



**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL
ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL
AGRICOLA Y ANALISIS DE
APROVECHAMIENTO EN LOS
MUNICIPIOS DE LA COMARCA DEL
ALTO PALANCIA.**

SEPTIEMBRE 2016



**MASTER EN
EFICIENCIA
ENERGÉTICA Y
SOSTENIBILIDAD.**

UNIVERSIDAD JAUME I

Alicia Budí Orduña

TRABAJO FINAL DE MASTER

**Director:
Francisco J. Colomer Mendoza.**

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este Trabajo Fin de Master ha sido becada por la **Fundación Bancaja Segorbe en la XXV Convocatoria de Ayudas y Becas**, en la modalidad de Ayudas a la Investigación.

Estas ayudas se conceden a proyectos de investigación, cuyo objeto de estudio o de aplicación sean tanto aspectos medioambientales, de áreas de humanidades y sociales, o de turismo, sobre las poblaciones de las comarcas del Alto Palancia y Alto Mijares.

INDICE.

1.	TÍTULO.....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.1	JUSTIFICACIÓN.....	1
2.2	TEMÁTICA Y DESARROLLO.....	4
3.	OBJETIVOS DEL TRABAJO.	9
4.	METODOLOGÍA.....	10
4.1	ANÁLISIS INICIAL DE DATOS.	10
4.1.1	Descripción ámbito de estudio. Contexto geográfico.....	10
4.1.2	Superficies y distribución de cultivos.	11
4.2	CRONOGRAMA DE RECOGIDA DE MUESTRAS.	21
4.2.1	Almendro.....	21
4.2.2	Olivo.	24
4.2.3	Algarrobo.....	26
4.2.4	Mandarino y Naranja dulce.....	27
4.2.5	Níspero.	29
4.2.6	Caqui.....	30
4.2.7	Cronograma de recogida de muestras.	32
4.3	CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA APROVECHABLE.....	33
4.3.1	Biomasa aprovechable por cultivo y superficie.	33
4.3.2	Biomasa total en el ámbito de estudio.	38
4.3.3	Conclusiones.....	39
4.4	CARACTERIZACIÓN DE LOS RESTOS DE PODAS EN LABORATORIO.	40
4.4.1	Objetivo.....	40
4.4.2	Recogida de muestras.	40
4.4.3	Preparación de muestras.	42

4.4.4	Análisis a realizar.....	43
3.4.5.	Conclusiones.....	61
4.5	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO.	62
4.5.1	Potencial energético.....	62
4.5.2	Demanda.	63
4.5.3	Conclusiones.....	66
4.6	DATOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN.	66
4.6.1	Materia prima. Costes aproximados desde el campo origen hasta centro de trabajo. 67	
4.6.2	Transformación de la biomasa.	73
4.6.3	Estudio de viabilidad económica.....	76
4.6.4	Conclusiones.....	84
4.7	CULTIVOS ENERGÉTICOS.	85
4.7.1	Definición y antecedentes.....	85
4.7.2	Superficie disponible para implantación de cultivos energéticos en la comarca del Alto Palancia.....	87
4.7.3	Cultivos energéticos de posible implantación.....	89
4.7.4	Datos económicos de los cultivos energéticos.....	94
4.7.5	Conclusiones.....	96
5.	CONCLUSIONES FINALES.	97
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	99

1. TÍTULO.

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA Y ANÁLISIS DE APROVECHAMIENTO EN LOS MUNICIPIOS DE LA COMARCA DEL ALTO PALANCIA.

2. INTRODUCCIÓN.

2.1 JUSTIFICACIÓN.

La Directiva 2009/28/EC del Parlamento Europeo define la biomasa como «*la fracción biodegradable de los productos, residuos y productos elaborados a partir de residuos provenientes de la agricultura, incluidas las sustancias de origen animal y vegetal, de la actividad forestal y de las industrias relacionadas con estos sectores [...]»*.

La biomasa engloba al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de la materia orgánica, quedando por tanto excluidos los combustibles fósiles o los productos orgánicos derivados de ellos, aunque también tuvieran un origen biológico en épocas remotas.

La biomasa agrícola corresponde a los restos producidos por los cultivos herbáceos y por los cultivos leñosos.

El papel y la importancia de la biomasa en la actualidad no admite discusión. Desde el punto de vista social y económico, el uso de la biomasa contribuye a la diversificación energética, a la reducción de dependencia de fuentes externas de energía, y a la creación de fuentes de trabajo rural ⁽¹⁾.

El aprovechamiento de la biomasa residual, además de otras ventajas económicas, ambientales y geoestratégicas, ofrece una serie de ventajas especialmente importantes para el

entorno rural, la generación de riqueza y empleo, relacionadas directamente con el desarrollo local ⁽²⁾.

El reconocimiento de la biomasa a nivel europeo comienza en el año 1997 con la publicación del Libro Blanco de las Energías Renovables (EERR) de la Unión Europea. Años más tarde en 2009 se aprueba la Directiva 2009/28/CE, de fomento de las energías renovables. Dicha Directiva declara como objetivo vinculante para los países miembros, cubrir el 20% del consumo final con energía procedente de fuentes renovables y una cuota del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de combustibles para el transporte en la Comunidad para 2020. Además, establece la obligación de redactar Planes de Acción Nacionales en materia de Energías Renovables (PANER), los cuales deben establecer las acciones para conseguir los objetivos nacionales fijados en la propia Directiva. En base a esta obligación en España está vigente el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) 2011-2020 ⁽³⁾, en el que se recogen los compromisos establecidos por la citada directiva y se establecen medidas para poder llevarlos a cabo. En el caso concreto de la biomasa, dispone que la potencia instalada debería pasar de 825 MW en 2010, a multiplicarse por 2,3 y alcanzar los 1.950 MW de potencia instalada para el año 2020.

Al amparo de la normativa y planes estratégicos nacionales, las Comunidades Autónomas han desarrollado diferentes programas y líneas de acción para potenciar el aprovechamiento sostenible de la biomasa forestal.

La Comunitat Valenciana y, por extensión, la provincia de Castellón no es ajena a este interés por el aprovechamiento energético de la biomasa, existiendo numerosas iniciativas y proyectos en marcha, centrados en su gran mayoría en la biomasa forestal. La Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente elaboró la Orden 2008/10625, por la que se

aprueban las bases reguladoras de un régimen de primas para la puesta en Valor de la Biomasa Forestal Residual (BFR) en terrenos forestales de la Comunidad Valenciana. Se subvencionan 51 €/Tm. de biomasa procedente de:

- i. Retirada de BFR procedente de incendios forestales.
- ii. Retirada de BFR procedente de aprovechamientos forestales.
- iii. Retirada de BFR procedente de tratamientos silvícolas y selvicultura preventiva.

En 2010, según datos del IVACE en la Comunitat Valenciana había 19 plantas de biomasa en funcionamiento dedicadas a la producción de energía con una potencia de 20.294 kW; y 4 plantas más centradas en las fases de recogida, tratamiento y procesado de la biomasa.

Resulta evidente el gran esfuerzo que se ha realizado desde las diferentes administraciones por estudiar, investigar y desarrollar el potencial energético de la biomasa forestal. La bibliografía recoge numerosos estudios y experiencias sobre la cuantificación y valorización energética de especies forestales. La biomasa residual agrícola no ha sido tan ampliamente estudiada hasta la fecha. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en un país con clima Mediterráneo como España la orografía de fuertes pendientes (p.e. Comunidad Valenciana, Baleares y Cataluña) no facilita la movilización de la biomasa forestal residual proveniente del bosque; pendientes superiores al 30-35% hacen difícil y costoso el aprovechamiento silvícola ⁽⁴⁾. Esto hace necesario la realización de diversos estudios para un posterior aprovechamiento de otras fuentes biomásicas leñosas como los cultivos agrícolas (frutales) y plantaciones endoenergéticas ⁽⁵⁾.

La Comarca del Alto Palancia es y ha sido históricamente una comarca agrícola y con un marcado carácter rural. El estudio de posibilidades de aprovechamiento energético de biomasa

residual mediante un planteamiento de integración zonal, aunando producción, tratamiento y transporte, resulta una gran baza de futuro para el desarrollo local, generando riqueza y empleo.

2.2 TEMÁTICA Y DESARROLLO.

El aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos exige una cuidadosa evaluación dada la enorme variedad de recursos que se incluyen dentro de este término, las características particulares de cada uno de ellos, las condiciones locales de donde se encuentran, y las muy variadas tecnologías de aprovechamiento de los mismos ⁽⁶⁾, por ello el punto de partida para desarrollar un sistema de gestión de la biomasa agrícola que permita analizar la viabilidad de su aprovechamiento se centra en evaluar las cantidades y calidades de biomasa con las que se pretende realizar la investigación.

La provincia de Castellón tiene gran disponibilidad de biomasa por todo su territorio, tanto en la zona forestal, dominante en la franja del interior, como en los terrenos agrícolas, más relevantes en la llanura litoral. Se estima que en la provincia de Castellón hay un potencial de más de 182.000 toneladas al año de restos de podas procedentes de cultivos de olivo, almendro, viña y cítricos. El recurso agrícola se concentra en la franja costera (comarcas del Baix Maestrat, La Plana Alta y La Plana Baixa) y se extiende en paralelo hacia el interior, disminuyendo considerablemente en los municipios más montañosos, en los que tanto las tierras cultivadas, como la calidad de estas, disminuyen de forma significativa ⁽⁷⁾.

De la misma manera que ocurre con la biomasa forestal, la biomasa agrícola se enfrenta a una serie de dificultades que limitan y lastran su posible aprovechamiento a gran escala. Por un lado, la heterogeneidad y estacionalidad de cultivos y la multitud de aprovechamientos en un mismo campo dificultan y no siempre permite la automatización de la recogida y por otro

lado, el sistema de minifundio, ampliamente extendido, dificulta la rentabilidad económica en la logística y el resto de actuaciones ⁽⁸⁾. Con todo esto, el producto biomásico agrícola se caracteriza por su elevada heterogeneidad (ramas de varios tamaños, hojas, diferentes humedades...) lo que puede dificultar su uso para combustibles de alta calidad ⁽⁹⁾.

La caracterización de las propiedades de la biomasa es fundamental para seleccionar la aplicación tecnológica más apropiada para el aprovechamiento energético o para la producción de nuevos recursos ^(9, 10) Así pues, para poder estimar la producción de energía térmica de la biomasa es necesario definir una serie de parámetros a nivel de laboratorio: poder calorífico, humedad y cenizas.

De entre todos los parámetros evaluados el más importante para valorar las características energéticas de la biomasa es el poder calorífico del recurso que depende de la humedad, cuanto mayor es la humedad el valor del poder calorífico disminuye ⁽¹¹⁾.

Para evaluar la cantidad energética de las diferentes fuentes de biomasa se utiliza la tonelada equivalente de petróleo (tep) que corresponde a la energía que hay en 1 tonelada de petróleo (1 tep =41.840.000.000 J).

Una vez evaluada la cantidad y la calidad de la biomasa residual en el ámbito de estudio hay que abordar su valorización final y de esa manera podríamos cerrar el ciclo productivo y valorar en su conjunto su viabilidad económica.

Toda la biomasa residual agrícola presenta en origen una densidad muy baja. Esta característica limita la viabilidad de su aprovechamiento energético por lo que en la práctica se invierten muchos recursos en la densificación de los materiales mediante equipos de astillado,

trituration y densificado, con el fin de que el precio del combustible no supere los costes que permiten que las instalaciones de aprovechamiento sean económicamente viables.

La forma más convencional de aprovechar la biomasa es a través de la combustión. Las experiencias prácticas de aprovechamiento de biomasa se limitan casi exclusivamente a las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria. La producción térmica sigue una escala de usos que comienza con las calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares. En un segundo escalafón se sitúan las calderas diseñadas para un bloque o edificio de viviendas, equiparables en su funcionamiento a las habituales de gasóleo C o gas natural. Una red de calefacción centralizada (district heating), supone el siguiente nivel dentro de las aplicaciones térmicas de la biomasa. Este tipo de instalaciones están muy extendidas en el Centro y Norte de Europa (Suecia, Finlandia, Dinamarca, Austria, Alemania y Polonia), aunque todavía no están muy presentes en nuestra región ⁽¹²⁾.

En general, los costes de inversión para instalaciones de biomasa son superiores a sus homólogos para instalaciones de combustibles convencionales. En cambio, cuando nos referimos a los costes de operación o explotación de plantas de biomasa, su comparación frente a combustibles convencionales puede ser favorable.

Las cooperativas agrícolas pueden jugar un papel determinante como agente intermediario que coordine propietarios y facilite el acopio y recogida de restos. En el término municipal de Villar del Arzobispo (provincia de Valencia), desde 2012 la red de calor y ACS de la Granja-Escuela y el Centro de Menores Luis Amigó funcionan con una caldera de biomasa de 270 W sustituyendo a la antigua caldera de propano. El suministro de combustible se completa a escala local mediante un convenio con la Cooperativa Agrícola “El Villar” de Villar del Arzobispo, cerrando así un ciclo cerrado local de producción-consumo ⁽²⁾.

Así mismo, la intervención de la administración resulta clave, en este sentido, la posible prohibición de la quema de los restos de podas de frutales, puede suponer una oportunidad al respecto.

La puesta en marcha real de un sistema de gestión y aprovechamiento de la biomasa residual para aprovechamiento térmico es ya un hecho en algunas localidades de la Comunidad Valenciana. El ejemplo más exitoso lo encontramos en el Ayuntamiento de Serra ⁽¹³⁾, en Valencia. El residuo verde procedente de parques y jardines pasó de ser un problema y un gasto en gestión a ser una fuente de empleo y ahorro económico. Los datos económicos son sorprendentes, llegando a conseguir ahorros anuales reales entre 80.000 y 90.000 euros.

En el caso concreto del presente estudio, se pretende la valoración de los restos de biomasa agrícola procedentes de los cultivos propios de la comarca. Este estudio no lo mueve un objetivo concreto de reducción de costes por gestión de residuo (caso de Serra) o por un objetivo de reducción de costes energéticos (caso de Villar del Arzobispo) pero, la consecución final de ambas, añadido al siempre objetivo de desarrollo rural, resultan muy determinantes.

En cuanto a la propia vertebración de cadena de valor de la biomasa, existen en la actualidad numerosos agentes vinculados a las distintas etapas del proceso producción-transformación-consumo de la misma. Estos agentes incluyen las empresas dedicadas a la gestión y aprovechamientos forestales, empresas de producción de combustibles biomásicos, empresas de logística, de servicios energéticos, instaladores de calderas, etc.

En la provincia de Castellón y por analogía en la comarca de estudio, existe una gran diversidad de consumidores de energía térmica que pueden constituirse en demandantes de biomasa.

Otra cuestión altamente interesante dentro del aprovechamiento de la biomasa son los cultivos energéticos. Conforme se deduce de la bibliografía consultada ⁽⁸⁾, el cálculo potencial de biomasa vegetal no alimentaria utilizable con fines energéticos es inferior a los objetivos marcados en el PANER. Este objetivo sería difícil de alcanzar, salvo que haya incremento significativo de producción en nuevas tierras mediante cultivos energéticos.

Durante las últimas décadas, la industrialización de la economía y la debacle en los rendimientos agrícolas ha ocasionado el abandono de tierras tradicionalmente de regadío. Los cultivos energéticos pueden ser una opción para el aprovechamiento económico de ese suelo agrícola abandonado.

3. OBJETIVOS DEL TRABAJO.

La elaboración del presente estudio se enmarca dentro de los estudios del MASTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN INSTALACIONES INDUSTRIALES Y EDIFICACIÓN en la Universidad JAUME I de Castellón. El estudio en su totalidad se desarrolla con el objeto de completar el Estudio Fin de Master, con una carga de 10 créditos.

El objetivo principal de este estudio es determinar el potencial energético de la biomasa residual agrícola en la comarca del Alto Palancia y valorar su aprovechamiento. Para ello resulta necesario la consecución de los siguientes objetivos complementarios:

- Determinar los cultivos principales de la zona y estimar la biomasa residual agrícola aprovechable.
- Caracterizar la biomasa residual agrícola y evaluar su potencial energético.
- Analizar la viabilidad económica de la puesta en valor de la biomasa residual agrícola.

Dentro del estudio se ha considerado interesante incluir una valoración de implantación de cultivos energéticos en superficies abandonadas de su cultivo primitivo o en situación de inactividad agrícola. Este tipo de aprovechamiento permitiría incrementar la biomasa agrícola aprovechable y aumentar el valor productivo de las superficies agrícolas. Por este motivo se incluye además el siguiente objetivo:

- Valorar la superficie existente para la implantación de cultivos energéticos y realizar un primer estudio de simulación de la implementación de cultivos energéticos.

4. METODOLOGÍA

4.1 ANÁLISIS INICIAL DE DATOS.

4.1.1 Descripción ámbito de estudio. Contexto geográfico.

El Alto Palancia, es una comarca de la Comunidad Valenciana, situada en el interior de la provincia de Castellón, en torno a la parte alta del curso del río Palancia que la recorre en sentido NO-SE. La comarca está atravesada por el camino natural que une la ciudad de Valencia con Teruel y su capital es el municipio de Segorbe.

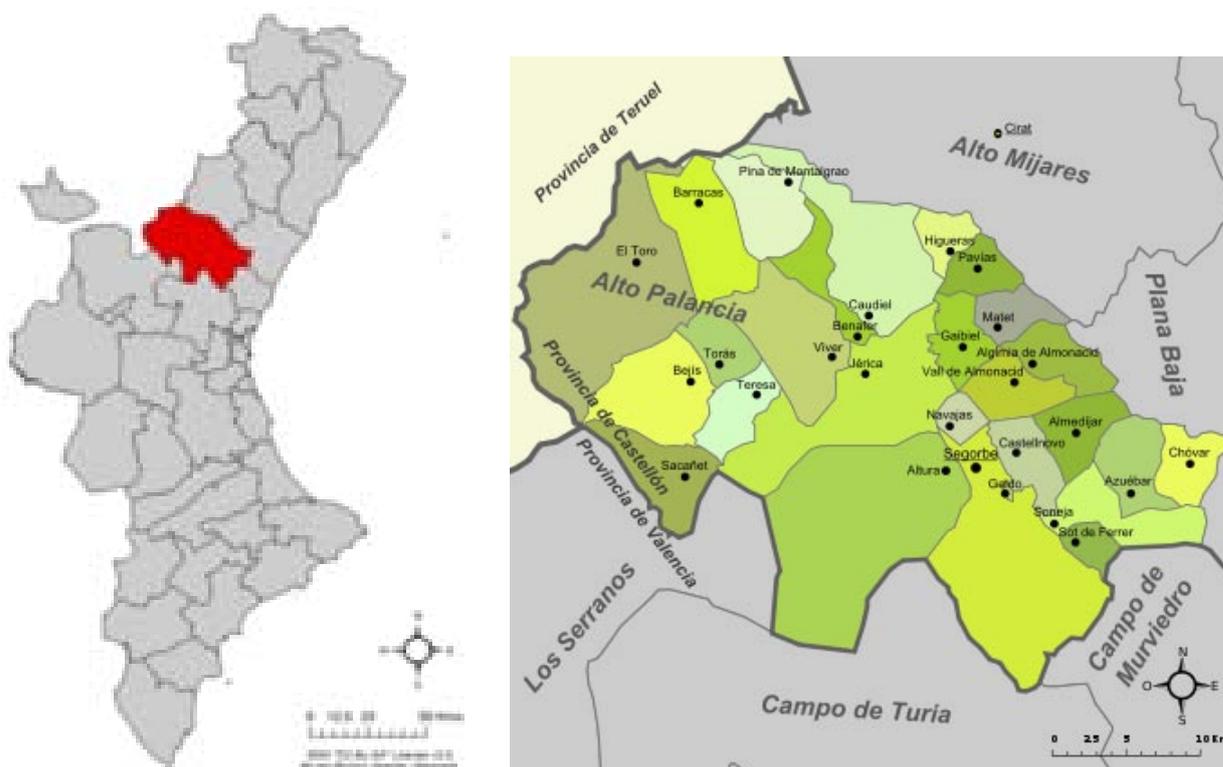


Figura 1. Comarca Alto Palancia. Situación y distribución administrativa.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Alto_Palancia

Administrativamente limita al noreste con la comarca del Alto Mijares y la Plana Baixa, al sudeste con el Camp de Morvedre, al suroeste con Los Serranos y L’Horta Nord, y al noroeste

con Teruel. La comarca del Alto Palancia está compuesta de 28 municipios, que ocupan una superficie de 97.099 hectáreas.

