

**C.G. Hernández Díaz-Ambroja y A. Fuertes Sánchez**

**BIOMASA VEGETAL NO ALIMENTARIA PRODUCIDA EN ESPAÑA  
CON POSIBILIDAD DE USO ENERGÉTICO**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **107** N.º 3 (209-225), 2011

## Biomasa vegetal no alimentaria producida en España con posibilidad de uso energético

C.G. Hernández Díaz-Ambrona\* y A. Fuertes Sánchez

Grupo de Sistemas Agrarios – AgSystems. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia.  
Universidad Politécnica de Madrid, España

\* Autor para correspondencia: carlosgregorio.hernandez@upm.es

### Resumen

La biomasa es una fuente de energía renovable. Dentro del consumo de energía primaria en Europa, en el año 2008 las energías renovables representaron un 10,3% del total, siendo un 70% lo que correspondía a la biomasa y residuos. En España en 2010, según el balance de energía primaria el 3,5% del consumo pertenece a la biomasa y los residuos lo que representa un 43% dentro de las energías renovables. La aportación de la biomasa dentro de las energías renovables en España es inferior a la media Europea. El objetivo de este estudio fue determinar la cantidad potencial de biomasa de origen vegetal que la superficie agrícola y forestal española pueden generar y que no tienen un uso alimentario directo. El cálculo se ha realizado para tres años de 2005 a 2007 a partir de los datos de superficie y rendimiento de los cultivos. En los cultivos herbáceos se ha empleado el índice de cosecha para calcular la parte no cosechada, en los cultivos leñosos se ha calculado por un lado el residuo de la parte cosechada y la proporción de los residuos de poda, para las masas forestales se ha considerado solo los restos de podas y para los cultivos energéticos se ha contabilizado toda la biomasa de la parte aérea del cultivo. La biomasa vegetal, en materia seca, procedente de la superficie agraria, forestal y de los cultivos energéticos fue 32,75 Mt para un año seco (2005) y de 38,46 Mt para un año normal (2006). Se obtuvo una disponibilidad anual media de energía de la biomasa potencial de 15,17 Mtep. Esta cantidad podría proporcionar hasta un 10% de la demanda energética española actual. España presenta una limitada y variable capacidad para la generación de energía primaria a partir de biomasa vegetal no alimentaria ni forrajera.

**Palabras clave:** Agricultura, energías renovables, índice de cosecha, medio ambiente, residuos.

### Summary

#### The quantification of no-food biomass production to obtain energy in Spain

The participation of renewable energies in the generation of primary energy is expected to increase in the coming years. Biomass is considered a kind renewable energy. Considering the consumption of primary energy in Europe, renewable energies represented a 10.3% of the total consumption in the year 2008, 70% of which corresponds to biomass. In Spain, according to the primary energy balance in 2010, the 3.5% of the total primary energy consumption belongs to biomass, which represents 43% of the renewable energies, lower than in Europe. The purpose of this study was to determine the amount of non-food biomass that the Spanish agricultural and forest lands could generate. To determine residues from forest and agricultural land we used data of surface and yields, harvest index, the residues generated by the pruning, forest residues and energy crops. Total biomass production in dry matter was 32.75 Mt for a dry year (2005) and it was 38.46 Mt for an average year (2006). We obtained a potential of 15.17 Mtoe of the biomass. Non-food biomass could supply a 10% of current Spanish total energy demand. Spain has a limited potential to generate primary energy from agricultural and forestry residues.

**Key words:** Agriculture, environment, harvest index, renewable energy, residues.

## Introducción

Debido al creciente interés despertado por la obtención de energía de forma sostenible por parte de la sociedad actual y dado que existen tecnologías en estado comercial capaces de emplear la biomasa como una forma eficiente de generar energía nace la iniciativa de calcular la disponibilidad de biomasa que no se destina a la alimentación en España.

En la actualidad se considera como biomasa al conjunto productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de la materia orgánica formada por vía biológica. La biomasa es una energía renovable de origen solar formada a través de la fotosíntesis de los vegetales. Según la Real Academia Española se entiende por biomasa la materia orgánica originada en un proceso biológico que puede utilizarse como fuente de energía. En el caso de plantas cultivadas el proceso biológico es la fotosíntesis que depende de la radiación solar disponible, el agua y la fertilidad del suelo. De forma general se puede decir que cualquier definición de biomasa engloba principalmente dos términos: orgánico y renovable.

Desde tiempos remotos el hombre ha utilizado la biomasa como fuente energética para realizar sus tareas cotidianas. Cuando el uso de combustibles fósiles comenzó a tomar fuerza la biomasa se vio relegada a un uso solo en zonas rurales. En la actualidad debido a diversos factores, principalmente el carácter no renovable de los derivados del petróleo, ha aparecido un resurgimiento de la biomasa como fuente energética. Los factores responsables que favorecen a la biomasa como fuente energética son: el encarecimiento del precio del petróleo; los excedentes de producción agrícola; la necesidad de buscar usos alternativos a la producción agrícola tradicional; el cambio climático; y la posibilidad de utilizar los conocimientos científicos y técnicos para optimizar el proceso de obtención de energía a partir de la biomasa.

Las energías renovables son una forma atractiva de generar energía. Las renovables permiten tener un menor consumo de los combustibles fósiles, aspecto a tener en cuenta en los países no productores, además las renovables permiten generar nuevos empleos, principalmente para el medio rural proporcionando una alternativa a la actividad agrícola tradicional, además de algunas ventajas medioambientales.

Siguiendo la clasificación de sistemas de energías renovables que se definen en el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 (PANER) para la biomasa de origen vegetal se tiene dos orígenes la procedente de la agricultura y la procedente de la silvicultura. Según el PANER hay dos sectores de aplicación: Biocarburantes y Biomasa. Los biocarburantes incluyen las instalaciones para la obtención de bioetanol y biodiesel. Mientras la biomasa incluye instalaciones de gasificación, combustión directa y co-combustión, de tal forma que para este estudio nos referiremos a biomasa de origen vegetal que es la procedente de los cultivos agrícolas, la de procedencia forestal y a los cultivos energéticos. La biomasa puede tener un origen agrícola o forestal. Cuando toda la producción, agrícola o forestal, se destina a la obtención de energía entonces se dice que es un cultivo energético. Los cultivos energéticos son cultivos que se destinan para la obtención de energía por lo que el sistema de producción debe presentar un balance energético positivo (Connor y Hernández, 2009). Éstos se pueden clasificar en función de su destino; así se habla de cultivos oleaginosos cuando lo que se pretende es obtener aceites; cultivos alcoholígenos cuando lo que se obtiene es un alcohol, normalmente después de un proceso de fermentado; y cultivos lignocelulósicos cuando lo que se obtiene se pretende es utilizar toda la biomasa vegetal producida. Además de los cultivos energéticos se puede emplear para la obtención de biomasa los

residuos agrícolas, los residuos de poda, los residuos de la actividad forestal y los generados por la limpia de los montes.

