Llano</b>	<b>Valle</b>
<b>Inductivo</b>	Factor de Potencia < 0,95	-4	-4	8
	< 0,96 y ≥ 0,95	-3	0	6
	< 0,97 y ≥ 0,96	-2	0	4
	< 0,98 y ≥ 0,97	-1	0	2
	< 1 y ≥ 0,98	0	2	0
	1	0	4	0
<b>Capacitivo</b>	< 1 y ≥ 0,98	0	2	0
	< 0,98 y ≥ 0,97	2	0	-1
	< 0,97 y ≥ 0,96	4	0	-2
	< 0,96 y ≥ 0,95	6	0	-3
	< 0,95	8	-4	-4

Si el operador del sistema lo indica, este valor podrá ser modificado.

Tendrán derecho al cobro de una retribución por garantía de potencia aquellas instalaciones acogidas al régimen especial que hayan optado por vender libremente su energía en el mercado. Se les aplicará las mismas condiciones, normativa, legislación y reglamentación que a los productores de energía eléctrica en régimen ordinario.

Tabla.- Complemento de Garantía de Potencia según el RD 1802/2003. [Fuente: Elaboración Propia]

Garantía de Potencia (€/kwh)	6 Periodos	A.T. y 3 Periodos	B.T. y 3 Periodos	2 Periodos (Punta y Llano, Valle)	1 Periodo (Punta, Llano y Valle)
Periodo 1	0,007934	0,007934	0,013427	0,013222	0,013222
Periodo 2	0,003662	0,004272	0,004272	0	-
Periodo 3	0,002441	0,000000	0,000000	-	-
Periodo 4	0,001831	-	-	-	-
Periodo 5	0,001831	-	-	-	-
Periodo 6	0,000000	-	-	-	-

Por lo tanto, este complemento será el resultado de multiplicar los kilovatios hora exportados en cada periodo horario por el valor establecido para cada uno de ellos.

Como ya se ha comentado anteriormente, tras el RD 661/2007 se producen muchas modificaciones del mismo debido al déficit tarifario que aborda el sistema eléctrico español:

- ✓ El RD – Ley 14/2010 aplica peajes de acceso a las redes de 0,5 €/MWh cedido.
- ✓ El RD 1565/2010 fija el complemento de reactiva en 8,2954 c€/kwh, siempre que el factor de potencia se encuentre entre el 0,98 capacitivo y el 0,98 inductivo.
- ✓ A partir del 1 de Enero de 2012 se suprime la concesión de las primas y complementos para las nuevas instalaciones (RD 1/2012).
- ✓ Se fija un impuesto del 7% de la retribución recibida por la venta de la energía eléctrica generada (Ley 15/2012).
- ✓ Otras modificaciones.

#### RD 413/2014

En 2013, con la publicación del RD – Ley 9/2013, se produce un cambio en la metodología de la retribución a la producción de energía, pero no es hasta el 6 de Junio de 2014, tras la publicación de la nueva Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, cuando se desarrollan sus principios concretos mediante la publicación del RD 413/2014, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables, cogeneración y residuos.

En este real decreto, junto con la Orden IET/1045/2014, se establecen una serie de instalaciones tipo a las que se les asignará unos parámetros retributivos correspondientes a las características básicas de cada planta.

La retribución a la inversión se calcula según la siguiente fórmula:

$$Rinv_{j,a} = C_{j,a} \cdot VNA_{j,a} \cdot \frac{t_j \cdot (1 + t_j)^{VR_j}}{(1 + t_j)^{VR_j} - 1}$$

Donde:

- ✓ **Rinv:** Retribución a la inversión anual por unidad de potencia que le corresponde a la instalación tipo con autorización de explotación definitiva en el año “a”, cada año del semiperiodo regulatorio “j”, expresado en €/MW. El valor de Rinv es el mismo en cada año de un semiperiodo regulatorio.
- ✓ **C:** Coeficiente de ajuste de la instalación tipo con autorización de explotación definitiva en el año “a” para el semiperiodo regulatorio “j”, expresado en tanto por uno. El coeficiente de ajuste representa el tanto por uno de los costes de inversión de la instalación tipo que no pueden ser recuperados por la venta de energía en el mercado. Para el cálculo del coeficiente de ajustes se considerará el calor neto del activo de la instalación tipo al inicio del periodo regulatorio, la estimación de los ingresos y de los costes de explotación de la instalación tipo hasta el final de su vida útil regulatoria, y la tasa de actualización correspondiente. El coeficiente de ajuste se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_{j,a} = \frac{VI_a - \sum_{i=a}^{a+VU-1} \frac{Ingfi - Cexpfi}{(1 + t_j)^{i-a+1}}}{VI_a}$$

Donde:

- **VI:** Valor estándar de la inversión inicial de la instalación, expresada en €/MW.
- **a:** Año de autorización de explotación definitiva de la instalación tipo.
- **VU:** Vida útil regulatoria de la instalación tipo, expresada en años.
- **Ingf:** Estimación de los ingresos de explotación futuros por unidad de potencia que percibirá la instalación tipo en el año “i” hasta el fin de su vida útil regulatoria. Los ingresos de explotación incluirán los ingresos procedentes de la venta de energía en el mercado y, en su caso, los ingresos derivados de la retribución a la operación y otros ingresos regulados. Expresado en €/MW.

- **Cexpf:** Estimación del coste futuro de explotación, por unidad de potencia, de la instalación tipo en el año “i” hasta el fin de su vida útil regulatoria, expresado en €/MW.
- **t:** Tasa de actualización que toma como valor el de la rentabilidad razonable establecida para el semiperiodo regulatorio “j”, expresada en tanto por uno.

El coeficiente de ajuste estará entre 0 y 1. Para valores menores que “0” se tomará “0” y para valores mayores que “1” se tomará “1”.

- ✓ **VR:** Vida residual de la instalación tipo, entendida como el número de años que le faltan al inicio del semiperiodo regulatorio “j” a la instalación tipo para alcanzar su vida útil regulatoria, según el valor establecido por orden del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- ✓ **t:** Tasa de actualización que toma como valor el de la rentabilidad razonable establecida para el semiperiodo regulatorio “j”, expresada en tanto por uno.
- ✓ **VNA:** Valor neto del activo por unidad de potencia, al inicio del semiperiodo regulatorio “j”, para la instalación tipo con autorización de explotación definitiva en el año “a”, expresada en €/MW. El valor neto del activo de la instalación tipo por unidad de potencia será función del valor neto del activo al inicio del semiperiodo regulatorio anterior, de la estimación de ingresos y costes con la que se realizó el cálculo de los parámetros retributivos en el semiperiodo anterior y del valor de ajuste por desviación en el precio del mercado en el semiperiodo regulatorio anterior, todos ellos actualizados con el valor de la tasa de actualización correspondiente.

Para plantas cuyo año de autorización de explotación definitiva es igual o superior al año de inicio del semiperiodo regulatorio “j”, el VNA es igual al Valor Estándar de la inversión inicial de la instalación (VI). Para instalaciones anteriores al semiperiodo regulatorio “j” (“j-1”) el VNA será:

$$VNA_{j,a} = \left[ VI_a(1 + t_{j-1})^{p-a} - \sum_{i=a}^{p-1} (Ing_{i,j-1} - Cexp_{i,j-1} - Vajdm_{i,j-1})(1 + t_{j-1})^{p-i-1} \right]$$

Donde:

- a) **VNA:** Valor neto del activo por unidad de potencia, al inicio del semiperiodo regulatorio “j”, para la instalación tipo con autorización de explotación definitiva en el año “a”, expresada en €/MW.

- b) **VI:** Valor de la inversión inicial de la instalación tipo con autorización de explotación definitiva en el año “a” por unidad de potencia, expresada en €/MW.
- c) **a:** Año de autorización de explotación definitiva de la instalación tipo.
- d) **p:** Primer año del semiperiodo regulatorio “j”.
- e) **t:** Tasa de actualización con la que se calcularon los parámetros retributivos en el semiperiodo regulatorio anterior “j-1”.
- f) **Ingf:** Estimación de los ingresos de explotación futuros de la instalación tipo que se consideró en el cálculo de los parámetros retributivos del semiperiodo “j-1” para el año “i”, por unidad de potencia, expresado en €/MW.
- g) **Cexp:** Estimación del coste futuro de explotación de la instalación tipo que se consideró en el cálculo de los parámetros retributivos del semiperiodo “j-1” para el año “i”, por unidad de potencia, expresado en €/MW.
- h) **Vajdm:** Valor de ajuste de desviaciones en el precio del mercado en el año “i” del semiperiodo regulatorio “j-1” expresado en €/MW. Para cada instalación tipo se establecerán 2 límites superiores (LS1 y LS2) y 2 límites inferiores (LI1 y LI2), en torno al precio estimado del mercado que ha sido considerado en el cálculo de los parámetros retributivos. Si el precio medio anual del mercado diario e intradiario se encuentra fuera de esos límites, se calcularán las desviaciones del precio del mercado de la siguiente manera:
- a) En el caso de que el precio medio anual del mercado diario e intradiario haya sido superior a LS2:

$$Vajdm_{i,j} = Nh_{i,j} * 0,5 * (LS1_{i,j} - LS2_{i,j}) + Nh_{i,j} * (LS2_{i,j} - Pm_{i,j})$$

- b) En el caso de que el precio medio anual del mercado diario e intradiario se haya situado entre LS1 y LS2:

$$Vajdm_{i,j} = Nh_{i,j} * 0,5 * (LS1_{i,j} - Pm_{i,j})$$

- c) En el caso de que el precio medio anual del mercado diario e intradiario en el año “i” haya resultado mayor que LI1 y menor que LS1:

**Vajdm = 0**

- d) En el caso de que el precio medio anual del mercado diario e intradiario en el año “i” se haya situado entre LI1 y LI2:

$$Vajdm_{i,j} = Nh_{i,j} * 0,5 * (LI1_{i,j} - Pm_{i,j})$$

- e) En el caso de que el precio medio anual del mercado diario e intradiario en el año “i” haya sido inferior a LI2:

$$Vajdm_{i,j} = Nh_{i,j} * 0,5 * (LI1_{i,j} - LI2_{i,j}) + Nh_{i,j} * (LI2_{i,j} - Pm_{i,j})$$

El ingreso por la retribución a la operación se calcula mediante la fórmula:

$$Ing_{Ro} = \sum_1^i Ro_i \cdot E_{ri}$$

Donde:

- ✓ **Ro:** Retribución a la operación de la instalación tipo correspondiente al combustible “i”.
- ✓ **Eri:** Energía eléctrica vendida en el mercado de producción, generada a partir de la utilización del combustible “i”.

$$E_{ri} = E \frac{C_i}{C_b}$$

Donde:

- **E:** Energía eléctrica total vendida, generada a partir de todos los combustibles.
- **Ci:** Energía primaria total procedente del combustible “i” (calculada por mas y PCI).
- **Cb:** Energía primaria total procedente de todos los combustibles.

Según la Orden IET/1045/2014, los valores retributivos a aplicar en la retribución económica para una planta de generación de energía eléctrica con biomasa son:

- ✓ **Vida útil:** 25 años.

- ✓ **Valor estándar de la inversión inicial:** Este valor es un valor estimado y establecido por el gobierno para cada una de las instalaciones tipo consideradas en el Anexo VIII de la Orden IET/1045/2014 (Tabla 14).

**Tabla.- Parámetros Retributivos establecidos para las instalaciones tipo cuyo combustible principal sea B6, en función del año de permiso de explotación definitiva. [Fuente: RD 413/2014]**

Código de Identificación	Vida Útil Regulatoria (años)	Coeficiente de ajuste C <sub>1,a</sub>	Retribución a la Inversión Rinv 2014-2016 (€/MWh)	Retribución a la Operación Ro (€/MWh) 2014	Horas de funcionamiento máximo para la percepción de Ro (h)	Nº Horas equivalentes de funcionamiento mínimo Nh (*) Anual 2014-2016 (h)	Umbral de funcionamiento Uf (*) Anual 2014-2016 (h)	Porcentajes aplicables a Nh y Uf anuales, para el cálculo del nº de horas equivalentes de funcionamiento mínimo y del umbral de funcionamiento de los periodos de 3, 6 y 9 meses (%)		
								3 meses	6 meses	9 meses
IT-00836	25	1,000	209.928	54,126	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00837	25	1,000	217.291	54.211	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00838	25	1,000	230.244	54,361	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00839	25	1,000	238.827	54,460	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00840	25	1,000	249.932	53,201	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00841	25	1,000	266.452	52,721	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00842	25	1,000	279.620	50,943	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00843	25	1,000	293.579	51,106	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00844	25	1,000	296.513	-	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00845	25	1,000	299.536	-	6.500	3.000	1.000	18%	37%	55%
IT-00849	25	1,000	269.039	46,396	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00850	25	1,000	215.970	45,782	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00851	25	1,000	210.424	45,717	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00852	25	1,000	134.761	39,080	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00853	25	1,000	121.554	38,927	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00854	25	1,000	120.428	38,914	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00855	25	1,000	127.753	38,999	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00856	25	1,000	126.517	38,985	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00857	25	1,000	120.943	38,920	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00858	25	1,000	121.905	37,658	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00859	25	1,000	125.809	36,489	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00860	25	1,000	128.825	35,363	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00861	25	1,000	148.687	35,593	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00862	25	1,000	171.304	35,855	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00863	25	1,000	194.972	36,129	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%
IT-00864	25	1,000	217.308	35,277	6.500	3.000	1.000	10%	20%	30%

2009  
↓  
2016

Los códigos para saber cuál es la instalación tipo que corresponde a una planta de combustión de biomasa del grupo B6 se obtienen en el Anexo I de la citada Orden (Tabla 15).

**Tabla.- Clasificación y codificación de las instalaciones tipo en función del combustible utilizado y el año de autorización de explotación definitiva. [Fuente: RD 413/2014]**

**ANEXO I**

Equivalencia entre categorías, grupos y subgrupos del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, y del Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, con las del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, así como las diferentes instalaciones tipo y sus códigos correspondientes

Las tablas de este anexo no asignan códigos e instalaciones tipo para aquellos subgrupos tecnológicos para los que no existe ninguna instalación afectada por la disposición adicional segunda del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio.

En todo caso, las instalaciones acogidas a la disposición transitoria primera del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, se entenderán incluidas en las correspondientes categorías, grupos y subgrupos del artículo 2 de dicho real decreto.

6. Instalaciones de la categoría b) del artículo 2 del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo.

Clasificación de las tarifas según el Real Decreto 661/2007				Clasificación de las instalaciones tipo según el Real Decreto 413/2014						
Grupo	Subgrupo	Combustible	Rango de potencia	Grupo	Subgrupo	Combustible	Rango de potencia	Subtipo de tecnología	Año de autorización de explotación definitiva	Código Instalación Tipo
b.6	b.6.1 / b.6.2 / b.6.3	-	Cualquier potencia	b.6	-	-	-	-	2009	IT-00838
b.6	b.6.1 / b.6.2 / b.6.3	-	Cualquier potencia	b.6	-	-	-	-	2010	IT-00839
b.6	b.6.1 / b.6.2 / b.6.3	-	Cualquier potencia	b.6	-	-	-	-	2011	IT-00840
b.6	b.6.1 / b.6.2 / b.6.3	-	Cualquier potencia	b.6	-	-	-	-	2012	IT-00841
b.6	b.6.1 / b.6.2 / b.6.3	-	Cualquier potencia	b.6	-	-	-	-	2013	IT-00842
b.6	b.6.1 / b.6.2 / b.6.3	-	Cualquier potencia	b.6	-	-	-	-	2014	IT-00843
b.6	b.6.1 / b.6.2 / b.6.3	-	Cualquier potencia	b.6	-	-	-	-	2015	IT-00844
b.6	b.6.1 / b.6.2 / b.6.3	-	Cualquier potencia	b.6	-	-	-	-	2016	IT-00845

En el caso de que la instalación consumiera otro tipo de combustible, además de B6, se estaría hablando de una hibridación tipo 1, por lo que los ingresos que le corresponderían a la instalación por la retribución a la inversión se calcularía según:

$$Ingr = Rinv_{b6} \cdot P_{re} \cdot \frac{Pt_{b6} + Pt_{b8}}{Pt_{b6} + Pt_{b8} + Pt_{c2}} + Rinv_{c2} \cdot P_{re} \cdot \frac{Pt_{c2}}{Pt_{b6} + Pt_{b8} + Pt_{c2}}$$

Donde:

- Ingr: Ingresos anuales procedentes de la retribución a la inversión que le corresponden a una instalación híbrida tipo 1.
- Rinv<sub>b6</sub>: Retribución a la inversión de la instalación tipo correspondiente al grupo b.6.
- Pre: Potencia con derecho a régimen retributivo específico, expresada en MW.
- Pt<sub>b6</sub>: Potencia térmica de los equipos térmicos instalados para el consumo de los combustibles del grupo b.6, expresada en MW térmicos.
- Pt<sub>b8</sub>: Potencia térmica de los equipos térmicos instalados para el consumo de los combustibles del grupo b.8, expresada en MW térmicos.
- Rinv<sub>c2</sub>: Retribución a la inversión de la instalación tipo correspondiente al grupo c.2.

- $P_{tc2}$ : Potencia térmica de los equipos térmicos instalados para el consumo de los licores negros del grupo c.2, expresada en MW térmicos.
- ✓ **Horas Equivalentes de Funcionamiento:** Son las horas equivalentes máximas de funcionamiento a las cuales cada instalación tiene el derecho a percibir la retribución a la operación. En el caso de este tipo de plantas, el número de horas equivalentes de funcionamiento se establece en 6.500 horas.
- ✓ **Precios del Mercado:** Los valores de los precios del mercado eléctrico han sido calculados como una media aritmética de los precios del año anterior.
- ✓ **Desviación en el precio del mercado:** Cuando el precio medio anual del mercado diario e intradiario se encuentre fuera de los límites establecidos por el Ministerio de Industria en torno al precio estimado del mercado (dos límites superiores denominados LS1 y LS2 y dos límites inferiores denominados LI1 y LI2) se generará un saldo positivo o negativo, que se denominará valor de ajuste por desviaciones en el precio del mercado.

Los generadores asumirán el riesgo del precio de mercado dentro del primer límite; compartirá el riesgo con el sistema dentro del primer y segundo límite; y recibirá una compensación si la desviación de los precios del mercado supera el segundo límite. El valor de ajuste por desviación en el precio del mercado se calculará de forma anual y se compensará durante el resto de la vida útil de la instalación (según lo previsto en el Anexo VI del RD 413/2014). El valor de los límites, hasta el 2016, será:

Tabla.- Precio estimado del mercado eléctrico y valor de los límites del precio del mercado. [Fuente: RD 413/2014]

	2014	2015	2016	2017 en adelante
Precio estimado del mercado (€/MWh)	48,21	49,52	49,75	52
LS2 (€/MWh)	56,21	57,52	57,75	60
LS1 (€/MWh)	52,21	53,52	53,75	56
LI1 (€/MWh)	44,21	45,52	45,75	48
LI2 (€/MWh)	40,21	41,52	41,75	44

Los valores anteriores se corrigen con unos coeficientes de apuntamiento tecnológico que oscilan entre 0,8889 y 1,0207.