Geográficamente se sitúa en las últimas estribaciones del Sistema Ibérico, entre el Altiplano Turolense y la llanura litoral. Esta situación le confiere una gran variabilidad en la climatología y por ende en la vegetación que puede crecer en ella.

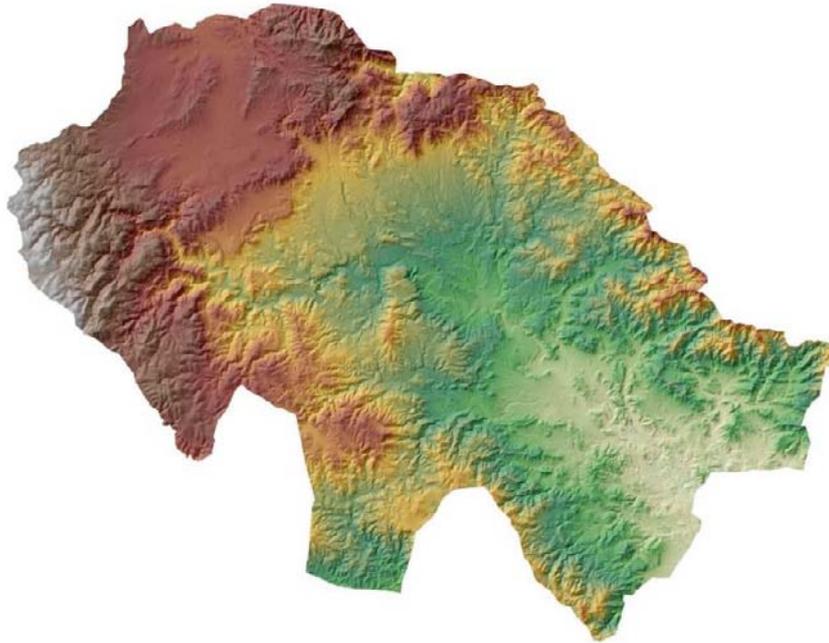


Figura 2: Mapa físico de la Comarca del Alto Palancia.

Fuente: <https://elaltopalancia.com/portfolio/el-relieve/>

4.1.2 Superficies y distribución de cultivos.

Según los datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA, 59.397 hectáreas son terreno forestal (61,17%) considerando la suma de monte maderable, monte leñoso y monte abierto y únicamente 19.559 hectáreas son tierras de cultivo (20,14%).

Sobre el total de hectáreas de tierra de cultivo están incluidos: cultivos leñosos y cultivos herbáceos.

Tabla 1. Superficie de tierra de cultivo de la comarca Alto Palancia en hectáreas.

	SUPERFICIE DE TIERRA DE CULTIVO (ha)		
	SECANO	REGADÍO	TOTAL
CULTIVOS LEÑOSOS	12.741	3.555	16.296
CULTIVOS HERBÁCEOS	2.751	1.142	3.893

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Tal y como se observa en la tabla 1, la superficie de los cultivos leñosos es muy superior a la superficie de los cultivos herbáceos. Así mismo, en ambos bloques las superficies de secano son superiores a las superficies de regadío.

El estudio de los datos de superficies de cultivos por municipio (tablas 2 y 3) muestra datos coherentes con la geografía de la zona de estudio, los municipios de la zona noroeste de la comarca con clima más continental (Pina de Montalgrao, Baracas, El Toro) concentran los cultivos herbáceos de secano más importantes en cuanto a volumen de superficie (cultivos de grano y forrajeras). Los cultivos herbáceos de regadío se refieren fundamentalmente a cultivos de hortalizas, y en este caso son los municipios anexas a la vega del río Palancia los que tienen mayores superficies.

Tabla 2. Superficies de cultivo de herbáceos por municipio.

Municipio	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL
Total BARRACAS	1268	6	1274
Total TORO (EL)	853	18	871
Total SEGORBE	36	346	382
Total PINA DE MONTALGRAO	274	3	277
Total JÉRICA	12	221	233
Total ALTURA	110	47	157
Total VIVER	48	94	142
Total CASTELLNOVO	0	63	63
Total SACAÑET	58	0	58
Total CAUDIEL	21	30	51
Total MONTÁN	9	41	50
Total BENAFER	12	35	47
Total NAVAJAS	0	42	42
Total VILLANUEVA DE VIVER	18	16	34
Total BEJÍS	8	20	28
Total TORÁS	15	10	25
Total FUENTE LA REINA	3	18	21
Total HIGUERAS	0	21	21
Total TERESA	3	16	19
Total SOT DE FERRER	0	18	18
Total MATET	0	14	14
Total GAIBIEL	0	13	13
Total GELDO	0	12	12
Total VALL DE ALMONACID	0	11	11
Total PAVÍAS	0	10	10
Total SONEJA	3	6	9
Total ALMEDÍJAR	0	7	7
Total ALGIMIA DE ALMONACID	0	4	4
Total general	2751	1142	3893

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Tabla 3. Superficies de cultivo de leñosos por municipio.

Municipio	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL
Total SEGORBE	3212	810	4022
Total ALTURA	2764	320	3084
Total JÉRICA	1309	360	1669
Total VIVER	526	745	1271
Total SONEJA	564	378	942
Total CASTELLNOVO	482	275	757
Total ALGIMIA DE ALMONACID	581	16	597
Total CAUDIEL	359	101	460
Total ALMEDÚJAR	381	22	403
Total TORÁS	356	33	389
Total VALL DE ALMONACID	316	55	371
Total SOT DE FERRER	186	92	278
Total TORO (EL)	247	2	249
Total MONTÁN	229	5	234
Total GAIBIEL	173	53	226
Total BEJÍS	111	103	214
Total TERESA	169	45	214
Total NAVAJAS	163	49	212
Total BENAFER	169	41	210
Total MATET	188	12	200
Total SACAÑET	97	0	97
Total PAVÍAS	44	0	44
Total GELDO	5	33	38
Total HIGUERAS	35	1	36
Total VILLANUEVA DE VIVER	32	2	34
Total PINA DE MONTALGRAO	19	0	19
Total FUENTE LA REINA	14	2	16
Total BARRACAS	10	0	10
Total general	12741	3555	16296

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Respecto a los cultivos leñosos, los dos cultivos principales (almendro y olivar) completan más del 80% de la superficie (tabla 4).

Así mismo, se observa que los cultivos del olivar de aceituna de mesa y el olivar de aceituna para aceite se concentran en los mismos municipios, al igual que ocurre con los cultivos de mandarina y naranjo dulce. Es más, habitualmente estos cultivos suelen concentrarse mayoritariamente en las mismas parcelas por lo que, para este estudio se consideran de forma conjunta.

Tabla 4. Superficies totales por cultivo en hectáreas (ha) y porcentajes de representatividad individual y acumulada sobre la superficie total.

CULTIVOS	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL	% sobre el total	% acumulado
Total ALMENDRO	6989	889	7878	48,34%	48,34%
Total OLIVAR	4706	1214	5920	36,33%	84,67%
Total ALGARROBO	808	0	808	4,96%	89,63%
Total MANDARINO Y NARANJO	0	582	582	3,57%	93,20%
Total NISPERO	0	211	211	1,29%	94,50%
Total CAQUI	0	207	207	1,27%	95,77%
Total CEREZO Y GUINDO	49	108	157	0,96%	96,73%
Total NOGAL	78	38	116	0,71%	97,44%
Total PERAL	14	94	108	0,66%	98,10%
Total MELOCOTONERO	13	62	75	0,46%	98,56%
Total MANZANO	18	48	66	0,41%	98,97%
Total UVA TRANSF. CULTIVO UNICO	32	25	57	0,35%	99,32%
Total ALBARICOQUERO	15	22	37	0,23%	99,55%
Total CIRUELO	7	20	27	0,17%	99,71%
Total VIVEROS	0	25	25	0,15%	99,86%
Total GRANADO	0	7	7	0,04%	99,91%
Total VIÑEDO UVA DE MESA	5	0	5	0,03%	99,94%
Total AVELLANO	3	0	3	0,02%	99,96%
Total HIGUERA	2	1	3	0,02%	99,98%
Total PISTACHO	2	1	3	0,02%	99,99%
Total LIMONERO	0	1	1	0,01%	100,00%
Total general	12741	3555	16296	100,00%	

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Con el objetivo de concentrar la toma de muestras y considerando los porcentajes acumulados de superficies cultivadas, se valoran los cultivos de almendro, olivar, algarrobo, mandarina y naranjo, níspero y caqui de forma exhaustiva (tablas 5, 6, 7, 8, 9 y 10).

Tabla 5: Superficies por municipio de cultivo de almendro en hectáreas (ha) y porcentajes de representatividad individual y acumulada sobre la superficie total.

ALMENDRO					
Municipio	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL	% sobre el total	% acumulado
SEGORBE	1787	82	1869	23,72%	23,72%
ALTURA	1512	140	1652	20,97%	44,69%
JÉRICA	817	75	892	11,32%	56,02%
VIVER	387	450	837	10,62%	66,64%
ALGIMIA DE ALMONACID	320	1	321	4,07%	70,72%
SONEJA	260	38	298	3,78%	74,50%
TORÁS	241	12	253	3,21%	77,71%
CAUIDIEL	221	18	239	3,03%	80,74%
TORO (EL)	235	0	235	2,98%	83,73%
CASTELLNOVO	190	14	204	2,59%	86,32%
BENAFER	136	10	146	1,85%	88,17%
TERESA	119	2	121	1,54%	89,71%
ALMEDÍJAR	103	6	109	1,38%	91,09%
NAVAJAS	92	12	104	1,32%	92,41%
MONTÁN	100	2	102	1,29%	93,70%
GAIBIEL	78	2	80	1,02%	94,72%
SACAÑET	78	0	78	0,99%	95,71%
BEJÍS	55	10	65	0,83%	96,53%
MATET	57	4	61	0,77%	97,31%
VALL DE ALMONACID	56	2	58	0,74%	98,05%
PAVÍAS	34	0	34	0,43%	98,48%
VILLANUEVA DE VIVER	30	2	32	0,41%	98,88%
HIGUERAS	23	0	23	0,29%	99,17%
SOT DE FERRER	19	1	20	0,25%	99,43%
PINA DE MONTALGRAO	17	0	17	0,22%	99,64%
FUENTE LA REINA	12	2	14	0,18%	99,82%
BARRACAS	8	0	8	0,10%	99,92%
GELDO	2	4	6	0,08%	100,00%
	6989	889	7878	100,00%	

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Tabla 6: Superficies por municipio de cultivo de olivar en hectáreas (ha) y porcentajes de representatividad individual y acumulada sobre la superficie total.

OLIVAR					
Municipio	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL	% sobre el total	% acumulado
ALTURA	1212	133	1345	22,72%	22,72%
SEGORBE	1038	163	1201	20,29%	43,01%
JÉRICA	467	186	653	11,03%	54,04%
VIVER	95	257	352	5,95%	59,98%
CASTELLNOVO	240	53	293	4,95%	64,93%
VALL DE ALMONACID	252	29	281	4,75%	69,68%
ALMEDÍJAR	259	7	266	4,49%	74,17%
SONEJA	113	143	256	4,32%	78,50%
ALGIMIA DE ALMONACID	240	8	248	4,19%	82,69%
CAUDIEL	118	35	153	2,58%	85,27%
GAIBIEL	95	43	138	2,33%	87,60%
BEJÍS	50	80	130	2,20%	89,80%
TORÁS	113	17	130	2,20%	91,99%
MATET	123	4	127	2,15%	94,14%
MONTÁN	125	0	125	2,11%	96,25%
NAVAJAS	52	15	67	1,13%	97,38%
TERESA	47	11	58	0,98%	98,36%
BENAFER	26	22	48	0,81%	99,17%
SOT DE FERRER	16	4	20	0,34%	99,51%
HIGUERAS	11	0	11	0,19%	99,70%
PAVIÁS	8	0	8	0,14%	99,83%
GELDO	3	4	7	0,12%	99,95%
FUENTE LA REINA	2	0	2	0,03%	99,98%
PINA DE MONTALGRAO	1	0	1	0,02%	100,00%
	4706	1214	5920	100,00%	

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Tabla 7: Superficies por municipio de cultivo de algarrobo en hectáreas (ha) y porcentajes de representatividad individual y acumulada sobre la superficie total.

ALGARROBO					
Municipio	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL	% sobre el total	% acumulado
SEGORBE	350	0	350	43,32%	43,32%
SONEJA	188	0	188	23,27%	66,58%
SOT DE FERRER	151	0	151	18,69%	85,27%
CASTELLNOVO	44	0	44	5,45%	90,72%
NAVAJAS	19	0	19	2,35%	93,07%
ALTURA	16	0	16	1,98%	95,05%
JÉRICA	12	0	12	1,49%	96,53%
ALGIMIA DE ALMONACID	10	0	10	1,24%	97,77%
ALMEDÍJAR	9	0	9	1,11%	98,89%
VALL DE ALMONACID	8	0	8	0,99%	99,88%
CAUDIEL	1	0	1	0,12%	100,00%
	808	0	808	100,00%	

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Tabla 8: Superficies por municipio de cultivo de mandarina y naranjo dulce en hectáreas (ha) y porcentajes de representatividad individual y acumulada sobre la superficie total.

MANDARINO Y NARANJO DULCE					
Municipio	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL	% sobre el total	% acumulado
SEGORBE	0	265	265	45,53%	45,53%
SONEJA	0	188	188	32,30%	77,84%
SOT DE FERRER	0	60	60	10,31%	88,14%
CASTELLNOVO	0	45	45	7,73%	95,88%
NAVAJAS	0	9	9	1,55%	97,42%
ALTURA	0	7	7	1,20%	98,63%
ALMEDÍJAR	0	4	4	0,69%	99,31%
JÉRICA	0	3	3	0,52%	99,83%
GELDO	0	1	1	0,17%	100,00%
	0	582	582	100,00%	

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Tabla 9: Superficies por municipio de cultivo de níspero en hectáreas (ha) y porcentajes de representatividad individual y acumulada sobre la superficie total.

NISPERO					
Municipio	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL	% sobre el total	% acumulado
CASTELLNOVO	0	82	82	38,86%	38,86%
SEGORBE	0	64	64	30,33%	69,19%
JÉRICA	0	22	22	10,43%	79,62%
SOT DE FERRER	0	15	15	7,11%	86,73%
ALTURA	0	7	7	3,32%	90,05%
GELDO	0	6	6	2,84%	92,89%
CAUDIEL	0	5	5	2,37%	95,26%
VALL DE ALMONACID	0	5	5	2,37%	97,63%
ALGIMIA DE ALMONACID	0	1	1	0,47%	98,10%
ALMEDÍJAR	0	1	1	0,47%	98,58%
GAIBIEL	0	1	1	0,47%	99,05%
NAVAJAS	0	1	1	0,47%	99,53%
SONEJA	0	1	1	0,47%	100,00%
	0	211	211	100,00%	

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

Tabla 10: Superficies por municipio de cultivo de caqui en hectáreas (ha) y porcentajes de representatividad individual y acumulada sobre la superficie total.

CAQUI					
Municipio	Sup Secano	Sup Regadio	TOTAL	% sobre el total	% acumulado
SEGORBE	0	102	102	49,28%	49,28%
CASTELLNOVO	0	37	37	17,87%	67,15%
ALTURA	0	19	19	9,18%	76,33%
JÉRICA	0	9	9	4,35%	80,68%
NAVAJAS	0	8	8	3,86%	84,54%
SOT DE FERRER	0	8	8	3,86%	88,41%
GELDO	0	7	7	3,38%	91,79%
CAUIDIEL	0	5	5	2,42%	94,20%
VALL DE ALMONACID	0	4	4	1,93%	96,14%
ALGIMIA DE ALMONACID	0	2	2	0,97%	97,10%
ALMEDÍJAR	0	2	2	0,97%	98,07%
BENAFER	0	1	1	0,48%	98,55%
GAIBIEL	0	1	1	0,48%	99,03%
SONEJA	0	1	1	0,48%	99,52%
VIVER	0	1	1	0,48%	100,00%
	0	207	207	100,00%	

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

4.1.3 Conclusiones sobre el análisis inicial de datos.

- Las características geográficas de la zona de estudio determinan la distribución de los cultivos. La zona noroeste de la comarca, donde la geografía es más montañosa y el clima más continental, los cultivos herbáceos de secano adquieren mayor importancia. Los cultivos herbáceos de regadío ocupan una superficie muy pequeña y son destinados mayoritariamente a cultivos de hortalizas para consumo doméstico. Adicionalmente, la superficie en cultivos herbáceos en la zona de estudio es significativamente inferior a la superficie de los cultivos leñosos. Por lo tanto, se estima la conveniencia de no incluirlos en el estudio.

- Los cultivos principales (considerando almendro, olivar, algarrobo, mandarina/naranja dulce, níspero y caqui) se concentran en los términos municipales de Segorbe, Altura, Jérica, Viver, Castellnovo, Soneja y Sot de Ferrer. Zona sureste de la comarca (Figura 3).

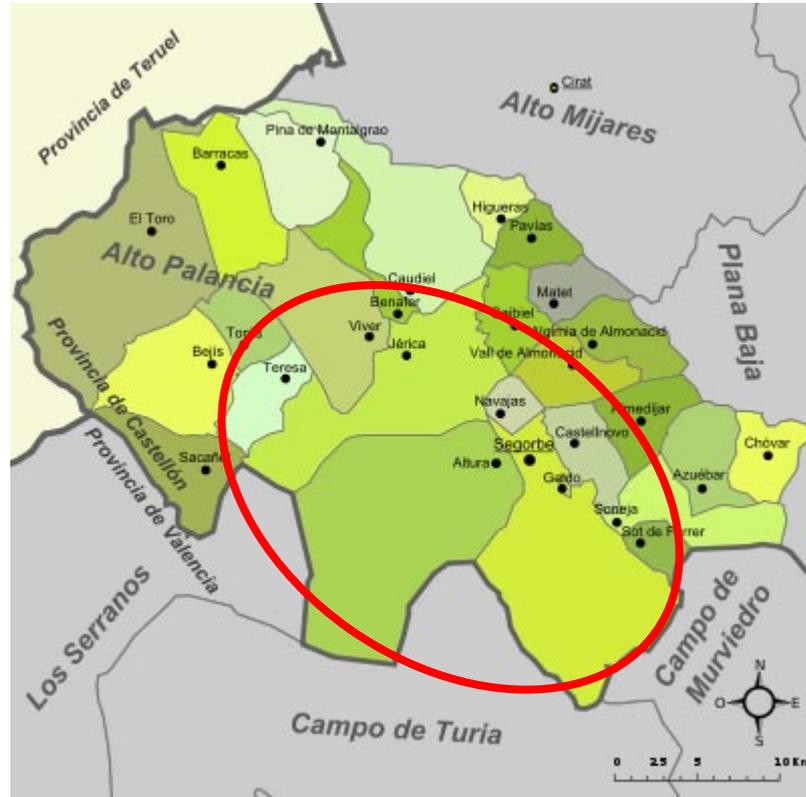


Figura 3. Mapa comarcal con límites administrativos y señalización de zona de concentración de los cultivos principales (Segorbe, Altura, Jérica, Viver, Castellnovo, Soneja y Sot de Ferrer).

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Alto_Palancia y elaboración propia.

- Se incluyen en el estudio la valoración de los restos de biomasa de los cultivos principales: ALMENDRO, OLIVO, ALGARROBO, MANDARINO/NARANJO DULCE, NISPERO y CAQUI.
- Las muestras se recogen considerando las localizaciones principales de los cultivos, esto es; en los términos municipales de SEGORBE, ALTURA, JÉRICA, VIVER, CASTELLNOVO, SONEJA y SOT DE FERRER.

4.2 CRONOGRAMA DE RECOGIDA DE MUESTRAS.

El análisis inicial de los datos ha permitido acotar los cultivos más importantes en el ámbito de estudio y la localización para la toma de muestras, ahora bien, cada cultivo presenta un calendario de labores agrícolas y unas características propias que hay que considerar tanto para los estudios iniciales de recogida de muestras y valoración energética en laboratorio como para un posterior análisis de la viabilidad económica de su aprovechamiento.

Por un lado, el marco de plantación de cada especie varía en función de la zona de cultivo y determina la densidad del arbolado, de manera que la cantidad de biomasa disponible puede variar de unos campos a otros. Por otra parte, la intensidad de las podas varía dependiendo de la edad de los árboles e incluso de las prácticas agronómicas de cada región, dependientes del objetivo de productividad, de la especie o del clima. Todo esto dificulta la realización de estudios detallados o exhaustivos de la cantidad de biomasa disponible. No obstante, la zona de estudio presenta unas características culturales muy homogéneas en cuanto a las labores agrícolas puesto que se trata de una zona con marcado carácter agrícola y rural, donde las labores agrícolas han sido culturalmente transmitidas por generaciones y mantienen la esencia de antaño.

