



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

MASTER EN INGENIERIA AMBIENTAL

**MASTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**  
**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Estudio para el análisis y localización de la biomasa potencial del  
sector agrícola y ganadero en Castilla y León**

Autor: Dña. Celia Mínguez González  
Tutor: Dña. Silvia Bolado Rodríguez  
Co-Tutor: D. Pedro García Encina

Valladolid, Julio, 2019



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**MASTER EN INGENIERIA AMBIENTAL**

## **RESUMEN**

Castilla y León es una región donde un 94% del territorio está destinado a la actividad agrícola, ganadera y forestal, permitiendo esta circunstancia poder caracterizar la biomasa disponible. Del análisis de ésta se desprenden resultados en los que se demuestra que, la biomasa agrícola y ganadera de la región, es muy heterogénea, debido a que su origen es muy diverso. Por ello resulta imprescindible disponer de una caracterización de este tipo de residuos, a partir de la cual se puedan definir estrategias y proyectos regionales ligados a sectores como la bioenergía, la alimentación animal o a la producción de fertilizantes. Se plantea como objetivo fundamental del trabajo estimar la producción de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León y analizar territorialmente los resultados, representando finalmente en mapas la densidad de la biomasa valorizable total según el origen de los residuos (agrícolas o ganaderos).

Palabras clave: SIG, biomasa, mapas, agricultura y ganadería, Castilla y León.

## **ABSTRACT**

94% of the territory of Castilla y León is used for agricultural, livestock and forestry activities, allowing this circumstance to characterize the available biomass. The results of the analysis of biomass in our region show that it is very heterogeneous, precisely because its origin is widely diverse.

Therefore, it is essential to have a characterization of this type of waste, in order to define regional strategies and projects linked to sectors such as bioenergy, animal feed or fertilizer production.

The main objective of the study is to estimate the production of agricultural and livestock biomass in Castilla y León and analyze the results territorially. Finally, the density of the total recoverable biomass according to the origin of the waste (agricultural or livestock) is represented in maps.

Keywords: GIS, biomass, maps, agriculture and livestock, Castile and Leon

## **AGRADECIMIENTOS**

Llegó el momento de cerrar otro reto académico de mi carrera profesional, el más difícil al que me he enfrentado nunca, por muchos motivos. Pero ya estoy llegando a la meta, lo cual me produce una satisfacción que no se puede explicar con palabras. Ha sido un año duro e intenso, por eso quiero volver la vista atrás para dar las gracias a mucha gente, sin la cual creo que no hubiera podido llegar hasta aquí.

En primer lugar me gustaría dar las gracias a mi familia, a mi pequeño Samuel, porque a pesar de tu corta edad, has sido capaz de comprender que mamá tenía que estudiar, y que en muchos momentos a lo largo de este curso no podía dedicarte ni un minuto. Aunque el tiempo que pasa no vuelve, espero poder recompensarte y devolverte de alguna forma todos y cada uno de los minutos en los que no he podido atenderte como te merecías. Gracias Tino, por tu gran apoyo y comprensión y porque sin “tu ayuda” en el más amplio sentido de la palabra no habría sido capaz de finalizar el Master, y sobre todo porque no me dejaste tirar la toalla, allá por el mes de octubre...

También quiero agradecer a mi amiga Mariví todo lo que me ha apoyado a lo largo de todo el curso y especialmente en este tramo final... sabes que ha sido también fundamental que estuvieras ahí conmigo para poder sacar esto adelante.

Gracias a todos mis compañeros de pupitre, Elena Antolín, Javier, Raquel, Chistian, Esther, Elena Calvo, Giulia, Mattia, Jairo, Elise, y Rodrigo. Por vuestra paciencia infinita conmigo. He aprendido muchas cosas de todos y cada uno de vosotros.

Por último gracias a Silvia y Pedro, mis tutores de este TFM, por guiarme e instruirme en la labor de realizarlo, por dejarme hacer y por explicarme las cosas una y otra vez hasta que pudiera entenderlas.

“Con constancia y tenacidad se obtiene lo que se desea; la palabra imposible no tiene significado” (Napoleón Bonaparte).

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS DEL TRABAJO	3
3.	SITUACIÓN Y ESTADO DEL ARTE	5
	3.1    SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA DE CASTILLA Y LEÓN	5
	3.2    SITUACIÓN DE LA GANADERÍA DE CASTILLA Y LEÓN	6
	3.3    ESTADO DEL ARTE	9
4.	METODOLOGÍA	11
	4.1    CONCEPTOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS	11
	4.2    ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL ESTUDIO	12
	4.3    METODOLOGÍA UTILIZADA PARA CARTOGRAFIAR LOS RESULTADOS: ELABORACIÓN DE LOS MAPAS	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 13
	4.4    CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA AGROPECUARIA	17
	A.    BIOMASA AGRÍCOLA	18
	B.    BIOMASA GANADERA	25
	4.5    ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA POTENCIAL	31
	A.    BIOMASA POTENCIAL AGRÍCOLA	32
	B.    BIOMASA POTENCIAL GANADERA	36
	4.6    PRODUCCIÓN DE BIOGÁS y ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE LA BIOMASA RESIDUAL	39
	A.    BIOMASA AGRÍCOLA	40
	B.    BIOMASA GANADERA	41
	4.7    VALORIZACIÓN FRACCIONAL DE LA BIOMASA RESIDUAL AGROGANADERA	43
	A.    ETANOL Y LIGNINA DE LA BIOMASA AGRÍCOLA	43
	B.    PROTEÍNAS DE LA BIOMASA GANADERA	45
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
	5.1    RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA	49
	5.2    RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LA BIOMASA RESIDUAL GANADERA	54
	5.3    BIOMASA RESIDUAL TOTAL	59

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

6.	CONCLUSIONES	65
7.	BIBLIOGRAFÍA	67
	7.1    REFERENCIAS	68
	7.2    LEGISLACIÓN	68
8.	ANEXOS	
9.	DOCUMENTO DE MAPAS	

## 1. INTRODUCCIÓN

Los residuos son sustancias u objetos que se generan como consecuencia de una actividad productiva o de consumo, y que su poseedor desecha o tenga la intención u obligación de desechar en virtud de las leyes vigentes.

Los residuos agropecuarios son aquellos generados en las actividades agrarias, ganaderas o silvícolas. Muchos de los residuos generados en esas actividades se usan en las mismas explotaciones donde se generan, ya sea con fines de abonado o con destino a la alimentación animal (pajas y restos agrícolas).

En las últimas décadas asistimos a una intensificación de los sectores agrícola y ganadero, a lo que hay que sumar que la mayoría de la población se encuentra concentrada en las ciudades y localizándose aquellos en zonas muy concretas donde por lo general además se ha desarrollado intensamente la industria agroalimentaria. Este panorama ha provocado también un incremento considerable en la producción de residuos orgánicos biodegradables, ocasionando problemas medioambientales graves. La característica fundamental de estos residuos es un elevado contenido en materia orgánica, tanto de origen vegetal como animal.

Los principales residuos derivados de la agricultura intensiva son los restos vegetales (tallos, paja, hojas, cascaras, ramas de podas, frutos que no se pueden comercializar, arranques, etc.). Los residuos procedentes de la ganadería están formados fundamentalmente por la acumulación de deyecciones sólidas y líquidas producidas en las explotaciones ganaderas. Si los residuos no se gestionan adecuadamente las consecuencias con el medio ambiente pueden ser nefastas, ya que pueden provocar la liberación generalizada de gases de efecto invernadero, como el metano ( $\text{CH}_4$ ), contaminación de aguas, transmisión de enfermedades y malos olores. Sin embargo, estos residuos, adecuadamente gestionados y valorizados, constituyen una materia prima de gran interés, para la obtención de diferentes productos y energía.

Teniendo en cuenta que en Castilla y León el 94% del territorio está destinado a la actividad agrícola y forestal, se hace necesario realizar una caracterización geográfica de la biomasa disponible que podría servir para el posterior desarrollo de proyectos ligados a sectores como la bioenergía, la alimentación animal o a la producción de fertilizantes.

La biomasa residual agrícola como fuente de energía se caracteriza por estar dispersa en el territorio con la consecuencia de que para su valorización es necesario su transporte a las plantas existentes para ese fin. Con la biomasa residual ganadera ocurre lo contrario ya que su aprovechamiento podría realizarse en las propias explotaciones ganaderas intensivas donde se produce. Sin embargo, para que ese aprovechamiento resulte viable técnica y económicamente se requiere de cantidades suficientes de biomasa.

El análisis, localización y representación de la biomasa en un mapa se justifica desde el momento en el que es preciso que las plantas se aseguren el suministro de biomasa a lo largo de toda su vida útil, además del condicionante que supone el coste

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

de transportarla, debido a la dispersión geográfica del recurso. Estos aspectos son los que pueden ayudar en un momento dado a ubicar las plantas de valorización o incluso a crear centros de recogida y gestión de la biomasa.



## 2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El Plan de la Bioenergía de Castilla y León (PBCyL)<sup>1</sup> agrupa todos los tipos de biomasa en seis grandes bloques: biomasa forestal, biomasa agrícola, biomasa ganadera, biomasa industrial, biomasa urbana y biomasa acuática. (PBCYL, p. 28) [1]

**El objetivo fundamental del trabajo consiste en estimar, evaluar y caracterizar la producción de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León del año 2017, realizar un análisis territorial y representar en mapas la densidad de la biomasa valorizable según el origen de los residuos (agrícolas o ganaderos).**

La biomasa agrícola y ganadera se caracteriza por ser muy heterogénea, ya que su origen es muy diverso, resultando fundamental hacer un análisis territorial y sectorial para que su posterior valorización se optimice lo máximo posible.

No todo el residuo existente está disponible y/o se puede utilizar para otros usos, como el energético, por ejemplo, ya que existen casos en lo que resulta mejor dejarlo en el campo por motivos económicos o medioambientales (evitar erosión). En otros casos, ya se está valorizando en usos alternativos, por ejemplo, la paja de cereal se comercializa fuera del sector agrario para la industria papelera o para alimentar al ganado. Además, hay que considerar que el suelo necesita incorporar materia orgánica para mantener o incrementar su fertilidad, con lo que no es bueno tampoco retirar todos los residuos que se van produciendo.

Puntualizado lo anterior hay que aclarar que la biomasa que se va a representar en este trabajo es la que se obtendría a partir de todos los restos orgánicos procedentes de la agricultura y la ganadería (biomasa potencial), teniendo en cuenta criterios de disponibilidad.

De manera más concreta destacarían también los siguientes objetivos:

- Analizar y representar la distribución espacial de los cultivos más representativos del territorio Castellano y leonés, así como de las explotaciones ganaderas intensivas.
- Estimar y representar geográficamente la cantidad y tipo de residuos agropecuarios generados en Castilla y León.
- Estimar y representar geográficamente su valorización, en forma de potencial energético, producción de biogás, o de aprovechamiento fraccional de sus diferentes componentes generada por cada tipo de residuo, así como la cantidad de biogás que podría generarse
- Determinar cuáles podrían ser las localizaciones óptimas a nivel de comarca agraria para instalar plantas de gestión y/o valorización de los residuos, teniendo en cuenta que las alternativas para la valorización son múltiples.

---

<sup>1</sup> PBCYL: instrumento con el cual la Junta de Castilla y León pretende integrar todas las medidas de apoyo a la bioenergía de Castilla y León, actualizando las medias existentes antes de su aprobación, así como incorporando objetivos y medidas nuevas.

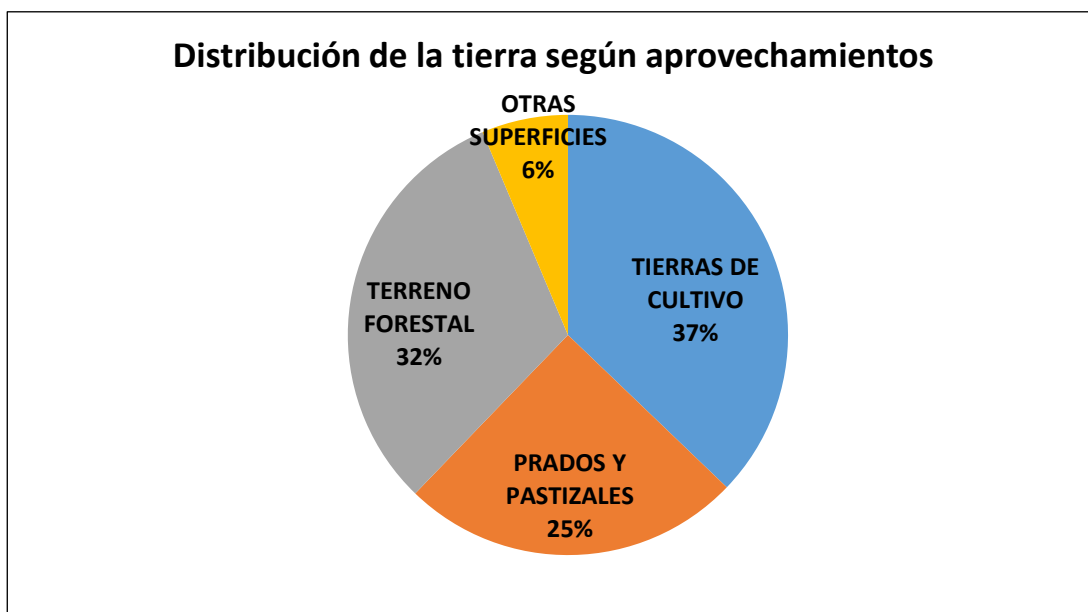
Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

### 3. SITUACIÓN Y ESTADO DEL ARTE

Castilla y León es en términos de superficie la Comunidad Autónoma más grande de España con 94.223 km<sup>2</sup>, de los cuales el 94% del territorio está destinado a la actividad agrícola y forestal.

#### 3.1 SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA DE CASTILLA Y LEÓN

Analizando los datos de superficies para el año 2017 extraídos de la estadística de la Junta de Castilla y León (Servicio de Estudios, Estadística y Planificación Agraria de la Consejería de Agricultura y Ganadería, estadísticas agropecuarias)<sup>2</sup>, del 94% de la superficie que agrícola y forestal, el 37% de la superficie estaba ocupada por tierras de cultivo, lo cual supone aproximadamente 3,5 millones de ha, el 32% era terreno forestal (monte maderable, monte abierto y monte leñoso) y el 25% estaba ocupado por prados y pastizales (prados naturales, pastizales y erial a pastos)<sup>3</sup>.



*Gráfico 1. Distribución de la tierra de Castilla y León según aprovechamientos. Elaboración propia. Fuente de datos: Servicio de Estudios, Estadística y Planificación Agraria de la Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León). [2]*

De la superficie ocupada por tierras de cultivo, tal y como se puede observar en el gráfico nº. 2, en el año 2017 un 79% de la superficie estaba ocupada por cultivos

<sup>2</sup>

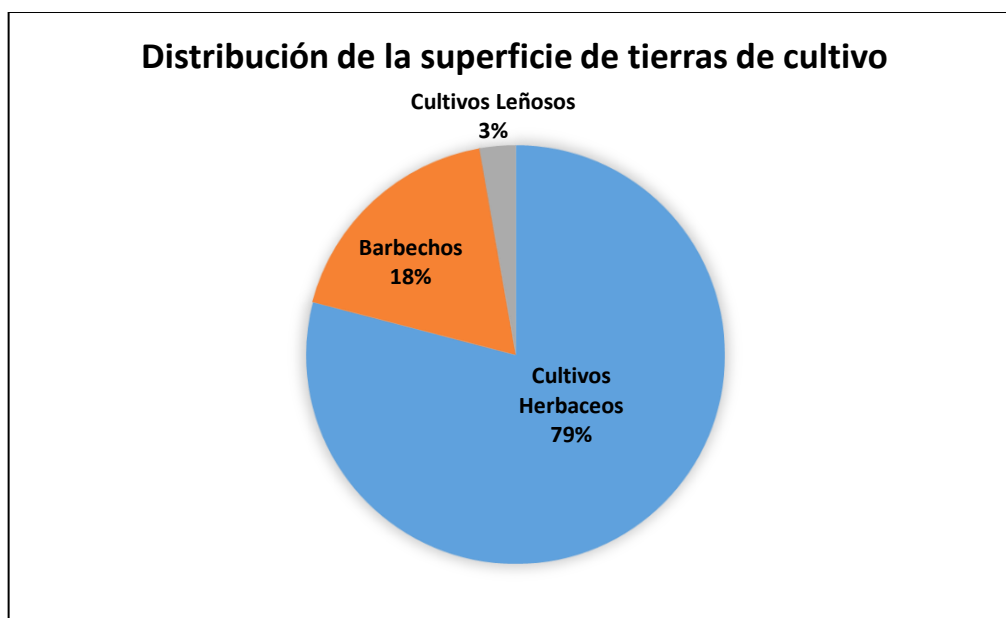
[https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284227967994/\\_/\\_/\\_](https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284227967994/_/_/_)

<sup>3</sup> Se pueden consultar todos los datos en el Anexo I- tabla 1.

herbáceos, el 3% de la superficie estaba ocupada por cultivos leñosos y el resto (18%) eran tierras de barbecho.

La superficie de cultivo en Castilla y León es una de las mayores del conjunto nacional, con algo más de la quinta parte de las hectáreas cultivadas en España. Esta importancia en cuanto a extensión de cultivos es trasladable a las producciones, y la región concentra cerca de tres cuartas partes de la producción de remolacha azucarera en España, más de la mitad de puerro y centeno, en torno al 47% de la de zanahoria y algo más del 30% de la de patata, girasol y trigo<sup>4</sup>.

Se ha considerado para el análisis que nos ocupa sólo la superficie destinada a los “cultivos herbáceos y leñosos” debido fundamentalmente a que el enfoque que se le ha querido dar al estudio ha sido desde un punto de vista eminentemente agropecuario, centrándonos por tanto en la biomasa agrícola y ganadera y obviando pues la forestal.



*Gráfico 2. Distribución de la superficie de tierras de cultivo de Castilla y León. Elaboración propia. Fuente de datos: Agricultura y Ganadería - Estadística agraria - Estadísticas agropecuarias - Superficies de cultivo por término municipal Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León). [3]*

En el Anexo I - TABLAS Y DATOS DE CULTIVOS- punto 6, se pueden consultar los resúmenes regionales de la superficie analizada por provincias y grupos de cultivos. (Tabla 28).