- ✓ **Coefficiente de apuntamiento tecnológico:** estos coeficientes se utilizan para, a partir del precio medio del mercado establecido, corregir este precio y obtener unos precios adecuados para cada tipo de tecnología.  
El coeficiente de apuntamiento considerado sobre el precio estimado del mercado para plantas de combustión de biomasa para la producción eléctrica es de 0,9643.

- ✓ **Valor aplicable para la rentabilidad razonable:** El valor sobre el que girará la "rentabilidad razonable" de las instalaciones se calculará como la media del rendimiento de las Obligaciones del Estado a diez años en el mercado secundario de los 24 meses previos al mes de mayo del año anterior al del inicio del periodo regulatorio incrementada en un diferencial.  
Para el periodo inicial, el ministro de Industria fijó el pasado viernes en la rueda de prensa posterior al consejo de ministros que esta rentabilidad estará en torno al 5,8%.
- ✓ **Evolución de los costes de explotación:** Se considera un incremento anual del 1% hasta el final de la vida útil de la instalación, exceptuando el coste de los peajes de 0,5 €/MWh y el impuesto de medidas fiscales sobre sostenibilidad energética del 7% de la facturación de la exportación anual.
- ✓ **Otros valores retributivos:** Se considerará que el coste del precio del combustible aumentará en 1% anual a partir del 2014 y el rendimiento neto debe de estar entre el 19% y el 26%.



## Anexo III: Otras tablas de resultados e información

Tabla.- Tabla de datos de tiempos de residencia de los difenretes ensayos realizados. [Fuente: Elaboración Propia]

Nº Prueba	Acopios			Fechas formación y consumo de acopios			
	Nº Acopio	Producto	Parque	Fecha Inicio Acopio	Fecha Final Acopio	Tiempo Residencia (Días)	Tiempo Residencia (Meses)
6	10	B6. Pino	Parque A	14-03-16	12-06-16	90	3,0
7	12	B6. Pino	Parque A	26-02-16	26-05-16	90	3,0
8	40	B6. Pino	Parque C	21-03-16	15-05-16	55	1,8
9	28	B6. Pino	Parque D	08-02-16	18-04-16	70	2,3
10	4	B6. Olivo Trit.	Parque A	17-03-16	12-05-16	56	1,9
11	40	B6. Olivo Trit.	Parque C	14-04-16	15-05-16	31	1,0
12	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	26-04-16	26-05-16	30	1,0
13	30	B6. Olivo Trit.	Parque D	29-01-16	13-06-16	136	4,5
14	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	23-05-16	20-06-16	28	0,9
15	40	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque C	03-02-16	13-04-16	70	2,3
16	21	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque E	15-03-16	18-07-16	125	4,2
17	48	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	24-11-15	09-07-16	228	7,6
18	18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	Parque E	03-06-14	07-11-15	522	17,4
19	27	B6. Chopo	Parque D	28-10-15	09-04-16	164	5,5
20	37	B6. Olivo Trit.	Parque C	20-04-16	20-07-16	91	3,0
21	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	30-04-16	29-08-16	121	4,0
22	28	B6. Olivo Trit.	Parque D	18-04-16	04-09-16	139	4,6
23	36	B6. Olivo Trit.	Parque C	02-03-16	23-08-16	174	5,8
24	4	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	20-04-16	03-08-16	105	3,5
25	40	B6. Pino	Parque C	16-05-16	25-07-16	70	2,3
26	1	B6. Pino	Parque A	09-06-16	26-08-16	78	2,6
27	40	B6. Pino	Parque C	15-09-15	18-12-15	94	3,1
28	7	B6. Pino	Parque A	31-03-16	06-08-16	128	4,3
29	35	B6. Pino	Parque C	09-12-15	27-03-16	109	3,6
30	36	B6. Pino	Parque C	26-11-15	09-03-16	104	3,5
31	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	05-01-16	22-03-16	77	2,6
32	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	17-02-16	28-03-16	40	1,3
33	29	Hoja de Almazara Tritu	Parque D	01-02-16	04-04-16	63	2,1
34	8	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque A	05-01-16	04-05-16	120	4,0
35	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	22-03-16	15-06-16	85	2,8
36	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	30-03-16	21-06-16	83	2,8
37	54	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque de Repaso	24-12-15	04-07-16	193	6,4
38	18	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	04-11-16	06-03-17	122	4,1
39	19	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	22-12-16	22-03-17	90	3,0
40	20	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	24-01-17	03-04-17	69	2,3
41	17	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	03-04-17	28-04-17	25	0,8
42	22	B6. Chopo	Parque D	07-06-16	14-08-16	68	2,3
43	21	B6. Chopo	Parque E	03-02-15	27-03-16	418	13,9
44	48	B6. Chopo	Parque A	01-12-16	13-06-17	194	6,5
45	5	B6.2 Poda Frutal	Parque A	01-08-16	12-07-17	345	11,5
46	23	B6.2 Poda Frutal	Parque E	21-09-16	29-08-17	342	11,4
47	21	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	28-12-15	25-08-16	241	8,0
48	28	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque D	08-09-16	09-07-17	304	10,1
49	14	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	27-06-16	06-09-17	436	14,5
50	4	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	04-08-16	25-04-17	264	8,8
51	40	B6. Pino	Parque C	01-08-16	04-03-17	215	7,2
52	39	B6. Pino	Parque C	04-07-16	22-03-17	261	8,7
53	37	B6. Pino	Parque C	20-07-16	12-04-17	266	8,9
54	38	B6. Pino	Parque C	13-07-16	30-04-17	291	9,7
55	12+18	B6. Pino	Parque A	27-06-16	11-05-17	318	10,6
56	36	B6. Pino	Parque C	05-09-16	23-05-17	260	8,7
57	1+7	B6. Pino	Parque A	08-08-16	10-09-17	398	13,3
58	3	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	12-05-16	27-04-17	350	11,7
59	34	B6. Olivo Trit.	Parque C	29-03-16	08-05-17	405	13,5
60	27	B6. Olivo Trit.	Parque D	10-04-17	18-05-17	38	1,3
61	54	B6. Olivo Trit.	Parque de Repaso	10-05-16	05-06-17	391	13,0
62	2	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	12-04-16	08-07-17	452	15,1
63	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	21-02-17	27-08-17	187	6,2
64	49	Orujillo	Nave Cubierta	20-11-14	10-03-16	476	15,9
65	49	Orujillo	Nave Cubierta	30-03-16	19-03-17	354	11,8
66	13	Orujillo	Explanada de Trituración	12-04-17	19-08-17	129	4,3
67	24	Orujillo	Parque D	25-04-16	14-06-16	50	1,7
68	15	Pino en Rollo	Parque E	15-06-17	12-06-18	362	12,1

Tabla.- Tabla de datos de humedades de los difenretes ensayos realizados. [Fuente: Elaboración Propia]