Para cada uno de los cultivos objeto de muestreo se elabora a continuación una breve descripción haciendo hincapié en las labores agronómicas tanto generales como específicas de las variedades de cultivos propias de la comarca.

4.2.1 Almendro.

El almendro pertenece a la familia de las Rosáceas, cuyo nombre botánico es *Prunus dulcis*. Es un frutal de zonas cálidas, muy tolerante a la sequía pero resulta poco tolerante al frío, requiere escasas horas-frío (200-400).

El almendro es un árbol frutal muy rústico, se puede producir en secano de 300 mm, pero la rentabilidad se asegura a partir de los 600 mm. Para que se lleve a cabo una adecuada polinización hay que tener en cuenta los factores climáticos que afectan a las abejas (frío, heladas, lluvia, etc.).

En la actualidad se producen en el mundo unas 700.000 toneladas de grano de almendra. El 80% de esta cosecha se produce en el estado norteamericano de California. España proporciona un 8% de la cosecha mundial y en lo referente a la producción española, la Comunidad Valenciana es la primera productora, con unas 75.000 toneladas de producto en cáscara. La cantidad de producto atribuible a la provincia de Castellón es de 20.000 a 25.000 toneladas ⁽¹⁴⁾.

Los marcos de plantación son diferentes según las zonas productoras. Guardan relación con los usos y costumbres del lugar y el vigor y desarrollo futuro a adquirir por las plantas. En todo caso oscilan entre 6x6 y 8x8. En la comarca del Alto Palancia, los marcos de plantación más habituales son de 6x6. Estos marcos de plantación, que aseguran una densidad de 150 a 200 árboles por hectárea son bastante adecuados tanto a las características del cultivo, como para la mecanización. Según estos marcos de plantación y las hectáreas cultivadas en la zona de estudio (aprox 7000 ha), estaríamos hablando de aproximadamente 13 millones de árboles.

En la provincia de Castellón, tradicionalmente se han cultivado las variedades Marcona y una serie de ejemplares similares a la Marcona de origen local ⁽¹⁴⁾. En la comarca del Alto Palancia se ha cultivado y aún se cultiva con mucha profusión la variedad Doblefina.

Variedad Marcona:

Es la reina de las variedades cultivadas en España y por ende en la provincia de Castellón. La mayoría de los tratados especializados localizan esta variedad como originaria de Alicante.

Lo más característico de esta variedad es la forma del fruto, que es bastante redondo y algo globoso. La semilla tiene un sabor dulce de mucha calidad. Su composición en ácidos grasos es especial, al igual que su fluidez, lo que la hace imprescindible para formar parte de los turrónes más cotizados.

Es una variedad de cáscara muy dura, con bajo rendimiento al descascarado, comprendido entre el 20 y el 24%. Se recolecta sobre el mes de septiembre aunque presenta una maduración escalonada. Esta característica junto con su sensibilidad a enfermedades causadas por hongos, exigentes en poda y una floración temprana (susceptibilidad a daños por heladas)⁽¹⁵⁾, ha motivado que muchos agricultores cambien esta variedad por otras de floración más tardía y mayor productividad.

Variedad Doblefina:

Variedad procedente de la comarca del Alto Palancia, donde se cultiva ampliamente. Probablemente originaria de Jérica o Altura. Variedad similar a la Marcona, con el grano ligeramente más alargado y ligeramente más pequeña. Más productiva por presentar mayor resistencia a enfermedades. Florece una semana antes que la Marcona. Tradicionalmente se ha comercializado como Marcona, pero las mayores exigencias de los mercados en los últimos años la han apartado del grupo.

Existen diferentes tipos de poda según su finalidad; poda de formación, de fructificación o mantenimiento y de restauración. Los periodos de poda se realizan siempre cuando el árbol tiene la mínima actividad fisiológica posible, en el reposo invernal, que comprende desde noviembre hasta febrero aproximadamente

4.2.2 Olivo.

El olivo pertenece a la familia Oleaceae, cuyo nombre botánico es *Olea europea*.

El olivo es una especie típicamente mediterránea adaptada al clima de la zona. Es una especie presente en los paisajes de la península ibérica como un elemento más de los ecosistemas mediterráneos y de la cultura.

No presenta problemas de heladas y tiene escasos requerimientos de horas frío y elevados de calor (entre la brotación y la floración transcurren 3-4 meses y de la floración hasta la recolección, 6-7 meses). Es muy resistente a la sequía, aunque el óptimo de precipitaciones se sitúa en torno a los 650 mm bien repartidos y tolerante a la salinidad.

Aunque es una especie rústica presenta también una serie de requisitos que limitan su área de distribución preferentemente a zonas de clima mediterráneo (requiere elevadas horas de sol y de luz).

La superficie de olivar en la provincia de Castellón es de 34.634 ha, que representan el 32,7% del total de la tierra dedicada a este cultivo en toda la Comunidad Valenciana ⁽¹⁶⁾. La comarca del Alto Palancia ocupa el segundo puesto entre las comarcas que dedican más superficie al cultivo del olivar, por detrás de la comarca de El Baix Maestrat.

En la comarca del Alto Palancia el cultivo del olivo tiene una gran relevancia, representa el 23% de la superficie de olivar en la provincia de Castellón. La variedad principal de esta comarca es la Serrana de Espadán, originaria de la zona, donde ocupa más del 80% de la

superficie dedicada al olivo. En la Comunidad Valenciana se cultivan un total de 11.317 ha de esta variedad, y el 70% se localiza en esta comarca. Se trata de una variedad de producción media, vecera (alternancia de años de mucha producción con años de muy poca), rústica, con buena resistencia a la sequía y a las heladas. Su recolección comienza muy pronto; es la comarca que habitualmente abre primero sus molinos.

En la Comunidad Valenciana, la densidad media de plantación es de 100 olivos / ha, es decir, los olivos se plantan separados 10 m entre sí. Los rendimientos medios de oliva y aceite son muy bajos: de 2 kg de aceite/ árbol y de 10 kg de aceituna/ árbol. El rendimiento medio en la zona del Alto Palancia es de 11,34 kg de aceituna/árbol y de 22,26 kg de aceite/100 kg de aceituna.

La poda es necesaria para adaptar los árboles a las condiciones climáticas de la zona y para aumentar la productividad de la plantación. Al igual que se ha descrito en el cultivo del almendro, hay tres tipos fundamentales de poda: poda de formación, poda para la producción y poda de renovación.

La poda de formación se realiza para crear la estructura del árbol y es muy importante en los primeros años de vida. La poda para la producción pretende inducir a las ramas productivas a formar frutos sin afectar a las ramas estructurales. Los olivos producen frutos en las ramas de años anteriores. Las ramas débiles producen pocos frutos y las ramas más vigorosas no son productivas, ya que sólo dan yemas vegetativas, y las ramas débiles producen pocos frutos. Durante la etapa productiva es aconsejable efectuar podas suaves todos los años para eliminar de la zona productiva las ramas muertas y densas. La poda de renovación se realiza para estimular los retoños y para rejuvenecer los árboles seniles. Una forma de rejuvenecer los árboles viejos o de escasa producción es cortando su tronco bien en el punto de ramificación, o bien a poca altura.

La poda de los olivos debe realizarse cuando la actividad vegetativa del olivo sea mínima (diciembre-abril). La poda debe realizarse inmediatamente después de la cosecha ⁽¹⁷⁾, aunque debe retrasarse en las zonas con alto riesgo de heladas, evitando podar cuando la savia está en movimiento ya que la cicatrización de las heridas es peor.

4.2.3 Algarrobo.

El algarrobo es una especie arbórea de la familia de las leguminosas y su nombre científico es *Ceratonia siliqua*.

En España el cultivo se concentra en las provincias de Tarragona, Castellón, Valencia y Baleares. En la Comarca del Alto Palancia, la variedad más ampliamente cultivada es la Negra o Negreta, también conocida como Casuda. El árbol es frondoso, espeso y de gran tamaño. La garrofa es de gran calidad, de color negro, muy lustrosa y de buenas dimensiones (de 12 a 16 cm de longitud).

El algarrobo alcanza un gran tamaño, por lo que desde antiguo se ha venido plantando a marcos de plantación muy amplios, que variaban desde los 15x15 a los 20x20 metros. Actualmente se tiende a reducir estos marcos de plantación con el fin de obtener árboles más pequeños y rentables. Las densidades recomendadas son de 80 a 100 árboles por hectárea.

La poda, especialmente la de formación reviste gran importancia para asegurar la vida del árbol, debiéndose practicar pasados dos años del injerto y con el fin de buscar la estructura más adecuada para el árbol. Las podas siguientes serán las indispensables para favorecer el desarrollo de la copa mediante la eliminación de ramas inútiles o secas, bifurcaciones de los brazos y todos los brotes defectuosos ⁽¹⁸⁾. La mejor época para realizarla es a principios de otoño e inmediatamente después de la recolección de la cosecha, que se realiza entre la última semana de septiembre y primeras de octubre, cuando finaliza la recolección del almendro. Teniendo en

cuenta que las flores aparecen en las nudosidades de las ramas, no es necesaria una poda de fructificación como en otros árboles. Basta con una limpieza anual o cada dos años y alguna poda más intensa cada 5 o 10 años para corregir los desequilibrios de la copa.

4.2.4 Mandarino y Naranja dulce.

El mandarino y el naranja dulce (en adelante cítricos) pertenecen ambos al género *Cytrus*, de la familia de las Rutáceas (alrededor de 160 géneros y 1.600 especies). En general todas las especies del género *Cytrus* albergan las mismas cualidades. Éstas son, un alto contenido en vitamina C y contenido en ácido cítrico. Su origen es asiático (de la zona tropical y subtropical).

España cubre el 80% de la demanda europea. En España la producción se centra en la cuenca del mediterráneo, dadas las buenas condiciones climáticas, es decir casi ausencia de heladas, suficiente contraste de calor por la mañana y frío por la noche que ocurre en invierno, época del año en que maduran los frutos. Esta alternancia de temperaturas es muy importante para que los naranjos adquieran buen color, tal y como ocurre en las zonas tropicales⁽¹⁹⁾. Resalta por la importancia en sus cultivos ya que ocupan la mayor parte de la producción, Castellón y Valencia (tabla 11).

La poda de formación se efectúa a partir del tercer año de vida del árbol, siendo esta ligera. Este tipo de poda queda limitada a la eliminación del tocón y a los rebrotes que surjan del patrón.

Tabla 11. Superficies de cultivo en hectáreas de cítricos (naranjos y mandarinos) en España, por provincias.

	NARANJO	MANDARINO	TOTAL
VALENCIA	2.118	49.337	51.455
CASTELLÓN	115	34.447	34.562
HUELVA	710	7.588	8.298
TARRAGONA	49	7.930	7.979
SEVILLA	3.825	3.618	7.443
ALICANTE	791	6.197	6.988
MURCIA	230	5.418	5.648
CÓRDOBA	4.094	484	4.578
ALMERIA	111	2.451	2.562
MÁLAGA	285	1.807	2.092
CADIZ	252	579	831
LAS PALMAS	243	42	285
S.C. TENERIFE	4	31	35

Fuente: Anuario de Estadística Agraria 2012. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

En cuanto a la poda de fructificación, al tratarse de una especie muy productiva es frecuente la ruptura de ramas, por lo tanto es necesaria la instalación de estructuras de soporte y una poda anual con objeto de eliminar las ramas muertas, débiles o enfermas, vigorizar el resto de la vegetación, regular la cosecha y mejorar su calidad.

La poda, aunque se puede realizar en cualquier época del año, siempre que las temperaturas no estén por debajo de los 0 °C o próximas a él, sin embargo, se debe realizar desde mitad de febrero hasta abril.

La poda de los cítricos supone un gran volumen de restos vegetales que hay que eliminar, siendo los métodos más utilizados, la extracción y quema, o el triturado e incorporación al terreno. En cuanto a la quema, se trata de una labor peligrosa así como agresiva desde el punto de vista medioambiental. El triturado e incorporación de los restos al suelo, se

traduce en un ahorro en el abonado, una mejora en la estructura del suelo y una eliminación de los riesgos inherentes a la quema de los restos de poda. Para triturar los restos de poda se vienen empleando mayoritariamente trituradoras rotativas de eje horizontal.

4.2.5 Níspero.

El níspero (*Eriobotrya japonica*) es un frutal subtropical perteneciente a la familia de las Rosáceas, subfamilia Maloideas. Es un cultivo originario del sudeste de China, pero está bien adaptado a las zonas templado-cálidas de todo el mundo y en especial a la cuenca mediterránea. España cuenta con 3.000 ha de superficie cultivada y una producción de 45.000 toneladas y el 54% del total de la producción nacional se concentra en la Comunidad Valenciana.

En la provincia de Castellón, el níspero se cultiva exclusivamente en la comarca del Alto Palancia, en concreto en los municipios de Sot de Ferrer, Soneja, Castellnovo, Segorbe y Altura, en donde el cultivar predominante es Tanaka ⁽²⁰⁾. Este cultivar es de origen japonés y tradicionalmente ha sido muy cultivado en las zonas de Sagunto (Valencia) y Segorbe (Castellón). Es un cultivar tardío, productivo, de buen tamaño y buenas características organolépticas ⁽²¹⁾.

El níspero florece en otoño de forma abundante en panículas de hasta más de 200 flores lo que permite el cuaje de hasta 10-20 frutos por panícula (figura 4).

Con este cuajado el calibre del fruto no es comercial por lo que se hace necesaria una labor de aclareo de la fruta. El aclareo del níspero en la zona de estudio se lleva a cabo de la manera tradicional, esto es mediante un aclareo manual de frutos a finales de enero, pasado el

riesgo de heladas y seleccionando en cada panícula los cuatro o cinco mejores frutos por tamaño y posición.



Figura 4. Floración del níspero
Fuente: Elaboración propia.

En el cultivo del níspero se practica una poda de fructificación anual, con el objetivo de ajustar la carga del frutal, asegurar la renovación de órganos fructíferos para la siguiente campaña, equilibrar el árbol y limitar la altura. En la zona de estudio esta operación se lleva a cabo tras la recolección, sobre el mes de julio.

4.2.6 Caqui.

El caqui (*Diospyros kaki*) pertenece a la familia de las Ebenáceas. Es el género más importante de esta familia ⁽²²⁾. El caqui en la Comunidad Valenciana está localizado principalmente en dos zonas: El Alto Palancia (Segorbe) y la Ribera Alta del Xúquer ⁽²³⁾.

Las variedades de caqui se dividen desde el punto de vista comercial en astringentes (Rojo Brillante, Triumph, Tomatero, etc.) y no-astringentes (Fuyu, Hana-Fuyu, Jiro, etc.). La astringencia está ligada al contenido y forma de los taninos. En las variedades no-astringentes están insolubilizados permitiendo su consumo sin la realización de ningún tratamiento en postcosecha y sin alcanzar la madurez fisiológica. Las variedades astringentes tienen un elevado contenido en taninos solubles que va disminuyendo a medida que se alcanza la madurez. Los marcos normales de plantación son de 3 x 5 ó 4 x 6, e incluso 6 x 3.

La poda de formación deberemos realizarlas durante las cuatro primeras brotaciones de las plantas. En este periodo se deberá adoptar una de las tres formas posibles de conducción; vaso, eje principal y palmeta. El sistema de formación en vaso es el más empleado, distribuye bien las ramas y favorece la iluminación.

Las podas serán bastante ligeras los primeros años: se limitan la longitud de las ramas, para reducir la carga y para evitar roturas una práctica habitual es el apuntalamiento de las ramas fructíferas.

La poda en verde consistirá en aclarar la planta por el centro y despuntar la mayor parte de ramas menos las principales, a fin de ir formando el árbol. Al entrar el árbol en producción, éste tiene tendencia a sacar muchos chupones en su parte alta. Algunos pueden llegar a 3 m. de largo, con lo que conlleva una pérdida de energía y un mayor aumento de mano de obra de la poda; por este motivo se hace un tratamiento para regular el vigor del árbol

Cuando la carga de frutos es excesiva el árbol realiza un aclareo natural al alcanzar el fruto un tamaño considerable, aunque se puede forzar un aclareo, cuanto más precoz mejor siempre que no haya riesgo de heladas.

4.2.7 Cronograma de recogida de muestras.

Acorde al calendario aproximado de labores agrícolas de cada cultivo, se elabora un cronograma de épocas de poda (tabla 12). Este cronograma resulta de gran utilidad para la recolección de las muestras de restos de poda que posteriormente son analizadas en laboratorio para evaluar el potencial energético de la biomasa de estudio.

Tabla 12. Calendario de podas.

MESES	CULTIVOS					
	ALMENDRO	OLIVO	ALGARROBO	CÍTRICOS	NÍSPERO	CAQUI
ENERO						
FEBRERO						
MARZO						
ABRIL						
MAYO						
JUNIO						
JULIO						
AGOSTO						
SEPTIEMBRE						
OCTUBRE						
NOVIEMBRE						
DICIEMBRE						

Fuente: Elaboración propia.

Las podas se concentran en los meses de otoño e invierno, mayoritariamente, coincidiendo cuando los árboles están en parada vegetativa. No ocurre así con el níspero o los cítricos. El cultivo de níspero lleva asociado dos labores de poda o aclareo, una primera en febrero de fructificación y una segunda poda en los meses de verano. En el caso del cultivo de los cítricos (mandarino y naranjo dulce), este cultivo ha sido objeto de un estudio reciente y detallado en el Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción de la Universidad Jaume I, donde se realiza el presente estudio, por lo que no se estima necesario la recogida de muestras.

Para el cultivo del níspero se recogerán muestras de poda de fructificación in situ y la poda de verano se estimará mediante el estudio de muestras recogidas de restos no quemados existentes todavía en los campos en la época de recogida de muestras del resto de los cultivos.

4.3 CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA APROVECHABLE.

4.3.1 Biomasa aprovechable por cultivo y superficie.

La provincia de Castellón dispone de amplias zonas agrícolas concentradas en la franja mitad este de la provincia, sobre las que se estima un potencial de más de 182.000 toneladas al año. La Diputación de Castellón en un documento estratégico de 2014, respecto a la biomasa en la provincia ⁽⁷⁾, distribuye en un mapa provincial el potencial de generación de biomasa agrícola sobre límites comarcales (figura 6).

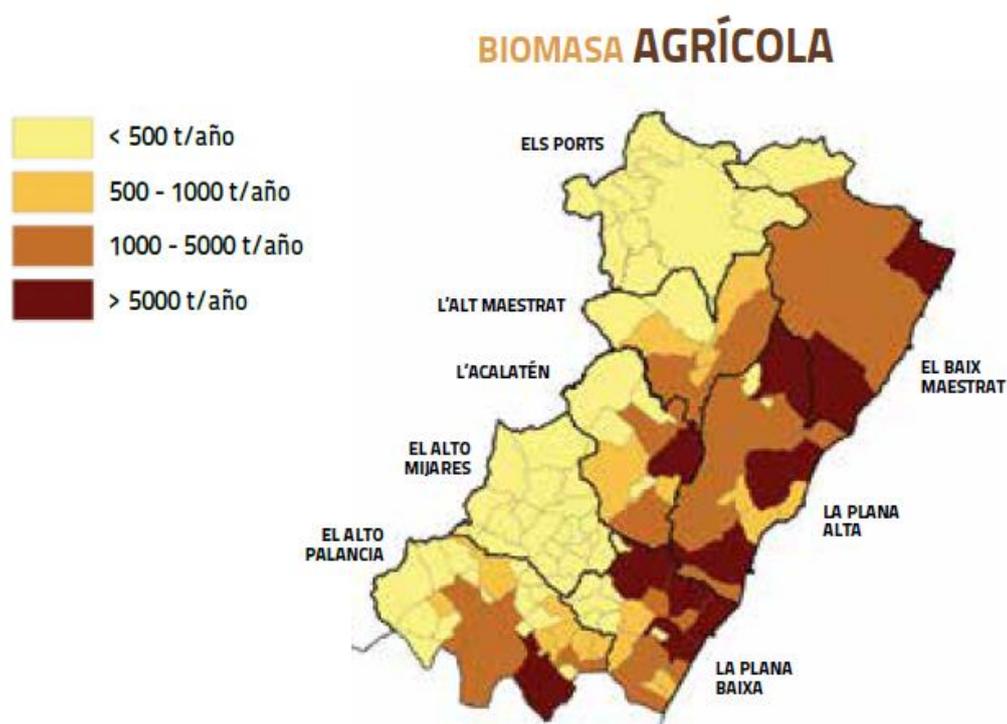


Figura 6. Mapa provincial de generación potencial de biomasa agrícola sobre límites comarcales.