### 3.2 SITUACIÓN DE LA GANADERÍA DE CASTILLA Y LEÓN

<sup>4</sup> El Sector agrario en Castilla y León. 2018 (p. 40)

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

Desde el punto de vista de la ganadería la región cuenta con una de las cabañas ganaderas más importantes de España (tanto en intensivo como en extensivo), así como una incuestionable vinculación a otro de los pilares estratégicos de su economía como es la industria agroalimentaria (sector que queda fuera del ámbito de este estudio).

Las cabañas más importantes en la región son las de porcino y ovino, con siete millones de cabezas entre ambas, tal y como reflejan los datos de la tabla siguiente, elaborada a partir de los datos publicados por el Servicio de Estudios, Estadística y Planificación Agraria de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León.

Efectivos de ganado según especies	
Especie	Cabezas de ganado
Bovino	1.400.130
Ovino	3.020.952
Caprino	120.201
Porcino	3.975.293
Aves	39.990.973
<b>TOTAL</b>	<b>48.507.549</b>

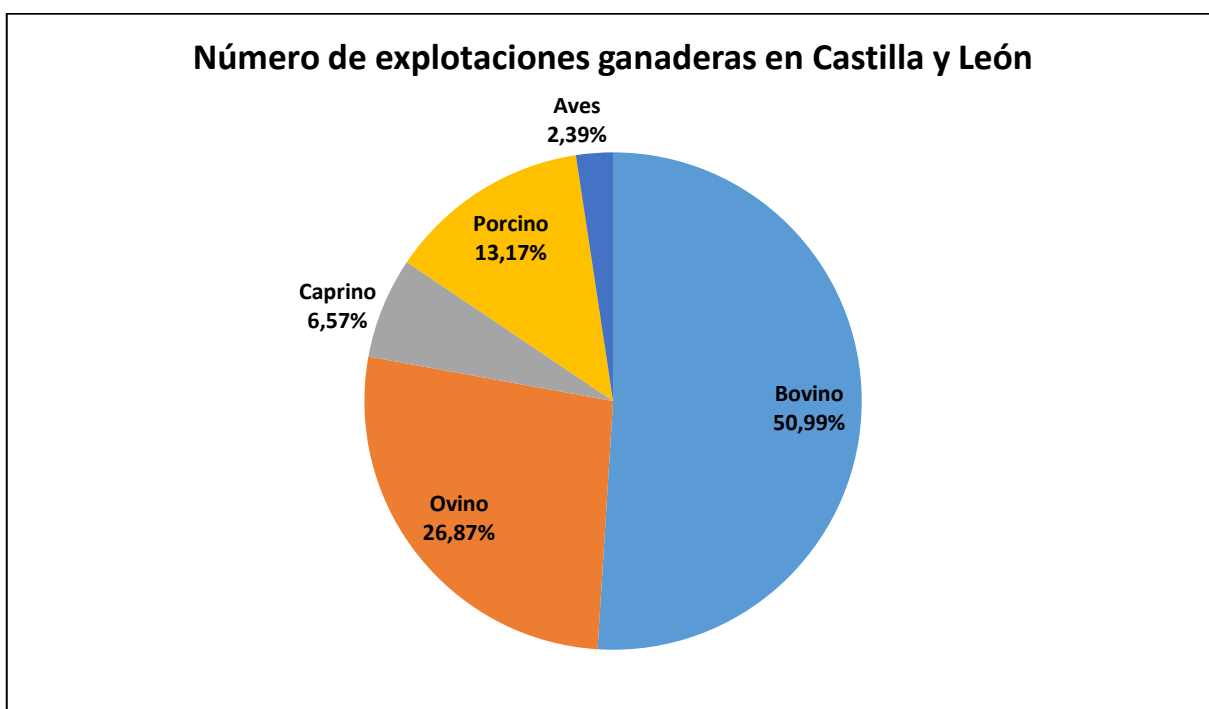
*Tabla 1: Efectivos ganaderos según las especies. Elaboración propia. Fuente de datos: Portal de la Junta de Castilla y León de datos abiertos datos de superficies.*

En el Anexo II- TABLAS Y DATOS DE GANADERÍA, se pueden consultar las tablas elaboradas con datos del “Censo provincial de animales” y las explotaciones ganaderas por tipo de explotación que se han analizado el estudio (tablas 28 y 29).



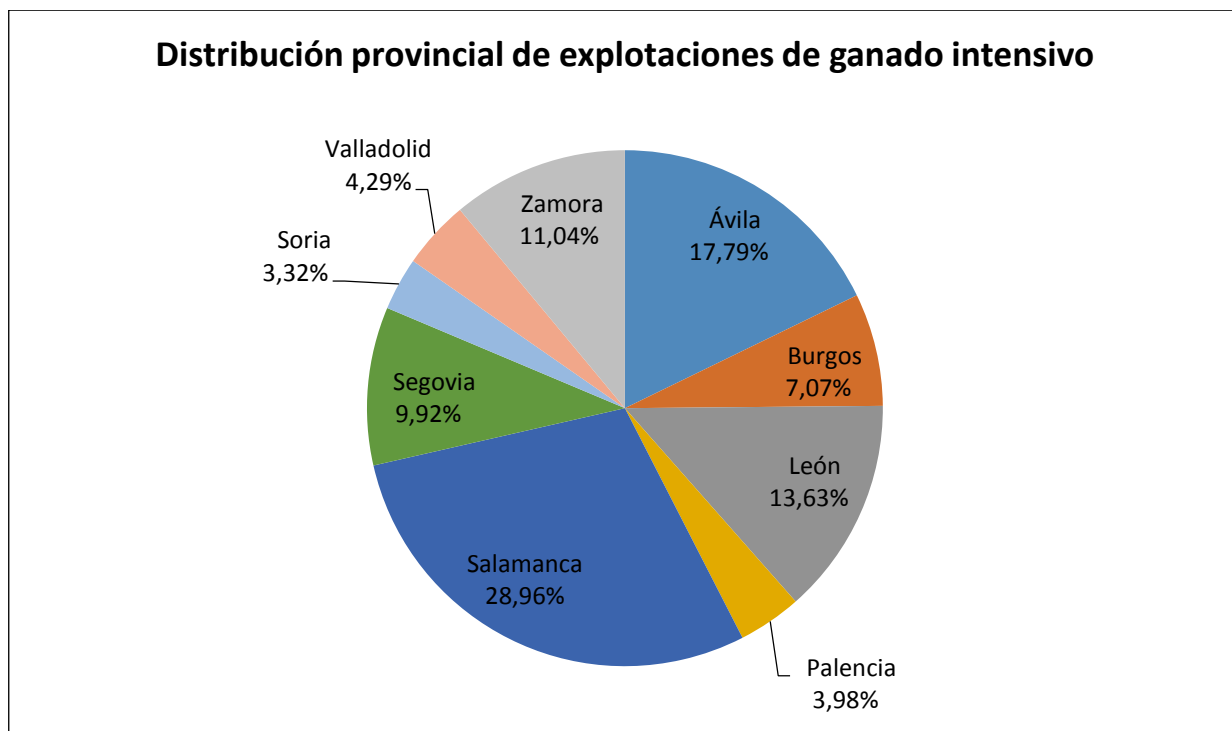
*Gráfico 3. Cabezas de ganado de las principales cabañas en Castilla y León. Elaboración propia. Fuente de datos: Censo regional y provincial de animales según especies. Servicio de Estudios, Estadística y Planificación Agraria de la Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León). [4]*

Respecto a las explotaciones ganaderas que se han analizado en el estudio, el gráfico 4 muestra la distribución de las cabañas ganaderas mayoritarias, siendo la que más explotaciones tiene la cabaña bovina con un 51% del total, seguida del ganado ovino/caprino y porcino con un 33,37 % y un 13,17% respectivamente. Por último, las explotaciones avícolas apenas representan un 2,5 % del total. (En la Tabla 1 se refleja el número de cabezas representado por cada cabaña ganadera).



**Gráfico 4. Distribución de las explotaciones ganaderas del estudio por las cabañas ganaderas. Elaboración propia con datos del Censo regional y provincial de animales según especies. Fuente: Servicio de Estudios, Estadística y Planificación Agraria de la Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León).**

En cuanto a la distribución espacial de las explotaciones ganaderas por número total, tal y como se muestra en el gráfico 5, se podría destacar que las provincias de Salamanca, Ávila y León representan el 60% de total.



**Gráfico 5. Distribución provincial de las explotaciones de ganado intensivo de Castilla y León. Elaboración propia con datos del Censo regional y provincial de animales según especies.**

### 3.3 ESTADO DEL ARTE

El estado del arte tiene como objetivo fundamental tomar las directrices básicas para el desarrollo de un trabajo de investigación y establecer la necesidad de realizar otro estudio.

En España existen estudios variados en distintas Comunidades Autónomas sobre el aprovechamiento de la biomasa residual, planteados por lo general en forma de “Planes de Aprovechamiento de la Biomasa”, algún ejemplo lo podemos encontrar en Aragón, Cataluña, Extremadura, Andalucía, Castilla La Mancha y también en Castilla y León.

Algunos de los trabajos realizados en Castilla y León sobre el aprovechamiento energético de la biomasa se exponen brevemente a continuación:

PLAN DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LAS COMARCAS DEL BIERZO Y LACIANA (LEON). Autores: L. Esteban et al. CIEMAT-CEDER. El objetivo de este trabajo es la definición de un plan para la movilización y valorización de recursos biomásicos

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

para consumo energético en las comarcas de El Bierzo y Laciana, en la provincia de León.

SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN CASTILLA Y LEON. LAS EXPERIENCIAS EN CURSO. Tolosana et al. Departamento de economía y gestión de la Universidad Politécnica de Madrid. Se trata de siete experiencias de aprovechamientos de biomasa en montes de Castilla y León donde presentan los resultados obtenidos del estudio realizado por un equipo de la Universidad Politécnica de Madrid y financiados por CESEFOR, de aprovechamiento de biomasa en diferente tipos de corta y con diferentes sistemas de extracción de la biomasa para optimizar los sistemas de trabajo, evaluar la productividad y determinar los costes, produciendo una serie de manuales para orientar sobre las prácticas más adecuadas en el aprovechamiento de biomasa forestal.

ESTUDIO SOBRE EL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN LA PROVINCIA DE AVILA. Diputación de Ávila El objetivo fundamental es el de identificar, cuantificar, caracterizar y valorizar en detalle la biomasa potencial disponible de origen forestal (residuos generados en las cortas y actuaciones selvícolas de los montes) y hacer una estimación de la biomasa procedente de los residuos de cosecha en los cultivos agrícolas y la originada en el proceso de transformación de la madera en las industrias forestales (serrín, astillas, corteza, recortes, virutas, etc.).

RESUMEN DEL ESTUDIO SOBRE EL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA Y CULTIVOS ENERGÉTICOS EN LA ZONA ESTE DE LA PROVINCIA DE VALLADOLID. Diputación de Valladolid.

La Junta de Castilla y León está promoviendo el “PLAN DE IMPULSO A LA BIOECONOMÍA AGROALIMENTARIA”<sup>5</sup>, plan con varias líneas de investigación dentro de las cuales está la de la valorización integral de residuos y subproductos bajo los principios de la economía circular. Estando aún en una fase incipiente.

La justificación del presente estudio se da tanto en cuanto hasta hoy los análisis que se han realizado en nuestra Comunidad Autónoma han sido, bien caracterizando únicamente la biomasa de origen forestal, bien desde una escala municipal o provincial o comarcal. No existen estudios o trabajos previos en Castilla y León que **analice, localice y cartografie la biomasa potencial agrícola y ganadera de toda la región.**

Será pues en los estudios, análisis, o artículos que ya existen a nivel nacional, en los que me apoyaré para desarrollar el “Estudio para el análisis y localización de la biomasa potencial del sector agrícola y ganadero en Castilla y León”.

---

5

[http://www.itacyl.es/documents/20143/0/PlanImpulsoBioeconomiaAgroalimentaria\\_2019.pdf/34554980-e0c5-bcca-6420-b5c8ec857cd8](http://www.itacyl.es/documents/20143/0/PlanImpulsoBioeconomiaAgroalimentaria_2019.pdf/34554980-e0c5-bcca-6420-b5c8ec857cd8)



## 4. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos planteados, se ha utilizado una metodología basada en los Sistemas de Información Geográfica (SIG)<sup>6</sup> que nos permiten estimar primeramente la cantidad y tipos de residuos agropecuarios generados en Castilla y León, analizar la potencial valorización de los residuos, como energía, en producción de biogás, etanol, lignina y proteínas, entre otros potenciales productos, etc., toda vez que se realiza la cartografía de todos los datos calculados.

Se le ha dado al trabajo un enfoque sectorial de la agricultura y la ganadería porque de esa manera hay posibilidad de realizar un estudio independiente por cada sector que sirva para futuros proyectos, si bien también se analizaran los resultados obtenidos de forma conjunta, dependiendo de las características de la biomasa y del aprovechamiento posterior que queramos hacer de ésta.

### 4.1 CONCEPTOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS

Se define **Residuo**<sup>7</sup> como cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseché o tenga la intención u obligación de desechar y distingue entre residuos domésticos, comerciales, industriales, peligrosos, aceites usados y biorresiduos.

Según la Agencia Europea del Medio Ambiente los **residuos agrícolas** o **biomasa agrícola** pueden definirse como aquellos materiales inutilizables, sólidos o líquidos, resultantes de prácticas agrarias. Estas prácticas pueden comprender actividades fundamentalmente agrícolas (cultivo de cereales, pastos, frutales, etc.) y ganaderas (cría extensiva o intensiva), y, en ocasiones, actividades de transformación de productos agrícolas (extracción de aceite de oliva, conservas, etc.) (López y Boluda, 2011).

La Directiva 2009/28/CE<sup>8</sup> relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, se define la **biomasa** como la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biológica degradable de los residuos industriales y municipales.

En el presente TFM nos centraremos en el análisis de aquellos materiales resultantes de la actividad agrícola y ganadera que se van a desechar y que fundamentalmente estarán constituidos por grandes concentraciones de materia

---

<sup>6</sup> Un Sistema de Información Geográfica (GIS o SIG) es una solución tecnológica que de manera visual nos permite capturar, analizar, gestionar e interpretar datos con un componente geográfico, y así descubrir relaciones o tendencias que ayudan a tomar las mejores decisiones posibles.

<sup>7</sup> Artículo 3 de la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados.

<sup>8</sup> <https://www.boe.es/doue/2009/140/L00016-00062.pdf>

orgánica. Se trata de residuos que son muy abundantes, pero también dispersos y por ende difícil de controlar, constituyendo esto uno de los principales focos de contaminación de las aguas subterráneas, superficiales y suelos.

**Deyecciones ganaderas**<sup>9</sup>. Deyecciones sólidas y líquidas producidas en las explotaciones ganaderas acompañadas o no de las aguas de limpieza de las naves de producción animal, así como, las excretadas durante el pastoreo. Se incluyen también las deyecciones procedentes de sistemas de tratamiento de valorización de éstas mediante sistemas aerobios o anaerobios.

**Explotación ganadera extensiva**: aquella en la que los animales no se encuentran alojados ni son alimentados dentro de las instalaciones de forma permanente, alimentándose fundamentalmente mediante el aprovechamiento directo de los recursos agroforestales de la explotación.

**Explotación ganadera intensiva**: es aquella en la que los animales se encuentran alojados y son alimentados dentro de las instalaciones de forma permanente.

## 4.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL ESTUDIO

La estimación de los residuos producidos por la actividad agraria de Castilla y León se ha realizado teniendo en cuenta los ámbitos siguientes:

- **ÁMBITO TERRITORIAL**

El análisis se realiza sobre las nueve provincias que conforman el territorio de Castilla y León, dividido a su vez en comarcas agrarias y en municipios INE<sup>10</sup>.

Desde el punto de vista administrativo se utilizará como unidad mínima para el análisis la **comarca agraria**<sup>11</sup>, ya que se considera un nivel básico de muchos estudios estadísticos y con suficiente detalle. En Castilla y León existen 59 comarcas agrarias<sup>12</sup>. En alguno de los mapas analizados la unidad administrativa mínima se representará a nivel de municipio por cuestiones técnicas de la herramienta SIG, si bien para los resultados finales del estudio se considerará la comarca agraria.

- **ÁMBITO SECTORIAL**

---

<sup>9</sup> Orden MAM/1536/2010, de 5 de noviembre, por la que se modifica la Orden MAM/2348/2009, de 30 de diciembre, por la que se aprueba el programa de actuación de las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero designadas de Castilla y León por el Decreto 40/2009, de 25 de junio. (BOCyL de 15-11-2010).

<sup>10</sup> INE: Instituto Nacional de Estadística.

<sup>11</sup> Comarca Agraria: “unidades espaciales intermedias entre la provincia y el municipio que sin personalidad jurídico-administrativa alguna, tuvieran un carácter uniforme desde el punto de vista agrario, que permitiera utilizarlas como unidades para la planificación y ejecución de la actividad del Ministerio y para la coordinación de sus distintos Centros Directivos”. Fuente: MAPA.

<sup>12</sup> Ver MAPA C001 DE COMARCAS AGRARIAS EN CASTILLA Y LEÓN en DOCUMENTO 10 MAPAS.

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

El ámbito de aplicación del presente estudio se ciñe exclusivamente a los residuos agropecuarios de origen orgánico (biomasa agrícola y biomasa ganadera) cuya división según los códigos LER se puede ver en la siguiente tabla:

Capítulo LER <sup>13</sup>	Subcapítulo LER	Código LER
02 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; Residuos de la preparación y elaboración de alimentos	02 01 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca.	020103 Residuos de tejidos vegetales
		02 01 06 Heces de animales, orina y estiércol (incluida paja podrida) y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan.

*Tabla 2: Ámbito material del análisis basado en el Listado Europeo de Residuos. Elaboración propia con datos de la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.*

### • ÁMBITO TEMPORAL

La referencia temporal considerada para todo el conjunto de datos analizados es el **año 2017**, ya que a la fecha de realización del estudio, todos los datos de superficies y de ganadería se encontraban ya publicados en la página WEB de la Junta de Castilla y León, mientras que los datos correspondientes al año 2018 estaban incompletos, al publicarse estos a año vencido.