Una vez recolectada esa biomasa, ésta se puede utilizar para producir calor, electricidad y biocombustibles líquidos o gaseosos útiles para el transporte, por lo que puede parcialmente sustituir a los combustibles fósiles derivados del petróleo.

En la Unión Europea, y también en España, se está produciendo un resurgimiento del uso de la biomasa con fines energéticos. En la Unión Europea hay una tendencia hacia el aumento del consumo de biomasa para la obtención de energía, en el año 2009 el incremento fue del 3,8% en biomasa sólida sumando un consumo de 72,8 Mtep y del 18,7% para los biocombustibles alcanzando la cifra del 12,1 Mtep, en 2010 los biocombustibles alcanzaron la cuota del 83% del propuesto 5,75% de mezcla con los combustibles líquidos (EurObserver, 2010). Las energías renovables en Europa contribuyeron en el año 2008 con un 10,3% del total del consumo de energía primaria, dentro de esa cantidad la biomasa y los residuos representan alrededor del 70% de las energías renovables (EUROSTAT, 2010). Concretamente en España el último balance de energía primaria publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE (2011), muestra que el consumo de energía primaria por energías renovables en el año 2010 se sitúa en un 13,5% de la cual el 3,5% pertenece a biomasa, biogás y residuos sólidos urbanos el 0,3% y los biocarburantes el 1,1%, representando este conjunto un peso dentro de las energías renovables en torno al 43%. Teniendo en cuenta estos datos y enmarcándolos dentro del PANER (2010-2020) la producción de biomasa tiene que incrementarse hasta alcanzar en 2020 la producción de energía primaria de 7,02 Mtep lo que representaría el 25% de la producción de energías renovables.

Dentro de este marco el objetivo de este estudio ha sido determinar de forma específica para cada tipo de cultivo y especie forestal presente en la superficie agrícola y forestal española la disponibilidad de energía primaria contenida en la biomasa no alimentaria que podría utilizarse con fines energéticos.

### **Materiales y métodos**

Para la realización de este trabajo se ha seguido la metodología del estudio "Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion-ton annual supply" realizado conjuntamente con el Departamento de Energía (USDOE) y el Departamento de Agricultura (USDA) de los Estados Unidos (Perlack *et al.*, 2005). Según ese estudio los Estados Unidos podrían obtener 1000 millones de toneladas de biomasa para la industria energética y llegar a reemplazar el 30% de su consumo de petróleo. Para su cálculo parte de la actual distribución de tierras cultivadas y del rendimiento de los cultivos, considerando los residuos que no se emplean en la actualidad para la alimentación ni para el consumo de los animales. Otras iniciativas de ámbito nacional que han servido de apoyo para la elaboración del presente trabajo han sido los estudios de Domínguez *et al.* (2003), Alonso (2004) y López y Lumbreras (2008).

#### **Datos de superficie y rendimientos de los cultivos**

Se han considerado tres años de estudio: 2005, 2006 y 2007. Para determinar la producción de residuos se tomaron dos tipos de datos que aparecen en las estadísticas agrarias: superficie y rendimientos. Datos recogidos en el Anuario de Estadística Agroalimentaria (MARM 2005, 2006, 2007). Para los cultivos energéticos se tomó la información del Fondo Español de

Garantía Agrícola (FEGA) que gestiona las ayudas que recibían esos cultivos y por tanto contabiliza su superficie. La zona de estudio corresponde con toda superficie española 504.790 km<sup>2</sup>, de la cual la superficie forestal ocupada el 37% y la superficie agrícola en torno al 50% (MARM, 2007) como media de los diferentes años de estudio (2005 a 2007).

#### Cálculo de la biomasa por grupo de vegetación

Se han establecido cuatro grupos de especies para calcular la biomasa vegetal residual: 1) Cultivos herbáceos; 2) Cultivos leñosos; 3) Masas forestales y 4) Cultivos energéticos.

Para calcular la producción de biomasa en términos de materia seca de los cultivos herbáceos a partir de los datos de rendimiento se aplicó para cada tipo de cultivo un porcentaje de humedad característico y un índice de cosecha específico. El índice de cosecha es la relación entre la parte cosechada y la biomasa total de la parte aérea. La materia seca residual de un cultivo se calculó a partir del índice de cosecha (*IC*), el rendimiento de cosecha (*η*) y el contenido de humedad del rendimiento en tanto por uno (*h*). La cantidad de residuo (*R*), expresado en kilogramos de materia seca por hectárea, para un determinado cultivo se obtuvo mediante la fórmula:

$$R = \frac{1}{IC} \times (1 - IC) \times (1 - h) \times (S_s \times \eta_s + S_r \times \eta_r)$$

Donde el rendimiento de cosecha viene expresado en kilogramos de producto comercial por hectárea tal como los recoge el anuario de estadística agraria, teniendo en cuenta el rendimiento en secano ( $\eta_s$ ) y en regadío ( $\eta_r$ ) y las superficies cultivadas en secano ( $S_s$ ) y superficie en regadío ( $S_r$ ). El rendimiento es el que figura en los anuarios de estadística y se entiende siempre que está referido a la parte comercializada ya sea como alimento u otros usos que no son energéticos.