Nº Prueba	Nº Acopio	Acopios		Humedades			Tº
		Producto	Parque	Humedad Media Entrada (%)	Humedad Fecha Consumo (%)	Pérdida de Humedad (%)	Tº Media Acopio (°C)
6	10	B6. Pino	Parque A	35,48%	21,17%	14,31%	75,50
7	12	B6. Pino	Parque A	30,48%	13,91%	16,57%	70,00
8	40	B6. Pino	Parque C	36,07%	26,81%	9,26%	75,00
9	28	B6. Pino	Parque D	24,84%	19,62%	5,22%	36,20
10	4	B6. Olivo Trit.	Parque A	25,04%	25,04%	0,00%	65,00
11	40	B6. Olivo Trit.	Parque C	22,99%	20,84%	2,16%	65,00
12	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	21,39%	16,41%	4,98%	45,00
13	30	B6. Olivo Trit.	Parque D	28,73%	18,98%	9,76%	87,00
14	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	20,10%	13,45%	6,65%	68,00
15	40	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque C	21,78%	20,25%	1,54%	30,90
16	21	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque E	19,68%	10,58%	9,10%	34,50
17	48	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	27,75%	12,89%	14,86%	78,50
18	18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	Parque E	19,20%	15,66%	3,54%	25,00
19	27	B6. Chopo	Parque D	27,62%	20,21%	7,41%	65,00
20	37	B6. Olivo Trit.	Parque C	24,55%	16,43%	8,12%	84,60
21	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	21,75%	9,57%	12,18%	69,00
22	28	B6. Olivo Trit.	Parque D	22,74%	11,63%	11,11%	84,60
23	36	B6. Olivo Trit.	Parque C	27,29%	20,71%	6,58%	82,70
24	4	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	11,38%	11,36%	0,02%	85,00
25	40	B6. Pino	Parque C	30,68%	13,99%	16,70%	35,00
26	1	B6. Pino	Parque A	20,26%	8,84%	11,42%	60,00
27	40	B6. Pino	Parque C	35,64%	17,16%	18,48%	35,00
28	7	B6. Pino	Parque A	37,35%	14,73%	22,62%	67,50
29	35	B6. Pino	Parque C	19,17%	18,78%	0,39%	49,00
30	36	B6. Pino	Parque C	21,00%	18,53%	2,47%	47,00
31	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	40,39%	40,01%	0,38%	85,00
32	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	34,72%	33,37%	1,36%	60,00
33	29	Hoja de Almazara Tritu	Parque D	33,08%	32,94%	0,14%	57,00
34	8	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque A	32,40%	31,21%	1,19%	76,70
35	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	34,16%	32,50%	1,66%	70,90
36	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	37,58%	35,61%	1,98%	73,90
37	54	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque de Repaso	28,53%	19,38%	9,15%	76,40
38	18	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	40,84%	35,35%	5,49%	80,00
39	19	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	36,04%	28,50%	7,54%	60,00
40	20	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	24,70%	22,32%	2,39%	60,00
41	17	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	18,65%	13,83%	4,82%	65,00
42	22	B6. Chopo	Parque D	15,97%	6,87%	9,10%	38,00
43	21	B6. Chopo	Parque E	35,74%	24,19%	11,55%	65,00
44	48	B6. Chopo	Parque A	39,45%	15,19%	24,26%	36,30
45	5	B6.2 Poda Frutal	Parque A	10,98%	7,61%	3,37%	35,00
46	23	B6.2 Poda Frutal	Parque E	18,08%	12,00%	6,08%	29,50
47	21	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	27,46%	10,58%	16,88%	75,50
48	28	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque D	21,69%	14,77%	6,92%	35,00
49	14	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	22,58%	11,25%	11,33%	30,00
50	4	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	10,65%	10,55%	0,10%	35,00
51	40	B6. Pino	Parque C	13,34%	9,37%	3,97%	40,00
52	39	B6. Pino	Parque C	29,62%	22,25%	7,38%	31,00
53	37	B6. Pino	Parque C	19,88%	19,07%	0,81%	45,00
54	38	B6. Pino	Parque C	29,62%	23,94%	5,68%	45,00
55	12+18	B6. Pino	Parque A	15,61%	14,58%	1,03%	40,00
56	36	B6. Pino	Parque C	12,12%	10,59%	1,53%	45,00
57	1+7	B6. Pino	Parque A	16,07%	13,23%	2,85%	60,00
58	3	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	23,01%	11,50%	11,51%	39,00
59	34	B6. Olivo Trit.	Parque C	23,25%	18,10%	5,15%	54,00
60	27	B6. Olivo Trit.	Parque D	18,96%	17,05%	1,92%	55,00
61	54	B6. Olivo Trit.	Parque de Repaso	25,58%	13,88%	11,71%	30,00
62	2	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	11,38%	11,29%	0,09%	45,00
63	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	28,97%	17,63%	11,35%	72,70
64	49	Orujillo	Nave Cubierta	14,84%	14,10%	0,74%	35,00
65	49	Orujillo	Nave Cubierta	10,00%	8,64%	1,36%	30,00
66	13	Orujillo	Explanada de Trituración	10,00%	8,18%	1,82%	50,00
67	24	Orujillo	Parque D	18,70%	15,00%	3,70%	30,00
68	15	Pino en Rollo	Parque E	34,94%	28,80%	6,14%	35,00

Tabla.- Tabla datos de cantidad de componente herbácea de los difenretes ensayos realizados. [Fuente: *Elaboración Propia*]

Acopios				
Nº Prueba	Nº Acopio	Producto	Parque	Componente Herbácea
6	10	B6. Pino	Parque A	Bajo
7	12	B6. Pino	Parque A	Bajo
8	40	B6. Pino	Parque C	Bajo
9	28	B6. Pino	Parque D	Bajo
10	4	B6. Olivo Trit.	Parque A	Alto
11	40	B6. Olivo Trit.	Parque C	Alto
12	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	Alto
13	30	B6. Olivo Trit.	Parque D	Alto
14	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	Alto
15	40	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque C	Bajo
16	21	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque E	Bajo
17	48	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	Muy Alto
18	18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	Parque E	Muy Bajo
19	27	B6. Chopo	Parque D	Bajo
20	37	B6. Olivo Trit.	Parque C	Alto
21	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	Alto
22	28	B6. Olivo Trit.	Parque D	Alto
23	36	B6. Olivo Trit.	Parque C	Alto
24	4	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	Medio
25	40	B6. Pino	Parque C	Bajo
26	1	B6. Pino	Parque A	Bajo
27	40	B6. Pino	Parque C	Bajo
28	7	B6. Pino	Parque A	Bajo
29	35	B6. Pino	Parque C	Bajo
30	36	B6. Pino	Parque C	Bajo
31	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	Muy Alto
32	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	Muy Alto
33	29	Hoja de Almazara Tritu	Parque D	Muy Alto
34	8	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque A	Muy Alto
35	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	Muy Alto
36	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	Muy Alto
37	54	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque de Repaso	Muy Alto
38	18	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	Muy Alto
39	19	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	Muy Alto
40	20	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	Muy Alto
41	17	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	Muy Alto
42	22	B6. Chopo	Parque D	Bajo
43	21	B6. Chopo	Parque E	Bajo
44	48	B6. Chopo	Parque A	Medio
45	5	B6.2 Poda Frutal	Parque A	Bajo
46	23	B6.2 Poda Frutal	Parque E	Bajo
47	21	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	Bajo
48	28	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque D	Medio
49	14	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	Bajo
50	4	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	Muy Alto
51	40	B6. Pino	Parque C	Bajo
52	39	B6. Pino	Parque C	Bajo
53	37	B6. Pino	Parque C	Bajo
54	38	B6. Pino	Parque C	Bajo
55	12+18	B6. Pino	Parque A	Bajo
56	36	B6. Pino	Parque C	Bajo
57	1+7	B6. Pino	Parque A	Bajo
58	3	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	Medio
59	34	B6. Olivo Trit.	Parque C	Alto
60	27	B6. Olivo Trit.	Parque D	Alto
61	54	B6. Olivo Trit.	Parque de Repaso	Alto
62	2	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	Medio
63	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	Alto
64	49	Orujillo	Nave Cubierta	Muy Bajo
65	49	Orujillo	Nave Cubierta	Muy Bajo
66	13	Orujillo	Explanada de Trituración	Muy Bajo
67	24	Orujillo	Parque D	Muy Bajo
68	15	Pino en Rollo	Parque E	Muy Bajo

Tabla.- Tabla de datos de pérdida de humedad y peso de los difenretes ensayos realizados. [Fuente: Elaboración Propia]