## 4.3 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA CARTOGRAFIAR LOS RESULTADOS: ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

### Recursos utilizados:

La herramienta utilizada para la gestión, análisis y representación de las diferentes bases de datos, así como las capas de información gráficas que se han utilizado para el trabajo y que conforman el punto 10, "Documento de mapas", se han elaborado íntegramente sobre la plataforma del software ArcGIS V.10<sup>14</sup>

Las fuentes de datos para elaborarlas se resumen a continuación:

#### ➤ Fuentes de datos alfanuméricas utilizadas:

- *Datos de Superficies de cultivos:* Las bases de datos utilizadas han sido descargadas de la web de la Junta de Castilla y León, Consejería de Agricultura y

<sup>13</sup> LER: Lista Europea de Residuos (Anteriormente denominado Catálogo Europeo de Residuos). (ley 22/2011 de 28 de junio de residuos y suelos contaminados). Los residuos se identifican según el ANEXO 1 de la Orden MAM 304/2002 de 8 de febrero).

<sup>14</sup> <https://www.esri.es/arcgis/>

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

Ganadería a través del Servicio de Estadística Agraria: Anuario de estadísticas agrarias de Castilla y León del año 2017<sup>15</sup>.

- *Datos de Ganadería*: los datos de ganadería utilizados proceden igualmente del Servicio de Estadística agraria de la Junta de Castilla y León del año 2017<sup>16</sup>.
- También se ha recurrido a datos de superficies de cultivos municipales de <https://analisis.datosabiertos.jcyl.es/Medio-Rural/Superficies-de-cultivos-municipales/9t62-6gai>

### ➤ Fuentes de datos de la información cartográfica:

La cartografía utilizada ha sido descargada del servicio de descargas de la página WEB de la Junta de Castilla y León (IDECyL<sup>17</sup>). Utilizando la siguiente información:

- Límites municipales de Castilla y León: líneas límite
- Límites provinciales de Castilla y León: recintos
- Límites autonómicos de Castilla y León: recintos
- Demarcaciones territoriales medioambientales de Castilla y León: comarcas

La elaboración de todo el conjunto de mapas se ha realizado siguiendo las estrategias de los **Sistemas de información Geográfica (SIG)**, es decir utilizando dos tipos de archivos cartográficos, los *vectoriales*<sup>18</sup> y los *raster*<sup>19</sup>. Si el mapa es de tipo ráster, se representa por píxeles continuos en el territorio, y si es vectorial, se representan los datos del municipio correspondiente y de las comarcas agrarias.

Para elaborar los mapas ráster se ha usado una función de densidad de probabilidad suavizada conocida como "*Densidad kernel*"<sup>20</sup>. Se utiliza un algoritmo de radio de búsqueda predeterminado (ancho de banda).

Con el método utilizado para cada píxel de la imagen y en un círculo inscrito en aquel de una dimensión dada o radio de búsqueda (10 km de radio en los mapas del estudio), busca todos los puntos valorables que se quieren cartografiar, sumando el valor total.

---

<sup>15</sup>

[http://www.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284198968135/1246464862173/\\_/](http://www.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284198968135/1246464862173/_/)

<sup>16</sup> <https://analisis.datosabiertos.jcyl.es/Medio-Rural/Explotaciones-ganaderas-de-bovino/2aa5-smb8>

<sup>17</sup> [https://cartografia.jcyl.es/web/jcyl/Cartografia/es/Plantilla100/1284208420854/\\_/\\_/](https://cartografia.jcyl.es/web/jcyl/Cartografia/es/Plantilla100/1284208420854/_/_/)

<sup>18</sup> Los archivos vectoriales son aquellos cuya naturaleza es de tipo vectorial. Los elementos geográficos se representan a partir de tres estructuras básicas: puntos, líneas y polígonos.

<sup>19</sup> Los archivos ráster se caracterizan por la existencia de una red formada píxeles. Cada píxel representa una cualidad o propiedad espacial.

<sup>20</sup> Densidad Kernel: Para calcularlo se requiere tener una extensión del programa ARCGIS denominada Spatial Analyst y lo que hace es calcular la densidad de las entidades en la vecindad de esas entidades. Puede calcularse para las entidades de punto y de línea.

<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

Para calcular la densidad de cada celda ráster de salida, se agregan los valores de todas las superficies de kernel en donde se superponen con el centro de la celda ráster. La función kernel se basa en la función kernel de cuarto grado que se describió en Silverman (1986, p. 76, ecuación 4.5).

El fichero de salida para este tipo de mapas se ha ajustado a una imagen de 250 m de píxel.

A continuación, se describe, a modo de ejemplo el proceso que se ha seguido para elaborar los mapas de ganadería en formato ráster:

1. Primeramente se ha obtenido la ubicación específica de todas las granjas existentes en Castilla y León.

2. Las cabezas de ganado de cada explotación estudiada se han transformado en Unidades de Ganado Mayor (UGM) mediante la tabla de conversión oficial<sup>21</sup>.

3. En tercer lugar se ha calculado una densidad suavizada mediante el método kernel con un radio de búsqueda de 10 km, de forma que la función Suma las UGM de cada explotación dentro de la superficie de búsqueda circunscrita y divide el resultado por el área del círculo de 10 km de radio.

4. El valor representado por cada píxel del mapa es la carga ganadera: Unidades de Ganado Mayor por kilómetro cuadrado (UGM/Km<sup>2</sup>).

En resumen, todos los mapas que reflejan “Densidades” se han elaborado en formato ráster por el método anteriormente descrito y el objetivo fundamental en todos y cada uno de ellos ha sido obtener, a nivel de píxel, mapas en términos de densidad superficial. Por ejemplo, uno de los mapas representados es el T003\_BIOGÁS DE LA BIOMASA RESIDUAL TOTAL EN CASTILLA Y LEÓN, que muestra el biogás producido a partir de la biomasa residual en términos de densidad energética superficial, expresada en tep/km<sup>2</sup>.

Para elaborar los mapas vectoriales, se parte de un proceso diferente al anterior, ya que lo que se ha representado son los datos para cada municipio. En este caso a cada polígono del término municipal procedente de la cartografía oficial de líneas límite municipal se le ha asignado el correspondiente resumen estadístico municipal (elaborado previamente con la metodología redactada en cada punto correspondiente), procedente de la estadística de superficies de cultivos mencionada anteriormente.

Se han elaborado un total de 41 mapas con sus correspondientes archivos PDF divididos por temáticas:

- 1 mapa de comarcas agrarias.
- 23 mapas de agricultura.
- 12 mapas de ganadería.
- 3 mapas de totales (agricultura + ganadería)

---

<sup>21</sup> B.O.E. núm. 239 de sábado 2 de octubre de 2010.

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

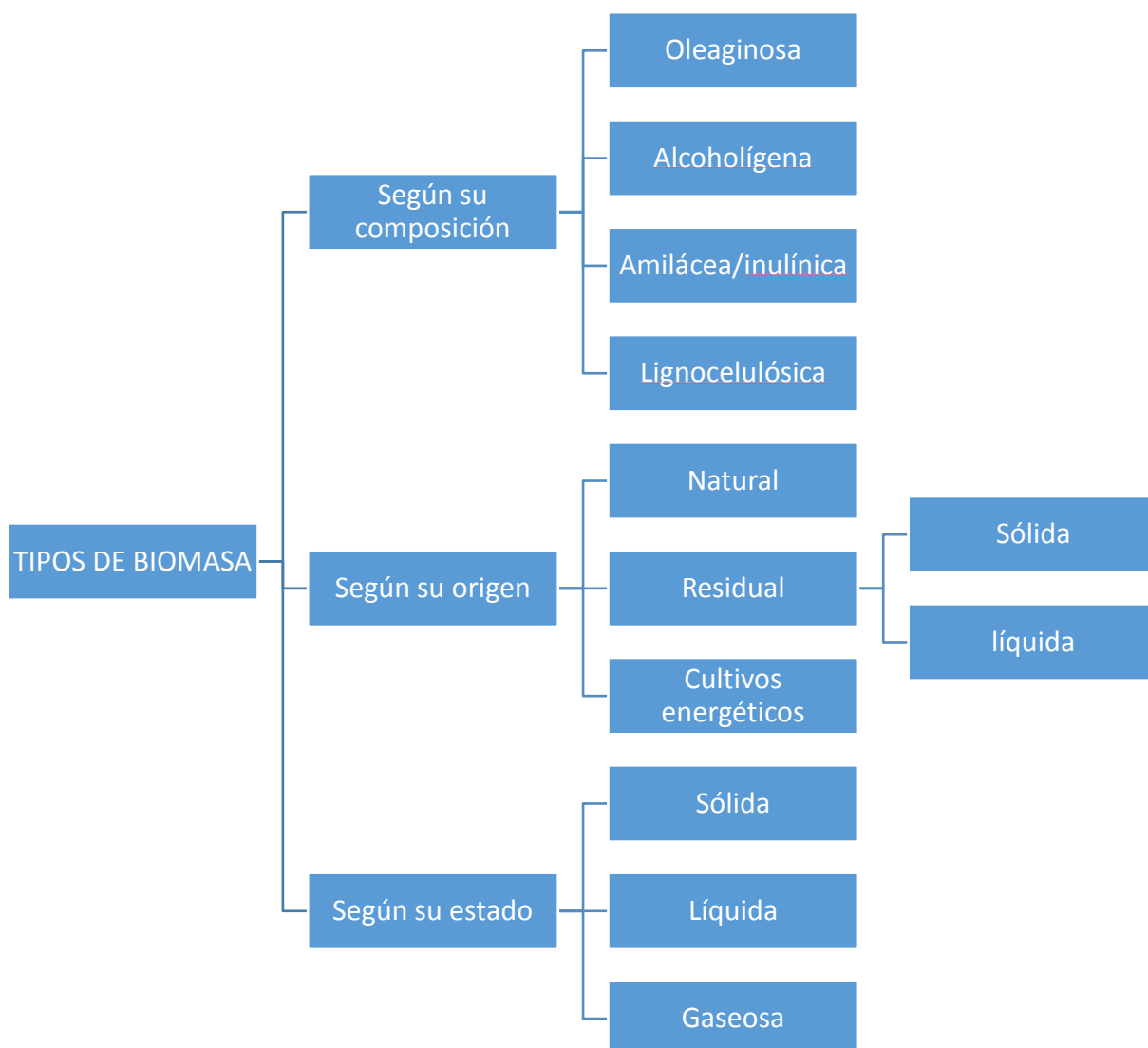
- 3 mapas con la ubicación de posibles plantas transformadoras de la biomasa residual.

Además, en la mayoría de los mapas, conjuntamente con el mapa general de la temática que corresponda, se han incluido como detalle mapas de datos medios por comarca agraria, y mapas de densidades.

#### 4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA AGROPECUARIA

Los subproductos o residuos derivados de la actividad agraria constituyen una de las fuentes de biomasa con mayor potencial de desarrollo para su valorización en otros productos o en energía. El PBCyL agrupa todos los tipos de biomasa en seis grandes bloques: biomasa forestal, biomasa agrícola, biomasa ganadera, biomasa industrial, biomasa urbana y biomasa acuática<sup>22</sup>.

Otra forma de clasificación de la biomasa puede ser según su composición, origen, y estado, tal y como podemos observar en la figura nº 1:



**Figura 1. Clasificación de la biomasa. Elaboración propia. Fuente de datos: Biomasa, Biocombustible y Sostenibilidad (p.1-5)**

<sup>22</sup> Documento PBCYL. Pág. 28

En el presente estudio se analizará la **biomasa residual** procedente de la agricultura y la ganadería.

---

## A. BIOMASA AGRÍCOLA

La disponibilidad del recurso depende de la época de recolección y de la variación de la producción agrícola, siendo necesario por tanto centralizar su distribución.<sup>23</sup>

En el estudio que nos ocupa se van a agrupar los restos agrícolas como:

- Restos de cultivos herbáceos (biomasa herbácea).
- Restos de cultivos leñosos (biomasa leñosa).

### **BIOMASA PROCEDENTE DE RESTOS DE CULTIVOS HERBÁCEOS:**

Se obtienen durante la cosecha de algunos cultivos herbáceos, como paja de cereal, cañotes de maíz o sorgo, mazorcas de maíz, cabezuelas y tallos de girasol, restos de cosecha de colza, etc.

Dentro del grupo de los cultivos herbáceos se consideran las superficies de cultivos clasificados en los datos estadísticos<sup>24</sup> utilizados en el análisis dentro de los subgrupos siguientes:

El subgrupo de “cereales de grano” incluyen los cultivos de trigos blandos y duros, cebada, centeno, triticale, sorgo, avena y maíz, tanto en secano como en regadío. La disponibilidad de la paja de los cereales dependerá de la época de recolección y también de la variación de la producción agrícola, por ejemplo. La producción de paja es mucho mayor los años lluviosos que en años de sequía.

Los residuos de los “cultivos hortícolas” son fundamentalmente tallos, hojas, frutos de destrío que no cumplen los estándares de calidad necesarios o que no se comercializan por razones de mercado y plantas completas que son arrancadas al terminar los ciclos de cultivo. La bibliografía sugiere cifras de producción de residuos variables en función del cultivo y tipo de producción, pudiendo llegar al 25% el porcentaje que de esa biomasa representan los destríos (que pueden constituir una fracción a tener muy en cuenta para la alimentación de ganado, por ejemplo). La generación de estos restos vegetales se caracteriza por su estacionalidad y heterogeneidad, tanto en el volumen en el que se generan, como en su composición, que depende del momento de la campaña, lo que tiene implicaciones importantes en su gestión posterior.

Englobado dentro de la clasificación de “cultivos industriales” se han tenido en cuenta la producción de residuo de los cultivos del girasol, la colza y la remolacha azucarera fundamentalmente.

---

<sup>23</sup> Energía de la Biomasa. IDAE, pág. 20 y 21.

<sup>24</sup> [3] En apartado 8.1 Referencias.



## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

En la clasificación de “Tubérculos” se han tenido en cuenta la producción de residuo de los cultivos de patata en regadío.

Mención aparte merecen los cultivos de leguminosas (guisantes, judías y lentejas, principalmente) ya que para el estudio que nos ocupa no puede hablarse de restos vegetales procedentes de estos cultivos, debido a que son enterrados, al ser fijadores de nitrógeno aportado directamente al suelo. Por lo anterior este tipo de cultivos no se tendrán en cuenta para valorar los residuos que genera su cultivo.

Las superficies que se han considerado para estimar la producción de biomasa generada a partir de residuos de **CULTIVOS HERBÁCEOS** se muestra en las tablas nº 3 y 4, cuyos resultados reflejan la supremacía de los cultivos de cereal, que representan un 80% de la superficie total de herbáceos, frente a otros como pueden ser los cultivos hortícolas, que no llegan ni al 1% de la superficie total analizada.

GRUPO DE CULTIVO	CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	TIPO DE RESIDUO
<b>Herbáceos</b>	Cereales grano	1.919.316	Pajas, tallos, cascarillas, cañote, mazorcas, restos de cosecha, etc.
	Hortalizas	9.767	Tallos, hojas, frutos de destrío
	Industriales	333.885	Tallos, hojas, restos de cosecha, etc
	Tubérculos	20.433	Tallos, hojas, restos de cosecha, etc
<b>TOTAL</b>		<b>2.283.401</b>	

*Tabla 3: Superficies de los cultivos herbáceos que se han tenido en cuenta para el cálculo de los residuos. Elaboración propia. Fuente de datos: Agricultura y Ganadería - Estadística agraria - Estadísticas agropecuarias - Superficies de cultivo por término municipal Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León). [3]*

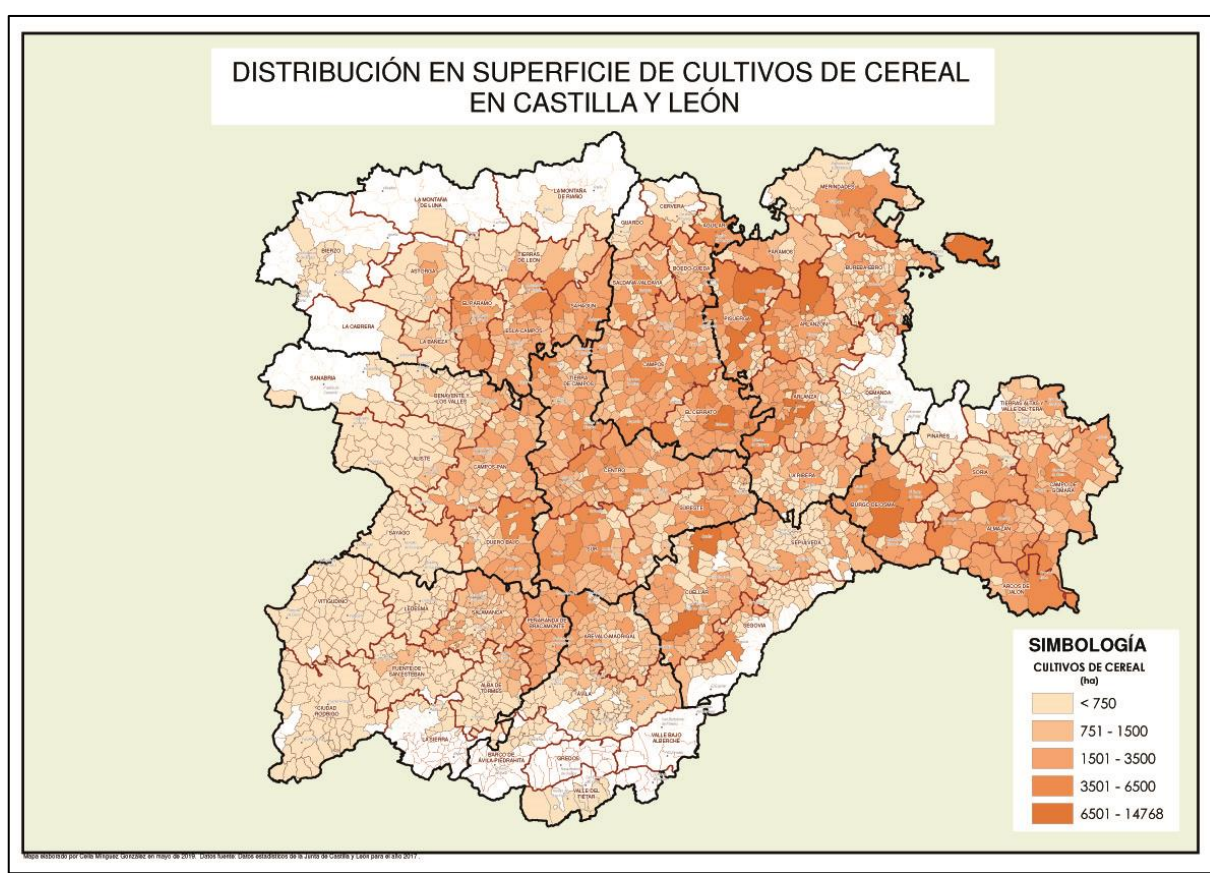
Resumen regional de superficies por grupos de cultivos (ha)				
PROVINCIA	HERBÁCEOS			
	Cereales grano	Hortalizas	Industriales	Tubérculos
Ávila	102.855	1.010	10.227	1.560
Burgos	383.421	204	64.882	2.421
León	155.449	127	20.234	1.506
Palencia	287.179	192	42.866	883
Salamanca	141.277	128	23.864	4.900
Segovia	165.280	2.092	32.902	2.128
Soria	206.802	191	46.847	405
Valladolid	312.579	5.195	57.180	5.585
Zamora	164.474	628	34.883	1.045
<b>Castilla y León</b>	<b>1.919.316</b>	<b>9.767</b>	<b>333.885</b>	<b>20.433</b>