El índice de cosecha se obtuvo para cada cultivo conforme a los datos encontrados en la literatura considerando en su cálculo la parte de la paja que se destina a producción animal o, a falta de estos, fueron estimados dando un valor medio en función del grupo al que pertenecen. Siguiendo el procedimiento de Alonso Mateos (2004) se ha considerado para los cereales una recolección media de paja destinada a la producción animal del 50% del total de paja producida y por tanto no puede dedicarse a la obtención de energía. Según los anuarios de estadística donde aparece la paja cosechada ésta representa entre el 50% y el 60% de la producción de grano. Para todos los cultivos forrajeros, prados y pastizales se consideró un índice de cosecha igual a uno, es decir se consideró que no hay posibilidad de utilizar su biomasa con fines energéticos. Lo mismo se aplicó a hortalizas para las que se comercializa toda la parte aérea, huertos familiares, barbechos, posíos y viveros e invernaderos vacíos.

El cálculo de la biomasa procedente de los cultivos leñosos se hizo en dos pasos. En primer lugar, se calculó el residuo que genera su producto (por ejemplo de la uva es el despallado y las pepitas) considerando un índice de cosecha y el contenido de humedad para expresar el resultado en materia seca. En segundo lugar, se asignó a cada cultivo leñoso un valor medio anual de residuo de poda.

Para los residuos generados por la poda de la superficie ocupada por los frutales cítricos, frutales no cítricos, viñedo y olivar se han tomado los valores aportados por Fernández (2006). Estos valores son meramente indicativos para la producción española ya que la producción de residuos depende de muchas variables que pueden afectar a su desarrollo (Tabla 1).

Para la biomasa procedente de las masas forestales se aplicó un valor constante de residuos vegetales generados por las actividades de poda y limpia del monte. Al tratarse de producciones plurianuales se ha optado a esta aproximación a los residuos que se generan cada año (Tabla 1).

Tabla 1. Producción anual de residuos forestales y residuos de poda de los cultivos leñosos  
*Table 1. Annual production of forestry residues and permanent crops pruning residues*

Cultivo o cubierta forestal	Residuos t/ha año	Contenido de humedad %
Chopo	1,0	35
Coníferas	1,75	35
Fronosas crecimiento lento	0,5	35
Fronosas crecimiento rápido	0,5	35
Coníferas y frondosas	1,5	35
Matorral	0,5	35
Uva de mesa y transformación	3,5	20
Aceituna de mesa y almazara	0,7	25
Frutales cítricos	1,6	35
Manzano, peral y membrillero	4,8	35
Frutales de hueso	4,6	35
Almendro y frutos secos	1,3	35
Otros cultivos leñosos	4,7	35

Fuente: adaptado de Fernández (2006) y Alonso (2004).

Para el caso de los cultivos energéticos los datos estadísticos de rendimiento y superficie no aparecen en los Anuarios de Estadística Agroalimentaria estudiados por lo que se han tomado los datos del FEGA. Para estos cultivos su valor de biomasa es el total de la materia vegetal que se produce por unidad

de superficie por lo que si el dato registrado es el rendimiento en grano se aplica el mismo método del índice de cosecha, pero en este caso se suma el valor del rendimiento y del residuo. La tabla 2 presenta los métodos de cálculos aplicados a cada grupo de cultivos.

Tabla 2. Métodos utilizados para calcular los residuos de biomasa vegetal  
*Table 2. Methods used to calculate plant biomass residues*

Cultivo o cubierta	Residuo	Método utilizado
Cultivos herbáceos	Paja y partes de la planta que no son producto principal	Índice de cosecha
Vid	Raspón	Índice de cosecha
Podas	Ratio	
Olivo	Restos almazara	Índice de cosecha
Podas	Ratio	
Resto frutales	Restos fruto	Índice de cosecha
Podas	Ratio	
Residuos forestales	Ramas, copas, limpia	Ratio
Cultivos energéticos	Toda la biomasa vegetal	Índice de cosecha

## Calor de combustión de la biomasa

La forma convencional de aprovechar la biomasa es la producción de energía térmica. Para poder estimar la producción de este tipo de energía es necesario definir el concepto de poder calorífico, como la cantidad de energía que se desprende en la combustión de un kilogramo de combustible sólido o líquido. El poder calorífico depende de la humedad, cuanto mayor es la humedad el valor del poder calorífico disminuye, para poder comparar todos los resultados se ha utilizado el poder calorífico inferior para 0% de humedad. Los valores, utilizados en la conversión de biomasa en materia seca a energía que contiene se recogen en la Tabla 3. La determinación de la energía potencial será una función del poder calorífico inferior seco por el total de biomasa seca para cada especie.

Tabla 3. Poder calorífico inferior (PCI) de los residuos agrícolas y forestales en materia seca  
*Table 3. Lower heating values (PCI) for crop and forestry residues in dry matter*

Residuo	PCI MJ/kg
Paja	16,90
Tallos de girasol	15,48
Sarmientos de vid	17,57
Ramas de poda de olivo	17,74
Frutales de hueso y pepita	17,00
Frutos secos	17,00
Matorral	17,00
Chopo	17,00
Coníferas	19,20
Frondosas	17,74
Coníferas + frondosas	18,47

Fuente: Fernández (2006); Alonso (2004) y Domínguez *et al.* (2003).

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos representan el valor máximo que se podría obtener si todos los residuos fuesen recogidos y transformados en energía, con independencia del coste energético que se incurre en esas labores. La distribución de las parcelas donde son producidos, así como los costes, energéticos y económicos de la cosecha no se han considerado en este estudio.

### Índice de cosecha

Aunque el índice de cosecha es una característica genética del cultivo que también depende del año productivo se puede considerar, como en este caso, lo suficientemente estable como para que nos dé una muy buena aproximación a la producción anual de residuos de un cultivo, aunque depende de la especie y del sistema de cultivo (Ayaz *et al.*, 2001). El rendimiento es un dato que recogen las estadísticas agrarias, al aplicar el índice de cosecha se estima adecuadamente la producción de residuos o biomasa no cosechada de cada cultivo, y permite calcular la variabilidad anual de este tipo de biomasa. El anexo I recoge los valores de los índices de cosecha procedentes de distintas fuentes bibliográficas organizados en el mismo orden que el Anuario de Estadística Agraria dividida en 14 secciones: Cereales de grano, Leguminosas, Tubérculos, Industriales, Forrajeras, Hortalizas y flores, Barbechos y posíos, Frutales cítricos, Frutales no cítricos, Viñedo, Olivar, Viveiros, Huertos familiares y Prados y pastizales. Los cereales de grano muestran un índice de cosecha más o menos uniforme para las distintas especies entre 0,44 y 0,69. El índice de cosecha de las leguminosas varía entre el de las habas secas (0,35) y el de las lentejas (0,61).