Fuente: (10)

El mapa provincial de potencial de generación de biomasa agrícola, en lo relativo a los datos de la comarca del Alto Palancia (en estudio), resulta coherente con los datos estudiados de concentración de cultivos principales (tablas 5 a 10 y figura 3). La biomasa se concentra en los municipios donde la superficie de cultivo leñoso es más importante.

Según la bibliografía consultada ⁽¹⁾, existen diferentes metodologías para determinar de manera más o menos exacta la cantidad de biomasa disponible. Estos métodos de predicción están basados tanto en la producción anual de cada tipo de cultivo como en la superficie productiva ocupada por cada uno de estos. La elección de cualquiera de ellos dependerá en cada caso del objetivo propuesto; de los recursos disponibles; del nivel de precisión requerido, entre otros aspectos.

En nuestro caso, el recurso disponible se estima de la información sobre superficies de cultivo proporcionado por la Oficina de Consellería de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA. Los datos corresponden al año 2013, los más actualizados hasta el momento. El máximo nivel de detalle del que se dispone es la superficie ocupada (hectáreas), por cada uno de los cultivos de interés en cada uno de los municipios de la zona de estudio (comarca Alto Palancia). Por lo tanto, la metodología seleccionada es aquella que calcula la cantidad de residuos generados por superficie productiva, es decir, las toneladas de residuos generadas por hectárea.

Considerando que no ha sido posible disponer de estos datos mediante la bibliografía, aún de manera aproximada, para todos los cultivos objeto de estudio, y aprovechando la toma de muestras para análisis en laboratorio, se han llevado a cabo pesajes de los residuos de poda del olivo, almendro y caqui (tabla 13). Durante las labores de poda, los agricultores, por comodidad, depositan los residuos al pie de cada árbol (figuras 5 y 6).



Figura 5. Campo de cultivo de almendros en seco con los restos de poda a pie de cada árbol.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Campo de cultivo de caqui en regadío con los restos de poda a pie de cada árbol.
Fuente: Elaboración propia.

Los pesos obtenidos junto con los marcos de plantación propios de cada cultivo permiten obtener una estimación de toneladas de residuos generada por hectárea.

La bibliografía consultada aporta datos aproximados de biomasa residual expresada en tonelada de residuo por hectárea ^(24, 25, 26) para los cultivos de olivo y almendro. Al comparar los datos de los pesajes en campo con los datos ya publicados se observa que para el caso del almendro existe coincidencia pero no es así para el olivo donde los datos recopilados se quedan muy por debajo de los datos bibliográficos (tabla 14). No obstante, para los cálculos de biomasa total disponible se usará una media de todos los datos, incluyendo el dato obtenido por pesaje.

El caso concreto del cultivo de mandarina y naranjo dulce, los datos son recopilados del Proyecto Final de Carrera de Pablo Vicente Monserrat ⁽²⁹⁾, en el que recientemente se ha llevado a cabo una valoración exhaustiva de la valoración de residuos de poda de cítricos. Para el cultivo del níspero, se han considerado los datos del IDAE para los árboles frutales de pepita ⁽²⁸⁾.

Tabla 13. Pesos de residuos de poda por árbol en almendro, olivo y caqui. Ratios medios de residuos por superficie (t/ha).

CULTIVO	ARBOLES/ha		CULTIVO	ARBOLES/ha		CULTIVO	ARBOLES POR HA	
ALMENDRO	150	200	OLIVO	100	CAQUI	555		
KG PODA/ÁRBOL	KG PODA/HA		KG PODA/ÁRBOL	KG PODA/HA		KG PODA/ÁRBOL	KG PODA/HA	
7,9	1185	1580	5,1	510	4,9	2719,5		
7,1	1065	1420	5,3	530	3,7	2053,5		
4,5	675	900	10,7	1070	4,5	2497,5		
5,3	795	1060			2,4	1332		
3,2	480	640			3,3	1831,5		
18,3	2745	3660			4,6	2553		
10,3	1545	2060			5,4	2997		
11,8	1770	2360			1,1	610,5		
					2,7	1498,5		
MEDIAS (kg/ha)	1282,5	1710		703,3		2010,3		

	ALMENDRO	OLIVO	CAQUI
RATIO MEDIO RESIDUOS POR SUPERFICIE (t/ha)	1,28	1,71	2,01

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Ratio medio de biomasa residual por superficie para el olivo y almendro, según bibliografía consultada y datos propios.

OLIVO (t/ha)	Fuente	ALMENDRO (t/ha)	Fuente
0,703	Dato propio	1,49	Dato propio
1,5	(24)	1,5	(25)
1,7	(25)	1,3	(27)
1,4	(26)	1,5	(28)
1,7	(26)		
1,7	(28)		
1,45* t/ha		1,45* t/ha	

*Dato medio

Fuente. Elaboración propia.

El cultivo del algarrobo presenta un marcado carácter residual en la zona de estudio, pese a permanecer en un tercer lugar en importancia de superficie, los bajos precios de comercialización del fruto y su competencia frente a los cultivos vecinos de olivar y almendro (mucho más eficientes y rentables económicamente) han inducido a los agricultores a dejar de lado su cultivo desde un punto de vista productivo. Los agricultores con los que se ha hablado indican que apenas realizan tratamientos agrícolas, solo un pequeño porcentaje realiza podas bianuales al tiempo que realizan la poda del almendro o del olivo. De esta manera, la poda real aprovechable del algarrobo resulta incierta por lo que se ha estimado la conveniencia de no considerarla en el cómputo total de biomasa aprovechable.

Los ratios que se consideran para los cálculos finales de biomasa total se exponen en la tabla 15. Pese a toda la revisión bibliográfica realizada y los pesajes llevados a cabo en campo, resulta interesante tener en cuenta que la estimación del cálculo de los ratios de biomasa por superficie implica asumir unos datos potenciales de alto contenido teórico y gran carga

estimativa, por lo que en estudios de mayor detalle o donde se estime considerar los resultados para decisiones con mayor trascendencia, resulta del todo aconsejable que se realice un mayor esfuerzo que permita obtener datos más exhaustivos.

Tabla 15. Ratio medio de biomasa por cultivo, superficie y año.

	OLIVO	ALMENDRO	MANDARINO	CAQUI	NISPERO
Ratio de biomasa (t/ha.año)	1,45*	1,45*	3,5 ⁽³¹⁾	2,01**	3,5 ⁽³⁰⁾

Fuentes: * Tabla 14. ** Tabla 13. Bibliografía^(30, 31)

4.3.2 Biomasa total en el ámbito de estudio.

Para determinar la cantidad de biomasa en el ámbito de estudio se tiene que calcular la biomasa para cada cultivo en función de los ratios de biomasa de cada uno de ellos (tabla 15), mediante la expresión 1:

$$\text{Biomasa}_{\text{cultivo}} \text{ (t/año)} = S_{\text{cultivo}} \text{ (ha)} \times \text{Ratio biomasa}_{\text{cultivo}} \text{ (t/ha/año)}$$

(Expresión 1)

El sumatorio de todas las biomásas por cultivo nos proporcionará el dato de biomasa total en el ámbito de estudio.

$$\text{Biomasa Total (t/año)} = \sum \text{Biomasa}_{\text{cultivo}}$$

(Expresión 2)

Los datos de biomasa por cultivo y total se recogen en la tabla 16.

Tabla 16. Biomasa por cultivo y total.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	RATIO (t/ha.año)	BIOMASA TOTAL (t/año)
ALMENDRO	5.250	1,45	7.612,50
OLIVO	3.551	1,45	5.148,95
MANDARINO	558	3,50	1.953,00
NISPERO	183	3,50	640.50
CAQUI	167	2,01	335.67
			15.690,62

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Conclusiones.

- Los ratios medios de biomasa por cultivo, superficie y año muestran que el cultivo de cítricos (mandarino y naranja dulce) presenta el mayor ratio medio de biomasa por superficie y año.
- El cultivo del almendro genera un total de 7.612,50 t/año de biomasa residual, siendo el cultivo que más cantidad de biomasa genera.
- La cantidad estimada de biomasa total de la Comarca del Alto Palancia asciende a 15.690,62 toneladas, suponiendo el 8,6 % del total de biomasa de la provincia de Castellón (182.000 tn/año).
- EL 81% del total de la biomasa residual proviene de los cultivos del almendro y del olivo.

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESTOS DE PODAS EN LABORATORIO.

4.4.1 Objetivo.

Determinar las características químicas de la biomasa residual agrícola de los cultivos más importantes existentes en la zona de estudio.

Una vez conocidos los datos de cantidad de biomasa residual agrícola, debemos valorar su potencial energético, para lo cual se deben realizar los análisis oportunos en laboratorio.

4.4.2 Recogida de muestras.

Acorde al análisis inicial de datos y en función de los cultivos agrícolas más importantes en la zona de estudio se requiere recopilar una muestra representativa de restos de poda de los siguientes cultivos: almendro, olivo, algarrobo, cítricos (naranja dulce y mandarino), níspero y caqui. En este caso, se decidió recopilar también restos de algarrobo, que aunque se ha observado que su cultivo está prácticamente en desuso, el arbolado todavía existe y la superficie de cultivo es lo suficientemente extensa, por lo que, disponer de los datos de estos restos agrícolas, puede ser de utilidad en el futuro.

Según el método de Hapla y Saborowski ⁽⁵⁾ para obtener los individuos representativos habría que muestrear un mínimo de 10 por cada 1.000 árboles en un monocultivo por parcela.

En este estudio se han recopilado un total de 10 muestras de poda para cada cultivo. En la tabla 17 se refleja la distribución del muestreo realizado. Teniendo en cuenta los municipios de la comarca donde dichos cultivos son más importantes, la mayor parte de las muestras ha sido recogida entre Segorbe, Altura y Castellnovo.

Tabla 17. Distribución municipal de la recogida de muestras.

CULTIVO	MUNICIPIO 1 (5 ÁRBOLES)	MUNICIPIO 2 (5 ÁRBOLES)
ALMENDRO	Segorbe	Altura
OLIVO	Altura	Segorbe
ALGARROBO	Segorbe	Soneja
CLAREO NÍSPERO	Castellnovo	Segorbe
PODA NISPERO	Castellnovo	Segorbe
CAQUI	Segorbe	Castellnovo

Fuente: Elaboración propia

En el caso del cultivo de níspero, las muestras han sido seleccionadas en verde, para la poda de aclareo, donde se han recogido muestras de ramas con fruto en primeros estadios y para la poda de verano, se han seleccionado dentro de las parcelas ramas caídas o más secas, o incluso restos de podas no quemadas de la pasada poda simulando la poda que se realiza en esa estación.

No se recogen muestras de mandarina y naranjo dulce porque se dispone de datos completos y recientes ⁽²⁹⁾, llevados a cabo en el laboratorio de Residuos Sólidos de la Universidad Jaume I, donde se lleva a cabo el presente estudio.

4.4.3 Preparación de muestras.

Para analizar todos los parámetros y propiedades necesarios para el estudio, únicamente se necesitaba una fracción del total de muestra recopilada en campo. La selección de dicha fracción también debe ser representativa de cada muestra de forma que los datos obtenidos sean extrapolables a toda la población.

Para ello se siguió el “muestreo por cuarteo”. Este método consiste en mezclar bien la muestra y esparcirla en forma de círculo. El círculo se divide en cuatro partes, de las cuales se escogen las dos opuestas y se vuelven a esparcir en un círculo, quedando la mitad que se vuelve a cuartear. Así sucesivamente hasta obtener la cantidad de muestra alícuota requerida, sobre la que se llevará a cabo los análisis pertinentes (figura 7).

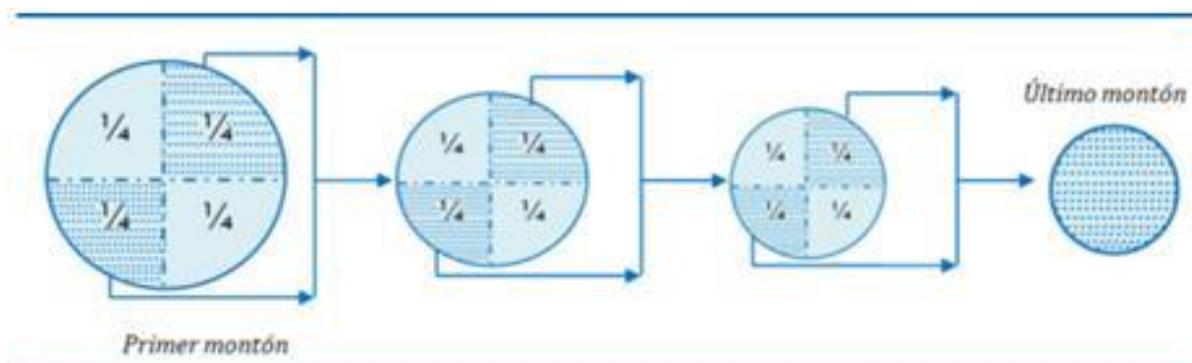


Figura 7. Representación gráfica de muestreo por cuarteo.

Fuente: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_10_mtodo_para_la_caracterizacin.html

Una vez seleccionada la muestra, se prepara una bandeja de aluminio y se recoge el peso de cada una de ellas (Figura 8).



Figura 8. Bandejas con las muestras a analizar.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4 Análisis a realizar.

4.4.4.1 Humedad.

En este estudio se determinó la humedad siguiendo el proceso de la norma UNE 32-002, aplicando el método de gravimetría indirecta, este método consiste en la medición de la pérdida de peso de la muestra debida a la evaporación de agua, que consiste básicamente en pesar una muestra, ponerla a secar en una estufa a 105°C durante unas horas que dependerán de la variación en peso de las muestras y una vez fría pesarla de nuevo. Por la diferencia de peso se obtiene el porcentaje de humedad (Expresiones 3 y 4). En este caso, las diferentes fracciones de biomasa residual agrícola estuvieron en estufa durante 24 horas.

El contenido en humedad indica el porcentaje (en peso) de agua y materia seca por el que está compuesto el material a analizar. El contenido en humedad se puede expresar en dos formas diferentes:

- **Humedad del rechazo en base húmeda (h_{bh}):** relación porcentual, en peso, del agua respecto a la materia húmeda. Viene dada por la siguiente expresión:

$$h_{bh} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

(Expresión 3)

- **Humedad del rechazo en base seca (h_{bs}):** relación porcentual, en peso, de agua respecto a la materia seca. Viene dada por la fórmula:

$$h_{bs} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$$

(Expresión 4)

Donde:

m1: masa de la bandeja vacía (g).

m2: masa de la bandeja y la muestra antes de secado (g).

m3: masa de la bandeja y la muestra después del secado (g).

Para llevar a cabo este análisis se han seguido los procedimientos definidos en las siguientes

Normas UNE:

- UNE 32 – 002 Combustibles minerales sólidos. Determinación de la humedad de la muestra para análisis.

- UNE – EN 15414-3 Combustibles sólidos recuperados. Determinación del contenido en humedad por el método de secado en estufa. Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general.

Los materiales y aparatos utilizados en el análisis del contenido de humedad de la biomasa fueron los siguientes:

- Estufa.
- Balanza de precisión.
- Porta muestras, bandejas de porcelana y bandejas de aluminio.
- Desecador.
- Guantes de látex.



Figura 9. Estufa empleada en el laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.2 Poder Calorífico.

El poder calorífico se define como el calor desprendido por kilogramo de combustible en combustión completa a la presión y temperatura atmosférica normal, a cuyo efecto son enfriados de nuevo los productos de la combustión hasta la temperatura de partida (0°C) ⁽⁵⁾.

Conocer el poder calorífico o contenido energético de la biomasa residual agrícola es imprescindible para evaluar la viabilidad de su valorización energética y el rendimiento que tendría una instalación de valorización energética empleando la biomasa de estudio. La energía almacenada en los tejidos vegetales se determina dentro de un calorímetro adiabático donde se igualan las temperaturas interna y externa, siendo el calor interno el aprovechable ya que no hay fuga de este.

En los combustibles que contienen hidrogeno, como es el caso de la biomasa residual agrícola, hemos de diferenciar dos conceptos diferentes:

- Poder Calorifico Superior (PCS)
- Poder Calorifico Inferior (PCI)

Esto se debe a que en estos tipos de combustibles que contienen hidrogeno, la combustión del hidrogeno produce vapor de agua. Al efectuar la determinación en una bomba calorimétrica, los gases de combustión se enfrían hasta las condiciones iniciales, y por tanto, el vapor de agua formado se condensa desprendiendo calor ⁽³⁰⁾. El calor total contabilizado en la bomba, es tanto el calor del combustible como el calor de condensación del vapor de agua formado en la combustión. La suma de estos dos valores es el PCS.

En la utilización habitual de los combustibles, los productos de combustión no pueden ser enfriados hasta las condiciones ambientales y por ello no es factible el aprovechamiento del calor de condensación del vapor de agua formado. Por tanto, se define el PCI como el calor que se desarrolla en el proceso asumiendo que los productos de combustión se encuentran en estado gaseoso y que el calor de condensación del vapor de agua formado no está disponible.

Así pues, el PCI siempre es inferior al PCS y es el valor que normalmente se usa en los cálculos energéticos.

En este estudio se ha procedido a obtener el poder calorífico utilizando una bomba calorimétrica. Para ello se utilizaron los siguientes materiales y aparatos:

- Bomba calorimétrica
- Pinzas soporte
- Sistema de llenado de O₂
- Sistema de control de la operación de análisis
- Unidad de aforo del agua del calorímetro
- Prensa para pastillas
- Sistema de control de la temperatura del agua (unidades de refrigeración y calefacción)
- Impresora
- Balanza analítica
- Molino de cuchillas
- Hilo de ignición

Antes de comenzar el análisis hemos de obtener una muestra alícuota adecuada para la determinación del PCS. Para ello, se cogieron las muestras secadas a estufa con las que se determinó el contenido en humedad y se trituraron en un molino de cuchillas "Restch SM2000" con una malla de 1 mm (Figura 10). Obteniendo unas muestras con una granulometría adecuada para transformarlas en pastillas y para que su combustión sea total.



Figura 10. Molino de cuchillas Restch SM2000.

Fuente: Elaboración propia.

El método de la bomba calorimétrica utilizado, de una forma simplificada, consiste en comprimir la muestra de análisis en una prensa para que adquiera la forma de una pequeña pastilla. En nuestro caso, al estar el material muy seco la prensa de pastillas no nos permitió conseguir el pellet buscado por lo que fue necesario utilizar cápsulas de gelatina.



Figura 11. Cápsulas de gelatina.

Fuente: Elaboración propia.

Esta cápsula se introduce en la bomba calorimétrica junto con el hilo de ignición, una vez cerrada la bomba se procede a la carga de oxígeno de la misma a 30 atmósferas.



Figura 12. Cápsula con el hilo de ignición.

Fuente: Elaboración propia.

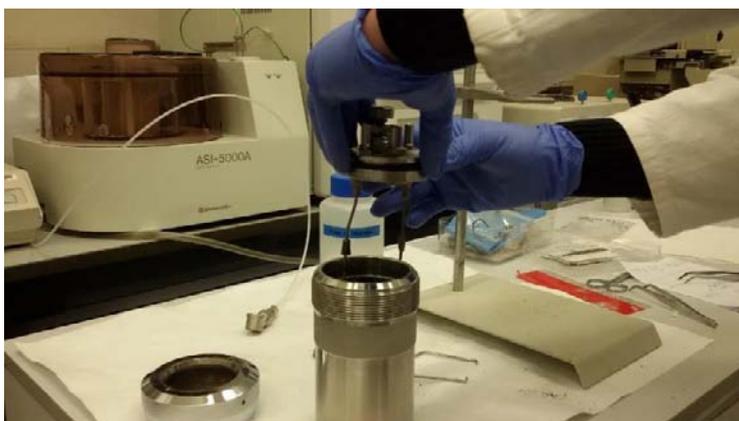


Figura 13. Carga y llenado de la bomba con O₂.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Calorímetro isoperibólico.

Fuente: Elaboración propia.

La bomba, ya cargada, se sumerge en un baño de agua donde estabiliza su temperatura, se identifica la muestra en el procesador y se introduce su peso. Finalmente se provoca la ignición y una vez acabada el aparato indica los resultados.