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

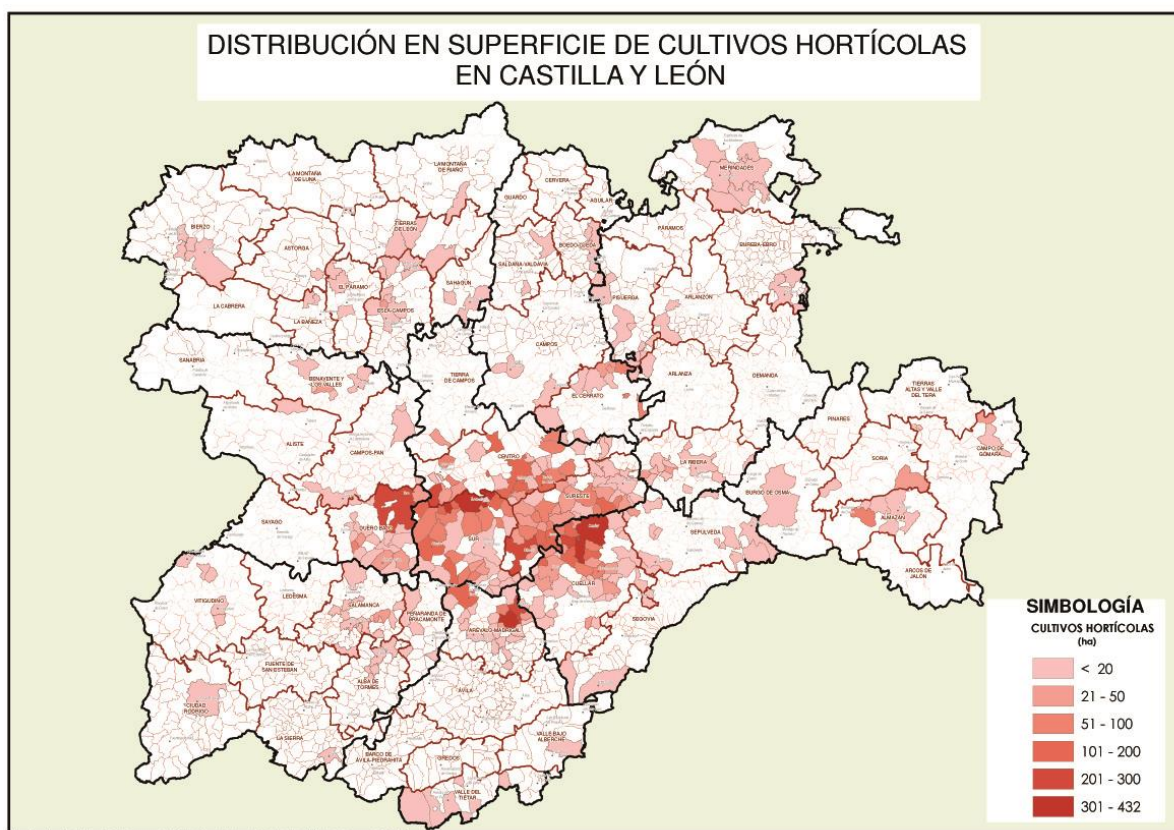
**Tabla 4: Resumen regional de superficies por grupos de cultivos herbáceos. Elaboración propia. Fuente de datos: Agricultura y Ganadería - Estadística agraria - Estadísticas agropecuarias - Superficies de cultivo por término municipal Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León). [3]**

A continuación se muestran como ejemplo dos de los mapas realizados y que analizan las superficies cultivadas en la Región.

El mapa C005 muestra la distribución superficial de los cereales cultivados en la región. Burgos, Valladolid y Palencia, son las provincias donde más superficie de cereal se cultiva con un 20%, 16% y 15% respectivamente de la superficie total de herbáceos.



**Mapa C005: Distribución en superficie de cultivos de cereal en castilla y león. Elaboración propia.**



**Mapa C006: Distribución en superficie de cultivos de hortícolas en castilla y león. Elaboración propia.**

El 75% de la superficie cultivada de hortícolas se reparte en las Comarcas agrarias de Sur y Suroeste, en la provincia de Valladolid y en la comarca de Cuéllar en Segovia.

### **BIOMASA PROCEDENTE DE RESTOS DE LOS CULTIVOS LEÑOSOS:**

La biomasa de los cultivos leñosos son los restos de podas de viñas y árboles frutales, así como de los olivos o del levantamiento de cultivos (plantas viejas, enfermas, tocones, etc...). En la actualidad los residuos agrícolas leñosos apenas tienen aprovechamiento con valor de mercado, a pesar de que conllevan un coste inevitable para el agricultor, dada la necesidad de retirarlos o de picarlos para facilitar el tránsito y el laboreo de las parcelas.

La poda de la vid se realiza todos los años durante el invierno obteniéndose, aproximadamente, entre 900 y 1.200 kg/ha en peso húmedo de restos de poda en seco y regadío respectivamente.

El olivar destinado a aceituna de mesa se poda cada año, son embargo el que se destina a la obtención de aceite de oliva se poda cada dos años. La poda del olivo se realiza normalmente en primavera y por lo general se puede obtener de media 3 t/ha.año.

Respecto a la poda de otros frutales como por ejemplo el albaricoquero se realiza en invierno y puede generar aproximadamente de media unos 1700 kg/ha.

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

La superficie considerada para el grupo de cultivos leñosos atiende a la siguiente clasificación según la estadística oficial de la Junta de Castilla y León:

- “Frutales de pepita y de hueso”: albaricoquero, azufaifo, ciruelo, frambueso, melocotonero, higuera, membrillo, peral.
- “Frutos secos”: nogal, pistacho y castaño futo.
- “Olivar”: Olivar de aceituna de mesa y de aceite.
- “Viñedo”: Viñedo de uva de mesa y de uva de vino.

Respecto a los frutales manzano, cerezo y almendro, además de ser poco representativos, presentan la circunstancia de que su poda no es anual, con lo que no se tendrán en cuenta para la valoración final de los residuos que generan.

Así pues, la superficie de cultivos leñosos que se ha tenido en cuenta para estimar la producción de residuos generada por este tipo de cultivos se muestra en la tabla siguiente:

GRUPO DE CULTIVO	CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	RESIDUO
Leñosos	Frutales y olivar	17.129	Plantas verdes, tallos, restos de poda
	Viñedo	77.311	
<b>TOTAL</b>		<b>94.440</b>	

*Tabla 5: Superficies de los cultivos leñosos que se han tenido en cuenta para el cálculo de los residuos. Elaboración propia. Fuente de datos: Agricultura y Ganadería - Estadística agraria - Estadísticas agropecuarias - Superficies de cultivo por término municipal Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León). [3]*

Resumen regional de superficies por grupos de cultivos (ha)			
PROVINCIA	LEÑOSOS		
	Frutales (Incluye olivar)	Viñedo	TOTAL
Ávila	5.245	4.214	9.459
Burgos	1.195	17.743	18.938
León	1.355	11.603	12.958
Palencia	125	509	634
Salamanca	4.570	2.710	7.280
Segovia	131	1.849	1.980
Soria	1.244	1.387	2.631
Valladolid	1.802	25.079	26.881
Zamora	1.462	12.217	13.679
<b>Castilla y León</b>	<b>17.129</b>	<b>77.311</b>	<b>94.440</b>

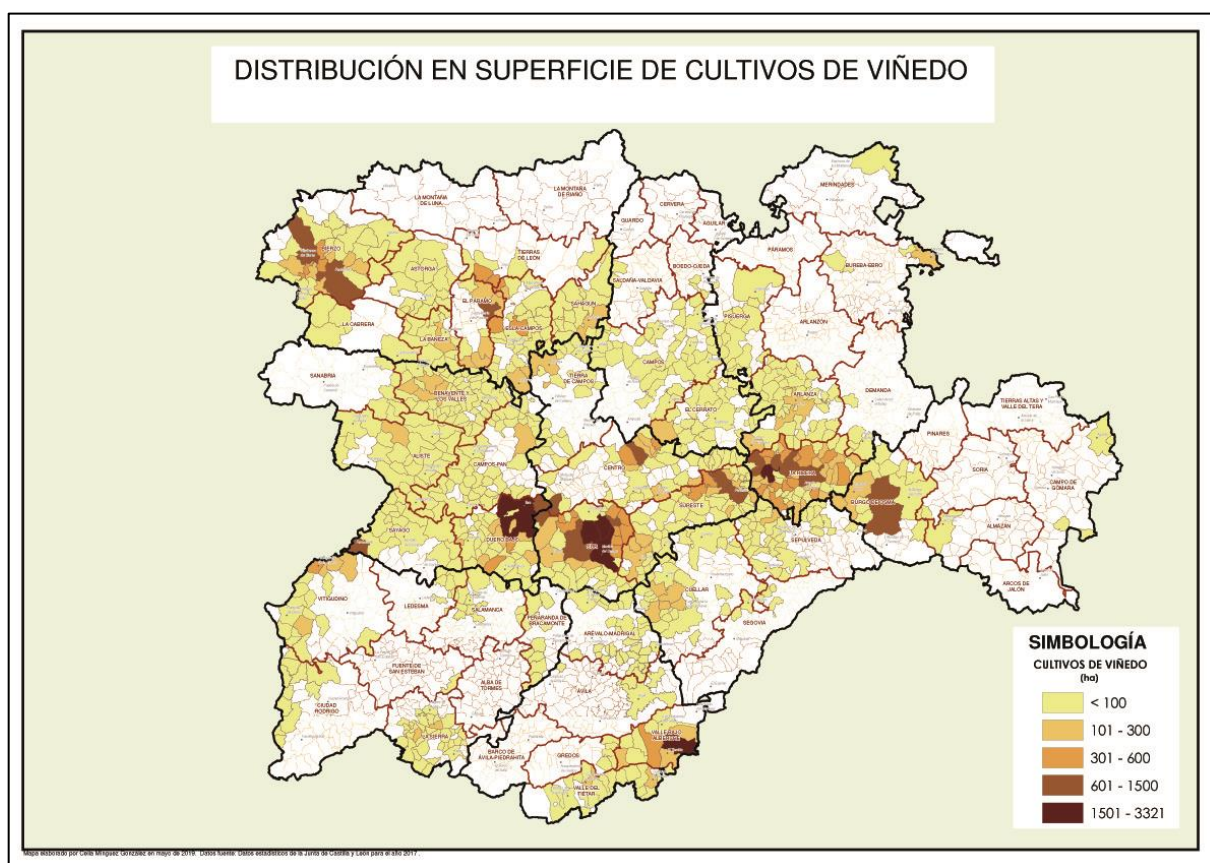
*Tabla 6: Resumen regional de superficies por grupos de cultivos leñosos. Elaboración propia. Fuente de datos: Agricultura y Ganadería - Estadística agraria - Estadísticas agropecuarias - Superficies de cultivo por término municipal Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León). [3]*



## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

El 82% de la superficie de cultivos leñosos está ocupada por el viñedo, siendo el 18% restante ocupado por el olivar y los frutales.

En el mapa (C011) y el gráfico nº 6 se muestra la distribución de superficie ocupada por el cultivo de viñedo, observándose como más del 50% de las 77.311 hectáreas plantadas, se reparten entre las provincias de Valladolid y Burgos. Las provincias de Zamora y León se reparten otro 30% de la superficie total, siendo minoritario incluso residual en el resto de las provincias de la Comunidad.



**Mapa C011: Distribución en superficie de cultivos de viñedo en castilla y león. Elaboración propia.**

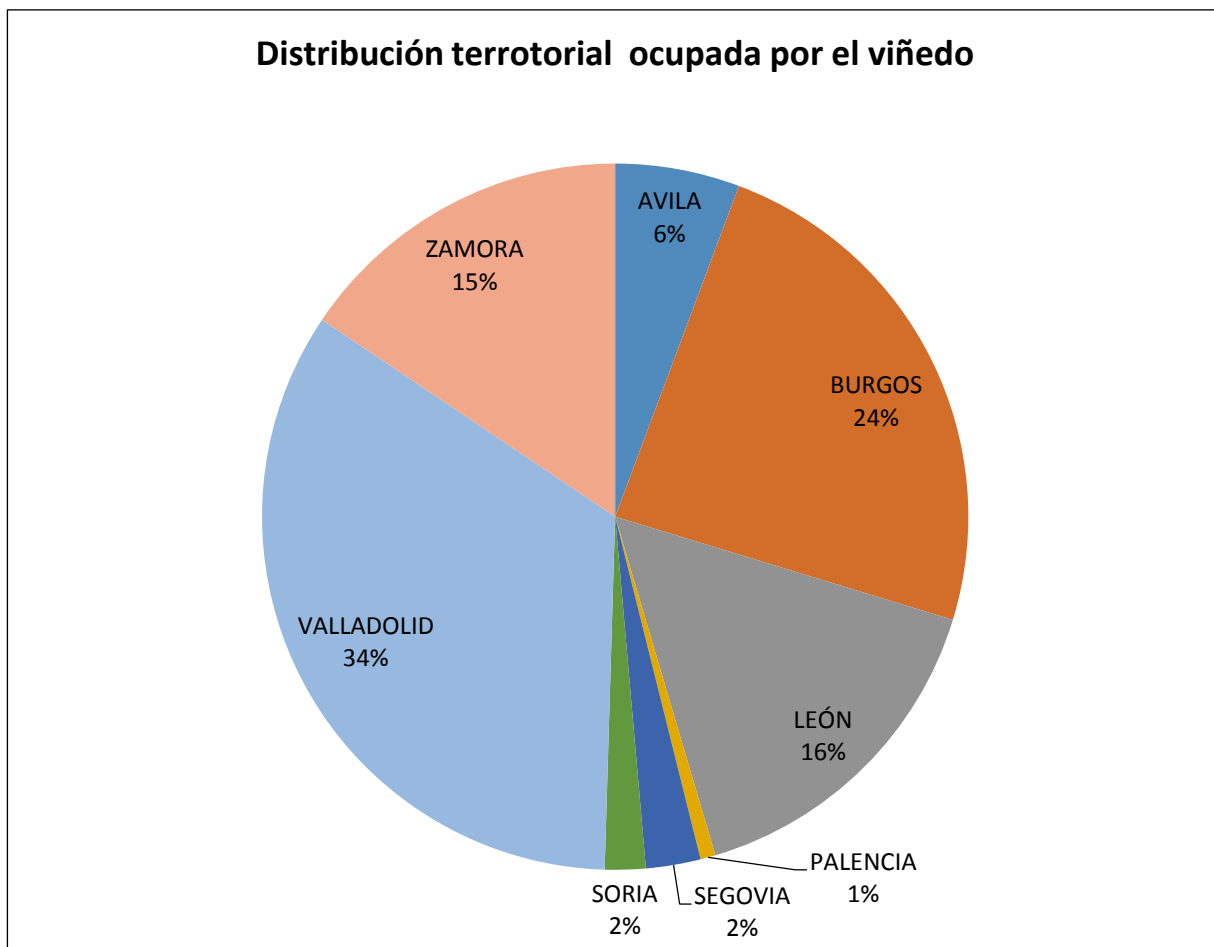
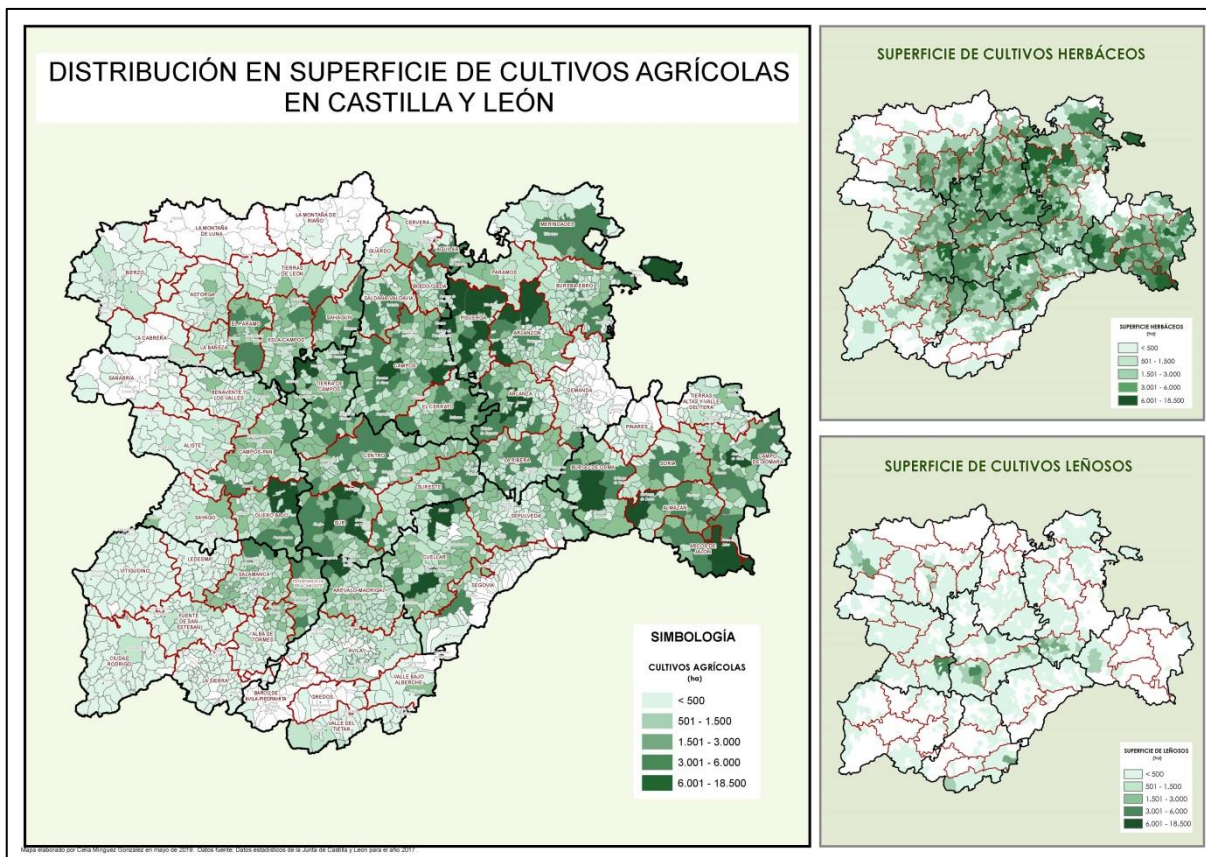


Gráfico 6. Distribución provincial del viñedo en Castilla y León. Elaboración propia. Fuente de datos: <https:// analisis.datosabiertos.jcyl.es/Medio-Rural/Superficies-de-cultivos-municipales/9t62-6qai>

En total se han analizado 2.472.281 ha de cultivo, y el mapa siguiente, C004 podemos ver la **distribución superficial del total de los cultivos agrícolas analizados** (herbáceos y leñosos). Además, se acompaña al plano general dos planos de detalle en el que se puede observar el peso que tendrá la superficie cultivada de herbáceos, frente a los cultivos leñosos, y que es de un 96% frente al 4% respectivamente.