Acopios				Pérdida de Peso por Humedad						
Nº Prueba	Nº Acopio	Producto	Parque	Toneladas Entrada Báscula (Tn)	Toneladas Perdidas Almacena. por humedad (Tn)	Toneladas Finales (Tn)	% Pérdida peso según pérdida humedad	Toneladas Finales según Báscula (Tn)	Toneladas Perdidas según Báscula (Tn)	% Pérdida peso según Báscula
6	10	B6. Pino	Parque A	856,40	155,49	700,91	18,16%	789,86	66,54	7,77%
7	12	B6. Pino	Parque A	817,64	157,37	660,27	19,25%	735,63	82,01	10,03%
8	40	B6. Pino	Parque C	1.560,12	197,39	1.362,73	12,65%	1.488,96	71,16	4,56%
9	28	B6. Pino	Parque D	616,02	40,01	576,01	6,49%	613,70	2,32	0,38%
10	4	B6. Olivo Trit.	Parque A	1.010,02	0,04	1.009,98	0,00%	1.006,00	4,02	0,40%
11	40	B6. Olivo Trit.	Parque C	279,42	7,61	271,81	2,72%	230,98	48,44	17,34%
12	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	785,74	46,81	738,93	5,96%	769,93	15,81	2,01%
13	30	B6. Olivo Trit.	Parque D	899,16	108,25	790,91	12,04%	847,50	51,66	5,75%
14	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	728,42	55,97	672,45	7,68%	726,13	2,29	0,31%
15	40	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque C	147,66	2,84	144,82	1,92%	149,50	-1,84	-1,25%
16	21	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque E	377,88	38,45	339,43	10,18%	360,75	17,13	4,53%
17	48	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	231,80	39,54	192,26	17,06%	215,30	16,50	7,12%
18	18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	Parque E	1.550,23	65,07	1.485,16	4,20%	1.521,65	28,58	1,84%
19	27	B6. Chopo	Parque D	741,98	68,93	673,05	9,29%	672,93	69,05	9,31%
20	37	B6. Olivo Trit.	Parque C	1.141,50	110,87	1.030,63	9,71%	1.047,60	93,90	8,23%
21	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	808,00	108,83	699,17	13,47%	752,63	55,37	6,85%
22	28	B6. Olivo Trit.	Parque D	1.090,68	137,12	953,56	12,57%	963,60	127,08	11,65%
23	36	B6. Olivo Trit.	Parque C	1.279,70	106,25	1.173,45	8,30%	1.243,32	36,38	2,84%
24	4	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	1.434,42	0,38	1.434,04	0,03%	1.403,73	30,69	2,14%
25	40	B6. Pino	Parque C	1.013,56	196,73	816,83	19,41%	880,00	133,56	13,18%
26	1	B6. Pino	Parque A	1.078,88	135,18	943,70	12,53%	973,09	105,79	9,81%
27	40	B6. Pino	Parque C	777,74	173,50	604,24	22,31%	712,29	65,45	8,42%
28	7	B6. Pino	Parque A	852,20	226,05	626,15	26,53%	703,93	148,27	17,40%
29	35	B6. Pino	Parque C	541,14	2,60	538,54	0,48%	535,60	5,54	1,02%
30	36	B6. Pino	Parque C	784,80	23,79	761,01	3,03%	722,33	62,47	7,96%
31	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	2.516,82	15,94	2.500,88	0,63%	2.409,71	107,11	4,26%
32	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	1.021,14	20,76	1.000,38	2,03%	831,20	189,94	18,60%
33	29	Hoja de Almazara Tritu	Parque D	1.305,88	2,73	1.303,15	0,21%	1.321,03	-15,15	-1,16%
34	8	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque A	901,00	15,83	885,37	1,73%	924,00	-23,00	-2,55%
35	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	851,14	20,89	830,25	2,45%	866,30	-15,16	-1,78%
36	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	974,76	29,90	944,86	3,07%	904,47	70,29	7,21%
37	54	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque de Reposo	1.725,72	195,92	1.529,80	11,35%	1.495,67	230,05	13,33%
38	18	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	1.355,36	115,05	1.240,31	8,49%	1.222,92	132,44	9,77%
39	19	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	2.278,58	240,23	2.038,35	10,54%	2.077,95	200,63	8,81%
40	20	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	1.435,28	44,06	1.391,22	3,07%	1.385,87	49,41	3,44%
41	17	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	439,28	24,57	414,71	5,59%	425,48	13,80	3,14%
42	22	B6. Chopo	Parque D	156,72	15,31	141,41	9,77%	131,33	25,39	16,20%
43	21	B6. Chopo	Parque E	1.869,88	284,91	1.584,97	15,24%	1.536,81	333,07	17,81%
44	48	B6. Chopo	Parque A	144,72	41,40	103,32	28,61%	115,20	29,52	20,40%
45	5	B6.2 Poda Frutal	Parque A	1.011,16	36,88	974,28	3,65%	982,88	28,28	2,80%
46	23	B6.2 Poda Frutal	Parque E	1.483,48	102,49	1.380,99	6,91%	1.418,96	64,52	4,35%
47	21	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	1.621,12	306,00	1.315,12	18,88%	1.442,83	178,29	11,00%
48	28	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque D	989,56	80,36	909,20	8,12%	1.086,10	-96,54	-9,76%
49	14	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	570,50	72,81	497,69	12,76%	580,00	-9,50	-1,67%
50	4	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	171,68	0,20	171,48	0,12%	154,60	17,08	9,95%
51	40	B6. Pino	Parque C	828,70	36,30	792,40	4,38%	750,39	78,31	9,45%
52	39	B6. Pino	Parque C	831,52	78,87	752,65	9,48%	787,28	44,24	5,32%
53	37	B6. Pino	Parque C	956,30	9,57	946,73	1,00%	853,20	103,10	10,78%
54	38	B6. Pino	Parque C	1.019,72	76,11	943,61	7,46%	977,20	42,52	4,17%
55	12+18	B6. Pino	Parque A	1.466,62	17,68	1.448,94	1,21%	1.450,05	16,57	1,13%
56	36	B6. Pino	Parque C	1.180,80	20,21	1.160,59	1,71%	1.174,66	6,14	0,52%
57	1+7	B6. Pino	Parque A	2.671,54	87,59	2.583,95	3,28%	2.476,22	195,32	7,31%
58	3	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	1.506,02	195,93	1.310,09	13,01%	1.352,76	153,26	10,18%
59	34	B6. Olivo Trit.	Parque C	1.399,88	88,03	1.311,85	6,29%	1.209,03	190,85	13,63%
60	27	B6. Olivo Trit.	Parque D	1.272,14	29,37	1.242,77	2,31%	1.269,60	2,54	0,20%
61	54	B6. Olivo Trit.	Parque de Reposo	1.574,34	213,96	1.360,38	13,59%	1.465,80	108,54	6,89%
62	2	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	1.625,82	1,65	1.624,17	0,10%	1.393,20	232,62	14,31%
63	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	462,64	63,72	398,92	13,77%	419,41	43,23	9,34%
64	49	Orujillo	Nave Cubierta	3.580,58	30,81	3.549,77	0,86%	3.575,00	5,58	0,16%
65	49	Orujillo	Nave Cubierta	2.192,86	32,64	2.160,22	1,49%	2.193,90	-1,04	-0,05%
66	13	Orujillo	Explanada de Trituración	1.318,10	26,13	1.291,97	1,98%	1.316,33	1,77	0,13%
67	24	Orujillo	Parque D	2.900,38	126,25	2.774,13	4,35%	2.900,38	0,00	0,00%
68	15	Pino en Rollo	Parque E	6.295,58	542,91	5.752,67	8,62%	5.752,67	542,91	8,62%

Tabla.- Tabla de valores de PCI y PCS de los difenretos ensayos realizados. [Fuente: Elaboración Propia]

Nº Prueba	Nº Acopio	Acopios		Poder Calorífico			
		Producto	Parque	PCS base seca Entrada (kcal/kg)	PCS base seca Final Almac. (kcal/kg)	PCI base húmeda Entrada (kcal/kg)	PCI base húmeda final Almac. (kcal/kg)
6	10	B6. Pino	Parque A	4.763,80	4.632,53	3.364,61	3.328,26
7	12	B6. Pino	Parque A	4.763,80	4.816,63	3.364,61	3.846,80
8	40	B6. Pino	Parque C	4.686,14	4.524,87	2.858,42	2.962,50
9	28	B6. Pino	Parque D	4.680,59	4.710,71	3.255,72	3.467,72
10	4	B6. Olivo Trit.	Parque A	4.592,17	4.430,58	3.075,79	2.984,90
11	40	B6. Olivo Trit.	Parque C	4.509,24	4.532,55	3.070,54	3.264,90
12	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	4.395,70	4.472,36	3.179,56	3.430,32
13	30	B6. Olivo Trit.	Parque D	4.589,31	4.391,22	2.956,41	2.906,81
14	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	4.614,13	4.027,68	3.460,25	3.187,66
15	40	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque C	4.205,81	4.287,70	2.831,61	3.098,61
16	21	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque E	4.301,63	4.286,75	3.011,61	3.544,15
17	48	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	4.372,08	4.253,16	3.508,01	3.414,24
18	18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	Parque E	4.400,00	4.410,74	3.167,72	3.414,58
19	27	B6. Chopo	Parque D	4.467,71	4.326,82	2.825,05	3.132,53
20	37	B6. Olivo Trit.	Parque C	4.680,59	4.472,36	3.255,72	3.429,37
21	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	4.398,57	4.521,58	3.364,85	3.804,31
22	28	B6. Olivo Trit.	Parque D	4.389,23	4.452,30	3.044,48	3.645,47
23	36	B6. Olivo Trit.	Parque C	4.553,63	4.502,17	2.888,59	3.255,19
24	4	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	4.416,14	4.394,97	3.622,18	3.611,12
25	40	B6. Pino	Parque C	4.686,14	4.694,89	2.858,42	3.735,55
26	1	B6. Pino	Parque A	4.717,43	4.697,55	3.440,95	3.998,36
27	40	B6. Pino	Parque C	4.448,73	4.500,44	2.448,14	3.412,32
28	7	B6. Pino	Parque A	4.448,73	4.587,18	2.448,14	3.612,24
29	35	B6. Pino	Parque C	4.716,53	4.701,05	3.440,05	3.497,15
30	36	B6. Pino	Parque C	4.616,53	4.661,54	3.440,95	3.482,81
31	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	4.725,23	4.546,46	2.328,92	2.346,11
32	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	4.953,22	4.843,26	2.721,10	2.862,06
33	29	Hoja de Almazara Tritu	Parque D	4.737,32	4.479,88	2.604,09	2.641,45
34	8	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque A	4.845,27	4.249,84	2.551,70	2.567,63
35	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	4.815,26	4.594,71	2.651,17	2.741,07
36	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	4.985,93	4.891,21	2.587,31	2.774,53
37	54	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque de Repaso	4.895,16	4.702,29	3.226,94	3.476,01
38	18	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	4.761,84	4.666,22	2.427,96	2.643,60
39	19	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	5.138,80	4.618,94	2.913,23	2.957,94
40	20	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	4.716,51	4.485,74	3.359,87	3.157,37
41	17	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	4.379,90	4.576,58	3.527,71	3.644,12
42	22	B6. Chopo	Parque D	4.467,71	4.331,41	3.447,75	3.756,84
43	21	B6. Chopo	Parque E	4.488,38	4.265,34	2.896,55	2.903,51
44	48	B6. Chopo	Parque A	4.509,04	4.464,42	2.345,35	3.482,00
45	5	B6.2 Poda Frutal	Parque A	4.464,57	4.379,54	3.684,38	3.767,12
46	23	B6.2 Poda Frutal	Parque E	4.353,92	4.352,39	3.253,28	3.534,39
47	21	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	4.301,63	4.286,75	3.011,61	3.544,15
48	28	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque D	4.314,57	4.123,00	3.053,25	3.207,48
49	14	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	3.904,19	4.182,51	2.694,25	3.421,41
50	4	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	4.201,58	4.240,46	3.569,24	3.504,77
51	40	B6. Pino	Parque C	4.639,84	4.709,12	3.722,98	3.933,82
52	39	B6. Pino	Parque C	4.688,86	4.595,74	2.948,04	3.245,12
53	37	B6. Pino	Parque C	4.443,59	4.632,78	3.240,83	3.432,78
54	38	B6. Pino	Parque C	4.688,86	4.513,69	2.948,04	3.102,53
55	12+18	B6. Pino	Parque A	4.610,25	4.634,28	3.779,36	3.809,89
56	36	B6. Pino	Parque C	4.634,42	4.536,88	3.778,73	3.767,99
57	1+7	B6. Pino	Parque A	4.589,63	4.376,19	3.545,12	3.654,83
58	3	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	4.230,91	4.291,67	3.243,29	3.707,01
59	34	B6. Olivo Trit.	Parque C	4.539,15	4.260,39	3.188,85	3.175,40
60	27	B6. Olivo Trit.	Parque D	4.541,46	4.503,71	3.364,13	3.425,57
61	54	B6. Olivo Trit.	Parque de Repaso	4.469,59	4.045,76	2.987,94	3.179,37
62	2	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	4.416,14	4.434,82	3.622,18	3.642,79
63	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	4.559,48	4.484,48	2.888,59	3.383,02
64	49	Orujillo	Nave Cubierta	4.759,56	4.766,13	3.700,50	3.794,47
65	49	Orujillo	Nave Cubierta	4.890,65	4.889,91	4.155,50	4.185,29
66	13	Orujillo	Explanada de Trituración	4.700,50	4.651,91	4.110,11	4.140,47
67	24	Orujillo	Parque D	4.700,51	4.651,91	4.110,11	4.140,47
68	15	Pino en Rollo	Parque E	4.690,17	4.504,07	2.898,42	2.992,50