Las Normas UNE que se aplican a biocombustibles sólidos y que se han seguido para llevar a cabo el procedimiento son:

- UNE 32 – 006. Combustibles minerales sólidos. Poder calorífico mediante determinación en calorímetro automático
- UNE 32 – 105. Combustibles minerales sólidos. Determinación del poder calorífico superior por el método de la bomba calorimétrica.

Poder Calorífico Superior (PCS)

La determinación del PCS consiste en quemar una masa determinada de combustible en atmosfera de oxígeno, en una bomba calorimétrica y en condiciones normalizadas liberándose

una cantidad de calor. El PCS se calcula a partir del aumento de temperatura en el agua del vaso calorimétrico y teniendo en cuenta la capacidad calorífica efectiva media del sistema (bomba, agua y agitador), también llamada energía equivalente (EE).

A la hora de su determinación se han de tener en cuenta una serie de factores:

- Calor de ignición: calor desprendido por el hilo de ignición que se descontara del calor total emitido.

- Correcciones termoquímicas: aumento de calor debido a la formación de ácido sulfúrico y ácido nítrico que se descontara.

- Correcciones por el material de ayuda a la ignición: se descontara el aumento de calor debido a la combustión de este material en el caso que se haya utilizado.

El cálculo del PCS real de la muestra quemada se obtiene a partir de la expresión 5:

$$PCS = \frac{EE * \Delta T - e_1 - e_2 - e_3 - e_4}{m}$$

(Expresión 5)

Donde:

EE: energía equivalente del calorímetro (cal/°C)*

ΔT: incremento de temperatura del agua del calorímetro (°C)

e1: corrección por el calor de combustión del hilo de ignición (cal)

e2: corrección por la formación de ácido sulfúrico (cal)

e3: corrección por la formación de ácido nítrico (cal)

e4: corrección por calor de combustión del material de ayuda añadido (cal)

m: masa de la muestra (g)

*Nota: La energía equivalente es propia de cada calorímetro y se define como la energía necesaria para elevar su temperatura un grado.

Poder Calorífico Inferior (PCI)

El PCI se obtiene por cálculo a partir del PCS determinado sobre la muestra analizada. El cálculo del PCI exige el conocimiento del porcentaje de humedad y el contenido en hidrogeno de la muestra analizada.

El cálculo del PCI se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$PCI = (PCS - 49,28 * H) * \frac{100 - h_T}{100 - h} - 23 * h_T$$

(Expresión 6)

Donde:

PCI: poder calorífico inferior (cal/g)

PCS: poder calorífico superior de la muestra (cal/g)

H: porcentaje de hidrogeno total de la muestra de análisis

h_T : contenido en humedad en porcentaje del combustible que se tiene en cuenta para el cálculo (si el PCI se refiere a muestra en “base seca”, $h_T = 0$ y $h = 0$)

h : porcentaje de humedad de la muestra de análisis (en el caso que la muestra de análisis este completamente seca, como es el caso de este estudio, $h = 0$)

En nuestro caso, el PCI se refiere a muestra en base seca, por lo que $h_T = 0$ y $h = 0$, por lo que el cálculo del PCI se resume en la expresión 7.

$$PCI = (PCS - 49,28 * H) \text{ cal/g ó Kcal / Kg}$$

(Expresión 7)

El porcentaje de hidrógeno en la biomasa residual agrícola varía mínimamente de unas especies a otras y entre diferente tipo de biomasa. La tabla 18 muestra la concentración de hidrógeno de una serie de biocombustibles.

Tabla 18. Concentración de hidrógeno de biocombustibles.

Biocombustibles	Concentración de Hidrógeno
Orujillo	5,86
Astilla olivo	5,90
Algodón	5,42
Corteza pino	5,60
Corteza roble	5,40
Corteza picea	5,70
Corteza secoya	5,10

Fuente: Manual para instalaciones de energías térmica con biomasa. PROSOL

Según el manual para instalaciones de energía térmica con biomasa del Programa Andaluz de Promoción de Instalaciones de Energías Renovables (PROSOL) (Orden 24 de enero de 2003), el análisis elemental de la biomasa agrícola indica que su contenido en hidrógeno está en torno al 5.5 %.

4.4.4.3 Cenizas.

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos térmicos de aprovechamiento de la biomasa que incluyen la combustión, es importante conocer el porcentaje contenido de ceniza en la biomasa, ya que en algunos procesos puede causar un deterioro de los equipos por formación de escorias ⁽³¹⁾.

Las cenizas conforman el rechazo de la incineración al aire de los residuos. Están formadas por los compuestos inorgánicos presentes inicialmente en la sustancia carbonosa y en las materias minerales asociadas. La composición y cantidad de las cenizas dependen en gran parte de las condiciones de incineración, por tanto a la hora del cálculo es preciso respetar estrictamente las condiciones operatorias del método para que los resultados obtenidos sean comparables ⁽³²⁾

El procedimiento utilizado para la determinación de cenizas es el expuesto en la Norma UNE 32-004-84, sobre determinación de cenizas en combustibles minerales sólidos.

Los materiales y aparatos necesarios para este análisis han sido:

- Balanza analítica.
- Horno mufla.
- Pinzas.
- Guantes de amianto.

- Cápsula de porcelana.
- Placa aislante.
- Placa metálica gruesa.

El método consiste en la incineración de la muestra al aire. La muestra a analizar mediante este método, tiene que ser previamente secada, triturada y tamizada con un tamiz de 1mm, preferentemente por medios mecánicos (figura 15).



Figura 15. Tamizado mecánico.

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de muestra que se emplea en este ensayo es de 2 gramos que se pesan antes y después de ser introducidos en el horno mufla a 850 °C durante 60 minutos (figura 16).

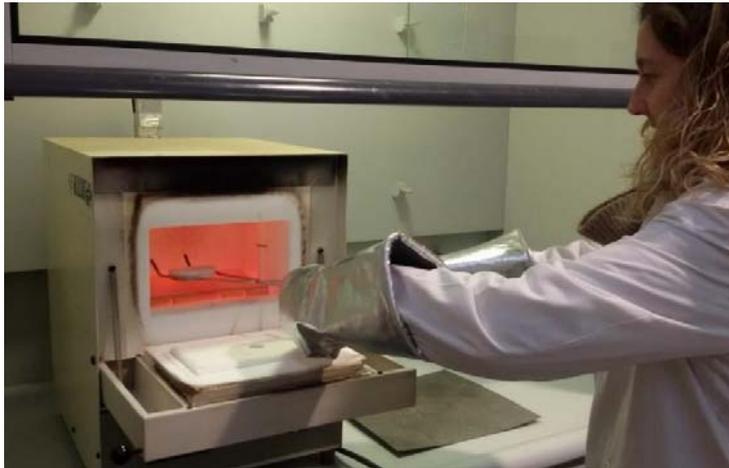


Figura 16. Horno mufla. Introducción de los crisoles

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje del contenido en cenizas de la muestra se expresa como la relación porcentual entre las cenizas y la masa de la muestra. En función de si la muestra utilizada está desecada o no, el contenido en cenizas estará referido a la muestra seca (C_s) (expresión 8) o en base húmeda (C) (expresión 9):

$$C_s = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

(Expresión 8)

$$C = \frac{100 - h_{bh}}{100} \times C_s$$

(Expresión 9)

Donde:

m_1 : masa de la cápsula (g)

m_2 : masa de la cápsula y la muestra (g)

m_3 : masa de la cápsula y las cenizas resultantes (g)

h_{bh} : humedad de la muestra, en base húmeda (%)

4.4.4.4 Resultados.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se exponen mediante las siguientes tablas y figuras.

Tabla 19. Resultados de contenido en humedad de las muestras de restos de biomasa agrícola en la comarca del Alto Palancia.

		m1 Peso bandeja (g)	m2 Peso bandeja y muestra (g)	Peso muestra (g)	m3 Peso bandeja y muestra tras horno (g)	Peso muestra deshidratada (g)	hbh Humedad en base húmeda (%)	hbs Humedad en base seca (%)
1	Poda de olivo	24,4	378,1	353,7	304,2	279,8	21%	26%
2	Poda de almendro	24,4	783,9	759,5	618,9	594,5	22%	28%
3	Poda de caqui	24,4	880,7	856,3	621,3	596,9	30%	43%
4	Algarrobo	26,6	879,8	853,2	749,9	723,3	15%	18%
5	Poda de aclareo níspero	24,3	405	380,7	220,4	196,1	48%	94%
6	Poda de verano de níspero.	24,3	574,3	550	493,3	469	15%	17%

Fuente: Elaboración propia

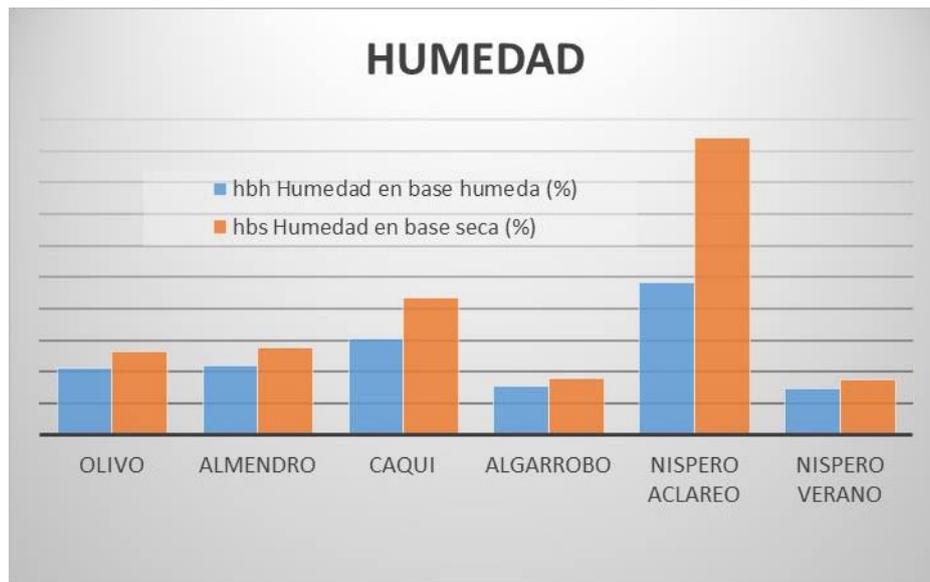


Figura 17. Representación gráfica del porcentaje de humedad en base húmeda y en base seca de los restos de biomasa agrícola en la comarca del Alto Palancia.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Resultados del Poder Calorífico Superior e Inferior de las muestras de restos de biomasa agrícola en la comarca del Alto Palancia.

	Poda de olivo	Poda de almendro	Poda de caqui	Algarrobo	Poda aclareo níspero	Poda verano de níspero.
Masa del crisol (g)	12,5728	12,5746	12,5851	12,5884	12,5825	12,5837
Masa de la capsula (g)	0,1158	0,1215	0,115	0,116	0,1178	0,1188
Masa de la muestra (g)	0,3455	0,3381	0,307	0,3216	0,2548	0,3133
Masa de la capsula + muestra (g)	0,4613	0,4596	0,422	0,4376	0,3726	0,4321
ID	27373	27374	27375	27376	27377	27378
PCI INICIAL (cal/g)	4625,1	4549,3	4311,34	4191,06	4341,12	4300,74
Cable quemado (mm)	9,1	9,2	2,1	6	5	7
Correccion por alambre (cal/g)	4654,52	4548,41	4311,34	4191,06	4341,12	4300,74
Corrección por capsula (cal/g)	532,68	558,9	529	533,6	541,88	546,48
PCS (cal/g)	4121,84	3989,51	3782,34	3657,46	3799,24	3754,26
PCS (MJ/kg)	17,26	16,70	15,84	15,31	15,91	15,72
PCI FINAL (cal/g)	3850,8	3718,47	3511,3	3386,42	3528,2	3483,22

Fuente: Elaboración propia

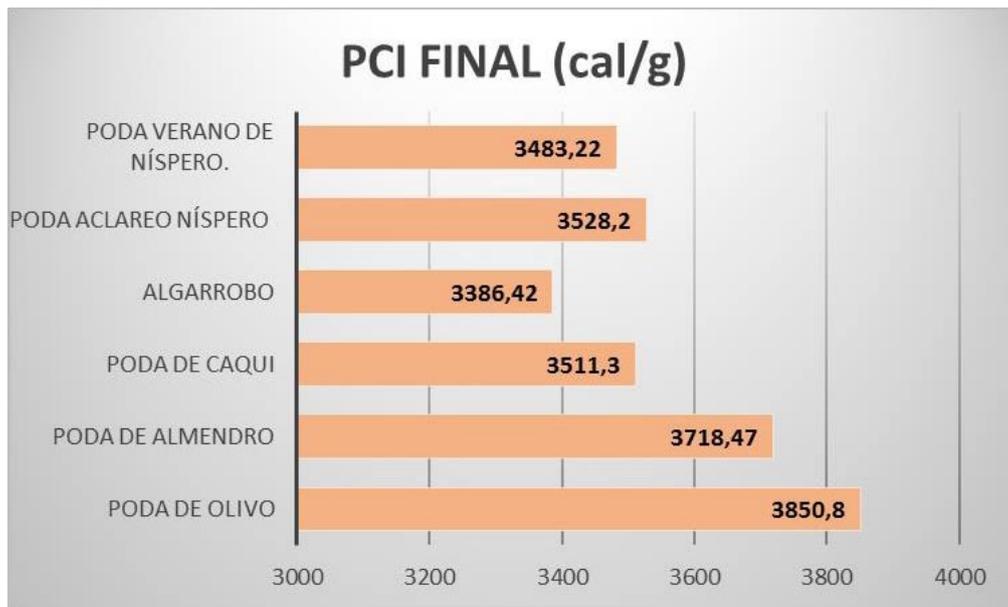


Figura 18. Representación gráfica del Poder Calorífico Inferior en calorías por gramo de los restos de biomasa agrícola en la comarca del Alto Palancia.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Resultados del porcentaje en cenizas de las muestras de restos de biomasa agrícola en la comarca del Alto Palancia.

		Poda de olivo	Poda de almendro	Poda de caqui	Algarrobo	Poda aclareo níspero	Poda verano níspero.
ANTES DE HORNO	m1 masa de la cápsula Peso crisol (g)	48,0432	53,2373	31,3057	31,3136	89,6977	29,9262
	masa de la muestra Peso muestra (g)	2,0052	2,0089	2,0077	2,0047	2,003	2,0022
	m2 Masa de cápsula y la muestra (g)	50,0484	55,2462	33,3134	33,3183	91,7007	31,9284
	hbh Humedad en base húmeda (%)	21%	22%	30%	15%	48%	15%
DESPUES DE HORNO MUFLA 850ºC	m3 masa de la cápsula y las cenizas Peso crisol + ceniza (g)	48,1022	53,3201	31,3888	31,4095	91,8076	30,0206
	Cs Cenizas en la muestra seca (%)	3%	4%	4%	5%	4%	5%
	C Cenizas en base húmeda (hbh)	3%	4%	4%	5%	4%	5%

Fuente: Elaboración propia

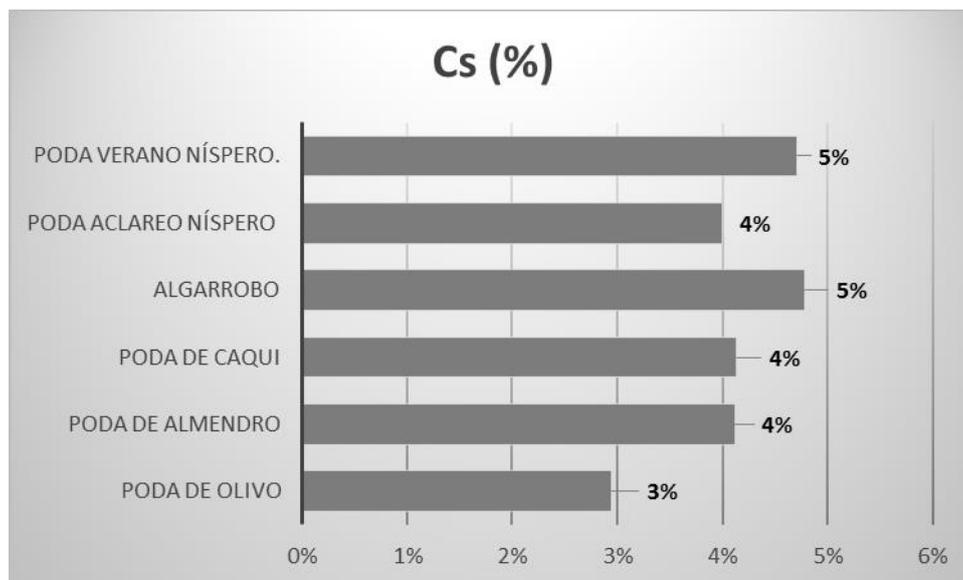


Figura 19. Representación gráfica del porcentaje en cenizas para los restos de biomasa agrícola en la comarca del Alto Palancia.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22 se resumen las características químicas, analizadas en laboratorio.

Tabla 22. Tabla resumen de las características químicas, analizadas en laboratorio, de los restos de biomasa agrícola en la comarca del Alto Palancia.

	HUMEDAD		PCI		Cenizas
	Hbs (%)	Hbh (%)	Cal/g	MJ/kg	%
OLIVO	21	26	3.850,80	16,12225	3
ALMENDRO	22	28	3.718,47	15,5684	4
CAQUI	30	43	3.511,3	14,70114	4
ALGARROBO	15	18	3.386,42	14,171861	5
NISPERO ACLAREO	48	94	3.528,2	14,771861	4
NISPERO PODA	15	17	3.483,22	14,583539	5
CÍTRICOS	-	46,2	3.679,06	15,40	3,32

Fuente: Elaboración propia, excepto los datos de cítricos ⁽²⁹⁾.

3.4.5. Conclusiones.

- Los valores de PCI obtenidos se encuentran dentro de los intervalos establecidos en la bibliografía consultada. Los datos publicados para la biomasa residual de restos de poda del olivo se sitúan entre 12,1 MJ/kg y 19,5 MJ/kg⁽³¹⁾. En el caso del almendro los valores de PCI de la bibliografía consultada se sitúan entre 11,6 MJ/kg y 18,9 MJ/kg⁽³¹⁾. Otros estudios determinan el poder calorífico de residuos agrícolas de níspero en 11,8 MJ/kg, de almendro en 11,6 MJ/kg y el olivar en 12,1 MJ/kg⁽³³⁾.
- Las muestras de biomasa de olivos y almendros poseen un PCI próximo al considerado aceptable (norma ISO 17225-2) para la obtención de pellets de calidad (16,5 MJ/kg).
- Los valores de PCI obtenidos para las biomásas de caqui, algarrobo y níspero se quedan por debajo del mínimo establecido en la Norma de referencia ISO 17225-2.
- El contenido de ceniza se observa ligeramente superior a los estudiados por otros autores⁽³¹⁾, donde el contenido en cenizas se mantiene en el 2,4 % para el caso del olivo y tan solo en un 1% para el caso del almendro.
- Las biomásas de mayor “calidad” se corresponden con las muestras de biomásas del olivo y el almendro que son las más importantes en cuanto a cantidad. La suma de biomásas de olivo y almendro (12.761,45 t/año) suponen el 81 % del total de la biomasa residual.

4.5 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO.

4.5.1 Potencial energético.

El potencial energético de la biomasa puede calcularse a través de la expresión 10:

$$\text{Energía (tep/año)} = \text{Biomasa (kg/año)} \times \text{PCI (kcal/kg)} \times 1/10^7 \text{ (tep/kcal)}.$$

(Expresión 10)

Según la expresión anterior y los datos de los que se dispone hasta el momento, se podría calcular la energía teórica que cada residuo de biomasa me proporcionaría (tabla 23)

Tabla 23. Energía potencial de la biomasa residual agrícola por cultivo en toneladas equivalentes de petróleo al año.

CULTIVO	BIOMASA (kg/año)	PCI (kcal/kg)	ENERGÍA (tep/año)
ALMENDRO	7612500	3718,47	2830,69
OLIVO	5148950	3850,8	1982,76
NÍSPERO	640500	3505,71	224,54
CAQUI	335670	3511,3	117,86
MANDARINO	1953000	3679,06	718,52
			5874,37

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos, no son aplicables en la práctica, la transformación y distribución por separado para cada biomasa residual de cultivo no resulta viable desde un punto de vista

comercial, pero, pese a ello, aporta datos de referencia para conocer la disponibilidad bruta de energía anual de estos residuos.

4.5.2 Demanda.

Según el Ministerio de industria, energía y Turismo, el consumo de energía final en España durante 2014, incluyendo el consumo para usos no energéticos fue de 83.525 Kilotoneladas equivalentes de petróleo (Ktep)⁽³⁴⁾. Según publicaciones del IDAE, el consumo final de energía procedente de la biomasa para usos energéticos ascendía a 3.761.2 Ktep en el año 2014⁽³⁵⁾.