El grupo de cultivos industriales muestra índices de cosecha muy distintos entre los diferentes cultivos, debido que en este grupo

hay una amplia variedad de plantas que, a diferencia de los cereales o las leguminosas, pertenecen a especies botánicas muy diferentes y por tanto presentan aprovechamientos diferentes. Destacan el girasol, algodón y la colza por presentar los índices de cosecha más bajos con valores respectivamente: 0,33, 0,33 y 0,25. El grupo de los tubérculos y hortalizas y flores presentan índices de cosechas altos por ser cultivos donde la parte aprovechable para el consumo humano es muy elevada. Dentro de los frutales: frutales cítricos y frutales no cítricos, no presentan una elevada generación de residuos de cosecha. Comparando entre ambos grupos se observa que el primer grupo presenta unos índices de cosecha mayores debido a que son árboles perennes y sus residuos son escasos o casi nulos. El viñedo presenta bajos residuos de cosecha. La composición del racimo de uva presenta entre 6-8% raspón y 90-95% baya en proporciones de peso en fresco (Claude, 2003) lo que supone un índice de cosecha elevado (0,9). En el caso del olivo los residuos de cosecha también presentan un porcentaje bajo, los residuos considerados son los que se obtiene después de lavar y limpiar las aceitunas a la entrada en la almazara (Sansoucy, 1984). Los grupos restantes: cultivos forrajeros, praderas y pastizales no generan residuos útiles para los objetivos de este estudio.

#### Residuos de cosechas y residuos forestales

Estos residuos engloban los procedentes de cosechas agrícolas, superficie forestal, poda y cultivos energéticos. Se ha obtenido una producción anual medios de residuos de cosecha de la agricultura para los tres años de 17,43 Mt. El principal grupo de cultivos que aporta más residuos son los cereales grano con cerca del 83%, con valores superiores a 10 millones de toneladas, seguido de los cultivos industriales con cerca del nueve por ciento, con valores en torno al millón de toneladas (Figura 1). Todos los demás cultivos representados es-

tán en torno a 0,1 millones de toneladas. La principal causa es la mayor superficie que ocupan y su mayor producción en términos de materia seca por unidad de superficie. Los cultivos industriales ocuparían el segundo lugar en producción de residuos con un 8,94%. Solo estos dos grupos de cultivos aportarían el 92,16% de la producción de residuos de cosecha en España. La producción de residuos generados por las cosechas en el año 2005 es el más bajo respecto a los años 2006 y 2007 con una producción de 13,96 Mt. La mayor producción corresponde a cereales de grano y en segundo lugar los cultivos industriales. Se observa que los años 2007 y 2006 tienen resultados muy parecidos en la producción de residuos, el año 2005 presenta valores inferiores para todos los cultivos excepto para los tubérculos y las hortalizas que se encuentra con producciones superiores que en los otros años. El año 2005 fue el año más seco, esto explicaría este descenso en la producción de residuos.

Se ha obtenido como media de los tres años 12,06 Mt de residuos forestales en España. El matorral representa el 20,15% de la producción de residuos y las coníferas representan el 57,29% de la producción (Figura 2). Teniendo en cuenta que en este caso se adoptó un valor medio anual, la variabilidad en la producción se debe solamente a cambios en la distribución de la superficie, de esta forma el año 2005 fue el año que mayor producción forestal presenta y el 2007 el menor, esto es debido a la evolución de la superficie forestal en España, según los datos estadísticos de las fuentes consultadas se ha producido una reducción de la superficie de 220.188 ha desde 2005 a 2007.

El viñedo y los frutales no cítricos representan en torno al 70% de la producción de residuos de poda. Se ha obtenido un total de 6,53 Mt de residuos como media para los tres años de estudio donde casi la mitad de la producción pertenece al viñedo seguida de los frutales no cítricos y el olivar. Los residuos de



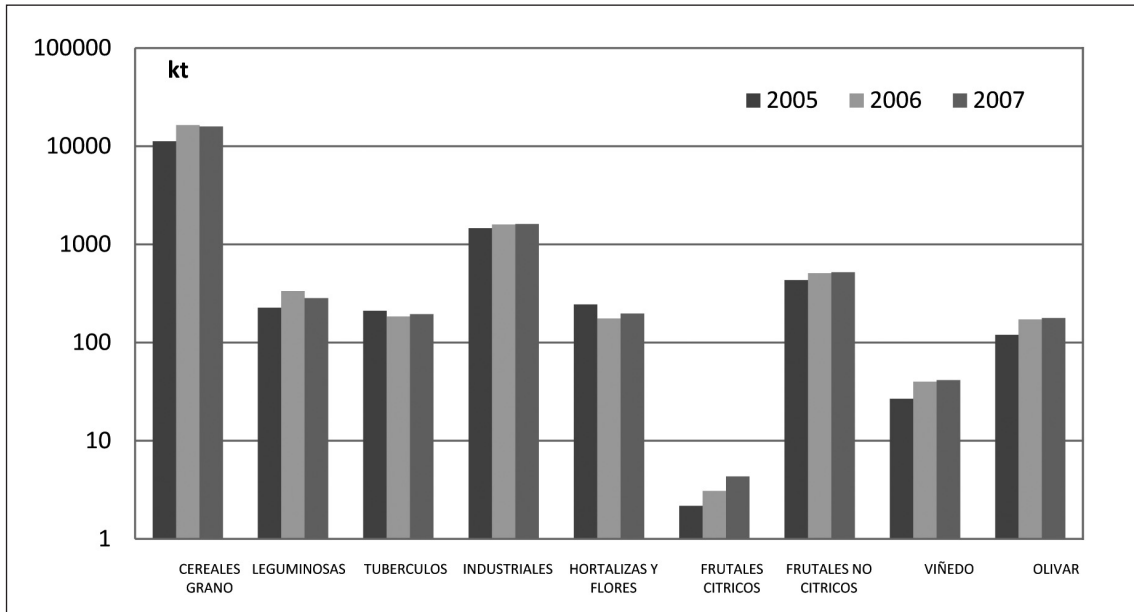


Figura 1. Residuos de las cosechas agrícolas (en materia seca) para los años 2005, 2006 y 2007 por grupos de cultivo.  
 Figure 1. Crop residues (dry matter) from 2005 to 2007 for group of species.