Tabla.- Tabla de datos de coste de biomasa de los difenretes ensayos realizados. [Fuente: Elaboración Propia]

Nº Prueba	Nº Acopio	Acopios		Valor de Compra + Trituración								
		Producto	Parque	Precio Compra (€/Tn)	Trituración (€/Tn)	Precio Total (€/Tn)	Precio Acopio Inicial (€)	Precio Acopio Inicial + Trituración (€)	Precio Final Almac. (€/Tn)	Coste Final Almac. (€)	Ahorro Por Secado (€)	Precio Ahorrado Por Secado (€/Tn)
6	10	B6. Pino	Parque A	39,44	0,00	39,44	33.778,04	33.778,04	47,85	33.539,15	-238,90	8,41
7	12	B6. Pino	Parque A	42,38	0,00	42,38	34.651,09	34.651,09	52,11	34.409,30	-241,79	9,73
8	40	B6. Pino	Parque C	39,10	0,00	39,10	60.993,32	60.993,32	44,54	60.690,06	-303,26	5,44
9	28	B6. Pino	Parque D	45,69	0,00	45,69	28.147,74	28.147,74	48,76	28.086,28	-61,46	3,07
10	4	B6. Olivo Trit.	Parque A	34,12	0,00	34,12	34.460,27	34.460,27	34,12	34.460,55	0,29	0,00
11	40	B6. Olivo Trit.	Parque C	35,23	0,00	35,23	9.842,68	9.842,68	36,39	9.891,06	48,38	1,16
12	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	36,09	0,00	36,09	28.356,89	28.356,89	38,78	28.654,61	297,72	2,69
13	30	B6. Olivo Trit.	Parque D	32,13	0,00	32,13	28.886,23	28.886,23	37,39	29.574,73	688,50	5,27
14	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	36,79	0,00	36,79	26.795,66	26.795,66	40,38	27.151,61	355,95	3,59
15	40	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque C	40,88	0,00	40,88	6.036,16	6.036,16	41,71	6.040,03	3,87	0,83
16	21	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque E	42,01	0,00	42,01	15.875,80	15.875,80	46,93	15.928,09	52,29	4,91
17	48	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	22,70	7,50	30,20	5.262,21	7.000,71	37,25	7.160,66	159,95	7,04
18	18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	Parque E	32,27	7,50	39,77	50.029,02	61.655,75	34,18	50.768,19	-10.887,56	-5,59
19	27	B6. Chopo	Parque D	41,83	0,00	41,83	31.034,22	31.034,22	46,00	30.958,53	-75,69	4,17
20	37	B6. Olivo Trit.	Parque C	34,38	0,00	34,38	39.248,19	39.248,19	38,77	39.953,34	705,14	4,38
21	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	35,90	0,00	35,90	29.003,16	29.003,16	42,47	29.695,31	692,15	6,58
22	28	B6. Olivo Trit.	Parque D	35,36	0,00	35,36	38.566,88	38.566,88	41,36	39.438,98	872,09	6,00
23	36	B6. Olivo Trit.	Parque C	32,90	0,00	32,90	42.106,48	42.106,48	36,46	42.782,21	675,73	3,56
24	4	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	36,49	7,50	43,99	52.348,87	63.107,02	44,01	63.108,48	1,46	0,01
25	40	B6. Pino	Parque C	42,26	0,00	42,26	42.834,97	42.834,97	52,07	42.532,72	-302,25	9,81
26	1	B6. Pino	Parque A	48,38	0,00	48,38	52.200,15	52.200,15	55,09	51.992,46	-207,69	6,71
27	40	B6. Pino	Parque C	39,35	0,00	39,35	30.602,44	30.602,44	50,20	30.335,87	-266,56	10,86
28	7	B6. Pino	Parque A	38,34	0,00	38,34	32.676,14	32.676,14	51,63	32.328,84	-347,30	13,29
29	35	B6. Pino	Parque C	49,02	0,00	49,02	26.528,86	26.528,86	49,25	26.524,87	-3,99	0,23
30	36	B6. Pino	Parque C	47,95	0,00	47,95	37.630,30	37.630,30	49,40	37.593,74	-36,56	1,45
31	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	32,27	0,00	32,27	81.207,71	81.207,71	32,49	81.263,51	55,80	0,23
32	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	35,50	0,00	35,50	36.250,47	36.250,47	35,50	35.513,33	-737,14	0,00
33	29	Hoja de Almazara Tritu	Parque D	35,50	0,00	35,50	46.358,74	46.358,74	35,50	46.261,96	-96,78	0,00
34	8	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque A	18,00	7,50	25,50	16.218,00	22.975,50	33,00	29.217,23	6.241,73	7,50
35	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	35,50	0,00	35,50	30.215,47	30.215,47	35,50	29.473,85	-741,62	0,00
36	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	33,95	0,00	33,95	33.095,05	33.095,05	35,14	33.199,69	104,64	1,19
37	54	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque de Repaso	18,00	7,50	25,50	31.062,96	44.005,86	33,00	50.483,25	6.477,39	7,50
38	18	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	14,50	7,50	22,00	19.647,30	29.812,50	25,29	31.365,64	1.553,14	3,29
39	19	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	17,38	7,50	24,88	39.592,61	56.681,96	33,00	67.265,39	10.583,44	8,12
40	20	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	18,00	7,50	25,50	25.835,04	36.599,64	33,00	45.910,11	9.310,47	7,50
41	17	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	18,00	7,50	25,50	7.907,04	11.201,64	33,00	13.685,38	2.483,74	7,50
42	22	B6. Chopo	Parque D	40,43	0,00	40,43	6.336,45	6.336,45	45,55	6.441,38	104,93	5,12
43	21	B6. Chopo	Parque E	37,26	0,00	37,26	69.666,31	69.666,31	43,76	69.353,47	-312,84	6,50
44	48	B6. Chopo	Parque A	27,22	0,00	27,22	3.939,20	3.939,20	40,87	4.222,86	283,65	13,65
45	5	B6.2 Poda Frutal	Parque A	36,71	0,00	36,71	37.120,49	37.120,49	38,53	37.539,48	418,99	1,82
46	23	B6.2 Poda Frutal	Parque E	32,88	0,00	32,88	48.772,08	48.772,08	36,16	49.936,42	1.164,34	3,28
47	21	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	32,81	7,50	40,31	53.191,54	65.349,94	49,43	65.001,10	-348,84	9,11
48	28	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque D	40,93	0,00	40,93	40.500,12	40.500,12	44,67	40.609,41	109,29	3,74
49	14	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	35,45	7,50	42,95	20.222,40	24.501,15	49,06	24.418,15	-83,00	6,12
50	4	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	30,81	7,50	38,31	5.288,93	6.576,53	38,36	6.577,33	0,80	0,05
51	40	B6. Pino	Parque C	52,45	0,00	52,45	43.464,61	43.464,61	54,78	43.408,84	-55,77	2,33
52	39	B6. Pino	Parque C	42,88	0,00	42,88	35.659,44	35.659,44	47,22	35.538,27	-121,17	4,33
53	37	B6. Pino	Parque C	48,61	0,00	48,61	46.482,78	46.482,78	49,08	46.468,07	-14,71	0,48
54	38	B6. Pino	Parque C	42,88	0,00	42,88	43.730,34	43.730,34	46,22	43.613,40	-116,93	3,34
55	12+18	B6. Pino	Parque A	51,12	0,00	51,12	74.967,05	74.967,05	51,72	74.939,88	-27,17	0,61
56	36	B6. Pino	Parque C	53,17	0,00	53,17	62.778,29	62.778,29	54,06	62.747,25	-31,04	0,90
57	1+7	B6. Pino	Parque A	50,85	0,00	50,85	135.835,19	135.835,19	52,52	135.700,61	-134,57	1,67
58	3	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	30,21	7,50	37,71	45.503,79	56.798,94	43,93	57.555,22	756,28	6,22
59	34	B6. Olivo Trit.	Parque C	35,09	0,00	35,09	49.114,79	49.114,79	37,87	49.674,64	559,85	2,78
60	27	B6. Olivo Trit.	Parque D	37,40	0,00	37,40	47.580,07	47.580,07	38,44	47.766,85	186,77	1,03
61	54	B6. Olivo Trit.	Parque de Repaso	33,83	0,00	33,83	53.254,88	53.254,88	40,15	54.615,70	1.360,81	6,32
62	2	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	36,49	7,50	43,99	59.333,98	71.527,63	44,04	71.533,99	6,37	0,05
63	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	32,00	0,00	32,00	14.802,72	14.802,72	38,12	15.207,96	405,24	6,13
64	49	Orujillo	Nave Cubierta	44,00	0,00	44,00	157.545,52	157.545,52	44,00	156.189,89	-1.355,63	0,00
65	49	Orujillo	Nave Cubierta	44,00	0,00	44,00	96.485,84	96.485,84	44,00	95.049,54	-1.436,30	0,00
66	13	Orujillo	Explanada de Trituración	44,00	0,00	44,00	57.996,40	57.996,40	18,00	23.255,52	-34.740,88	-26,00
67	24	Orujillo	Parque D	44,00	0,00	44,00	127.616,72	127.616,72	44,00	122.061,64	-5.555,08	0,00
68	15	Pino en Rollo	Parque E	29,76	7,50	37,26	187.351,11	234.567,96	40,87	235.091,10	523,14	3,61