La producción de energía primaria a partir de biomasa sólida en el conjunto de la UE en el año 2010 fue de 80,1 millones de toneladas equivalentes de petróleo, (un 9,1 % más que en 2009) de los cuales un 75% correspondieron a aplicaciones térmicas. Las redes de calefacción centralizada (district heating) consumieron el 2010 el 10,7% de la energía obtenida a partir de biomasa sólida dedicada a usos térmicos en la U.E.⁽³⁶⁾. En España, el Observatorio Nacional de Calderas de Biomasa tiene registradas 25.000 referencias de instalaciones en España, con una potencia instalada que supera los 15.000 MW térmicos⁽⁷⁾.

La producción de electricidad a partir de biomasa sólida precisa de sistemas complejos. Se requieren centrales específicas con grandes calderas que suponen inversiones elevadas y bajo rendimiento. Con todo ello, la biomasa para usos térmicos tiene mayor peso que la biomasa eléctrica⁽³⁶⁾

A nivel provincial, en la provincia de Castellón existe una gran diversidad de consumidores de energía térmica. La Diputación de Castellón, en un documento estratégico de 2014, respecto a la biomasa en la provincia ⁽⁷⁾, engloba el estudio de la demanda en 4 bloques: sector público, industrias azulejeras, consumidores industriales y el sector doméstico.

A nivel comarcal, el Alto Palancia no presenta un sector industrial muy importante y el sector azulejero no está presente, por lo que a nivel de demanda de consumo el sector público y el doméstico son los únicos que podrían cubrir el balance de consumo-demanda.

El sector público podría adoptar un papel dinamizador en este aspecto, las casas consistoriales, centros educativos, centros culturales y piscinas climatizadas pueden ocupar los primeros puestos en rentabilidad económica en la implantación de sistemas de calor basados en la biomasa. En el caso concreto de las comarcas de interior, pese a tener unos primeros inconvenientes de financiación de proyectos (por menores presupuestos y menos acceso a líneas de financiación) tienen mayor cercanía al recurso, las instalaciones están más próximas entre sí (lo que hace más factible sistemas de redes de calor comunitarios) y pueden ser más sensibles a los ahorros a corto y medio plazo en consumos energéticos.

En este nivel, el ayuntamiento de Segorbe (núcleo urbano más importante de la comarca), ya ha mostrado interés y se encuentra en fase de estudio para la sustitución de la caldera que abastece a la piscina cubierta municipal, al auditorio y al polideportivo, por una caldera de biomasa. Según los primeros estudios esta actuación implicaría un ahorro económico de 7.000 euros anuales en consumo energético.

El sector doméstico en la comarca es también un potencial de consumo de biomasa. Según datos publicados por el IDAE en 2011⁽³⁷⁾ los consumos medios residenciales en la zona mediterránea, se sitúan en torno a los 0,138 tep/hogar al año en agua caliente y respecto a la calefacción varían de 0,795 tep/hogar en viviendas unifamiliares a 0,135 tep/hogar en viviendas en bloque.

Así pues, con la biomasa agrícola residual estimada en la Comarca del Alto Palancia se podría cubrir la demanda de 42.567 hogares en consumo exclusivo de agua caliente al año. En cuanto a la calefacción se podría cubrir la demanda de 7.389 viviendas unifamiliares o 43.513 de viviendas en bloque.

El Censo de población y viviendas 2011 del Instituto Nacional de Estadística aporta datos sobre el número de viviendas en los municipios de más de 1000 habitantes, que para la comarca del Alto Palancia son únicamente 6 municipios (Viver, Jérica, Altura, Segorbe, Castellnovo y Soneja). Entre todos ellos se censa un total de 7.617 viviendas, sin especificar si las viviendas son unifamiliares o en bloque.

Según estos datos, la biomasa residual agrícola de la comarca Alto Palancia, podría llegar a cubrir la demanda energética en calefacción de los hogares en los municipios de Segorbe, Altura, Jérica, Viver, Soneja y Castellnovo.

4.5.3 Conclusiones.

- La energía potencial en toneladas equivalentes de petróleo del aprovechamiento energético de la biomasa residual agrícola procedente de los restos (podas) de los cultivos principales de la comarca del Alto Palancia se estima en 5.874,37 tep/año.
- La mayor demanda de energía térmica de la comarca del Alto Palancia proviene del sector público y el doméstico.
- El aprovechamiento energético de la biomasa residual agrícola de la comarca del Alto Palancia podría cubrir la demanda de agua caliente de 42.569 hogares al año.
- El aprovechamiento energético de la biomasa residual agrícola de la comarca del Alto Palancia podría cubrir la demanda de calefacción de 7.389 viviendas unifamiliares al año, lo que supondría cubrir la demanda de los hogares en los municipios de Segorbe, Altura, Jérica, Viver, Soneja y Castellnovo.

4.6 DATOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN.

El objetivo es valorar si sería posible llevar a cabo en el ámbito de estudio un ciclo cerrado local de producción-consumo, en el que la biomasa residual agrícola suponga una oportunidad de autoabastecimiento energético, genere empleo y riqueza en la zona y al mismo tiempo se favorezca la gestión de estos residuos.

Al hablar de biomasa para usos energéticos nos estamos refiriendo a diferentes materias primas, cadenas de suministro, combustibles y tecnologías de conversión a energía, por lo que, todo ello ha de ser tenido en cuenta en el desarrollo de un sistema de gestión de la biomasa agrícola.

La biomasa residual agrícola se caracteriza por su producción dispersa en el territorio y su baja densidad, que provoca elevados costes en la logística de su aprovisionamiento. El pretratamiento para su densificación (empacado, astillado, etc.) supone un coste adicional pero consigue un transporte más económico. Estas dos características son los obstáculos más importantes para lograr la viabilidad técnica y económica de su aprovechamiento energético.

Para conseguir el acondicionamiento de la biomasa y las características necesarias para mejorar la valorización de la misma como combustible, es necesario aumentar la densidad de la biomasa en origen para que el transporte a centro de trabajo sea mínimo. Este primer paso de acondicionamiento debe realizarse en el propio campo, una vez realizada la poda, mediante medios mecánicos. Una vez conseguido el aumento de la densidad, esta debe ser trasladada a un punto de almacenamiento donde o bien pueda ser distribuida a plantas de peletización o ser procesada para su venta directa.

4.6.1 Materia prima. Costes aproximados desde el campo origen hasta centro de trabajo.

Partimos de la premisa que la materia prima no presenta coste de adquisición, no es así para el triturado y transporte hasta punto de transformación de la misma que resultarán clave para optimizar costes.

La maquinaria (trituradoras, astilladoras, empaquetadoras, etc...) que permite recoger y densificar el material antes de su transporte al lugar de utilización o segunda transformación, reduce en gran medida los costes de manejo y transporte, al tiempo que mejora posteriores rendimientos industriales y económicos. Actualmente, son muchos los agricultores que ya hacen uso de las trituradoras para gestionar los residuos de poda frente a la opción de quema. El agricultor debe depositar el residuo de poda en “hileras” entre los marcos de plantación para que posteriormente la trituradora pueda pasar sobre ellos y los triture (figura 20). De entre las trituradoras móviles, existen tres tipos básicos; arrastradas por tractor, sobre camión y autoalimentadas. Los rendimientos suelen oscilar entre 1 t/h y 4 t/h dependiendo de la maquinaria, el material y la forma de alimentación ⁽³⁸⁾.

El coste medio de la trituradora asciende a 20 €/hora (precio de trituradora móvil accionada con tractor del Ayuntamiento de Castellnovo), aplicando los rendimientos teóricos consultados en la bibliografía, para los datos de superficie (9.709 ha) y de biomasa aprovechable de nuestro estudio (15.690 t/año) se traduce a un coste medio por hectárea entre 8 €/ha y 32 €/ha. Una consulta directa entre algunos de los agricultores de la zona que usan el servicio permite establecer una media de 1,2 €/ha, lo que viene a suponer 24 €/ha, acorde al intervalo derivado de la consulta bibliográfica. Este coste de trituración resulta mucho más económico que el coste en mano de obra de acopio manual y quema que puede llegar a suponer los 53 €/ha ⁽³⁹⁾.

Con estos datos de coste de trituración medio, y para toda la producción de biomasa estimada anual, ascendería a 233.016 € anuales.



Figura 20. Imagen de restos de poda en hilera para su posterior trituración mecánica.

Fuente: <http://www.agroterra.com/foro/foros/olivar-f6/picadoras-de-restos-de-poda-t10460-2.html>

El siguiente paso será trasladar el residuo a un centro de almacenamiento. En el aprovechamiento de la biomasa resulta fundamental la logística de aprovisionamiento de las plantas que la han de procesar, que deben instalarse en un entorno físico limitado con unas distancias medias de transporte de la materia prima lo más corta posible ⁽⁴⁰⁾. Por tanto, para que el coste de transporte al centro de almacenamiento sea mínimo, la ubicación de éste a de ser tomada con criterios de proximidad al recurso.

Según la distribución de la biomasa por municipios la mayor concentración de superficie cultivada y por ende de cantidad de biomasa residual es Segorbe (tabla 3).

Suponiendo que el centro de almacenamiento se ubicara en Segorbe, se simula un punto central en cuanto a comunicaciones (Avda. Mediterráneo, donde existe un polígono industrial) y se calculan las distancias a recorrer en kilómetros desde cada municipio (tabla 24).

Para realizar los cálculos se ha estimado que la densidad del residuo tras su trituración, asimilándolo a la densidad de una astilla industrial ronda los $0,2 \text{ t/m}^3$ ⁽⁷⁾ y que la recogida se llevaría a cabo con un camión contenedor tipo de 30 m^3 . Con estos datos de partida se deduce que para recoger el total anual de biomasa producida en la comarca del Alto Palancia sería necesario realizar 2.615 portes (2.615,10 según datos de tabla 24).

Tabla 24. Estimación de la localización que serviría de punto de recogida, distancia de los puntos de generación de biomasa residual a punto de recogida y número de portes anuales a realizar para su traslado.

MUNICIPIO	BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA ANUAL (t)
SEGORBE	5.808,02
ALTURA	4.383,84
JÉRICA	2.335,34
VIVER	1.724,05
SONEJA	658,00
CASTELLNOVO	518,87
SOT DE FERRER	262,50

DATOS TRANSPORTE	
€/h	CAPACIDAD (M3)
35	30

DENSIDAD BIOMASA TRITURADA	
kg/m3	t/m3
200	0,2

OPCION CENTRO SEGORBE Avd. Medit	DISTANCIA (KM)	Nº DE PORTES
SEGORBE	0	968,00
ALTURA	3,5	730,64
JERICA	14,3	389,22
VIVER	15,6	287,34
SONEJA	8,9	109,67
CASTELLNOVO	3	86,48
SOT DE FERRER	11,1	43,75
		2.615,10

Fuente: Elaboración propia.

El precio del transporte subcontratado tipo local con un camión de 30 m³ de capacidad ronda los 35 €/hora. Se estima que cada porte recorrería varios puntos de recogida, ocupando en cada uno de ellos una jornada laboral completa y considerando que el número de portes anuales es de 2.615, el coste estimado de carga y transporte ascendería a 732.200 € anuales (8 horas X 35€/hora X 2615 portes/año).

Así pues, el coste de triturado, carga y transporte hasta centro de trabajo ascendería a 965.216 €/ año o 61,52 €/tonelada.

Un estudio llevado a cabo por la Fundación CIRCE, en 2006, de evaluación del potencial de biomasa residual en Huesca ⁽⁴¹⁾ valora el suministro de la biomasa desde otra perspectiva que sería interesante de considerar también en el presente estudio. En el estudio citado para estimar el coste de la biomasa se mantuvieron contactos con los agricultores y con cooperativas agrícolas, valorando finalmente precios de compra que se situaban entre los 42 € y 50€ la tonelada de residuo puesto a pie de centro de trabajo por cada agricultor. En este caso, el agricultor se debería hacer cargo del triturado y del transporte a centro de trabajo. Aun considerando el precio mayor, de 50 €/tonelada, resulta más rentable este método de suministro que el coste anteriormente valorado de triturado, carga y transporte (61,52€/tonelada). En esta opción de suministro de biomasa, el agricultor obtiene beneficios económicos de la gestión de sus residuos de poda, pasando de la visión de “regalar” a “vender”, lo que supondría un valor añadido y un incentivo a la valorización de la biomasa residual agrícola de la comarca.

Respecto al centro de trabajo, al igual que para el transporte, la baja densidad de la biomasa implica una mayor necesidad de espacio, lo cual tiene implicaciones en los costes. Según la bibliografía consultada ⁽⁷⁾, para un suministro de biomasa anual de 15.000 toneladas se estima una superficie de trabajo de 1.200 m². En otro estudio de diseño de una instalación de pelletización que actualmente se encuentra en funcionamiento ⁽⁴²⁾, para un suministro anual de 17.000 toneladas de biomasa se diseñó un centro de trabajo de 1.000 m² de superficie.

Según el calendario de podas (tabla 12), y valorando el peor escenario, la mayor concentración de restos de podas se producirá entre los meses de enero y febrero, cuando se acumulen los restos de biomasa de las podas de olivo (5.148,95 t/año), almendro (7.612,50 t/año) y caqui (335,67 t/año). La suma de estos restos de biomasa asciende a 13.097, 12 t/año.

Considerando todos estos datos, estimamos que una superficie de 1.000 m² será suficiente para el desarrollo de la actividad. Los costes asociados al uso inmobiliario del centro de trabajo se estiman en régimen de alquiler.

En el ámbito de estudio y según la información de algunos alquileres de naves industriales, el coste de alquiler mensual de una nave diáfana se puede estimar en 1€/m², por lo que el coste de alquiler del centro de trabajo ascenderá a 1.000 €/mes ó 12.000 €/año.

4.6.2 Transformación de la biomasa.

Considerando la materia prima y sus características evaluadas en laboratorio, el producto final susceptible de ser obtenido tras una primera transformación de la biomasa triturada se limita a: astilla industrial, pellet blanco de baja calidad o pellet negro.

La astilla industrial se produce a partir de madera procedente de tratamientos selvícolas y restos de podas agrícolas. Los centros de transformación para la obtención de astilla no requieren de infraestructuras muy complejas aunque el producto obtenido está orientado a mercado específico de calderas industriales. Para la valoración de los costes de producción, habría que valorar si el residuo triturado en campo ya dispone de las características propias de una astilla industrial, cuestión que se considera altamente improbable. No obstante, para una instalación de transformación de biomasa residual agrícola a astilla industrial debería disponer de:

- Báscula.
- Pala Cargadora.
- Criba
- Cintas
- Canal Vibrante
- Astilladoras.

La inversión necesaria en maquinaria se estima en 1.500.000 €.

La Diputación de Castellón en un documento estratégico de 2014, respecto a la biomasa en la provincia ⁽⁷⁾ publica unos datos orientativos sobre una hipotética instalación de astilla industrial, con un rendimiento del 80%. Según esos datos, para el suministro de biomasa anual estimado (15.690 toneladas), se podría considerar una producción anual de astilla de 12.552 toneladas.

Acorde al informe de precios de la biomasa para usos térmicos, publicado por el IDAE (tabla 25), el primer trimestre de 2016, el valor medio de precio de la astilla elaborada ascendía a 86,88 €/t.

Tabla 25. Valores medios de precios de producto energético procedente de la transformación de biomasa residual. Informe de precios de la biomasa para usos térmicos.

Valores medios de precios para cada producto				
Producto	Precio Segundo Trimestre 2015 (euros/t)	Precio Tercer Trimestre 2015 (euros/t)	Precio Cuarto Trimestre 2015 (euros/t)	Precio Primer Trimestre 2016 (euros/t)
Leñas	108,82	123,18	125,01	126,35
Astilla elaborada	99,86	96,98	95,49	86,88
Pellet A1 ensacado	196,59	187,72	187,61	183,62
Pellet A1 granel	180,06	174,96	167,09	169,21
Pellet no certificado ensacado	188,69	N.D.	N.D.	N.D.
Pellet no certificado granel	175,50	164,44	166,89	171,37
Hueso de aceituna ensacado	141,73	141,12	138,43	N.D.
Hueso de aceituna granel	100,92	116,19	107,29	89,94
Cáscaras de fruto a granel	N.D.	61,18	57,65	56,21

N.D. Precio no disponible por no cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la metodología

Fuente: IDAE. DIRECCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES. Departamento de Biomasa y Residuos. Informe nº 4 Año 2016

La producción de pellets conlleva una mayor inversión en infraestructuras, además de la infraestructura necesaria para la fabricación de astillas, se necesita una máquina de peletizado. No obstante, según la bibliografía ⁽⁷⁾ es posible la instalación de peletizadoras pequeñas (500 kg/hora) que presentan eficiencias y costes unitarios similares a plantas de mayor producción.

En este caso la inversión en infraestructuras para un suministro anual de 15.000 t de biomasa residual ascendería a 1.650.000 €. No obstante, según la experiencia de aprovechamiento de biomasa residual de Serra ⁽¹³⁾, las infraestructuras han sido adquiridas según necesidades específicas y en pequeña escala, mayoritariamente con ayudas y subvenciones. En inicio se dispuso de una trituradora, molino de finos y una peletizadora, siendo la inversión en infraestructuras de 32.000 €. La diferencia entre ambos precios no puede ser comparada en términos absolutos puesto que la cantidad de biomasa a procesar varía entre ambos supuestos. Pero, no obstante, en este sentido resulta muy interesante la consideración de la existencia de instrumentos financieros con ayuda directa o subvención total o parcial de los proyectos. En estos proyectos de transformación de biomasa y en el ámbito rural las ayudas comunitarias y estatales pueden llegar a suponer entre el 45 % y el 65 % de la inversión inicial (IVACE. Programa de energías renovables y biocarburantes del instituto de Competitividad Empresarial).

En este tipo de instalaciones la diferencia de humedad entre la materia prima y el producto resultante hacen que el rendimiento de producto se reduzca mucho. Según los datos consultados, el rendimiento en esta transformación es del 47%, por lo que del total de biomasa a procesar (15.690 t/anales), se obtendrían 7.374,3 toneladas de pellet. El producto resultante esperable de la transformación de la biomasa residual de la zona se enmarcaría dentro de pellet

no certificado, con un precio de venta entre 171,37 €/tn (1^{er} trimestre de 2016 y pellet a granel) y 188,69 €/t (2^o trimestre de 2015 y pellet ensacado).

4.6.3 Estudio de viabilidad económica.

Con los datos estimados de la inversión necesaria en maquinaria, los costes anuales y los ingresos por la venta del producto energético final es posible realizar un primer estudio de viabilidad económica de una hipotética puesta en marcha de una actividad de aprovechamiento de la biomasa residual agrícola en la comarca del Alto Palancia.

Es muy importante tener en cuenta que muchos de los datos tienen una gran carga estimativa, por lo que las conclusiones, aunque de utilidad, deben asumirse con cautela y en caso de toma de decisiones ser sometidas a estudios más detallados.

4.6.3.1 Inversión inicial.

Para el procesado de 15.690 t/año de biomasa residual se estima que la inversión necesaria será de **1.650.000 €**. Esta inversión incluye maquinaria, montaje, instalación de alumbrado, instalación de seguridad, instalación eléctrica y gastos de ingeniería.

4.6.3.2 Gastos de mantenimiento.

Los gastos de mantenimiento se han estimado siguiendo el cálculo del mantenimiento de una planta de pellet de características similares a las estimadas en el presente estudio que fue diseñada en 2013 y actualmente se encuentra en funcionamiento ⁽⁴²⁾. Según estos datos, el

mantenimiento base para una planta de estas características ronda los 60.000 € anuales y los costes de recambio de piezas en la máquina pelletizadora se calculan en función de las horas de funcionamiento de la maquinaria y en nuestro estudio ascenderían a 11.413,82 € anuales. Por lo tanto, los gastos de mantenimiento se pueden estimar en **71.413,82 €/año**.

4.6.3.3 Gasto de materias primas.

El gasto de materia prima es crucial para la viabilidad del estudio, acorde se ha desarrollado en el apartado 3.6.1. el coste de triturado, carga y transporte hasta centro de trabajo se estima en **965.216 €/año**.

4.6.3.4 Gasto en centro de trabajo. Alquiler y consumos.

El alquiler anual del centro de trabajo asciende a **12.000 €/año**.