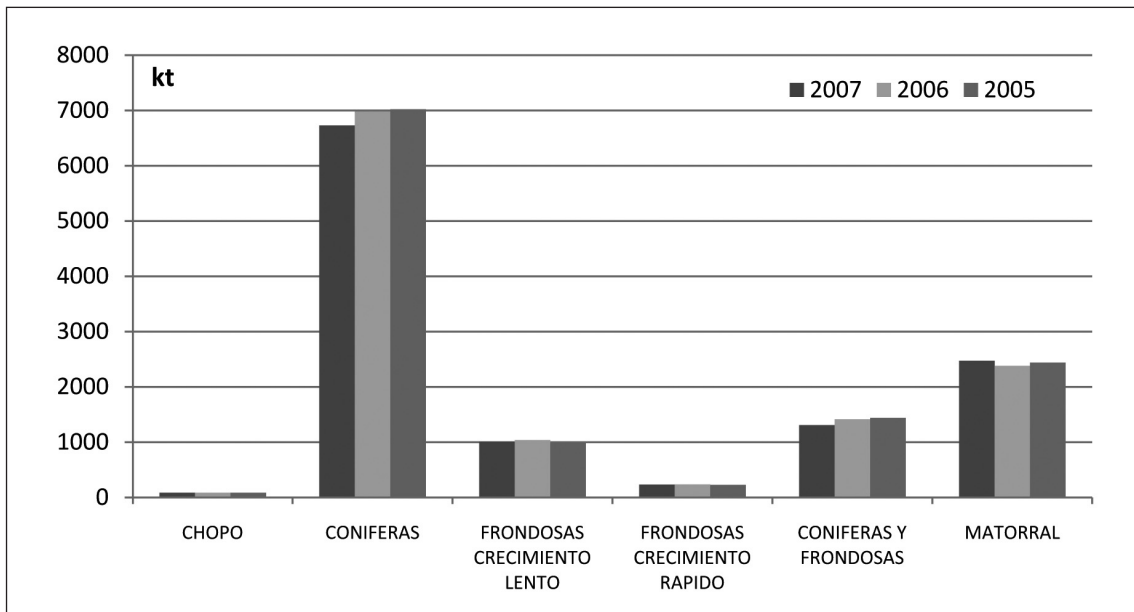


Figura 2. Residuos de las producciones forestales (en materia seca) para los años 2005, 2006 y 2007 por grupos de especies.  
 Figure 2. Forestry wood residues (dry matter) from 2005 to 2007 for group of species.

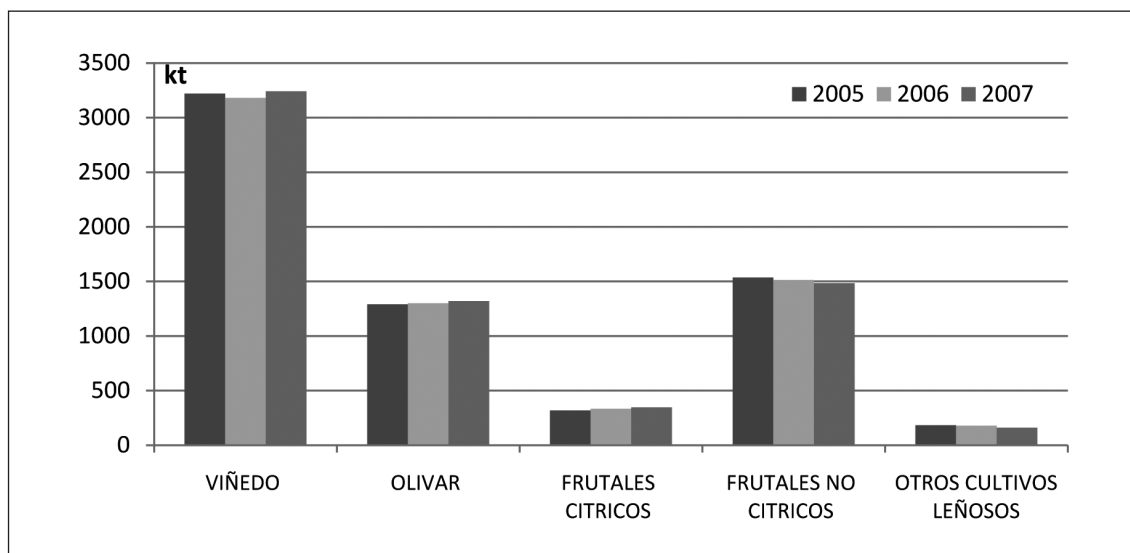


Figura 3. Residuos de poda (materia seca) generados anualmente por los cultivos leñosos para los años 2005, 2006 y 2007.

Figure 3. Annual production of pruning residues (dry matter) from orchard from 2005 to 2007.

poda para los tres años de estudio son muy similares siendo este grupo de residuos los más estables en la producción (Figura 3).

Los cultivos energéticos, principalmente colza y girasol, han tenido una rápida expansión (Tabla 4). Son cultivos tradicionales, gestionados en tierras de cultivo alimentario, cuya producción pasa a estar declarada y destinada a uso energético. Así se observa una evolución importante en la producción de biodiesel, alcanzó en 2007 los 68 mil metros cúbicos. Dentro de los cultivos energéticos, no hay superficie recogida en las estadísticas sobre la producción de cultivos lignocelulósicos destinado a la obtención de briquetas, pellets, astillas y biocarburantes de segunda generación.

Cantidad total de residuos de biomasa vegetal no alimentaria generados en España

Del total de residuos generados por la superficie española el 50% corresponden a los

residuos procedentes de las cosechas agrícolas, el 30% suponen los residuos de origen forestal, el 19% corresponde con los residuos de poda y un 1% son los residuos de las cosechas de cultivos energéticos (Tabla 5).