Tabla.- Tabla de datos de pérdida de calor ahorrada por la evaporación natural del agua en los difenretes ensayos realizados. [Fuente: Elaboración Propia]

Nº Prueba	Nº Acopio	Acopios		Consumo Calorífico Biomasa				Ahorro en calor	
		Producto	Parque	Calor Latente Vaporización H2O Biomasa Entrada (Kcal)	Calor Específico H2O Biomasa Entrada (Kcal) (25-100 ºC)	Calor Total Consumido H2O Biomasa Entrada (Kcal)	Calor Total Consumido H2O Biomasa Entrada (KWh)	Ton biomasa equivalentes no consumidas	Valor Tn Equiv.
6	10	B6. Pino	Parque A	83.872.289,01	11.661.886,68	95.534.175,69	111.106,20	28,39	1.119,91 €
7	12	B6. Pino	Parque A	84.887.329,71	11.803.021,37	96.690.351,09	112.450,83	28,74	1.217,88 €
8	40	B6. Pino	Parque C	106.470.228,46	14.803.980,60	121.274.209,06	141.041,84	42,43	1.658,70 €
9	28	B6. Pino	Parque D	21.578.847,99	3.000.395,99	24.579.243,98	28.585,65	7,55	344,96 €
10	4	B6. Olivo Trit.	Parque A	24.225,39	3.368,38	27.593,77	32,09	0,01	0,31 €
11	40	B6. Olivo Trit.	Parque C	4.102.820,24	570.470,00	4.673.290,23	5.435,03	1,52	53,61 €
12	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	25.250.199,99	3.510.873,19	28.761.073,18	33.449,11	9,05	326,45 €
13	30	B6. Olivo Trit.	Parque D	58.392.377,03	8.119.073,56	66.511.450,58	77.352,78	22,50	722,75 €
14	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	30.188.906,11	4.197.567,59	34.386.473,71	39.991,45	9,94	365,56 €
15	40	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque C	1.532.936,86	213.144,72	1.746.081,58	2.030,69	0,62	25,21 €
16	21	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque E	20.740.441,01	2.883.821,05	23.624.262,06	27.475,00	7,84	329,57 €
17	48	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	21.329.229,61	2.965.688,21	24.294.917,82	28.254,98	6,93	157,22 €
18	18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	Parque E	35.097.545,41	4.880.081,40	39.977.626,80	46.493,96	12,62	407,28 €
19	27	B6. Chopo	Parque D	37.183.482,44	5.170.117,14	42.353.599,58	49.257,21	14,99	627,07 €
20	37	B6. Olivo Trit.	Parque C	59.804.173,06	8.315.374,45	68.119.547,51	79.223,00	20,92	719,40 €
21	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	58.702.562,60	8.162.202,81	66.864.765,41	77.763,69	19,87	713,29 €
22	28	B6. Olivo Trit.	Parque D	73.963.507,06	10.284.136,13	84.247.643,19	97.979,97	27,67	978,50 €
23	36	B6. Olivo Trit.	Parque C	57.309.719,42	7.968.537,18	65.278.256,60	75.918,58	22,60	743,57 €
24	4	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	203.665,74	28.318,37	231.984,11	269,80	0,06	2,34 €
25	40	B6. Pino	Parque C	106.113.987,53	14.754.447,65	120.868.435,19	140.569,93	42,29	1.787,05 €
26	1	B6. Pino	Parque A	72.917.039,00	10.138.631,67	83.055.670,68	96.593,70	24,14	1.167,86 €
27	40	B6. Pino	Parque C	93.585.217,61	13.012.405,12	106.597.622,73	123.972,98	43,54	1.713,30 €
28	7	B6. Pino	Parque A	121.930.833,08	16.953.675,35	138.884.508,43	161.522,61	56,73	2.175,24 €
29	35	B6. Pino	Parque C	1.401.593,91	194.882,36	1.596.476,26	1.856,70	0,46	22,75 €
30	36	B6. Pino	Parque C	12.834.210,95	1.784.512,09	14.618.723,04	17.001,57	4,25	203,71 €
31	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	8.599.393,72	1.195.688,78	9.795.082,50	11.391,68	4,21	135,71 €
32	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	11.200.389,45	1.557.340,02	12.757.729,48	14.837,23	4,69	166,44 €
33	29	Hoja de Almazara Tritu	Parque D	1.470.546,29	204.469,73	1.675.016,02	1.948,04	0,64	22,83 €
34	8	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque A	8.430.457,66	1.172.199,34	9.602.657,00	11.167,89	3,76	67,74 €
35	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	11.268.464,78	1.566.805,45	12.835.270,22	14.927,41	4,84	171,87 €
36	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	16.125.886,32	2.242.197,76	18.368.084,08	21.362,07	7,10	241,04 €
37	54	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque de Repaso	105.681.702,92	14.694.341,34	120.376.044,26	139.997,28	37,30	671,46 €
38	18	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	62.056.661,08	8.628.568,00	70.685.229,08	82.206,89	29,11	422,02 €
39	19	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	129.582.642,96	18.017.608,86	147.600.251,82	171.659,02	50,67	880,36 €
40	20	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	23.768.336,57	3.304.829,89	27.073.166,46	31.486,08	8,06	145,04 €
41	17	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	13.253.888,66	1.842.865,50	15.096.754,16	17.557,52	4,28	77,03 €
42	22	B6. Chopo	Parque D	8.260.135,17	1.148.517,13	9.408.652,30	10.942,26	2,73	110,34 €
43	21	B6. Chopo	Parque E	153.682.952,39	21.368.597,38	175.051.549,77	203.584,86	60,43	2.251,61 €
44	48	B6. Chopo	Parque A	22.329.717,53	3.104.799,43	25.434.516,96	29.580,33	10,84	295,19 €
45	5	B6.2 Poda Frutal	Parque A	19.894.624,99	2.766.215,93	22.660.840,92	26.354,55	6,15	225,79 €
46	23	B6.2 Poda Frutal	Parque E	55.285.793,19	7.687.123,64	62.972.916,83	73.237,47	19,36	636,39 €
47	21	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	165.058.461,23	22.950.286,60	188.008.747,84	218.654,08	62,43	2.048,36 €
48	28	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque D	43.348.243,91	6.027.286,42	49.375.530,33	57.423,72	16,17	661,86 €
49	14	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	39.273.025,60	5.460.654,28	44.733.679,89	52.025,25	16,60	588,54 €
50	4	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	106.973,09	14.873,90	121.846,99	141,71	0,03	1,05 €
51	40	B6. Pino	Parque C	19.580.636,62	2.722.557,93	22.303.194,54	25.938,60	5,99	314,21 €
52	39	B6. Pino	Parque C	42.541.944,88	5.915.175,87	48.457.120,75	56.355,61	16,44	704,90 €
53	37	B6. Pino	Parque C	5.162.743,83	717.845,36	5.880.589,19	6.839,12	1,81	88,20 €
54	38	B6. Pino	Parque C	41.053.291,69	5.708.188,50	46.761.480,19	54.383,58	15,86	680,23 €
55	12+18	B6. Pino	Parque A	9.539.073,67	1.326.345,06	10.865.418,73	12.636,48	2,87	146,95 €
56	36	B6. Pino	Parque C	10.899.149,82	1.515.454,65	12.414.604,47	14.438,18	3,29	174,67 €
57	1+7	B6. Pino	Parque A	47.245.480,65	6.569.171,39	53.814.652,04	62.586,41	15,18	771,83 €
58	3	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	105.682.969,39	14.694.517,43	120.377.486,82	139.998,96	37,12	1.121,44 €
59	34	B6. Olivo Trit.	Parque C	47.481.570,83	6.601.998,17	54.083.569,00	62.899,16	16,96	595,05 €
60	27	B6. Olivo Trit.	Parque D	15.840.615,82	2.202.532,79	18.043.148,61	20.984,17	5,36	200,60 €
61	54	B6. Olivo Trit.	Parque de Repaso	115.412.182,85	16.047.300,17	131.459.483,03	152.887,31	44,00	1.488,27 €
62	2	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	889.719,96	123.709,67	1.013.429,63	1.178,62	0,28	10,21 €
63	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	34.368.707,03	4.778.741,24	39.147.448,27	45.528,46	13,55	433,63 €
64	49	Orujillo	Nave Cubierta	16.618.847,18	2.310.740,71	18.929.587,89	22.015,10	5,12	225,08 €
65	49	Orujillo	Nave Cubierta	17.607.782,51	2.448.245,62	20.056.028,13	23.325,15	4,83	212,36 €
66	13	Orujillo	Explanada de Trituración	14.092.673,87	1.959.493,03	16.052.166,90	18.668,66	3,91	171,84 €
67	24	Orujillo	Parque D	68.100.239,96	9.468.887,65	77.569.127,60	90.212,86	18,87	830,40 €
68	15	Pino en Rollo	Parque E	292.843.147,91	40.717.901,54	333.561.049,46	387.931,33	115,08	3.424,79 €