El consumo supuesto según proveedores de plantas de pellet de estas dimensiones⁽⁴²⁾ es de 440 kW y la tarifa eléctrica de 0,12 €. La maquinaria no va a estar funcionando las 24 horas del día, por lo que se considera un gasto del 80 %, por lo que el coste horario de la energía se estima en 42,24 €/h ($440 \times 0,8 \times 0,12 = 42,24 \text{ €/h}$).

Considerando una jornada laboral de 8 horas, durante 12 meses, el coste de energía se estima en **152.064 €/año**.

4.6.3.5 Gastos de personal.

El personal necesario para una planta de producción de pellet de 7.000 t/año según la bibliografía consultada ⁽⁷⁾ es de 8 trabajadores. En nuestro caso, se consideran 6 operarios de planta con un coste mensual de 1.800 € y dos cargos de responsabilidad con un coste mensual de 2.500 €. Con estos datos, el gasto de personal sería de **189.600 €/año**.

Acorde al cronograma de recogida de muestras, no sería necesario tener la instalación en funcionamiento durante todo el año, lo que permitiría reducir los costes de personal y otros costes derivados del funcionamiento de la actividad (mantenimiento, energía). La temporada entre los meses de mayo a noviembre solo entraría la biomasa residual de la poda del níspero y considerando su volumen, no sería necesario su procesamiento, podría acumularse en el centro de trabajo consiguiendo además con ello, un secado natural.

4.6.3.6 Ingresos previstos.

La calidad energética, según los análisis de laboratorio, de los restos de biomasa evaluados en este estudio indican que la consecución final de un pellet de calidad es improbable por lo que para evaluar los posibles ingresos será necesario tener en cuenta que el producto resultante se podrá comercializar, máximo, como pellet no certificado con un precio medio de venta de 171,37 €/t (tabla 25).

Así mismo, el rendimiento de producción de pellet frente a la materia prima no es del 100%. El pellet debe tener siempre una humedad inferior al 10%. En el proceso industrial usado de referencia ⁽⁴²⁾ la alimentación se lleva a cabo con astilla a una humedad media del 35 %, suponiendo una pérdida del 25% del peso de la materia prima para obtener el producto final. En la práctica esta pérdida es ligeramente superior, la planta en cuestión se diseñó para una producción de 12.000 toneladas de pellet con un suministro de 17.000 toneladas de astilla, suponiendo unas pérdidas cercanas al 30%. Otros informes son menos optimistas y sitúan las pérdidas en torno al 44% ⁽⁴³⁾ o incluso en torno al 53% ⁽⁷⁾.

La biomasa de estudio, según los ensayos de laboratorio (tabla 19), muestra humedades inferiores al 30%, excepto en el caso de la poda de aclareo del níspero donde la humedad se dispara hasta el 48%. Con estos datos, se podría considerar adecuado considerar una pérdida de peso del 30%, lo que implicaría un rendimiento sobre la materia prima del 70%, no obstante, considerando los datos obtenidos en la bibliografía se estima más conveniente utilizar un dato promedio de 42% de pérdidas, por lo que sobre el total de la biomasa a tratar (15.690 t/año), se estima una producción de 9.100,2 t/año de pellet. Con estos datos de producción, el total de ingresos por la venta de pellet no certificado a granel es de **1.559.501,27 €/año**.

4.6.3.7 Resumen de gastos e ingresos previstos.

La tabla 26 muestra un resumen de los costes e ingresos previstos en el estudio de viabilidad económica, así como los datos económicos de tasa de inflación y tipos de interés.

Acorde a la situación económica actual, se prevé que la inflación a medio plazo se sitúe en torno al 0,1 % llegando como máximo a valores del 0,5%. La tasa de interés para los cálculos económicos puede considerarse del 3%.

Tabla 26. Resumen de gastos e ingresos previstos para una instalación de transformación de biomasa residual agrícola en el ámbito de estudio.

INVERSIÓN INICIAL (PLANTA DE PELLETIZADO)	1.650.000 €
GASTOS DE MANTENIMIENTO	71.413,82 €/AÑO
GASTOS EN MATERIA PRIMA	965.216 €/AÑO
GASTOS ALQUILER CENTRO DE TRABAJO	12.000 €/AÑO
GASTOS EN ENERGÍA	152.064 €/AÑO
GASTOS EN PERSONAL	189.600 €/AÑO
INGRESOS PREVISTOS POR VENTA DE PELLET NO CERTIFICADO	1.559.501,27 €/AÑO

4.6.3.8 Escenarios supuestos.

La puesta en práctica de proyectos de uso de biomasa a escala territorial requiere de inversiones iniciales muy importantes que pueden lastrar la viabilidad económica de los proyectos. Esta cuestión es tenida en cuenta por los gobiernos y la Unión Europea, que en aras de potenciar el uso de energías renovables, incentivan estos proyectos con ayudas públicas.

El Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) en 2013 aprobó el Programa de Energías Renovables y Biocarburantes con una dotación de 2.704 millones de euros. El programa va dirigido a subvencionar las etapas de: extracción, transformación, distribución y consumo en un 45% sobre la inversión inicial, llegando incluso al 65% cuando la promoción surge de ayuntamientos. Por otro lado, el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del Fondo F.I.D.A.E., dotado con cerca de 123 M€, tiene como propósito financiar

proyectos de desarrollo urbano sostenible que mejoren la eficiencia energética y/o utilicen las energías renovables. Se trata de un Fondo cofinanciado por el FEDER y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y operado por el Banco Europeo de Inversiones (BEI).

Considerando la importancia de la obtención de ayudas para la viabilidad de estos proyectos y la existencia de programas de financiación, se han considerado dos escenarios en el estudio de viabilidad económica. Un primer escenario donde no se contempla ningún tipo de ayuda (ESCENARIO A) y un segundo escenario donde se contempla una ayuda del 45% subvencionable sobre la inversión inicial (ESCENARIO B).

4.6.3.9 Cálculo del VAN, TIR y PAY BACK.

Para cada uno de los dos escenarios se calculan parámetros económicos básicos para valorar económicamente el proyecto. Para evaluar la viabilidad económica se estima un horizonte de 10 años, tiempo habitual para este tipo de proyectos.

VAN (Valor Actual Neto).

Es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial, de tal forma que si es mayor, será recomendable que el proyecto sea aceptado.

Permite calcular el presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar el momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le

resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto (expresión 11).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+K)^t}$$

(Expresión 11)

Donde:

V_t , representa los flujos de caja en cada periodo.

I_0 , es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n , es el número de periodos considerado.

K , es la tasa de actualización económica.

El **valor actual neto** es muy importante para la valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones en considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la inversión.

Para los cálculos se ha tenido en cuenta que la inflación prevista a medio plazo se sitúa en torno al 0,1% y 0,5% y sin expectativas de que cambie. Así mismo, se estima que el flujo de caja se ajustará a la tasa de inflación, por lo que, los costes operativos y los ingresos de venta se ajustarán lo que conlleva un flujo de caja constante. Por este mismo motivo el interés real y el nominal coincidirán, y para el cálculo se estima en un 3%.

TIR (Tasa Interna de Retorno)

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. El TIR puede equipararse al interés obtenido de la inversión realizada. Por tanto, cuanto mayor sea el TIR más rentabilidad tendremos del proyecto. Si el TIR es negativo no sería rentable el proyecto.. La fórmula de esta expresión es la que hace el VAN de una inversión igual a cero.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t}$$

(Expresión 12)

PAY BACK (Periodo medio de retorno).

Es el plazo de recuperación de la inversión, es decir, el periodo de tiempo que necesita una inversión para que el valor actualizado de los flujos netos de caja iguale al capital invertido. Permite seleccionar aquellos proyectos cuyos beneficios permitan recuperar más rápidamente la inversión.

4.6.3.10. Resultados.

Tabla 27. ESCENARIO A. Resultados a un horizonte de 10 años. La inversión no recibe ayudas gubernamentales.

INVERSIÓN	-1650000	RESULTADOS	ESCENARIO A
FLUJO DE CAJA	255162,564	VAN	526588
INTERES NOMINAL	3%	TIR	8,83%
TASA DE INFLACCIÓN	0%	PAY BACK	6,5
INTERES REAL	3,00%		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. ESCENARIO B. Resultados a un horizonte de 10 años. La inversión inicial recibe un 45% de subvención.

INVERSIÓN	-907500	RESULTADOS	ESCENARIO B
FLUJO DE CAJA	255162,564	VAN	1269088
INTERES NOMINAL	3%	TIR	25,13%
TASA DE INFLACCIÓN	0%	PAY BACK	3,6
INTERES REAL	3,00%		

Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Conclusiones.

- El valor del VAN en un horizonte de 10 años es en ambos escenarios superior a 0, por lo que el proyecto puede considerarse aceptable con o sin inversión subvencionable.
- La TIR en el escenario A se sitúa en torno al 9%, frente a la TIR del 25% en el escenario B.

- EL Pay Back se puede considerar aceptable en ambos escenarios, aunque el escenario B muestra un periodo de retorno mucho menor.
- El estudio de la viabilidad económica del desarrollo de un proyecto de aprovechamiento y transformación de la biomasa residual agrícola en la comarca del Alto Palancia se estima positivo.
- La viabilidad económica puede verse condicionada a la dotación administrativa de fondos subvencionados que garantizarían el éxito de este tipo de instalaciones.
- La posibilidad de realización de inversión progresiva y la posibilidad de ayudas para la inversión en maquinaria resulta clave para disminuir los costes de inversión.
- La opción de compra de biomasa residual al agricultor podría minimizar el coste de adquisición de la materia prima, al tiempo que estimularía el proceso de gestión de los residuos de poda frente a la opción de quema.
- En el supuesto de que la administración pública asumiera la puesta en marcha de proyectos de aprovechamiento energético de la biomasa residual, la rentabilidad podría valorarse en un segundo lugar frente a una mayor importancia del periodo de retorno o incluso otros parámetros no estrictamente económicos.

4.7 CULTIVOS ENERGÉTICOS.

4.7.1 Definición y antecedentes.

Un **cultivo energético** se puede definir como aquel cultivo agrícola, forestal o acuático, cuya producción parcial o total se utiliza como materia prima para generar energía aprovechable ⁽⁴⁴⁾.

Los cultivos energéticos son plantaciones de crecimiento rápido que se realizan con el propósito específico de producir energía en alguna de sus tipologías: térmica, eléctrica o mediante su transformación en biocarburantes.

La consideración de los cultivos energéticos dentro del presente estudio de valoración de la biomasa residual en la Comarca del Alto Palancia reviste mucha importancia. El ámbito de estudio se caracteriza por ser una comarca de marcado carácter rural, únicamente 6 de los 28 municipios que la componen tienen censados más de 1.000 habitantes y ninguno de ellos supera los 10.000 habitantes. Tradicionalmente ha sido una comarca agrícola, el sector industrial no ha encontrado estímulos suficientes para su implantación y pese a la cercanía y las excelentes vías de comunicación con las capitales de provincia de Castellón y Valencia, no se ha conseguido que la zona adquiriera carácter “dormitorio”. Todo esto unido a la decadencia de la agricultura ha conllevado a un descenso de la población en la mayoría de municipios y en el mejor de los casos el mantenimiento de la misma, que definitivamente ha derivado en el abandono de multitud de tierras de cultivo. Adicionalmente, y debido a causas económicas de carácter más global, la tasa de paro en la comarca se sitúa en el 20,32 %, según el Instituto Valenciano de Estadísticas para primer trimestre de 2016.

La implementación de cultivos energéticos representa para la agricultura una opción más de cultivo, revalorizando las tierras, evitando el abandono de las mismas y generando empleo. Con ello, se motiva la inversión y ayuda a mejorar los servicios públicos en las zonas rurales lo que desemboca a un desarrollo rural sostenible. Con todo esto, la implementación de cultivos energéticos en la comarca es una oportunidad potencial para el sector agrario, industrial y de servicios.

Los impactos socioeconómicos de los cultivos energéticos ya han sido validados en algunas regiones de Brasil, Estados Unidos y Alemania ⁽⁴⁴⁾. En Europa, y según el Plan de acción sobre la biomasa de la Comisión Europea de 2005, el uso de la biomasa en la UE (con un supuesto de producción interna del 80% de la biomasa consumida) generó entre 250 y 300 mil empleos directos, mayoritariamente en zonas rurales.

4.7.2 Superficie disponible para implantación de cultivos energéticos en la comarca del Alto Palancia.

Actualmente, el Plan de Energías Renovables 2011-2020 promueve el desarrollo de cultivos energéticos agrícolas en terrenos con bajo índice de productividad, abandonados o en proceso de retirada. Según el Plan, en 2010, se retiraron cerca de 2 millones de hectáreas de terreno cultivable ⁽⁴⁵⁾.

La cantidad de superficie de cultivos abandonados resulta difícil de precisar, no obstante, la existencia de ayudas de la Política Agraria Común para terrenos de barbecho y tierras no cultivadas (tierras de cultivo en descanso o no ocupadas) ha obligado a la administración al control de dicha superficie.

La definición de barbecho y tierra no ocupada no significa que el cultivo allí presente pretenda ser o haya sido abandonado, por lo que serían superficies independientes, pero, a falta de datos siquiera aproximados de superficie de cultivo abandonada, puede ser una aproximación al cálculo para una previsión de implantación a corto plazo.

La Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA, nos facilitó los datos (año 2013) de superficies de cultivos por municipio en la Comarca del Alto Palancia. Los datos facilitados incluyen las superficies por municipio de “barbecho y tierra no ocupada” (tabla 29).

Según estos datos, en la comarca del Alto Palancia existe una superficie de 516 hectáreas de superficie de terreno de regadío y 1.530 hectáreas de superficie de terreno de secano susceptibles de ser receptoras de cultivos energéticos. Los municipios con mayor superficie en secano son Barracas y El Toro y los municipios con mayor superficie en regadío son Jérica y Segorbe, ambos con alto contenido en biomasa residual agrícola.

Tabla 29. Superficies de terreno calificado como barbecho y tierra no ocupada por municipio en la comarca del Alto Palancia.

MUNICIPIO	SUPERFICIE (ha)		
	Secano (ha)	Regadío (ha)	Total
BARRACAS	412	1	413
TORO (EL)	318	1	319
SEGORBE	62	97	159
JÉRICA	42	100	142
SONEJA	98	28	126
PINA DE MONTALGRAO	106	0	106
TORÁS	70	19	89
VIVER	37	49	86
TERESA	45	40	85
BENAFER	62	14	76
CAUDIEL	15	60	75
ALTURA	43	21	64
CASTELLNOVO	44	7	51
SACAÑET	42	2	44
VALL DE ALMONACID	18	10	28
ALGIMIA DE ALMONACID	14	11	25
NAVAJAS	14	8	22
SOT DE FERRER	18	3	21
BEJÍS	7	13	20
MONTÁN	11	6	17
GAIBIEL	14	1	15
VILLANUEVA DE VIVER	14	1	15
ALMEDÍJAR	8	5	13
MATET	1	11	12
FUENTE LA REINA	7	4	11
HIGUERAS	7	2	9
PAVÍAS	1	2	3
	1.530	516	2.046

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por la Oficina de Conselleria de Agricultura. OCAPA- ALT PALÀNCIA.

4.7.3 Cultivos energéticos de posible implantación.

Los cultivos energéticos pueden clasificarse según su aprovechamiento final en oleaginosos, para la obtención de biodiesel, alcoholígenos para producir bioetanol y lignocelulósicos para la generación de biomasa sólida ⁽⁴⁶⁾.

En el caso que nos ocupa, y según la definición del IDAE ⁽⁴⁶⁾, los cultivos energéticos susceptibles de valoración serán cultivos agrícolas mayoritariamente lignocelulósicos.

Los cultivos energéticos deben cumplir una premisa fundamental, como cualquier otro, deben sacar partido de la naturaleza pero en ningún caso obviar sus leyes ⁽⁴⁶⁾. El cultivo y la manipulación deben ser compatibles con las características de la zona de producción, no deben requerir para su cultivo maquinaria ni útiles diferentes a los de los cultivos tradicionales. Ser especies perennes y vivaces, con capacidad rebrotadora, presentar una alta resistencia soportando con mínimos cuidados la competencia de malas hierbas y el ataque de plagas. Deben poseer una alta eficiencia fotosintética y un ciclo vegetativo lo más largo posible.

Existen numerosas especies de cultivos susceptibles de utilizarse con fines energéticos, sin embargo, en la práctica la posibilidad de elección es reducida, ya que sólo unas cuantas se adaptarán con buenos rendimientos a las condiciones edafoclimáticas de cada zona ⁽⁴⁷⁾. Además de la adaptación, es interesante también tener en cuenta la época del año en la que se dispondrá de la biomasa. Los cultivos energéticos deben ayudar también a minimizar la estacionalidad de los residuos agrícolas.

Acorde a su origen, los cultivos energéticos se dividen en herbáceos y leñosos. Según algunos estudios realizados, los cultivos energéticos agrícolas herbáceos más viables en España son la colza y girasol para biodiesel y trigo y cebada para bioetanol ⁽⁴⁶⁾. Para la producción de biomasa sólida uno de los cultivos herbáceos más interesante parece ser el cardo (*Cynara*

cardunculus). Se trata de una especie vivaz muy bien adaptada al clima mediterráneo de veranos secos y calurosos y buena productividad en secano. Cuando el cultivo está establecido puede alcanzar producciones totales de biomasa superiores a 18-20 t de materia seca por ha y año ⁽⁴⁶⁾.

Acorde a un informe sobre experiencias industriales con cultivos energéticos realizada por AVEBIOM (Asociación Española de Valorización de la Biomasa) ⁽⁴⁸⁾, la biomasa leñosa presenta una serie de ventajas frente a la biomasa herbácea:

- Mejor calidad de biomasa para la combustión a baja temperatura. La biomasa leñosa tiene menor contenido en nitrógeno, azufre y cloro que la biomasa herbácea, lo que implica menos emisiones de óxidos de nitrógeno y de azufre, así como menor riesgo de corrosión y sinertización de las cenizas en las calderas de combustión.
- Mayor aporte de carbono al suelo. El sistema radicular es más profundo durante la vida útil del cultivo y en la descomposición de las hojas que caen.
- Se minimiza la incidencia en el suelo por el paso de las máquinas.
- Se crea un hábitat más estable para la fauna silvestre.
- Mayor eficacia en el uso del agua.
- Menos necesidad de fertilizante.

Este informe tabula los cultivos energéticos leñosos más importantes (tabla 30).

Estos datos coinciden también con otros estudios ⁽⁴⁴⁾ donde se dictamina que chopos y eucaliptos presentan mayor viabilidad.

Tabla 30. Cultivos energéticos leñosos más importantes en España.

NOMBRE COMÚN	GENERO BOTÁNICO
Chopo	<i>Populus</i> spp.
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> spp.
Paulownia	<i>Paulownia</i> spp.
Sauce	<i>Salix</i> spp.
Robinia	<i>Robinia</i> spp.
Olmo de Siberia	<i>Ulmus pumila</i> L.
Aliso	<i>Alnus</i> spp.
Plátano de paseo	<i>Platanus</i> spp.
Fresno	<i>Fraxinus</i> spp.
Abedul	<i>Betula</i> spp.
Haya	<i>Fagus</i> spp.
Liquidámbar	<i>Liquidambar</i> spp.
Castaño	<i>Castanea</i> spp.
Ailanto	<i>Ailanthus</i> spp.
Higuera	<i>Ficus</i> spp.

Fuente: Experiencias industriales con cultivos energéticos en España. AVEBIOM, 2010 ⁽⁴⁸⁾.

Las experiencias con plantaciones experimentales realizadas en los últimos años concluyen datos económicos y de productividad más que aceptables. Los rendimientos energéticos anuales varían entre 80 y 415 GJ/ha para cultivos energéticos frente al rendimiento energético anual para residuos agrícolas y forestales que se sitúan entre 2 y 155 GJ/ha ⁽³⁶⁾. En una experiencia de plantación de chopo en Granada ⁽⁴⁸⁾ con un ciclo de 15 años y rotación anual, durante el primer año se obtuvo un margen neto de 650-700 €/ha.

En España las plantaciones de Eucalipto se localizan en la cornisa cantábrica y suroeste, donde los rendimientos estudiados varían de 5 a 20 t/ha/año ⁽⁴⁷⁾.

El cultivo de la Paulownia ha mostrado rendimientos sorprendentes con una producción de 35-45 t/ha y año, según estudio realizado en diferentes áreas de España ⁽⁴⁹⁾.

Otros datos ⁽⁴⁸⁾ de una experiencia llevada a cabo en Cádiz, con Paulownia, y según el crecimiento anual de la planta, se estiman resultados de producción de 90 -120 t/ha cada 3 años (periodo de rotación mínimo para la Paulownia).