Estos resultados son considerablemente inferiores a estudios anteriores. Por ejemplo, Bautista (1998) obtiene una estimación de generación anual en España de unas 27 Mt de residuos procedentes de la superficie agrícola donde el 58% corresponde a residuos de poda y un 41% a residuos de cosechas. El presente trabajo obtiene como media de los tres años de estudio una generación de 24 Mt de residuos procedentes de la superficie agrícola al año con proporciones distintas para los residuos de poda en torno al 25% y para los residuos de cosecha correspondería a un 75%. Estas desviaciones se podrían deber a los índices de poda y cosecha utilizados ya que son índices que dependen de muchas variables y especialmente de la meteorología del año. En nuestros cálculos se observa que las produc-

Tabla 4. Residuos, biodiesel y bioetanol de cultivos energéticos  
 Table 4. Residues, biodiesel, and bioethanol production obtained from energy crops

CULTIVOS	AÑO					
	2005		2006		2007	
	Biodiesel (L)	Residuos (kt)	Biodiesel (L)	Residuos (kt)	Biodiesel (L)	Residuos (kt)
<b>Oleaginosos</b>						
Colza	133062	0,83	560144	3,51	7670278	48,06
Girasol	4109072	14,73	34006935	121,92	61148474	219,23
Subtotal	4242135	15,57	34567079	125,43	68818753	267,29
<b>Alcoholígenos</b>						
Trigo	830	2,01	25792	62,53	1483	3,6
Cebada	6024	14,03	108152	251,91	29744	69,28
Avena	–	–	–	–	55	0,09
Triticale	–	–	–	–	13	0,02
Maíz	–	–	–	–	5	0,01
Sorgo azucarero	–	–	–	–	41682	–
Subtotal	6854	16,04	133944	314,44	72985	72,99

ciones leñosas son más estables que las herbáceas anuales, por lo que años muy secos como fue el 2005 la producción de los residuos de cosecha fue un 26 % más baja que el año 2007.

#### Riqueza energética de los residuos de biomasa

En este apartado se presenta el potencial energético que tienen los residuos generados por la superficie agrícola y forestal española, considerando una transformación total y directa en energía (Tabla 6). Según los resultados obtenidos la media de los recursos potenciales en España se sitúa en 15,17 Mtep al año de las cuales en torno al 48% corresponden a residuos de cosecha, 33% a residuos forestales, 19% a residuos de poda y un 1% a cultivos energéticos. Se observa una desviación en los resultados con los calcula-

dos por el Plan de Energías Renovables (IDAE, 2005), en dicho Plan se considera que los recursos potenciales de biomasa en España se sitúan en torno a 19 Mtep al año de los cuales los residuos procedentes de la agricultura y la superficie forestal suponen un 70% y los cultivos energéticos en torno al 30%, este último datos es la principal diferencia ya que en el estudio realizado suponen tan solo un 1%, según la superficie registrada en el FEGA. Con posterioridad el PANER prevé con el conjunto de la biomasa procedente de la silvicultura, la agricultura y la pesca se obtenga una producción de energía primaria en 2020 de 7,02 Mtep, lo que supondría según nuestro estudio para un año medio aprovechar el 46% biomasa vegetal susceptible de este aprovechamiento. Teniendo en cuenta el clima mediterráneo de España con periodos frecuentes de sequía la intensidad del aprovechamiento energético tendría que llegar al

Tabla 5. Residuos (materia seca) generados en el sector agro-forestal y productos obtenidos de los cultivos energéticos en España  
 Table 5. Residues (dry matter) produced from the agricultural and forestry sector and from energy crops in Spain

Tipo de residuo	Residuos (Mt)	Bioetanol (m <sup>3</sup> )	Biodiesel (m <sup>3</sup> )
Año 2007			
Residuos de cosecha	18,89	–	–
Residuos forestales	11,84	–	–
Residuos de poda	6,55	–	–
Cultivos energéticos	0,07	72,98	68818,75
<b>Total</b>	<b>37,35</b>	<b>72,98</b>	<b>68818,75</b>
Año 2006			
Residuos de cosecha	19,40	–	–
Residuos forestales	12,13	–	–
Residuos de poda	6,50	–	–
Cultivos energéticos	0,43	134	34567,08
<b>Total</b>	<b>38,46</b>	<b>134</b>	<b>34567,08</b>
Año 2005			
Residuos de cosecha	13,97	–	–
Residuos forestales	12,21	–	–
Residuos de poda	6,54	–	–
Cultivos energéticos	0,03	6,85	4242,13
<b>Total</b>	<b>32,75</b>	<b>6,85</b>	<b>4242,13</b>

51%. La reciente iniciativa de la siembra de cultivos energéticos hace que haya pocas fuentes de datos estadísticos que recojan este tipo de cultivos y no exista este sector en el Anuario de Estadística Agroalimentaria de la superficie que ocupan en España; por lo que se podría explicar esta desviación con los que el PANER estima para el periodo 2010-2020. La principal diferencia estriba en una redistribución de la superficie diferente, en la cual en España se tendrían que cultivar más cultivos energéticos en detrimento de culti-

vos alimentarios, lo cual no es fácil considerando que España importa del orden de 10 Mt grano para abastecer el mercado interior principalmente para la alimentación animal (Hernández, 2007).

España tuvo un consumo de energía primaria en el año 2007 de 145 Mtep al año lo que supone que según el presente estudio, en ese año solo un 11% del consumo de energía primaria en España se podría haber satisfecho a partir de la biomasa no alimentaria generada en toda la superficie agrícola y fo-

Tabla 6. Energía primaria total (Mtep) que podría obtenerse de la biomasa no alimentaria en España  
*Table 6. Total primary energy (Mtep) that could be obtained from the non-food biomass in Spain*

Tipos de fuente	2005	2006	2007
Residuos de cosecha	5,55	7,77	7,55
Residuos forestales	5,40	5,37	5,23
Residuos de poda	2,73	2,71	2,73
Cultivos energéticos	0,01	0,28	0,19
TOTAL	13,69	16,13	15,70

restal. Según el balance de energía primaria del 2007 el consumo a partir de biomasa fue de 4,2 Mtep (IDAE, 2007) lo que representa un 2,9% del total del consumo de energía primaria en España. Esto quiere decir, que en 2007 solo se habría aprovechado el 30% del potencial energético de biomasa vegetal que tiene España de acuerdo a los cálculos obtenidos en este estudio. Con la tecnología adecuada y un buen manejo de los residuos agrarios y forestales se podría incrementar el aprovechamiento de esta fuente de energía renovable. El siguiente paso es calcular el balance energético que tendría el aprovechamiento de la biomasa agrícola y forestal con fines energéticos, teniendo en cuenta la mecanización de la recogida de la biomasa, transporte, procesado y la restitución de cenizas y fertilizantes al suelo para garantizar la sostenibilidad agrícola y forestal.