El resumen que se hace a partir del análisis de las tablas realizadas es que el 80% de la superficie agraria cultivada de castilla y león está ocupada por cereales (avena, cebada, centeno, maíz y trigo), un 14% está ocupado por cultivos industriales (colza, girasol, y remolacha azucarera principalmente), el 3% está ocupada por el viñedo y el resto, aproximadamente otro 3% está ocupado por hortalizas y otros cultivos leñosos de menor importancia superficial (frutales y olivar)



**Mapa C004: Distribución en superficie de cultivos agrícolas en Castilla y León. Elaboración propia.**

Los detalles de las producciones de todos los cultivos analizados para el año de referencia, así como las superficies totales y por tipos de cultivos se pueden consultar en el ANEXO I- Tablas y datos de Cultivos (tablas 2 a 27)

En el DOCUMENTO 10 MAPAS se pueden consultar los mapas de distribución superficial que se han realizado, (mapas del C002 al C011) y que nos dan una visión general de lo que puede ser el resultado final de la biomasa que se obtendrá procedente de los residuos de cultivos.

## B. BIOMASA GANADERA

Se considerará un **residuo orgánico de origen ganadero (biomasa ganadera)** a todos los restos orgánicos procedentes de explotaciones ganaderas intensivas y que podrían ser susceptibles de valorización energética<sup>25</sup>.

El estudio se centra en los residuos orgánicos procedentes de la ganadería intensiva (avícolas, porcinas, ovinas y vacunas fundamentalmente) son los denominados SANDACH y están formados por la materia orgánica en descomposición,

<sup>25</sup> Plan Regional de Ámbito Sectorial de la Bioenergía de Castilla y León, (pág. 57).

principalmente los excrementos de los animales (purines, estiércol y gallinaza) mezclados con paja, restos de comida, aguas residuales de limpieza, etc. En las explotaciones intensivas se produce una mayor acumulación de estos desechos que requieren además de una adecuada gestión por su carácter contaminante debido a su elevada carga orgánica. Por otro lado, al producirse concentrados, resultan más fáciles de recoger.

El “Código de Buenas Prácticas Agrarias de Castilla y León”<sup>26</sup>, recoge las siguientes definiciones que aclaran la caracterización realizada para este tipo de residuos:

- **Estiércol:** Los residuos sólidos excretados por el ganado o las mezclas de desechos y residuos excretados por el ganado, incluso transformados.
- **Purines:** Son las deyecciones líquidas excretadas por el ganado. El contenido de sólidos de los purines suele ser menor del 12% y por lo general el purín se identifica con las deyecciones porcinas.
- **Lisier:** Abono producido por ganado vacuno o porcino en alojamientos que no usan mucha paja u otro material para cama. El lisier puede oscilar entre un semisólido con el 12% materia seca (MS) o un líquido con el 3-4% (MS).
- **Gallinaza:** deyecciones sólidas y líquidas, restos de alimentos, plumas y huevos rotos de las granjas.

La eliminación de los residuos ganaderos genera serios problemas ambientales ya que tienen una carga orgánica muy elevada, por lo que el tratamiento más adecuado para reducir esa carga contaminante es la digestión anaerobia (proceso bioquímico de digestión de la materia orgánica por microorganismos en ausencia de oxígeno). En este proceso se produce un biogás con un elevado rendimiento en metano generando estos un gran aprovechamiento energético.

Los estiércoles y purines tradicionalmente tenían el papel de servir básicamente para fertilizar los suelos, complementándose ésta labor agraria con otras técnicas (barbecho, abono verde...). En las últimas décadas la introducción en el campo de los abonos de síntesis y la intensificación de la ganadería, han contribuido al debilitamiento del equilibrio que existía en ese sentido entre agricultura y ganadería.

En el presente trabajo se han tenido en cuenta todos los residuos procedentes de las deyecciones de animales de la cabaña bovina, porcina, ovina y avícola de Castilla y León, aún a pesar de que los restos de la cabaña ovina y caprina son muy apreciados por los agricultores, aplicándose generalmente al campo casi en su totalidad.

El censo de animales utilizado para el estudio procede de los datos del censo ganadero de la Junta de Castilla y León<sup>27</sup> y se han estudiado un total de 36.082

---

<sup>26</sup> [https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1131977213578/1284250168638/ /](https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1131977213578/1284250168638/)

<sup>27</sup>

<https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284839842559/ />



explotaciones<sup>28</sup>. Hay que puntualizar al respecto, que se ha hecho una distinción no solo entre especies ganaderas, sino también entre períodos de edad de los animales<sup>29</sup>, generando esto una gran diversificación de la tabla de animales desde el punto de vista censal. Por ello, y para todas las subcategorías ganaderas estudiadas, se ha hallado también la correspondencia entre cada edad del animal clasificado y la Unidad Ganadera Mayor<sup>30</sup> (UGM), homogeneizando de esta forma a todos los animales según la especie a la que pertenezcan, de forma que se pueda representar en un único mapa la densidad de todos los efectivos de ganado según las especies que se han tenido en cuenta para realizar el trabajo (ver mapa G001).

En el estudio para cuantificar la carga ganadera por especie se recurre a los factores de conversión establecidos la Ley 5/2005, de 24 de mayo<sup>31</sup>, de establecimiento de un régimen excepcional y transitorio para las explotaciones ganaderas en Castilla y León. (Publicada en el «Boletín Oficial de Castilla y León», suplemento al número 100, de 26 de mayo de 2005); y que son los que aparecen en la siguiente tabla nº 4:

Equivalencias en UGM de los distintos tipos de ganado		
Especie	Edad/peso	Factor de ponderación
Aves	Gallinas ponedoras	0,014
	Pollos	0,07
	Patos	0,03
	Pavos	0,03
	Codornices	0,03
	Perdices	0,03
Bovino	Machos y hembras más de 2 años	1
	Machos y hembras de más de 6 meses hasta 2 años	0,6
	Hasta 6 meses	0,3
<b>Caprino (cualquier edad)</b>		0,15
<b>Ovino (cualquier edad)</b>		0,15
Porcino	Lechones de 6-20 Kg	0,027
	Cerdo de 20-50 Kg	0,3
	Cerdos de 50-100 Kg	0,5
	Madres con lechones de 0-6 Kg	0,3
	Madres con lechones de hasta 20 Kg	0,3
	Cerdas de reposición	0,3
	Cerdas en ciclo cerrado (*)	0,3

<sup>28</sup> Ver tabla 29 del Anexo II.

<sup>29</sup> Ver tabla 30 del Anexo II,

<sup>30</sup> UGM: es el equivalente a una cabeza de ganado de referencia.

<sup>31</sup> <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-11755>

Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

	Verracos	0,3
<b>Equino</b>	de más de 6 meses	1
	Hasta 6 meses	0,4
<b>conejos</b>	Reproductoras (Cualquier edad)	0,04
	Coneja ciclo cerrado (Cualquier edad)	0,04
	Cebo (Cualquier edad)	0,04

**Tabla 7: Equivalencias en UGM de los distintos tipos de ganado. Elaboración propia.**

*Fuente de datos: "BOE" núm. 162, de 8 de julio de 2005.*

En la tabla nº 8 se muestra el número total de efectivos de ganado contabilizados en cabezas de ganado y su correspondiente conversión a UGM.

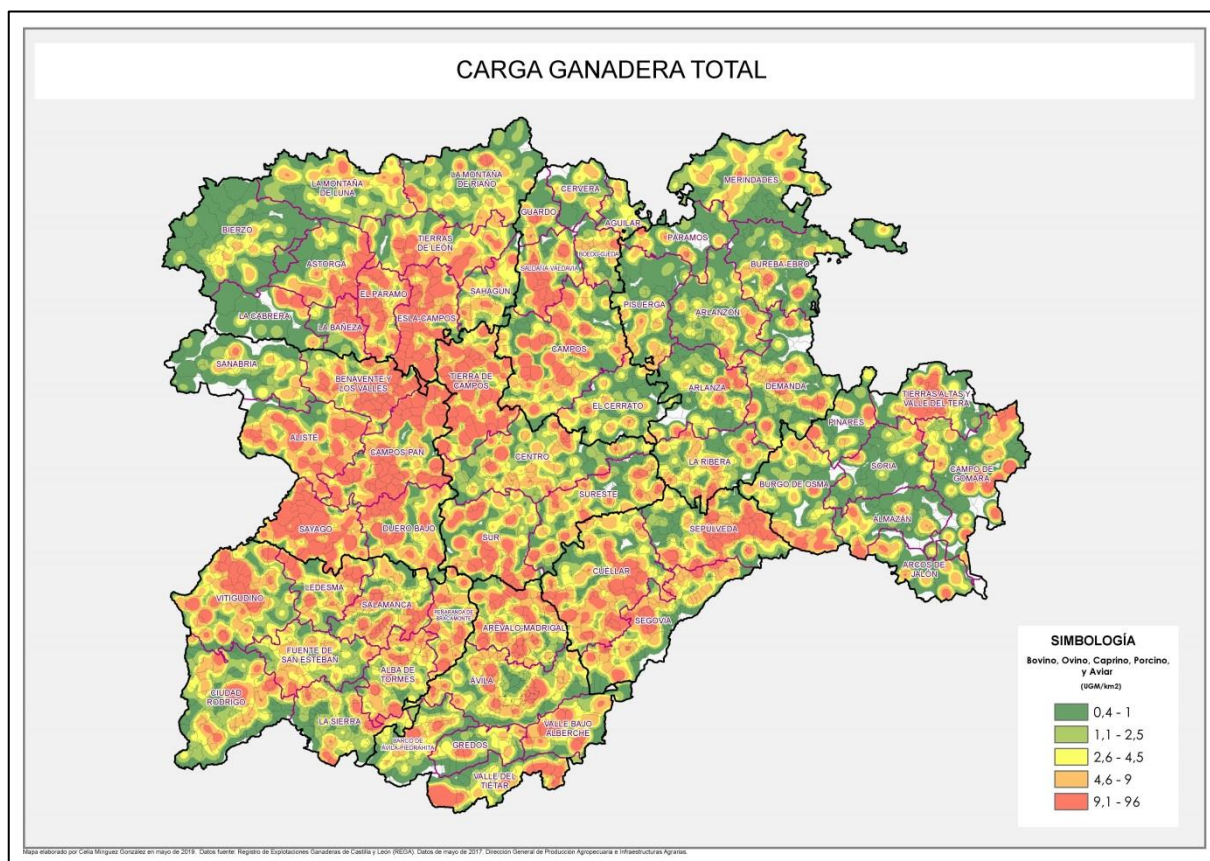
<b>Efectivos de ganado según especies</b>		
<b>Especie</b>	<b>Cabezas de ganado</b>	<b>UGM</b>
<b>Bovino</b>	1.400.130	1.128.621
<b>Ovino</b>	2.531.622	379.743
<b>Caprino</b>	120.201	18.030
<b>Porcino</b>	3.975.293	477.595
<b>Aves</b>	39.990.973	195.362
<b>TOTAL</b>	<b>48.018.219</b>	<b>2.199.352</b>

**Tabla 8: Efectivos ganaderos totales según especies. Elaboración propia. Fuente de datos: Servicio de Estudios, Estadística y Planificación Agraria de la Consejería de Agricultura y Ganadería (Junta de Castilla y León).**

Los detalles del número de explotaciones ganaderas analizadas, así como la distribución provincial de las mismas para el año de referencia, se pueden consultar en el ANEXO II- Tablas 28 y 29.

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

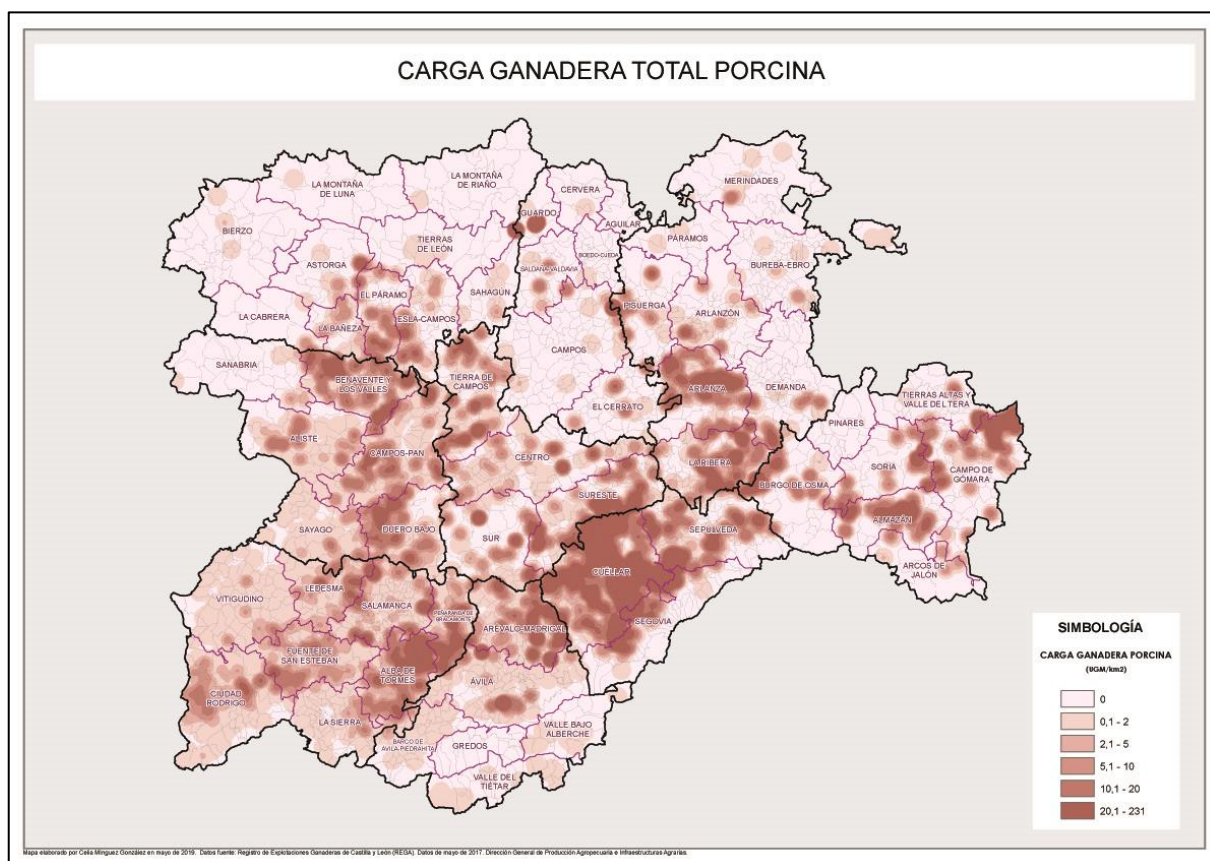
En el mapa G001 se ha representado la densidad de la carga ganadera total de las especies bovina, porcina, ovino, caprino, y aviar. Se han representado las unidades ganaderas (UGM/Km<sup>2</sup>) que se emplean para poder realizar análisis globales y comparativos de las explotaciones ganaderas. El cálculo de unidades ganaderas equivalentes se realiza multiplicando por un factor de ponderación —dependiente de la especie y en algunos casos la edad del animal— el número de cabezas reales de ganado.



**Mapa G001: Carga ganadera del total de las cabañas estudiadas en Castilla y León. Elaboración propia.**

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

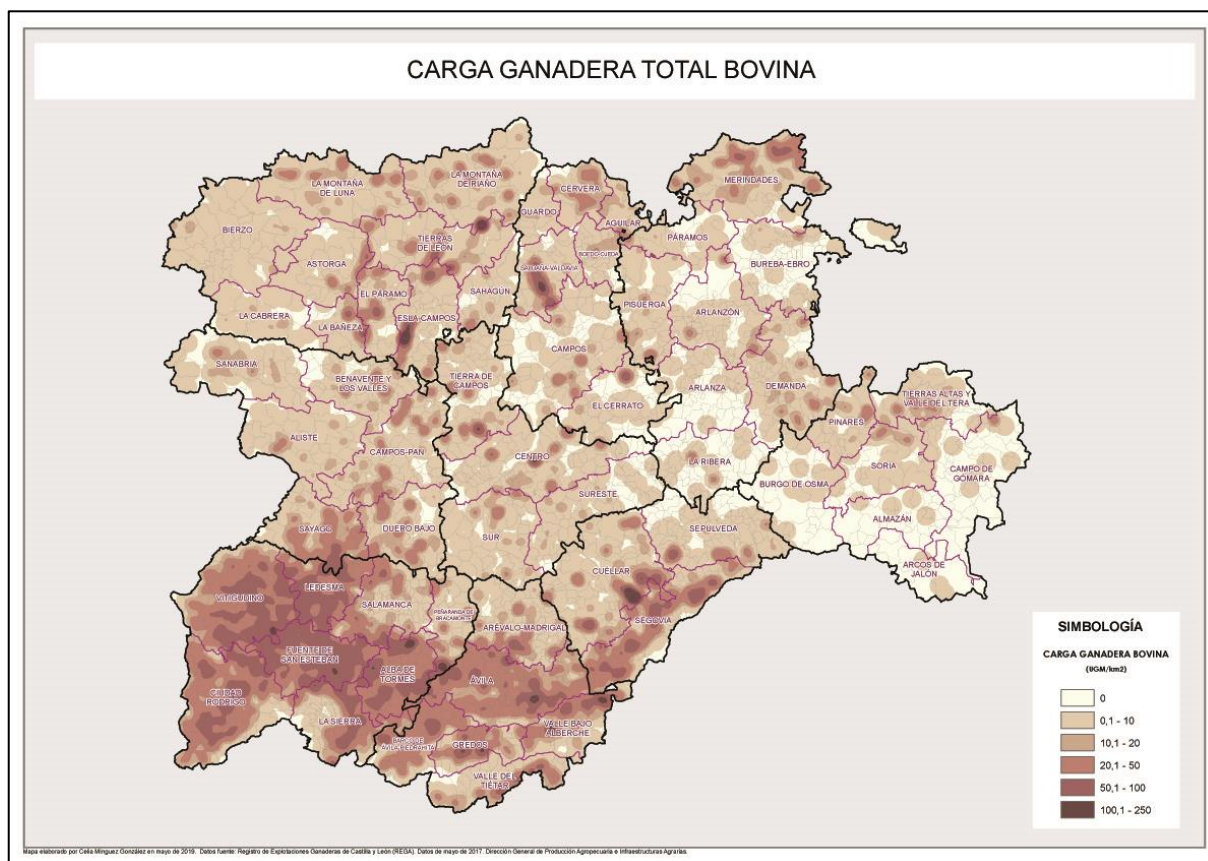
La carga ganadera de la cabaña porcina, tal y como observamos en el mapa G003 se concentra en gran medida en las provincias de Segovia, con un 30%, Salamanca y Soria con un 15% y un 12% respectivamente. Por comarcas agrarias en Segovia destaca la de Cuellar y Sepúlveda, en Salamanca Alba de Tormes y Peñaranda de Bracamonte y en Soria las comarcas de Almazán y Campo de Gomara.