Tabla.- Tabla de datos del balance energético de los difenretes ensayos realizados. [Fuente: Elaboración Propia]

Acopios				Balance de Energía					
Nº Prueba	Nº Acopio	Producto	Parque	Energía Entrada (Kcal)	Energía Final Almac. (Kcal)	Ganancia de Energía según Entrada (Kcal)	Energía Entrada (kWh)	Energía Final Almac. (kWh)	Ganancia de Energía según Entrada (kWh)
6	10	B6. Pino	Parque A	2.881.449,15	2.628.849,46	-252.599,69	3.351,13	3.057,35	-293,77
7	12	B6. Pino	Parque A	2.751.036,99	2.829.833,02	78.796,03	3.199,46	3.291,10	91,64
8	40	B6. Pino	Parque C	4.459.470,41	4.411.045,44	-48.424,97	5.186,36	5.130,05	-56,32
9	28	B6. Pino	Parque D	2.005.586,58	2.128.139,76	122.553,18	2.332,50	2.475,03	142,53
10	4	B6. Olivo Trit.	Parque A	3.106.609,42	3.002.812,75	-103.796,66	3.612,99	3.492,27	-120,72
11	40	B6. Olivo Trit.	Parque C	857.970,29	754.115,65	-103.854,63	997,82	877,04	-120,78
12	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	2.498.307,47	2.641.114,00	142.806,53	2.905,53	3.071,62	166,08
13	30	B6. Olivo Trit.	Parque D	2.658.285,62	2.463.524,30	-194.761,32	3.091,59	2.865,08	-226,51
14	15	B6. Olivo Trit.	Parque E	2.520.515,31	2.314.665,12	-205.850,19	2.931,36	2.691,96	-239,40
15	40	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque C	418.115,53	463.241,45	45.125,91	486,27	538,75	52,48
16	21	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque E	1.138.027,19	1.278.560,94	140.533,75	1.323,53	1.486,97	163,44
17	48	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	813.156,72	735.084,80	-78.071,92	945,70	854,90	-90,80
18	18	B6.2 Cepa de Viña Pretrit.	Parque E	4.910.690,86	5.195.795,66	285.104,80	5.711,13	6.042,71	331,58
19	27	B6. Chopo	Parque D	2.096.130,60	2.107.980,57	11.849,97	2.437,80	2.451,58	13,78
20	37	B6. Olivo Trit.	Parque C	3.716.400,58	3.592.604,52	-123.796,06	4.322,17	4.178,20	-143,97
21	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	2.718.798,80	2.863.251,76	144.452,96	3.161,96	3.329,96	168,00
22	28	B6. Olivo Trit.	Parque D	3.320.553,45	3.512.771,68	192.218,23	3.861,80	4.085,35	223,55
23	36	B6. Olivo Trit.	Parque C	3.696.522,22	4.047.242,83	350.720,61	4.299,06	4.706,94	407,89
24	4	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	5.195.727,44	5.069.031,32	-126.696,11	6.042,63	5.895,28	-147,35
25	40	B6. Pino	Parque C	2.897.180,18	3.287.284,00	390.103,82	3.369,42	3.823,11	453,69
26	1	B6. Pino	Parque A	3.712.372,14	3.890.775,26	178.403,12	4.317,49	4.524,97	207,48
27	40	B6. Pino	Parque C	1.904.016,40	2.430.547,61	526.531,21	2.214,37	2.826,73	612,36
28	7	B6. Pino	Parque A	2.086.304,91	2.542.776,70	456.471,79	2.426,37	2.957,25	530,88
29	35	B6. Pino	Parque C	1.861.548,66	1.873.061,71	11.513,05	2.164,98	2.178,37	13,39
30	36	B6. Pino	Parque C	2.700.457,56	2.515.734,54	-184.723,02	3.140,63	2.925,80	-214,83
31	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	5.861.472,43	5.653.437,69	-208.034,74	6.816,89	6.574,95	-241,94
32	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	2.778.624,05	2.378.944,27	-399.679,78	3.231,54	2.766,71	-464,83
33	29	Hoja de Almazara Tritu	Parque D	3.400.629,05	3.489.442,62	88.813,57	3.954,93	4.058,22	103,29
34	8	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque A	2.299.081,70	2.372.487,04	73.405,34	2.673,83	2.759,20	85,37
35	39	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	2.256.516,83	2.374.591,83	118.074,99	2.624,33	2.761,65	137,32
36	38	Hoja de Almazara Tritu	Parque C	2.522.006,30	2.509.470,83	-12.535,47	2.933,09	2.918,51	-14,58
37	54	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque de Repaso	5.568.794,90	5.198.953,45	-369.841,45	6.476,51	6.046,38	-430,13
38	18	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	3.290.759,87	3.232.913,13	-57.846,74	3.827,15	3.759,88	-67,28
39	19	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	6.638.027,61	6.146.442,55	-491.585,06	7.720,03	7.148,31	-571,71
40	20	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	4.822.354,21	4.375.687,96	-446.666,25	5.608,40	5.088,93	-519,47
41	17	Hoja de Almazara Sin Trit	Parque E	1.549.652,45	1.550.500,18	847,73	1.802,25	1.803,23	0,99
42	22	B6. Chopo	Parque D	540.331,38	493.397,07	-46.934,31	628,41	573,82	-54,58
43	21	B6. Chopo	Parque E	5.416.200,91	4.462.136,62	-954.064,30	6.299,04	5.189,47	-1.109,58
44	48	B6. Chopo	Parque A	339.419,05	401.126,78	61.707,73	394,74	466,51	71,77
45	5	B6.2 Poda Frutal	Parque A	3.725.497,68	3.702.630,84	-22.866,84	4.332,75	4.306,16	-26,59
46	23	B6.2 Poda Frutal	Parque E	4.826.175,81	5.015.158,03	188.982,22	5.612,84	5.832,63	219,79
47	21	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	4.882.181,20	5.113.609,36	231.428,16	5.677,98	5.947,13	269,15
48	28	B6.2 Sarmiento Vid Trit.	Parque D	3.021.374,07	3.483.641,07	462.267,00	3.513,86	4.051,47	537,62
49	14	B6.2 Sarmiento Vid Pretrit.	Parque E	1.537.069,63	1.984.418,96	447.349,34	1.787,61	2.307,88	520,27
50	4	B6.2 Restos de Podas Pretrit.	Parque A	612.767,12	541.840,43	-70.926,69	712,65	630,16	-82,49
51	40	B6. Pino	Parque C	3.085.233,53	2.951.883,45	-133.350,07	3.588,13	3.433,04	-155,09
52	39	B6. Pino	Parque C	2.451.354,22	2.554.807,65	103.453,43	2.850,93	2.971,24	120,32
53	37	B6. Pino	Parque C	3.099.205,73	2.928.850,74	-170.354,99	3.604,38	3.406,25	-198,12
54	38	B6. Pino	Parque C	3.006.175,35	3.031.795,57	25.620,22	3.496,18	3.525,98	29,80
55	12+18	B6. Pino	Parque A	5.542.884,96	5.524.523,74	-18.361,22	6.446,38	6.425,02	-21,35
56	36	B6. Pino	Parque C	4.461.924,38	4.426.107,13	-35.817,25	5.189,22	5.147,56	-41,66
57	1+7	B6. Pino	Parque A	9.470.929,88	9.050.174,11	-420.755,78	11.014,69	10.525,35	-489,34
58	3	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	4.884.459,61	5.014.693,14	130.233,54	5.680,63	5.832,09	151,46
59	34	B6. Olivo Trit.	Parque C	4.464.007,34	3.839.163,39	-624.843,95	5.191,64	4.464,95	-726,69
60	27	B6. Olivo Trit.	Parque D	4.279.644,34	4.349.103,67	69.459,33	4.977,23	5.058,01	80,78
61	54	B6. Olivo Trit.	Parque de Repaso	4.704.033,46	4.660.316,88	-43.716,58	5.470,79	5.419,95	-50,84
62	2	B6. Olivo Pretrit.	Parque A	5.889.012,69	5.075.132,24	-813.880,45	6.848,92	5.902,38	-946,54
63	8	B6. Olivo Trit.	Parque A	1.336.377,28	1.418.882,57	82.505,29	1.554,21	1.650,16	95,95
64	49	Orujillo	Nave Cubierta	13.249.936,29	13.565.230,25	315.293,96	15.409,68	15.776,36	366,69
65	49	Orujillo	Nave Cubierta	9.112.429,73	9.182.107,73	69.678,00	10.597,76	10.678,79	81,04
66	13	Orujillo	Explanada de Trituración	5.417.535,99	5.450.229,02	32.693,02	6.300,59	6.338,62	38,02
67	24	Orujillo	Parque D	11.920.880,84	12.008.936,38	88.055,54	13.863,98	13.966,39	102,41
68	15	Pino en Rollo	Parque E	18.247.234,98	17.214.864,98	-1.032.370,01	21.221,53	20.020,89	-1.200,65