### Conclusiones

El principal grupo de cultivos del cual se puede obtener mayor cantidad de residuos en términos de materia seca son los cereales. El recurso potencial predominante de la agricultura española es la paja de cereal por lo que las zonas donde estos cultivos son dominantes sería aptas para su aprovechamiento con fines energéticos, también son adecuadas las zonas donde hay una gran

acumulación de residuos procedentes de la poda de la vid y del olivo.

La energía primaria potencial producida por la biomasa de origen agrario, forestal y los cultivos energéticos en España durante los años 2005-2007 fue de algo más de 15 Mtep de media anual. Sin embargo, de acuerdo a los métodos utilizados dicha cantidad está sujeta a la amplia variabilidad meteorológica de la agricultura española pasando de 16,13 Mtep de un año meteorológico favorable a 13,69 Mtep de un año seco.

El cálculo potencial de biomasa vegetal no alimentaria utilizable con fines energéticos realizado con la actual distribución de usos de la tierra y las producciones actuales es inferior a los objetivos marcados en el PER y en el PANER. Por tanto, ese objetivo sería difícil de alcanzar, salvo que haya incremento significativo de producción en nuevas tierras mediante cultivos energéticos. Además dichas producciones están sujetas a una elevada variabilidad interanual debidas a la climatología propia de un ambiente mediterráneo. La biomasa vegetal podrá contribuir a la matriz energética española solo en un pequeño porcentaje, no más de un 10% según este trabajo. Estudios posteriores tendrán que evaluar si la recolección y transformación de la biomasa vegetal no alimentaria en energía presentan un balance energético positivo.

**Anexo I**

Contenido de humedad del rendimiento e índices de cosecha considerados para los cultivos recogidos en los Anuarios de Estadística Agraria de España.

Cultivo o cubierta	Contenido de humedad %	Índice de cosecha	Referencia
<b>Cereales grano</b>			
Trigo duro, blando y semiduro	14	0,47	Jarabo y Fernández, 1999
Cebada de 2 y 6 carreras	14	0,48	
Avena	14	0,57	Alonso, 2004
Centeno	14	0,54	
Triticale	14	0,60	Fernández, 2007
Mezcla de cereales de invierno	14	0,51	Estimado
Arroz	14	0,44	
Maíz	14	0,69	Jarabo y Fernández, 1999
Sorgo	14	0,46	
Otros cereales grano	14	0,65	Estimado
<b>Leguminosas</b>			
Judías secas	14	0,55	Ahmad <i>et al.</i> , 2007
Habas secas	14	0,35	Hernández, 1999
Lentejas	12	0,61	Ayaz <i>et al.</i> , 2001
Garbanzos	12	0,58	
Guisantes secos	12	0,38	Hernández, 1999
Veza	12	0,48	Estimado
Altramuz	10	0,54	Ayaz <i>et al.</i> , 2001
Algarrobas	10	1,00	
Yeros	12	0,45	Estimado
Otras leguminosas grano	14	0,25	
<b>Tubérculos</b>			
Patata, batata, chufa y otros	75	0,70	Reynaldo <i>et al.</i> , 1986
<b>Industriales</b>			
Caña de azúcar	70	0,40	Jarabo y Fernández, 1999
Remolacha azucarera	89	0,84	López-Bellido, 2003

Cultivo o cubierta	Contenido de humedad %	Índice de cosecha	Referencia
Algodón	12	0,33	Jarabo y Fernández, 1999
Girasol	9	0,33	
Soja	14	0,57	López-Bellido, 2003
Colza	9	0,25	Chamorro y Tamagno, 2004
Cacahuete, tabaco y lúpulo	–	1,00	Estimado
Pimiento para pimentón	94	0,70	Manzano, 2007
Condimentos y aromáticas	–	1,00	Estimado
Otros cultivos industriales	20	0,70	
<b>Hortalizas y flores</b>			
Col repollo y brócoli	95	0,85	
Espárrago	95	0,14	Estimado
Apio, acelga, escarola y maíz dulce	95	1,00	
Lechuga y lombarda	95	0,90	
Tomate	95	0,85	
Sandia	95	0,77	
Melón	95	0,72	
Calabacín	93	0,57	Manzano, 2007
Pepino	96	0,73	
Berenjena	93	0,78	
Pimiento	94	0,70	
Puerro y coliflor	89	0,70	
Alcachofa	88	0,51	
Ajo	70	1,00	Estimado
Cebolla	92	0,61	
Zanahoria	89	0,61	
Judías verdes	90	0,40	Manzano, 2007
Guisantes verdes	90	0,45	
Habas verdes	90	0,38	Estimado
Fresa-fresón	90	0,46	
Calabaza	96	0,64	
Remolacha mesa	88	0,62	Urbano Terrón, 2003
Champiñón	91	0,59	Estimado
Otras hortalizas	95	1,00	
Flores y ornamentales	95	0,7	Dupuis, 2008

Cultivo o cubierta	Contenido de humedad %	Índice de cosecha	Referencia
Frutales cítricos			
Naranja	87	0,94	
Mandarino	87	0,93	
Limonero	87	0,92	Estimado
Pomelo	87	0,96	
Naranja amargo y otros cítricos	87	0,91	
Frutales no cítricos			
Manzano	84	0,80	
Peral	90	0,80	
Níspero	68	0,80	
Membrillero	40	0,80	
Cerezo, guindo y ciruelo	81	0,80	
Albaricoquero, melocotonero y nectarinas	90	0,80	Estimado
Higuera	80	0,70	
Chirimoyo	80	0,56	
Aguacate	74	0,62	
Caqui y mango	80	0,70	
Platanera	74	0,96	
Kiwi	83	0,92	
Chumbera	80	0,80	Dupuis, 2008
Granado	75	0,55	
Papaya, piña	87	0,60	
Almendro, avellano y castaño	5	0,50	
Nogal fruto	5	0,62	Alonso, 2004
Frambueso y otros frutales	85	0,80	Estimado
Viñedo	94	0,90	Estimado
Olivar	48	0,95	Sansoucy <i>et al.</i> , 1985