Cultivos en la zona noroeste de la comarca Alto Palancia

Según la disponibilidad de superficie para implantación de cultivos energéticos, en los municipios situados más al noroeste de la comarca (El Toro, Barracas y Pina) habría que valorar la plantación de cultivos energéticos con altas condiciones de adaptación y con poco requerimiento hídrico puesto que la superficie disponible es mayoritariamente de secano.

Entre los posibles cultivos alternativos utilizables para la producción de biomasa de uso energético en secano destaca el cardo (*Cynara cardunculus* L.), que es una especie originaria de la región mediterránea, perteneciente a la familia de las Compuestas (Asteraceae) y con excelentes condiciones de adaptación a la gran mayoría de las tierras cerealistas de secano o de los regadíos marginales.

Figura 21. Cultivo de cardo para biomasa.



Fuente: <http://energiasrenovadas.com/wp-content/2012/02/Cultivo-masivo-de-cardo-para-producir-biocombustibles.jpg>

Este cultivo tiene la ventaja de que el aprovechamiento de la biomasa se realiza en época estival entre los meses de agosto y septiembre, cuando la biomasa residual agrícola es escasa o nula. Su explotación productiva puede alargarse aproximadamente 7 años. La recolección se realiza por siega y posterior empacado de la planta entera una vez se ha secado completamente en campo.

Cultivos en la zona centro de la comarca Alto Palancia

En el caso de los municipios más próximos a la vega del río Palancia, habría que valorar la plantación de cultivos de regadío puesto que la superficie susceptible mayoritariamente es de regadío.

En el caso del regadío la producción de biomasa es más controvertida, por la escasez de agua fundamentalmente.

En regadío el cultivo de Paulownia parece ser muy compatible con el ámbito de estudio puesto que presenta una buena adaptabilidad. Soportan condiciones de climas y suelos variadas, tanto de sequía (pasados los primeros años), como de frío y calor, o resistencia al fuego. No obstante, requiere riego mínimo una vez a la semana, sobre todo durante el primer y segundo año de crecimiento con unas dosis de riego del orden de 1.500-2.000 m³/ha, para obtener buenos rendimientos.

Además de los rendimientos y los datos vistos para la elección del cultivo más adecuado para la comarca del Alto Palancia, es importante considerar que la PAC, hasta el momento mantiene la ayuda a los cultivos energéticos de 45 euros por hectárea para un máximo de 2.000.000 de hectáreas.

4.7.4 Datos económicos de los cultivos energéticos.

La implantación de cultivos energéticos lleva aparejada unos costes de implantación, mantenimiento y cosecha del cultivo. Para cultivos energéticos, los costes de implantación, mantenimiento y cosecha incluyen los correspondientes a provisión de semillas y plantones, establecimiento y labranza de la tierra, cosecha, irrigación, fertilizantes y pesticidas ⁽³⁶⁾. Los ingresos derivan de la venta de la biomasa a plantas de transformación.

A continuación se aportan unos valores económicos básicos que sin llegar a ser un estudio de viabilidad, nos aportan datos interesantes sobre una alternativa de desarrollo económico a medio plazo para el desarrollo socioeconómico de la comarca del Alto Palancia.

Por una parte, se dispone de datos de superficie disponible para implantación de cultivos energéticos en la comarca del Alto Palancia, punto desarrollado con detalle en el apartado 3.7.2. del presente estudio. En este estudio se han considerado únicamente los tres municipios con mayor superficie disponible catalogada de barbecho y tierra no cultivada, tanto en secano (El Toro, Barracas y Pina de Montalgrao) como en regadío (Segorbe, Jérica y Caudiel), ver tabla 30.

En los municipios con mayor superficie de tierra disponible en secano se valora la opción de la plantación de cardo, mientras que en aquellos municipios con mayor superficie de regadío se estima la conveniencia de plantación de paulownia.

Tabla 30. Superficies de secano y regadío de terreno de barbecho y terreno no cultivado.

MUNICIPIO	SUPERFICIE	MUNICIPIO	SUPERFICIE
	Secano (ha)		Regadío (ha)
BARRACAS	412	JÉRICA	100
TORO (EL)	318	SEGORBE	97
PINA DE MONTALGRAO	106	CAUDIEL	60
	836		257

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, acorde a experiencias realizadas con cultivos energéticos, se puede disponer de datos de producción y costes de implantación y mantenimiento tanto para el cultivo del cardo ^(46, 50), como para el cultivo de la paulownia ⁽⁵¹⁾. Así mismo, según empresas especializadas en producción de biomasa mediante cultivos energéticos (General de Explotaciones para la Biomasa, S.L.), el precio de la venta de madera de Paulownia para biomasa se sitúa en torno a los 60 €/t. Este valor resulta coherente según el valor calculado para el triturado, carga y transporte de biomasa residual agrícola en la zona de estudio (61,52 €/t). Para la biomasa de cardo se estima un precio de venta igual al de la paulownia. La tabla 31 resume los datos económicos básicos por cultivo y estimación de los costes.

Una primera valoración indica que los ingresos por la venta de la biomasa obtenida son muy elevados. El agricultor realiza la inversión inicial y en el momento en que comienza a vender la biomasa resultante (en el caso del cardo al año siguiente y en el caso de la Paulownia a los tres años) el flujo de caja le resulta positivo. Además, en este caso también juega un papel determinante la consideración de las ayudas gubernamentales, la subvención de la PAC de 45 €/ha aporta mayor atractivo a estos primeros datos.

Tabla 31. Datos económicos de implantación y mantenimiento de cultivos energéticos.

	CARDO	PAULOWNIA
Vida útil de la plantación (años)	7	21
Rendimiento del cultivo (t/ha.año)	18	40
SUPERFICIE DISPONIBLE (ha)	836	257
BIOMASA ANUAL (t/año)	15048	10280
Costes de implantación de cultivos (€/ha)	517	6160
INVERSIÓN EN IMPLANTACIÓN DE CULTIVOS (€)	432212	1583120
Costes de operación anual (€/ha)	359	600
Costes de cosecha (€/t.año)	24	20
COSTES DE OPERACIÓN ANUAL Y COSECHA (€/ha)	791	1400
COSTES DE OPERACIÓN ANUAL Y COSECHA (€/año)	661276	359800
Ingresos de la venta de biomasa (€/t)	60	60
INGRESO ANUAL (€/ha)	1080	2400
INGRESOS ANUALES (€)	902880	616800
SUBVENCIÓN PAC (€/ha)	45	45

Fuente: Elaboración propia.

4.7.5 Conclusiones.

- La implementación de cultivos energéticos en la comarca es una oportunidad potencial para el sector agrario, industrial y de servicios. Representa para la agricultura una opción más de cultivo, revalorizando las tierras, evitando el abandono de las mismas y generando empleo.
- En la comarca del Alto Palancia existe una superficie de 516 hectáreas de superficie de terreno de regadío y 1.530 hectáreas de superficie de terreno de secano susceptibles de ser receptoras de cultivos energéticos.
- Los municipios con mayor superficie en secano son Barracas, El Toro y Pina. Los municipios con mayor superficie en regadío son Jérica, Segorbe y Caudiel.

- Entre los posibles cultivos alternativos utilizables para la producción de biomasa de uso energético en superficies de secano, destaca el cardo (*Cynara cardunculus* L.).
- En regadío el cultivo de Paulownia resulta compatible con el ámbito de estudio puesto que presenta una buena adaptabilidad.
- La elección del cultivo energético a implantar requiere de un estudio más exhaustivo. Sería aconsejable realizar pruebas experimentales en las zonas susceptibles de albergar los cultivos energéticos.
- Un primer estudio de datos económicos de implantación de cultivos energéticos en la comarca del Alto Palancia indica aspectos atractivos a valorar en la implantación. Los agricultores pueden obtener flujos de caja positivos en los primeros años.
- Las ayudas de la PAC a los cultivos energéticos pueden hacer más viable proyectos de implantación de cultivos energéticos en el ámbito de estudio.

5. CONCLUSIONES FINALES.

- La cantidad anual de biomasa agrícola total aprovechable en la comarca del Alto Palancia se estima en 15.690,62 toneladas provenientes de los restos de podas de los cultivos de almendro, olivo, mandarino y naranjo dulce, níspero y caqui.
- El potencial energético de los restos de biomasa residual agrícola de la comarca del Alto Palancia asciende a 5.874,37 toneladas equivalentes de petróleo al año.
- El aprovechamiento energético de la biomasa residual agrícola de la comarca del Alto Palancia podría llegar a cubrir la demanda energética doméstica de calefacción de los municipios de Segorbe, Altura, Jérica, Viver, Soneja y Castellnovo.

- El estudio de la viabilidad económica del desarrollo de un proyecto de aprovechamiento y transformación de la biomasa residual agrícola de la comarca del Alto Palancia se estima positivo, con una mejora sustancial en el caso de percepción de ayudas públicas.
- En la comarca del Alto Palancia existe una superficie de 516 hectáreas de superficie de terreno de regadío y 1.530 hectáreas de superficie de terreno de secano susceptibles de ser receptoras de cultivos energéticos.
- La implementación de cultivos energéticos en la comarca del Alto Palancia es una oportunidad potencial para el sector agrario, industrial y de servicios. Representa para la agricultura una opción más de cultivo, revalorizando las tierras, evitando el abandono de las mismas y generando empleo y riqueza.
- **La implantación de un ciclo cerrado de producción-consumo para la biomasa residual agrícola en la comarca del Alto Palancia podría ser posible. La implicación de diferentes actores sociales y político-administrativos facilitaría la puesta en marcha de un sistema de gestión de la biomasa residual agrícola que potencialmente generaría puestos de trabajo en la zona y aportaría valor añadido al sector agrícola contribuyendo así al desarrollo local.**

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- (1) MANRIQUE, S., FRANCO, J., NÚÑEZ, V., y SEGHEZZO., L. 2008. Potencial Energético de Biomasa Residual de Tabaco y Ají en el municipio de Coronel Moldes (Salta- Argentina). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12 (6), 87-94.
- (2) RODRIGO, C. y DELGADO, X. 2015. Ciclos integrales de biomasa y desarrollo local. Terra, Nº1, 99-106.
- (3) PLAN DE ACCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES DE ESPAÑA (PANER) 2011-2020. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 2010. Disponible en:
http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espana_version_final.pdf
- (4) VILASECA I PRADÒS C. 2010. Aprovechamiento energético de la biomasa. Apropellets 231-24.
- (5) FERNÁNDEZ, H. 2013. Valoración integral de la biomasa leñosa agroforestal a lo largo del gradiente altitudinal en condiciones mediterráneas. Tesis Doctoral.
- (6) DOMINGUEZ, J., CIRIA, P., ESTEBAN, L., SÁNCHEZ, D.y LARSY, P. 2003. Evaluación de la biomasa como recurso energético en la Región de Navarra (España). GEOFOCUS-Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geografica, nº3, 1-10.
- (7) DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE CASTELLÓN, 2014. Bases para una estrategia provincial de Biomasa. Uso Térmico de la Biomasa. Diputación Provincial de Castellón. Disponible en:
www.dipcas.es/wp-content/uploads/2014/06/BIOMASA_CS_baja.pdf

- (8) HERNÁNDEZ, C.G. y FUERTES, A. 2011. Biomasa vegetal no alimentaria producida en España con posibilidad de uso energético. ITEA. Vol. 107 (3), 209-225.
- (9) CABRERA, M., VERA, A., CORNEJO, J.M., ORDÁS, I., TOLOSANA, E., AMBROSIO, Y., MARTÍNEZ, I., VOGNOTE, S., HOTAIT, N., LAFARGA, A., GARRAZA, J.A., 2011. Evaluación del Potencial de la Biomasa. Estudio Técnico PER 2011-2020. IDAE.
- (10) MÁRQUEZ, F., CORDERO, T., RODRIGUEZ, J., RODRIGUEZ, J.J. 2001. Estudio de Potencial Energético de Biomasa *Pinus caribea* Morelet var. *Caribaea* (Pc) y *Pinus tropicalis* Morelet (Pt); *Eucalyptus saligna* Smith (Es), *Eucalyptus citriodora* Hook (Ec) y *Eucalyptus pellita* F. Muell (Ep); de la provincia de Pinar del Rio. REVISTA CHAPINGO SERIE CIENCIAS FORESTALES Y DEL AMBIENTE 7 (1), 83-89.
- (11) FUERTES, A. 2009. Posibilidades técnicas del uso de biomasa no alimentaria para la obtención de energía en España. Trabajo Fin de Carrera. Departamento de producción vegetal de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid.
- (12) DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE CÁDIZ. AGENCIA PROVINCIAL DE LA ENERGÍA. 2013. Análisis del potencial de la biomasa de la provincia de Cádiz con fines energéticos. www.dipucadiz.es
- (13) MAYANS., J.J. 2014. Programa de gestión y tratamiento de la biomasa para su reconversión en combustible sólido empleado en la calefacción de edificios públicos del Ayuntamiento de Serra. VII CICLO DE CONFERENCIAS SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD. Master En Eficiencia Energética Y Sostenibilidad. Universidad Jaume I, Castellón.
- (14) MUNDARAZ, M. y SOLSONA, F. 2011. Almendros de Castellón. Paisaje y Cultura, 2011. Ebrolibros. Diputación de Castellón.
- (15) VARGAS, F., ROMERO, M., CLAVÉ, J., ALEGRE, S. y MIARNAU, X. 2007. Variedades de almendro IRTA. Dossier Técnico, Generalitat de Catalunya, 22, 6-12.

- (16) GONELL, F.; OLIVER, A.; OLUCHA, F.; MOYA, B. 2005. Olivos de Castellón. Paisaje y Cultura, 2005. AS& A Design, S.L. Diputación de Castellón.
- (17) ÍÑIGUEZ, A.; SÁNCHEZ, L.; SIERRA, M. 1999. Cuadernos de tecnología agraria: Poda e injerto del olivo. Valencia: IVIA. Serie Olivicultura. Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- (18) MELGAREJO, P. y SALAZAR, M. 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Madrid: Mundi-Prensa.
- (19) AMÓRTEGUI, I. 2001. El cultivo de los cítricos. Módulo educativo para el desarrollo de los cítricos en la comunidad rural. Biblioteca Digital de Agronet: El cultivo de los cítricos. Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. <http://201.234.78.28:8080/jspui/handle/123456789/794>
- (20) MORANT, V. 2015. Seguimiento epidemiológico del moteado del níspero causado por *Fusicladium eriobotryae* en Segorbe. Trabajo Fin de Grado. Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ecosistemas Agroforestales. <http://hdl.handle.net/10251/56363>
- (21) MARTINEZ-CALVO, J; BADENES, M.L.; LLÁCER, G. 2000. Descripción de variedades de níspero japonés. Sèrie Divulgació Tècnica, 46. 119 pp.
- (22) CARBO, A.; VIDAL, O. 1976. El caqui. Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura núm. 7-76 H.D.
- (23) HERNÁNDEZ, B. 1999. El cultivo del Kaki en la Comunidad Valenciana. Cuadernos de Tecnología Agrícola. Serie Fruticultura, nº 3. Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura Pesca y Alimentación.
- (24) MEDINA, A. y HERNÁNDEZ, J.C. 2006. La biomasa procedente de las podas del olivar en Mágina. Sumuntán nº23, 89-108.

- (25) <http://themagicalmystery12.blogspot.com.es/2012/06/poder-calorifico-de-residuos-agricolas.html> ración
- (26) LA CAL, J.A. 2013. Viabilidad de la integración de una planta de gasificación de biomasa. Tesis Doctoral ISBN 978-84-8439-731. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Jaén. <http://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/455/1/9788484397311.pdf>
- (27) JUNTA DE ANDALUCÍA. 2008. Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía. Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Consejería de Agricultura y Pesca.
- <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galeria/s/galeriaDescargas/cap/servicio-estadisticas/Estudios-e-informes/historico/metodologia-y-documentos-de-apoyo/biomasa.pdf>
- (28) DIPUTACIÓN DE SALAMANCA. 2013. Estudio de la biomasa residual vegetal (leñosa y herbácea) de la actividad agrícola. Unión Europea, FEDER. Proyecto POCTEP II – CERETALER_II_6_E.
- (29) VICENTE, P. 2015. Proyecto de diseño de una planta para la Valorización de los Residuos de poda de cítricos. Proyecto Final de Carrera. Escuela Superior de Tecnología i Ciencias Experimentales. Universidad Jaume I.
- (30) EDO, N. 2012. Posibles alternativas de tratamiento para la valorización y aprovechamiento energético del rechazo de las Plantas de Selección de Envases Ligeros. Trabajo Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de Gandía. Universidad Politécnica de Valencia.
- (31) FERNANDEZ, H, OLIVER, J.V, VALIENTE, M., VERDÚ, S. y ALBERT., N. 2014. Desarrollo de pellets a partir de tres especies leñosas bajo condiciones mediterráneas. Madera y Bosques. Vol. 20, núm. 3: 97-111.

(32) GALLARDO, A. 2002. Análisis de residuos sólidos. Departamento de Tecnología. Universidad Jaume I.

(33) GENERALITAT DE CATALUNYA. 2001. Aprofitament i Pla d'Actuació en residus de cultius llenyosos. Informe final. Lleida. Departament d'Indústria, Comerç i Turisme.

(34) MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. 2014. La energía en España 2014. Secretaría de Estado de Energía. Disponible en:

http://www.minetur.gob.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/La_Energ%C3%ADa_2014.pdf

(35) IDAE, 2014. Documentos balances del consumo de energía final (1990-2014). Disponible en:

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Balances_\(1990-2014\)_dee2f5f7.xlsx](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Balances_(1990-2014)_dee2f5f7.xlsx)

(36) CERDÁ, E. 2012. Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadernos económicos del ICE. Nº 83. 117-140.

(37) IDAE. 2011. Consumos del sector residencial en España. Resumen de Información Básica. Disponible en :

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf

(38) MARTÍNEZ, B. 2013. Estudio: cantidad y costes de aprovechamiento de la biomasa existente en el T.M. de Carcaixent y el estudio de viabilidad para la ejecución de una Planta de Biomasa. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de Gandía. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

(39) LA CAL, J.A. 2013. Viabilidad de la Integración de una planta de gasificación de biomasa. Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Superior de Jaén. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Jaén.

- (40) FERNANDEZ, J., 2009. Potencial energético de la agricultura española. *Ambienta*, Nº 87, 35-46.
- (41) CENTRO DE INVESTIGACION DE RECURSOS Y CONSUMOS ENERGÉTICOS (CIRCE). 2006. Evaluación del potencial de biomasa residual en los ecosistemas forestales y los medios agrícolas en la provincia de Huesca. Beca de Investigación Felix de Azara.
- (42) GASCÓN, D. 2013. Diseño de una instalación de pelletización para el aprovechamiento de biomasa forestal en la comarca de EL Ports. Diseño de una instalación de caldera de biomasa en una vivienda unifamiliar. Proyecto Final de Carrera. Escuela Superior de Tecnología i Ciencias Experimentales. UNIVERSIDAD JAUME I.
- (43) PRODESA MEDIO AMBIENTE. 2014. Costes de operación y mantenimiento en plantas de Pellets. 3ª Fira de Biomassa Forestal de Catalunya. Vic. Recinte Firal El Sucre. 20-22 de febrero de 2014.
- (44) NAVA, F.J. y DOLDÁN, X.R., 2014. Cultivos energéticos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. Vol. 11, Nº1, 25-34.
- (45) IDAE. 2011. Plan de Energías Renovables 2011-2020. Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011.
- (46) IDAE. 2007. Biomasa. Cultivos Energéticos. BESEL, S.A. Departamento de Energía.
- (47) CIRIA, M.P, 2011. Desarrollo de los cultivos energéticos leñosos en España. *Vida Rural*, Nº 329, 10-15.
- (48) JESUS, J., 2010. Experiencias industriales con cultivos energéticos en España. AVEBIOM. <http://www.altercexa.eu/images/archivos/Eventos/ponencias%20merida/EXPERIENCIAS%20INDUSTRIALES%20CON%20CULTIVOS%20ENERGETICOS%20EN%20ESPANA.pdf>

(49) VICEDEX. 2009. La paulownia como base de los cultivos energéticos.
http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Vrural%2FVrural_2009_293_14_15.pdf.

(50) <http://www.enersilva.org/areasubir/libros/Folleto%20ECAS.pdf>

(51) IDAE. 2009. Ahorro y Eficiencia energética en los cultivos energéticos y agricultura.

Disponible en:

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Cultivos_energeticos_Agr11_A_2009_efe0a8e7.pdf