**Mapa G003: Carga ganadera total porcina**

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

La carga ganadera de la cabaña Bovina se muestra en el mapa G003, concentrándose fundamentalmente en las provincias de Salamanca, Ávila y León con porcentajes de 41 %, 17 % y 10% respectivamente.



**Mapa G003: Carga ganadera total bovina**

En el DOCUMENTO 10. MAPAS se pueden revisar con más detenimiento los mapas elaborados para mostrar la densidad de cada cabaña ganadera estudiada por comarcas agrarias (mapas del G001 a G005).

### 4.5 ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA POTENCIAL

En Castilla y León no existe de momento como tal un registro oficial de producción de residuos procedentes de la agricultura y la ganadería, lo cual hace necesario que la cuantificación de su potencial requiera primeramente de información disponible y en segundo lugar la utilización de métodos de cálculo capaces de evaluarlo con la máxima aproximación.



Para poder estimar la cantidad de residuos agrícolas y ganaderos desde el análisis territorial, se han realizado los cálculos correspondientes utilizando dos parámetros básicos:

- La **superficie por cultivo y tipo de cultivo** por provincias, municipios y comarcas agrarias, para estimar los residuos agrícolas.
- El **número de cabezas de ganado y por tipo**, por provincias, municipios y comarcas agrarias, para los residuos ganaderos.

---

#### A. BIOMASA POTENCIAL AGRÍCOLA

Para estimar **la biomasa potencial agrícola (t/año)** que se genera en Castilla y León se ha partido de la superficie ocupada en el territorio por el cultivo y del rendimiento medio por cultivo<sup>32</sup>.

La expresión utilizada para el cálculo de la **biomasa residual para cultivos herbáceos** es la que se presenta a continuación y es una adaptación de la que se utiliza en el estudio del “Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía”<sup>33</sup>.

$$\begin{aligned} & \textit{Biomasa residual agrícola herbáceos (BRAH)} \\ &= \sum S_{\text{cultivo}} (\text{ha}) \times \eta_{\text{cultivo}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{ha} * \text{año}} \right) \times \text{IR} \left( \frac{\text{Kg residuo}}{\text{Kg cultivo}} \right) \\ &= \text{Kg /año} \end{aligned}$$

Dónde:

BRAH= Biomasa potencial de residuos agrícolas herbáceos (t /año).

$S_{\text{cultivo}}$  = superficie asignada a un cultivo determinado (ha).

$\eta_{\text{cultivo}}$  = Rendimiento medio del cultivo (kg producto/ha\*año). Se ha considerado un rendimiento medio para cada cultivo y provincia del estudio.

IR (basado en el rendimiento del cultivo) = índice de residuo específico de cada cultivo (Kg residuo/Kg de cultivo)<sup>34</sup>.

Los valores del IR utilizados en los cálculos resultan muy relevantes en este tipo de cálculos ya que pueden condicionar en gran medida la cuantificación de la biomasa residual total, puesto que pueden ser bastante dispares, dependiendo de la bibliografía consultada. También hay que tener en cuenta que estos índices están

---

<sup>32</sup> En el ANEXO I, puntos 2 al 5 (tablas 2 a 26) se pueden consultar los rendimientos medios de producción de cada cultivo utilizados en este trabajo. Se trata de los rendimientos medios por cultivo en el año 2017 y se han considerado tanto para cultivos de secano, como para cultivos de regadío, si bien los datos finales de biomasa residual se calculan y representan sobre los datos totales, sin hacer una separación entre el secano y el regadío. Estos datos han sido extraídos de la estadística oficial de la JCYL a través del [2] Portal de la Junta de Castilla y León de datos abiertos de superficies y cultivos.

<sup>33</sup> Del estudio del “Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía”, p.29

<sup>34</sup> El índice de residuo (IR) o ratio residuo producto relaciona la producción de residuos con el rendimiento productivo del cultivo (kg de residuo/kg de producto).

determinados por el porcentaje de humedad que tiene la biomasa residual cuando esta se va a retirar del campo.

Se ha optado por utilizar la expresión que utiliza el índice de residuo (IR) basado en el rendimiento del cultivo, ya que relacionar la producción de biomasa residual con el rendimiento específico de la zona donde se localiza un determinado cultivo supone, entre otras cosas, que los condicionantes climáticos, agronómicos, así como las técnicas empleadas en cada cultivo dependan en gran medida de la producción final de biomasa residual que se obtenga.

A continuación, se exponen las tablas que contienen los valores utilizados para el índice de residuo de los cultivos herbáceos:

Cultivos	Ratio Residuo Producto de cultivos herbáceos (Kg residuo/kg producto)
Trigo (1)	1,2
Cebada (3)	1,3
Avena (2)	2,3
Centeno (2)	1,5
Triticale (2)	1,5
Maíz (1)	2
Girasol (1)	3
Colza (2)	3
Camelina	3
Remolacha (2)	0,3
Patata (2)	0,2

*Tabla 9: Ratio residuo producto (Kg residuo/Kg producto). Kilogramos de residuo que se obtienen por kilogramo de producto con su humedad natural en el momento de la cosecha.*

Fuentes consultadas:

(1) CENER-CIEMAT

CENER: Centro Nacional de Energías Renovables.

CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Ministerio de Educación y Ciencia.

(2) Fernández González, J. ETSIA-UPM, 2003. En "Energía de la biomasa".

Cultivos	Residuos medios en fresco de los cultivos hortícolas (t/ha)
tomate	73,3
berenjena	44,6
calabacín	44,5
pepino	38,5
pimiento	37
melón	33,2
judías verdes	27,4

*Tabla 10: Residuos medios en fresco de los cultivos hortícolas (t/ha).*

Fuente consultada: "Caracterización de los residuos vegetales de invernadero en Almería" (López et al.) VII Congreso Ibérico de agroingeniería y Ciencias Hortícolas, 2013.

Para estimar la biomasa de los cultivos leñosos se parte de la superficie media cultivada por municipio y cultivo, pero en este caso se utiliza un IR basado en la superficie (no basado en el rendimiento del cultivo). La forma de estimarlo es también una adaptación de la que se realiza en el estudio del “Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía”<sup>35</sup>.

Para la biomasa de cultivos leñosos se utilizan los índices de producción de biomasa residual por unidad de superficie (Kg/ha\*año) que aparecen en la tabla nº 11. Las ratios utilizadas para este estudio son las más utilizadas en estudios de evaluación de biomasa para la estimación de la generación de residuos de poda ya que no es posible encontrar relaciones para todos los casos entre la cantidad de residuos generada y la producción. Estos índices tienen la limitación de no diferenciar entre los sistemas de explotación, las condiciones agroclimáticas y el estado en que se encuentran los cultivos plurianuales leñosos.<sup>36</sup>

Por todo lo explicado en los párrafos superiores para la biomasa residual agrícola de cultivos leñosos aplicaremos la siguiente fórmula de cálculo:

$$\text{Biomasa residual agrícola leñosos (BRAL)} \\ = \sum S_{\text{cultivo}} (\text{ha}) \times \text{IR} \left( \frac{\text{Kg residuo}}{\text{ha} * \text{año}} \right) = \text{Kg/año}$$

Dónde:

S = superficie asignada a un cultivo determinado (ha).

IR (basado en la superficie) = índice de residuo específico de cada cultivo (ratio residuo producto del cultivo).

Cultivos	Ratio Residuo Producto de cultivos leñosos (t/ha*año)
Frutos secos (2)	0,8
Frutales de hueso y pepita (2)	4,8
cítricos (1)	2
Olivar (2)	0,7
Viñedo (2)	3,5

Tabla 11: Ratio residuo producto (t/ha\*año). Para el cálculo del residuo generado con los cultivos leñosos se han utilizado valores medios de producción de biomasa residual por unidad de superficie.

Fuentes consultadas: IDAE (1), Fernández González, J. ETSIA-UPM, 2003 (2)

Después de estimar la biomasa residual por cada cultivo ha sido necesario aplicar a los datos unos factores de corrección o porcentaje de disponibilidad de los residuos, ya que no todos los residuos que se generan sirven para su aprovechamiento o retirada. Una parte de estos residuos se dejan sobre el terreno por cuestiones técnicas (la maquinaria de recolección del fruto no es capaz de retirar todo el residuo)

<sup>35</sup> Del estudio del “Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía”, p.31

<sup>36</sup> Estudio sobre el aprovechamiento energético de la biomasa, energías renovables y reducción de emisiones de CO2 en los municipios de castilla y león. Potencial de biomasa disponible para la generación de energía en Castilla y León, (pág 66).



y también por cuestiones medioambientales. Además de lo anterior hay que tener en cuenta que la disponibilidad de los residuos frente a otros usos posibles condiciona su uso, como por ejemplo ocurre con la baja disponibilidad de la paja de cereal debido al alto grado de utilización por parte de los ganaderos, para cama y forraje del ganado. Ocurre lo contrario para los residuos procedentes del cultivo del girasol o del maíz, donde la disponibilidad del mismo aumenta ya que son productos poco utilizados para la ganadería.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los factores de corrección utilizados (% de disponibilidad, D) en el presente trabajo y que han sido extraídos del “Estudio para la determinación del potencial de producción de energía a partir de biomasa. Comunidad de Castilla y León” publicado por el ITACYL.

Valor de la biomasa residual anual disponible	
Cultivo	% disponibilidad (D)
Cereales grano trigo-cebada-avena	6 %
Maíz	14 %
Girasol	14 %
Frutales no cítricos	40 %
Viñedo	40 %
Olivar	40 %
Otros cultivos leñosos	40 %

*Tabla 12: Factores de disponibilidad de la biomasa disponible procedente de residuos agrícolas. Fuente de datos: Estudio para la determinación del potencial de producción de energía a partir de biomasa. Comunidad de Castilla y León. ITACYL.*

El valor de la biomasa residual anual disponible vendrá dado por las fórmulas explicadas anteriormente, pero corregidas por los factores de disponibilidad de cada cultivo.

Finalmente, y para representar en los mapas los datos calculados anteriormente, se ha realizado una agrupación de los residuos totales generados en cada municipio y comarca agraria, de manera que la **BIOMASA TOTAL RESIDUAL AGRÍCOLA** se ha estimado a través de la expresión siguiente:

$$Biomasa\ residual\ agrícola\ total\ (BRAT) = BRAH + BRAL = \frac{t}{año}$$

Dónde:

BARH = Biomasa residual agrícola de los cultivos herbáceos (t/año).

BARL = Biomasa residual agrícola de los cultivos leñosos. (t/año)

A partir de la estimación de la biomasa total, se ha calculado la **materia seca disponible de la biomasa agrícola potencial** teniendo en cuenta el porcentaje de humedad en origen de cada cultivo según datos de la tabla siguiente:

Cultivos	Humedad en origen (%)
Trigo	13
Cebada	13
Avena	13
Centeno	13
Triticale	13
Maíz	20
Girasol	9
Colza	9
Camelina	9
Remolacha	20
Patata	15
Cult. Hortícolas (1)	60
Vid	5
Frutales	5
Olivo	5

*Tabla 13: Porcentaje de humedad en origen de los diferentes cultivos.*

*Fuente de datos: PBCYL. (1) en cultivos Hortícolas la fuente de datos utilizada ha sido "Caracterización de los residuos vegetales de invernadero en Almería" (López et al.) VII Congreso Ibérico de agroingeniería y Ciencias Hortícolas, 2013.*

En el DOCUMENTO 10. MAPAS se pueden consultar los mapas que representan de forma gráfica la producción potencial de biomasa agrícola, (mapas del C012 al C014). Además, en el ANEXO III se puede consultar el detalle de la biomasa potencial agrícola por provincias y grupos de cultivos (tablas 32 a 34). El análisis de los resultados obtenidos se analizará en el apartado 5. Resultados y Discusión.

## B. BIOMASA POTENCIAL GANADERA

La cuantificación **de los residuos totales generados por las deyecciones ganaderas** se ha hecho a partir de unas tasas o coeficientes de producción de los estiércoles y purines en función del tipo de ganado. Previamente se ha revisado de manera extensa diferente bibliografía de referencia para determinar cuáles son las tasas más representativas sobre la producción anual de deyecciones por cada tipo de animal en Castilla y León<sup>37</sup>.

La caracterización de las deyecciones ganaderas depende de muchas variables como la alimentación, el estado fisiológico de los animales, la edad, etc., otorgándole tal aspecto una elevada heterogeneidad, y haciendo imposible además tener en

<sup>37</sup> Ver tabla 14 en página siguiente.

cuenta todos los factores que intervienen en esa variabilidad. Los valores en los que se encuentra la composición de las deyecciones son muy variables y se pueden mover en intervalos amplios por lo que para poder tener una aproximación lo más fehaciente posible de cada cabaña analizada, se diferencia además por cada tipo de animal analizado. Por ejemplo, para el sector bovino se ha diferenciado entre bovino de leche y de carne, para el sector porcino se ha distinguido entre lechones, animales de recría, cebo, reposición, hembras reproductoras y verracos, etc.

Al igual que ocurría con los residuos de origen vegetal, la cantidad de biomasa residual de origen animal se calcula además teniendo en cuenta la disponibilidad de cada uno de los residuos, ya que hay que hacerlo en términos de **“biomasa de origen animal disponible”** o **factor de disponibilidad (FD)**, entendiéndose como tal la fracción que sea accesible de forma rentable considerando además otros usos alternativos (alimentación animal, compostaje, recuperación de compuestos activos, etc.) Así pues, teniendo esto en cuenta, para hallar finalmente la cantidad total del potencial de biomasa ganadera se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Cabaña bovina:** La mayoría de las explotaciones de leche y cebo de Castilla y León trabajan con régimen intensivo, con lo que se ha considerado el 100% de los residuos producidos por estos animales. En el caso de los animales de carne, la mayoría de las explotaciones trabajan en régimen extensivo, tomando por ello solamente el 13%<sup>38</sup> de su biomasa. Los desechos que producen estos animales se consideran como estiércol bovino.

- **Cabaña porcina:** En las provincias de Zamora y Salamanca un 5% del ganado porcino se encuentran en régimen extensivo, por este motivo se han contabilizado el 95%<sup>39</sup> de los residuos generados. En el resto de las provincias se ha considerado el 100%. Los desechos que producen estos animales se consideran como purines.

- **Cabaña avícola:** se ha contemplado el 100%<sup>40</sup> de la biomasa producida por estos animales ya que se trata de animales en cría intensiva.

- **Cabaña ovina y caprina:** los residuos generados por las deyecciones de la cabaña ovina y porcina es un buen abono, además a medida que la cantidad de materia sólida en los residuos ganaderos aumenta, se incrementan su valor y la facilidad de transporte hasta zonas agrícolas con demanda, por lo que disminuye su potencial disponibilidad para otros usos, como el energético. Por lo anterior no se considerará la potencialidad de esta biomasa para los cálculos del estudio.

De forma general para el cálculo del potencial total de biomasa por especie se ha utilizado la siguiente expresión:

$$BPRG = N^{\circ} \text{ de cabezas} * \text{Producción de residuo} \left( \frac{t}{\text{año} * \text{cabeza}} \right) * FD = t/\text{año}$$

---

<sup>38</sup> Ratio tomada del “Estudio para la determinación del potencial de producción de energía a partir de biomasa. Comunidad de Castilla y León”, elaborado por el ITACYL. (Pág.52)

<sup>39</sup> Fuente: PBCYL. (Pág 59).

<sup>40</sup> Fuente: PBCYL. (Pág 59).

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

Dónde:

BPRG= Biomasa potencial de residuos ganaderos (t /año)

Nº de cabezas= número de cabezas consideradas por cada especie animal analizada.

Producción de residuo= producción media de las deyecciones según cabaña ganadera (t/año\*cabeza).

FD = Factor de disponibilidad según cabaña ganadera.

**Deyecciones por tipo de plaza ganadera y fase productiva y generación de nitrógeno excretado.**

Especie	Tipo de explotación	Producción de estiércoles	Purín	Nitrógeno Excretado	Densidad del estiércol
		t/año	m3/plaza y año	N. Kg/año y plaza	(t/m3)
<b>Aves</b>	Gallinas ponedoras	0,015	0,01	0,48	0,9
	Pollos	0,01	0,01	0,24	0,8
	Patos	0,102	0,08	0,24	0,8
	Pavos	0,18	0,14	0,56	0,8
	Codornices	0,00267	0	0,03	0,8
	Perdices	0,064	0,05	0,07	0,8
<b>Bovino</b>	Leche	15,52	19,4	80,22	0,8
	Carne	9,28	11,6	53,15	0,8
	Cebo	7,68	9,6	40	0,8
<b>Caprino</b>		0,62	0,5	7,39	0,8
<b>Ovino</b>		0,66	0,53	5,36	0,8
<b>Porcino (1)</b>	Lechones de 6-20 Kg	0,41	0,37	1,19	0,9
	Cerdo de 20-50 Kg	1,8	1,62	6	0,9
	Cerdos de 50-100 Kg	2,5	2,25	8,5	0,9
	Madres con lechones de 0-6 Kg	5,1	4,59	15	0,9
	Madres con lechones de hasta 20 Kg	6,12	5,51	18	0,9
	Cerdas de reposición	2,5	2,25	8,5	0,9
	Cerdas en ciclo cerrado	17,75	15,98	57,6	0,9
	Verracos	6,12	5,51	18	0,9

**Tabla 14: Generación de Nitrógeno y deyecciones por tipo de plaza ganadera y fase productiva. Elaboración propia.**

*Fuente de datos: Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs.*

(1) En porcino se han tomado los valores establecidos en el RD 324/2000 de ordenación de explotaciones porcinas intensivas.