## Bibliografía

- Ahmad R, Hassan B, Jabran K, 2007. Improving crop harvest index. Dawn Media Group. Disponible en <http://www.dawn.com/2007/10/01/ebr6.htm> [Consultado 05/04/2011].
- Alonso Mateos JJ, 2004. Las posibilidades energéticas de la Biomasa en la Comunidad Autónoma de Madrid. Observatorio Medioambiental, 7, 195-220.
- Ayaz S, Mckenzie A, Hill D, 2001. Population and sowing depth effects on yield components of grain legumes. Proceedings of 10th Australian Agronomy Conference Hobart Australia. Disponible en <http://regional.org.au/au/asa/2001/5/c/mcneil.htm?print=1> [Consultado 05/04/2011].
- Bautista Parejo C, 1998. Residuos. Guía técnico-jurídica. Editorial Mundi Prensa Madrid.
- Chamorro A, Tamagno N, 2004. Producción de materia seca aérea y radical de colza primaveral *Brassica napus* L. ssp *oleifera* forma annua. Revista de la Facultad de Agronomía 105, 2, 53-62.
- Claude F, 2003. Enología fundamentos científicos y tecnológicos. Editorial Mundi Prensa Madrid.
- Connor D, Hernández CG, 2009. Chapter 4. Crops for Biofuel. Current Status and Prospects for the Future. En R.W. Howarth y S. Bringezu eds. Biofuels. Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use. 65-80. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment SCOPE International Biofuels Project Rapid Assessment 22-25 September 2008 Gummersbach Germany. Cornell University Ithaca NY USA. <http://cip.cornell.edu/biofuels/files/SCOPE04.pdf> Disponible el 1 de septiembre de 2009.
- Dupuis I, 2008. Guía para la intervención municipal sobre los residuos municipales. Editorial Sociedad Cooperativa del Campo de Candelaria La Laguna Tenerife.
- Domínguez J, Ciria P, Esteban S, Sánchez D, Lasry P, 2003. Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra España. GeoFocus Informes y Comentarios 3.1-10.
- Eurobserv'er 2010. The state of renewable energies in Europe, 10th EurObserv'ER Report. Disponible en <http://www.eurobserv-er.org> [Consultado 15/05/2011].
- EUROSTAT 2010. Energy transport and environment indicators. European Comission, Bruselas. Disponible en [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-DK-10-001/EN/KS-DK-10-001-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DK-10-001/EN/KS-DK-10-001-EN.PDF) [Consultado 15/05/2011].
- Fernández J, 2006. Materias primas para la producción de biocombustibles sólidos. En 5as jornadas abulenses de energías renovables [http://www.apea.com.es/ponencias/ponencia\\_05/m1p3.pdf](http://www.apea.com.es/ponencias/ponencia_05/m1p3.pdf) [Consultado 05/04/2011].
- Fernández J, 2007. Biomasa. Energías renovables. Cuaderno. Energías renovables para todos. Biomasa. Haya Comunicación Madrid. Disponible en [http://www.energias-renovables.com/Productos/pdf/cuaderno\\_BIOMASA.pdf](http://www.energias-renovables.com/Productos/pdf/cuaderno_BIOMASA.pdf) [Consultado 05/04/2011].
- Jarabo Friedrich F, Fernández González J. 1999. La energía de la biomasa. Sociedad Anónima de Publicaciones Técnicas Madrid.
- Hernández Díaz-Ambrona C, 1999. Aplicación de modelos en los sistemas agrícolas de secano de la Meseta Central. Simulación de rotaciones y modelado de la arquitectura de la planta en leguminosas. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en <http://oa.upm.es/310/> [Consultado 05/04/2011].
- Hernández Díaz-Ambrona C, 2007. La agricultura no es una alternativa energética global. Agricultura 893, 110-111.
- IDAE 2005. Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Editorial IDAE Madrid.
- IDAE 2007. Energía de la biomasa. Serie. manuales de energía de la biomasa 2. Editorial IDAE Madrid.
- IDAE 2011. Evolución de los consumos e intensidades energéticas 2010. Febrero 2011. Editorial IDAE Madrid. Disponible en <http://www.idae.es> [Consultado 05/05/2011].
- López Bellido L, 2003. Cultivos industriales. Editorial Mundi-Prensa Madrid.

- López A, Lumbreras O, 2008. Biomasa y cultivos energéticos. Cuadernos de La Tierra 9. 32-35. Disponible en [http://www.upa.es/\\_clt/index\\_9.php](http://www.upa.es/_clt/index_9.php) [Consultado 05/04/2011].
- Manzano Agugliaro F, 2007. Gasificación de residuos de invernadero para la obtención de energía eléctrica en el sur de España. ubicación mediante SIG. *Interciencia online* 32 2.131-136. Disponible en [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007000200012&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200012&lng=es&nrm=iso) [Consultado 05/04/2011].
- MARM, 2005, 2006, 2007. Anuario de Estadística Agroalimentaria. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Madrid. Disponible en <http://www.marm.es/es/estadistica/temas/anuario-de-estadistica/> [Consultado 25/05/2011].
- Perlack R, Wright L, Turhollow A, Graham R, Stokes B, Erbach D, 2005. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry. the technical feasibility of a billion-ton annual supply. Technical report U.S. Department of Energy. Disponible en [http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?query\\_id=0&page=0&osti\\_id=885984](http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?query_id=0&page=0&osti_id=885984) [Consultado 05/04/2011].
- Reynaldo V, Moreno U, Black C, 1986. Growth partitioning and harvest index of tuber-bearing solanum genotypes grown in two contrasting Peruvian environments. *Plant Physiol.* 82, 103-108.
- Sansoucy R, Alibes X, Berge P, Martilotti F, Nefzaoui A, Zoiopoulos P. 1985. Los subproductos del olivar en la alimentación animal en la cuenca del Mediterráneo. *Estudios FAO: Producción y sanidad animal*, nº 43. FAO Roma.
- Urbano Terron P, 2003. *Tratado de Fitotecnia General*. Editorial Mundi-Prensa Madrid.
- (Aceptado para publicación el 7 de julio de 2011)