Tras la estimación de la biomasa residual ganadera, se ha calculado la biomasa total valorizable en términos de la cantidad de materia seca disponible. Para ello se ha considerado la riqueza en materia seca de los estiércoles según los datos disponibles en el Código de Buenas Prácticas agrícolas de Castilla y León<sup>41</sup> y que se resume en la tabla siguiente:

Riqueza en materia seca de los estiércoles (Kg/1000 kg Estiércol)					
Estiércol	Conejos	Bovino	Porcino	Ovino/caprino	Avícola
m.s	450	230	272	384	500

*Tabla 15: Riqueza en materia seca de los estiércoles*  
*Elaboración propia. Fuente de datos: CÓDIGO DE BUENAS PRÁCTICAS. Decreto 40/2009, de 25 de junio, por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero, y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias.*

En el ANEXO III se puede consultar el detalle de la biomasa potencial ganadera por provincias y cabañas (tabla 35). El análisis de los resultados obtenidos se analizará en el apartado 5. Resultados y Discusión.

En el DOCUMENTO 10. MAPAS se pueden consultar los mapas que representan de forma gráfica la producción potencial de biomasa ganadera, (mapa G006). Además, en el ANEXO III se puede consultar el detalle de la biomasa potencial ganadera por provincias y cabañas de ganado (tablas 35 a 37).

#### 4.6 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE LA BIOMASA RESIDUAL

Tras el cálculo de la biomasa total generada por cada residuo analizado, se ha hecho una estimación tanto de la producción potencial del biogás que se podría generar ( $m^3/año$ ) como del potencial energético total ( $tep/año$ ). Posteriormente se han analizado los resultados desde el Sistema de Información Geográfico para elaborar una serie de mapas que analizaremos en el apartado 5. Resultados y Discusión.

El biogás es un gas combustible que se genera por las reacciones de degradación de la materia orgánica (biomasa) mediante la acción de microorganismos y otros factores, en un ambiente anaerobio, es decir, en ausencia de oxígeno. A dicho proceso de degradación se le denomina digestión anaerobia. El biogás generado está constituido principalmente por metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y puede ser usado como combustible y/o electricidad.

---

<sup>41</sup> CÓDIGO DE BUENAS PRÁCTICAS. Decreto 40/2009, de 25 de junio, por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero, y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias.

## A. BIOMASA AGRÍCOLA

Para estimar el **potencial productivo de energía (tep/año) para la biomasa agrícola** se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:

- **CANTIDAD TOTAL DE BIOMASA GENERADA POR CADA CULTIVO**
- **PODER CALORÍFICO INFERIOR DE CADA TIPO DE RESIDUO**<sup>42</sup>, que depende a su vez del contenido de humedad<sup>43-44</sup>.

Poder calorífico inferior (PCI) de los residuos de cultivos (herbáceos y Leñosos)		
CULTIVO	PCI (Kcal/Kg)	PCI (tep/t)
Cebada	3714	0,3714
Trigo	3702	0,3702
Avena	3733	0,3733
Maíz	3597	0,3597
Girasol	3382	0,3382
Remolacha	3630	0,363
Otros residuos agrícolas (1)	3310	0,331
Biomasa agrícola (2)	3000	0,3
Olivar	3190	0,319
Vid	3280	0,328
Frutales	3002	0,3002

*Tabla 16. Poder Calorífico Inferior (PCI) de los residuos de los distintos cultivos (kcal/kg).*

*Fuente de datos consultados:*

*CIEMAT para el caso de trigo, maíz, cebada, avena, girasol, frutos secos, cítricos y frutales; Fernández, J. para el caso de remolacha, olivar y viñedo; ("Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía, p.27)*

*(1 y 2) En Eurostat, AIE y Resolución de la Secretaría de Estado de Energía de 27 de diciembre de 2013 que modifica a la Orden ITC/2877/2008.*

La expresión utilizada para el cálculo del Potencial energético de la biomasa agrícola es la que se presenta a continuación:

<sup>42</sup> Se define como Poder Calorífico Inferior (PCI) a la cantidad de energía que se desprende en la combustión de una unidad de masa de un material combustible en la que el agua libre se libera en forma de vapor. Si esta agua se condensa desprendería calor, y obtendríamos entonces el Poder Calorífico Superior (PCS), añadiendo al PCI este calor desprendido. Por tanto, el PCI es menor que el PCS, y, a mayor humedad del combustible, mayor resultará esta diferencia. ("Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía, p.27).

<sup>43</sup> Ver tabla 13.

<sup>44</sup> La humedad a la que se expresa el poder calorífico es la que contiene la biomasa producida según el índice de residuo considerado Ver tablas 9 a 11.

**Potencial energético (PEBA)**

$$= \text{biomasa residual} \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) \times PCI_{\text{residuos}} \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \right) \times \frac{1}{10^7} \left( \frac{\text{tep}}{\text{Kcal}} \right)$$

$$= \text{tep/año}$$

Dónde:

PEBA= Potencial Energético Biomasa agrícola (tep /año).

$PCI_{\text{residuos}}$  = Poder calorífico inferior de los residuos (Kcal/Kg).

Para estimar **la producción de biogás procedente del residuo agrícola** se ha considerado que la producción de biogás se realizará sobre el 70% de la materia seca disponible, y se tendrá en cuenta una producción de biogás para ese sustrato de 0,7 m<sup>3</sup>·kg-1 de SV, (Bolado, S., Toquero, C, 2016).

**B. BIOMASA GANADERA**

A partir de que hemos obtenido la biomasa ganadera por cada cabaña estudiada, se ha estimado primeramente la cantidad de metano (CH<sub>4</sub>) que generan las deyecciones de cada especie ya que, el valor energético del biogás producido mediante digestión anaerobia está determinado principalmente por su concentración en este gas.

Las referencias utilizadas para el cálculo del metano generado en cada explotación ganadera estudiada (se analiza por cabezas de ganado), se han extraído del “Manual de Estado del Arte de la Co-Digestión Anaerobia de residuos ganaderos y agroindustriales”<sup>45</sup>, y se muestran en la siguiente tabla:

Metano generado por cada especie	
Especie	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / t SV (promedio)
Porcino	347
Bovino	196
Avícola	272

*Tabla 17. Producción de metano a partir de residuos ganaderos por especie. Elaboración propia.*

*Fuente de datos: PROBIOGÁS Manual Estado del Arte de la Co-digestión Anaerobia de Residuos Ganaderos y Agroindustriales.*

Los valores límite de la composición química del biogás son los que se muestran en la tabla nº 18, pero por lo general la composición que suele manejarse en la mayoría de estudios es de 60 % de gas metano (CH<sub>4</sub>), 40 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y con mínimas cantidades de otros compuestos.

<sup>45</sup> <http://www.probiogas.es/> “Manual de Estado del Arte de la Co-Digestión Anaerobia de residuos ganaderos y agroindustriales” pág.5

Elemento	%
Metano (CH <sub>4</sub> )	50-70
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	30-50
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0.5-3
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	0.1
Ácido Sulhídrico(H <sub>2</sub> S)	0.1-1
Vapor de Agua (H <sub>2</sub> O)	Trazas

*Tabla 18: Composición química del biogás.  
Fuente de datos: Blanco et al. (2011)*

Por lo anterior para calcular el **biogás producido** por los residuos de origen animal se ha considerado un 60% del CH<sub>4</sub> generado por cada especie.

Para la conversión del *potencial energético* obtenido en metros cúbicos por año por residuo (Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/año; Nm<sup>3</sup>: volumen referido a condiciones estándar, esto es, 0°C y 1 bar de presión) a kilotoneladas equivalentes de petróleo por año (ktep/año), se ha considerado un Poder Calorífico Inferior (PCI) de 9,96 kWh/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>. Además, se ha aplicado la equivalencia 1 kWh=8,6\*10<sup>-5</sup> tep<sup>46</sup>.

En el ANEXO IV se pueden consultar las tablas resumen extraídas a partir de todos los cálculos realizados para estimar tanto el potencial energético de la biomasa de cada sector analizado, como los de la producción de biogás (tablas 36 a 41).

La representación del potencial energético en los mapas se realiza por un lado en términos de potencial energético total generado en tep/año<sup>47</sup>, pero también se realiza en términos de densidad energética superficial, expresada en tep/km<sup>2</sup>, para cada cultivo y especie ganadera. Con estas premisas se ha cartografiado la densidad energética superficial de los residuos de los cultivos por grupos de cultivos (herbáceos y leñosos) (ver el DOCUMENTO 10. MAPAS C015, C016 y C017).

Para los residuos ganaderos se ha representado la densidad energética superficial generada por la ganadería estudiada de forma conjunta (vacuno+porcino+aviar) (ver el DOCUMENTO 10. MAPAS G007).

También en el mismo documento de MAPAS se pueden consultar los mapas que representan de forma gráfica estimación del biogás producido por cada tipo de residuo (mapas C021 a C023, mapa G008 y mapas T002 y T003.)

El análisis de los resultados obtenidos se analizará en el apartado 5. Resultados y Discusión, además se situará en un mapa los posibles emplazamientos para la

<sup>46</sup> Fuente de datos: Estudio para la determinación del potencial de producción de energía a partir de biomasa. Comunidad de Castilla y León. Junta de Castilla y León e ITACYL. (Pág. 53).

<sup>47</sup> 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).



instalación de plantas de valorización energética siguiendo criterios de densidad, tanto de producción potencial de biogás, como del potencial energético generado con el total de biomasa agropecuaria analizada en el TFM. Este mapa de situación se ha realizado con el único propósito de que pueda servir de guía para posteriores trabajos o estudios.

#### 4.7 VALORIZACIÓN FRACCIONAL DE LA BIOMASA RESIDUAL AGROGANADERA

Por lo general la biomasa residual se podría valorizar en su totalidad con un solo proceso (generalmente de tipo térmico) del cual se obtiene un número de productos que es limitado, (Apartado 4.6)

Existe además otra opción actualmente en desarrollo, pero con resultados prometedores. Se trata de realizar una valorización **fraccional del material**, previo pretatamiento del mismo, con el fin de obtener varios subproductos.

En esta apartado, se va a explicar brevemente como podría aprovecharse la biomasa residual de forma fraccionada. Se explicará por un lado lo referente a la biomasa agrícola y por otro la valorización fraccional de la ganadera.

#### A. ETANOL Y LIGNINA DE LA BIOMASA AGRÍCOLA

La lignina procedente de la biomasa agrícola, está constituido fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, además de otros compuestos.

Para poder aprovechar la mayor parte de ese residuo se propone realizar una **valorización fraccional de los compuestos estructurales** que componen todo el material (celulosa, hemicelulosa y lignina).

A continuación de muestra una caracterización química de la biomasa agrícola, que servirá de base para realizar los cálculos de los materiales a valorizar:

Composición química del material lignocelulósico				
	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Otros productos (%)
Biomasa agrícola	50	20	15	10

Tabla 19: Composición química del material lignocelulósico de la biomasa agrícola.

Fuente de datos: (Toquero, C., Bolado, S., 2014)

No vamos a entrar a valorar, ni a explicar los métodos para valorizar ese material, ya que no es objeto del estudio que nos ocupa, pero teniendo en cuenta los parámetros de composición anteriormente descritos, así como las referencias

encontradas en Toquero, C., Bolado, S. (2014)<sup>48</sup>, podemos realizar una estimación de las materias primas que se puede extraer a partir de los cultivos analizados para obtener los azúcares de cuya fermentación se obtendrá ETANOL<sup>49</sup>.

Se considera un contenido en carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) de la materia seca del 70% y un rendimiento global de extracción, solubilización de azúcares fermentables tras el pretratamiento y la hidrólisis de la biomasa y fermentación del 70%. Teniendo en cuenta que el factor de conversión es 0,51 gramos de etanol por gramo de azúcar fermentado, la producción neta de etanol sería de aproximadamente 25 g de etanol por cada 100 g de biomasa seca

Al extraer los azúcares de la materia seca residual, la lignina que sobra se puede aprovechar también, por ello se ha tenido en cuenta la cantidad de lignina que se puede extraer (15 g por Kg de residuo) para, posteriormente en el apartado de resultados y discusión proponer (al igual que en el caso de la producción de biogás y del potencial energético anterior), un mapa de los posibles emplazamientos de plantas de valorización de los compuestos estructurales procedentes de la biomasa linocelulósica, en etanol con aprovechamiento de lignina.

El resumen de los cálculos realizados para valorar las materias primas que se podrían extraer de la biomasa agrícola se puede ver en la tabla siguiente:

PROVINCIA	GLUCOSA (Celulosa y hemicelulosa) (t/año)	ETANOL (t/año)	LIGNINA (t/año)
AVILA	21.921	10.961	6.576
BURGOS	62.681	31.341	18.804
LEÓN	107.154	53.577	32.146
PALENCIA	25.701	12.851	7.710
SALAMANCA	50.181	25.090	15.054
SEGOVIA	28.577	14.288	8.573
SORIA	24.297	12.148	7.289
VALLADOLID	72.558	36.279	21.767
ZAMORA	50.440	25.220	15.132
<b>TOTAL</b>	<b>44.3509</b>	<b>221.754</b>	<b>133.053</b>

*Tabla 20: Materia prima extraída de la biomasa agrícola. Elaboración propia  
Fuente de datos: (Toquero, C., Bolado, S., 2014)*

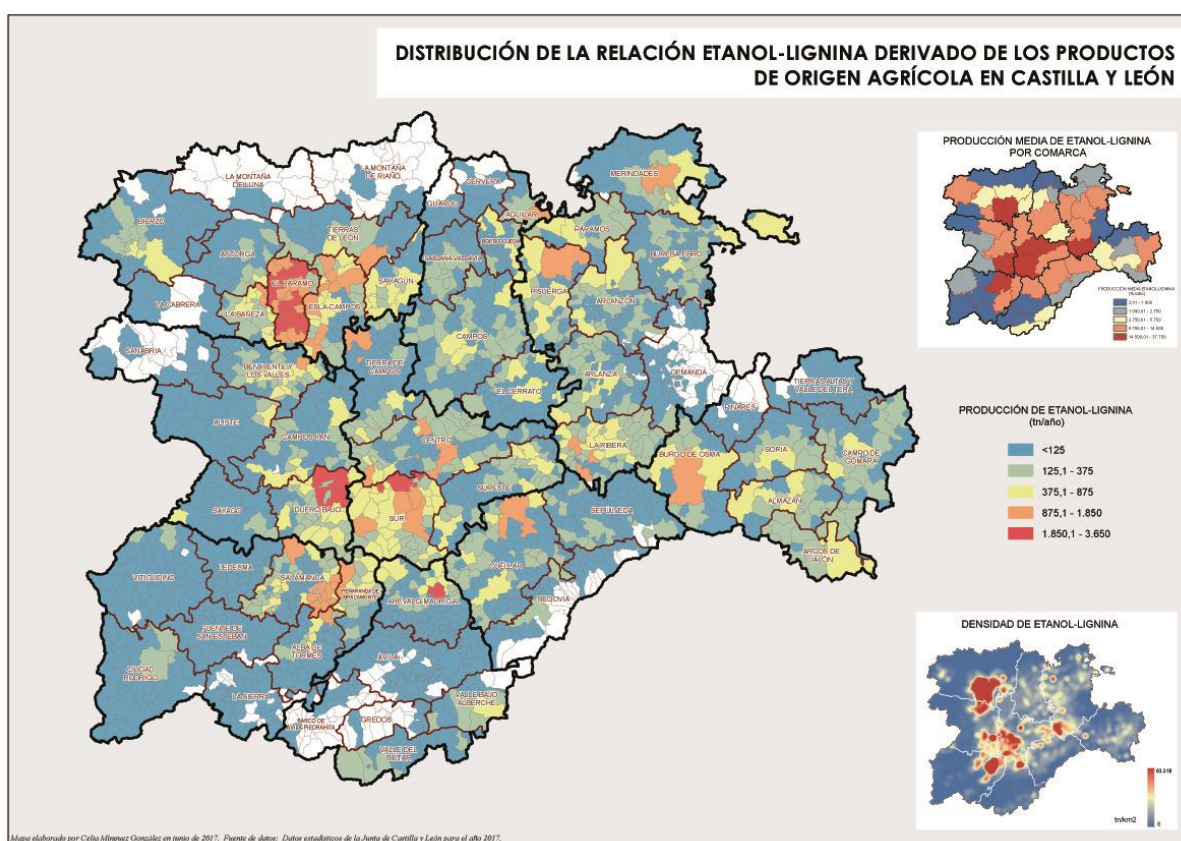
<sup>48</sup> También se ha considerado lo descrito al respect en: Toquero, C., Bolado, S. Effect of four pretreatments on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation of wheat Straw. Influence of inhibitors and washing. BIORESOURCE TECHNOLOGY. 157. 68-76 2014.

<sup>49</sup> El etanol o bioetanol es un biocombustible líquido de origen biológico que se utiliza como combustible en sustitución de los derivados del petróleo o como aditivos de estos para su uso en motores. Su producción se consigue por la fermentación de glucosa procedente de biomasa azucarada o amilácea

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

La producción total de ETANOL (t/año) que se podría obtener en el año de referencia estaría en 221.754 t/año, siendo la provincia de León donde se obtendría el 25% del total, seguido de la provincia de Valladolid con un 14% del total producido.

Desde el punto de vista comarcal, tal y como se puede observar en el mapa siguiente C018, que representa la distribución de la relación etanol-lignina derivado de los productos de origen agrícola en castilla y león, las comarcas de El Páramo y la Esla Campos en León, la del Duero Bajo en Zamora, La Ribera en Burgos, la Sur en Valladolid y la comarca de Salamanca destacan de entre las demás por tener una densidad superficial de etanol y lignina de aproximadamente 6 3.318 t/Km<sup>2</sup>, lo cual supone.



**Mapa C018: Distribución de la relación etanol-lignina derivado de los productos de origen agrícola. Elaboración propia.**

El 87% del etanol generado a través de la fermentación de los azúcares y de la lignina extraída de la biomasa corresponde a cultivos herbáceos, el resto sería de los leñosos.

## B. PROTEÍNAS DE LA BIOMASA GANADERA

Las composiciones orgánicas de los residuos ganaderos son variadas, correspondiendo éstos a aproximadamente a un 50% del peso fresco, en función del contenido de agua y de las cenizas. Los principales grupos que se distinguen son (Tabla

21): carbohidratos (50% del total de la materia orgánica seca), compuestos nitrogenados (20%), lignina (10 a 40%) y el resto fracciones como cera, resinas, grasas. (Manual de Biogás, pág. 30)

Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal (valores promedios, base seca)					
ESPECIE	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa - Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
<b>Bovino</b>	3,23	9,05	32,49	35,57	19,66
<b>Porcino</b>	11,5	10,95	32,39	21,49	23,67
<b>Aves</b>	2,84	9,56	50,55	19,82	17,23

Tabla 21: Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal. Fuente: Varnero y Arellano, 1991. (En Manual de Biogás, pág 30)

Respecto a los niveles de nutrientes contenidos en los residuos de origen animal, se ha obtenido el nitrógeno (N<sub>2</sub>) excretado por cada cabeza de ganado según las cabañas (datos tabulados en tabla nº 14 “Deyecciones por tipo de plaza ganadera y fase productiva y generación de nitrógeno excretado”), teniendo en cuenta los mismos criterios de disponibilidad del residuo comentados ya en el apartado 4.5 B. Biomasa Potencial ganadera (pág. 36) del presente estudio.

**La valorización fraccional de la biomasa ganadera a PROTEÍNAS se ha realizado teniendo en cuenta dos posibles escenarios:**

- I. En primer lugar, se ha **estimado la proteína total** por cabaña analizada, resultante de la biomasa ganadera, teniendo en cuenta la composición química de los residuos de origen animal en base seca (en Manual de Biogás. Varnero y Arellano, 1991, pág. 30).

A partir del resto de fracciones (lípidos, celulosa-hemicelulosa y lignina), se ha calculado el biogás que se produciría tras la extracción de la proteína total<sup>50</sup>.

El resumen de los resultados obtenidos en el escenario I. se muestra en la tabla siguiente (nº 22)

CABAÑA	Proteína disponible en la biomasa (t/año)	Biogás producido con el resto del residuo (m <sup>3</sup> /año)
<b>BOVINO</b>	38.024	97.845.953
<b>PORCINO</b>	252.444	871.714.192
<b>AVES</b>	43.443	150.815.404

<sup>50</sup> El cálculo del biogás producido por la fracción residual considerada se ha realizado con los mismos criterios utilizados en el apartado 4.6 B “Producción de biogás y estimación del potencial energético a partir de la biomasa residual”, es decir se ha considerado que el biogás producido será un 60% del CH4 generado por cada especie.

<b>TOTAL</b>	<b>333.911</b>	<b>1.120.375.549</b>
--------------	----------------	----------------------

Tabla 22: Valorización fraccional de la biomasa ganadera: proteína disponible y biogás. Elaboración propia.

II. En segundo lugar, se ha **estimado la proteína contenida en la materia seca del residuo por cada cabaña analizada tras un tratamiento de la biomasa con microalgas**. Este paso intermedio con microalgas servirá para tratar el purín y obtener un agua apta para el riego y para obtener una proteína con menos riesgo para la salud y que se pudiera usar en alimentación animal.

Para realizar los cálculos se consideran los siguientes parámetros:

- (1) Sólo se puede valorizar un 30% del nitrógeno generado por las excretas animales, ya que el 70% restante se pierde por stripping de amonio o por ser nitrógeno no asimilable por las algas. (De Godos Ignacio et al., 2009)<sup>51</sup>.
- (2) Se ha aplicado un factor de conversión de nitrógeno en proteína para la biomasa obtenida de 5,95 g de proteína por g de N en la biomasa algal (González Lopez et al., 2010)<sup>52</sup>.
- (3) A partir de la proteína, se calcula el “Residuo algal” que se transformará en biogás considerando que el 40% del alga total es proteína y que el resto (60%) son carbohidratos y lípidos que pueden generar biogás. Finalmente para obtener el residuo que resta tras el tratamiento con algas y que se transformará en biogas, se ha considerado un 50% de la materia seca.

Tras estimar la proteína algal, se ha calculado el biogás<sup>53</sup> que se obtendría a partir del residuo que quede tras este proceso.

El resumen de los resultados obtenidos en el escenario II. se muestra en la tabla siguiente (nº 23)

CABAÑA	Proteína algal disponible en la biomasa (t/año)	Biogás producido con el resto del residuo (m3/año)
<b>BOVINO</b>	18.326	77.604.862
<b>PORCINO</b>	41.255	702.440.827
<b>AVES</b>	35.307	127.010.922
<b>TOTAL</b>	<b>94.888</b>	<b>907.056.610</b>

<sup>51</sup> En Long-term operation of high rate algal ponds for the bioremediation of piggery wastewaters at high loading rates in *Bioresource Technology* 100(19):4332-9 · June 2009 with 278 Reads.

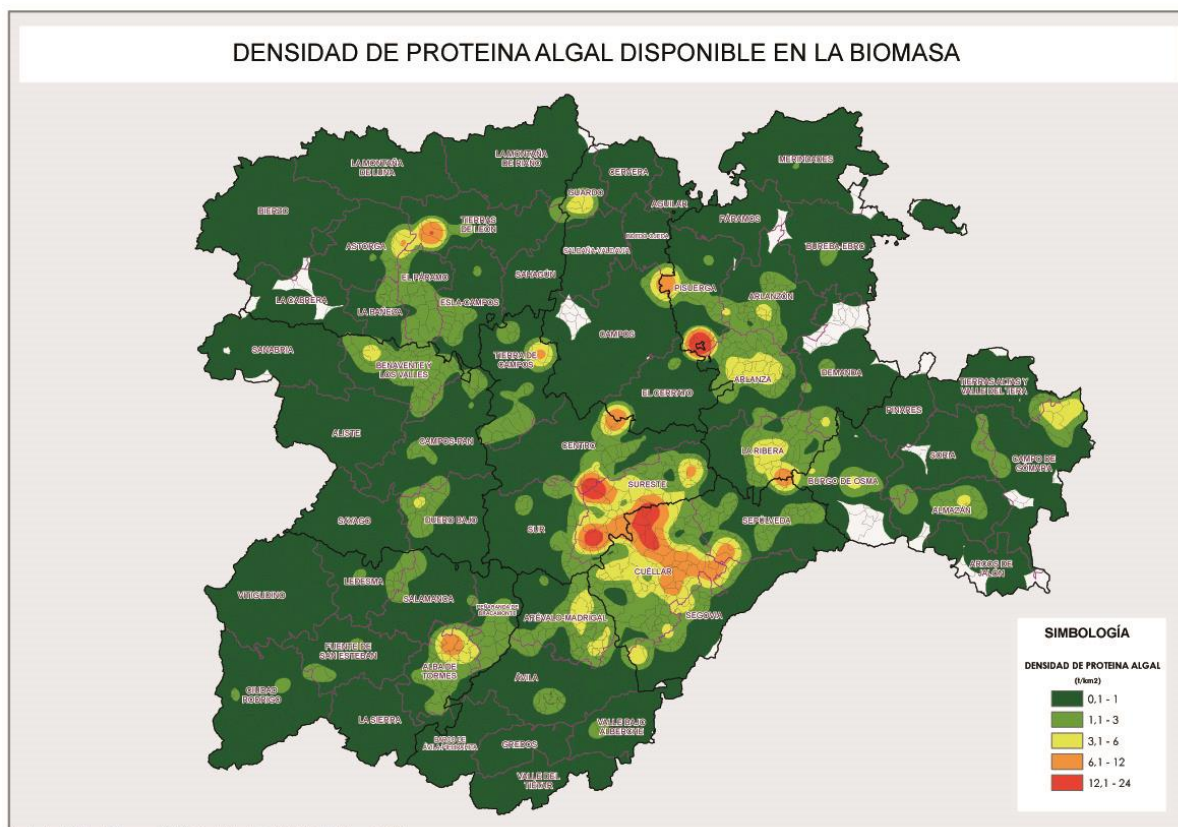
<sup>52</sup> The protein content was calculated by multiplying the Kjeldahl Total Nitrogen by a factor of 5.95 (González Lopez et al., 2010).

<sup>53</sup> El cálculo del biogás producido por la fracción residual considerada se ha realizado con los mismos criterios utilizados en el apartado 4.6 B “Producción de biogás y estimación del potencial energético a partir de la biomasa residual”, es decir se ha considerado que el biogás producido será un 60% del CH4 generado por cada especie.



**Tabla 23: Valorización fraccional de la biomasa ganadera: proteína disponible y biogás. Elaboración propia.**

Tras la estimación de la proteína algal disponible en la biomasa residual ganadera, se ha elaborado el mapa que se muestra a continuación (G011) y que representa la densidad de la proteína algal disponible en la biomasa. Las mayores densidades las encontramos en las comarcas de Cuéllar en Segovia y Sureste en Valladolid (densidades de entre 12 y 24 t/Km<sup>2</sup>), representando un 21% y un 15% del total de proteína algal respectivamente.



**Mapa G011: Densidad de proteína algal disponible en la biomasa residual ganadera. Elaboración propia.**

En el ANEXO V se pueden consultar las tablas resumen extraídas a partir de todos los cálculos realizados para estimar la proteína, el biogás producido con el resto del residuo, estimación de la proteína algal y biogás producido tras la extracción de la proteína algal (tablas 42 a 45).

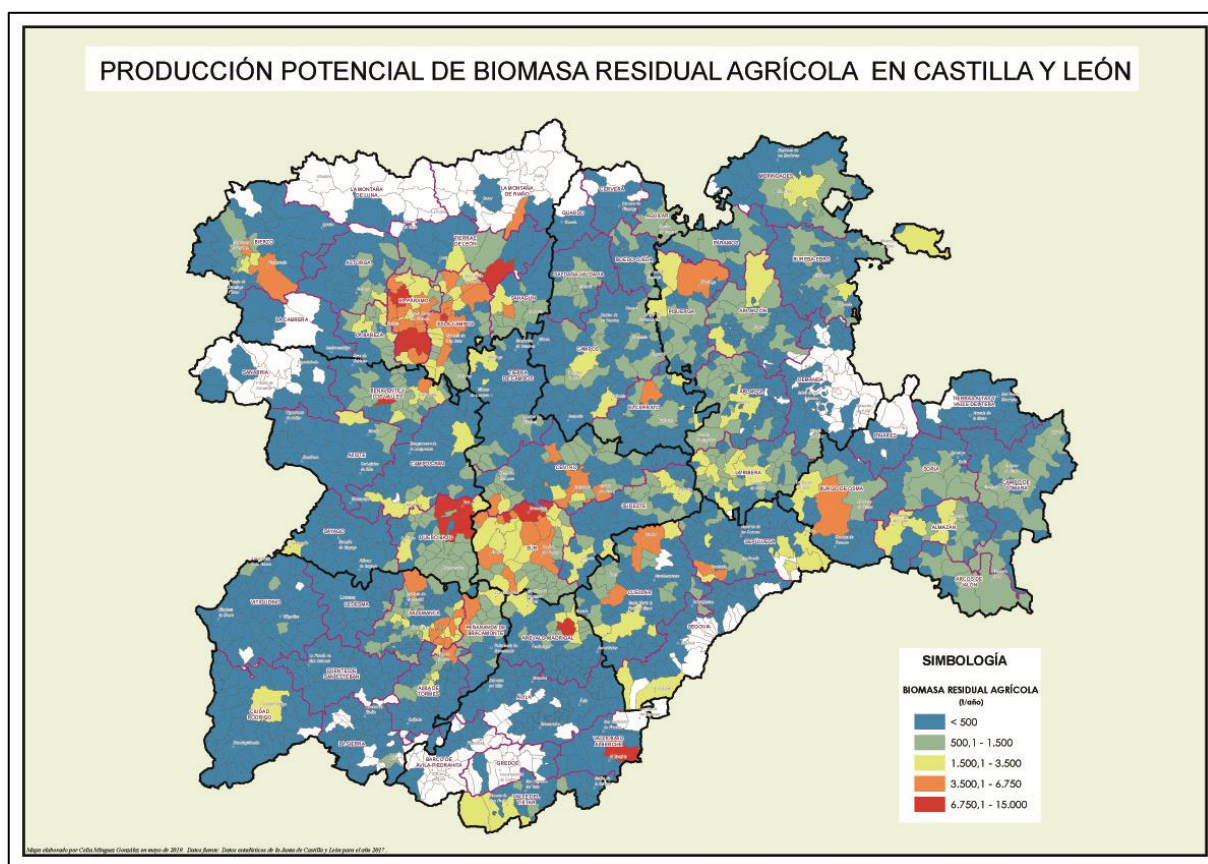
En el DOCUMENTO DE MAPAS 10. Se pueden consultar los mapas que representan la distribución geográfica de todos los parámetros analizados en este punto (mapas G009 a G012.). Además, se podrán consultar también unos mapas realizados a partir de los citados anteriormente, donde se representan los posibles emplazamientos para la instalación de plantas de transformación de biomasa agrícola en etanol con aprovechamiento de lignina y plantas para el aprovechamiento de la proteína algal (mapas P001 y P003). Estos últimos, se han realizado siguiendo criterios de densidad y de cantidad total del residuo generado en las diferentes comarcas agrarias analizados y se han realizado con el único propósito de que puedan servir de guía para posteriores trabajos o estudios.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se plantea este apartado con la estructura sectorial que se ha comentado al inicio del trabajo y que se viene siguiendo a lo largo del mismo, es decir se comentarán primeramente los resultados obtenidos a partir del análisis de la biomasa residual agrícola, después se comentarán los resultados de la biomasa residual ganadera, y por último se resumirán los resultados totalizadores de ambos sectores.

### 5.1 RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA

Los cálculos realizados nos han permitido estimar que la **producción potencial de biomasa residual agrícola** en Castilla y León en el año 2017, teniendo en cuenta los condicionantes explicados a lo largo del estudio alcanza casi las 900.000 toneladas.



**Mapa C012: Producción potencial de la biomasa residual agrícola en la Comunidad de Castilla y León. Elaboración propia.**

En el mapa C012 se representa la producción potencial de la biomasa total (t/año) a nivel municipal y comarcal. Este mapa se ha realizado en formato vectorial con el fin de que se pueda percibir mejor a nivel municipal la cantidad total de biomasa que podría generarse. Se representan las toneladas anuales que tendríamos disponibles y el análisis territorial nos muestra dos focos importantes donde se genera este tipo de biomasa, el primero de ellos situado en el noroeste de la Comunidad y estaría formado por las comarcas agrarias de El Páramo, La Bañeza, Esla Campos, Sahagún y Benavente y Los Valles, las cuales agrupan un 24% de la biomasa total. En la

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

zona centro-sur destacan las comarcas agrarias de Sur, Suroeste, Duero Bajo y La Ribera con casi un 20% de la producción total.

Los municipios que más biomasa agrícola producen, se sitúan en la comarca de El Páramo de león, con producciones de más de 8.000 t/año de biomasa agrícola. En las comarcas de Esla-Campos y Sur encontramos municipios como Fresno de la Vega o Tordesillas que generan casi 7.000 t/año de residuos.

Por grupo de cultivos, un 87% de la biomasa agrícola total se genera a partir de los cultivos herbáceos y un 13% de los leñosos.

Biomasa Potencial agrícola por cada grupo de cultivos (t/año. Materia Seca)		
GRUPO DE CULTIVOS	CULTIVOS	TOTAL CASTILLA Y LEÓN
CULTIVOS HERBÁCEOS	Cereales grano	393.912
	Industriales	200.674
	Hortícolas	107.839
	Tubérculos	66.779
CULTIVOS LEÑOSOS	Frutales	5.557
	Olivar	2.495
	Viñedo	109.765
<b>TOTAL</b>		<b>887.017</b>

Tabla 24: Potencial de biomasa disponible por cada grupo de cultivos en Castilla y León. Elaboración propia.

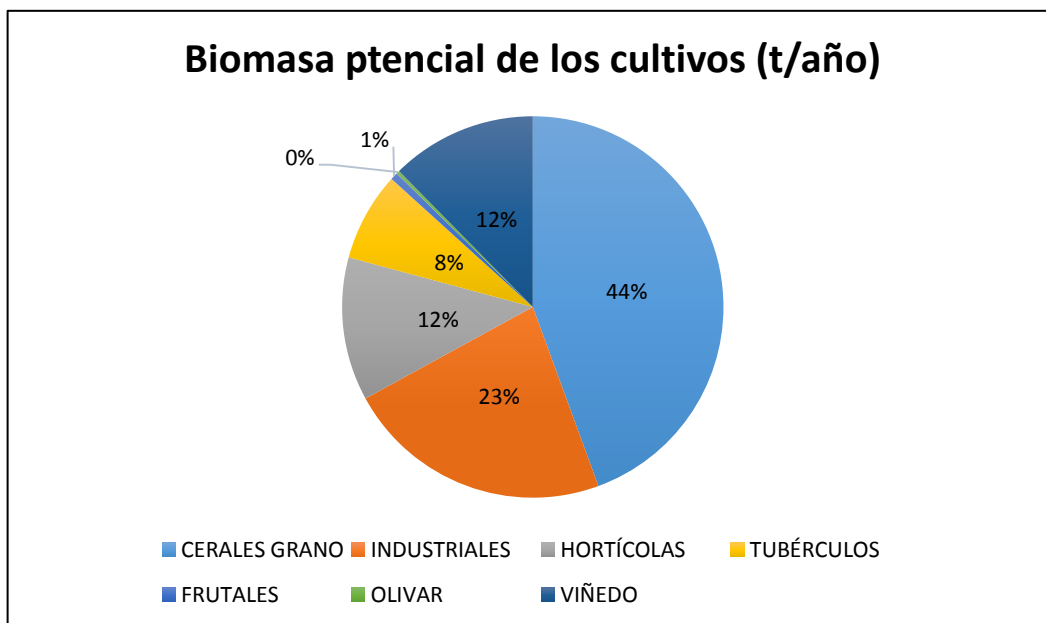


Gráfico 7: Biomasa potencial de los cultivos. Elaboración propia.



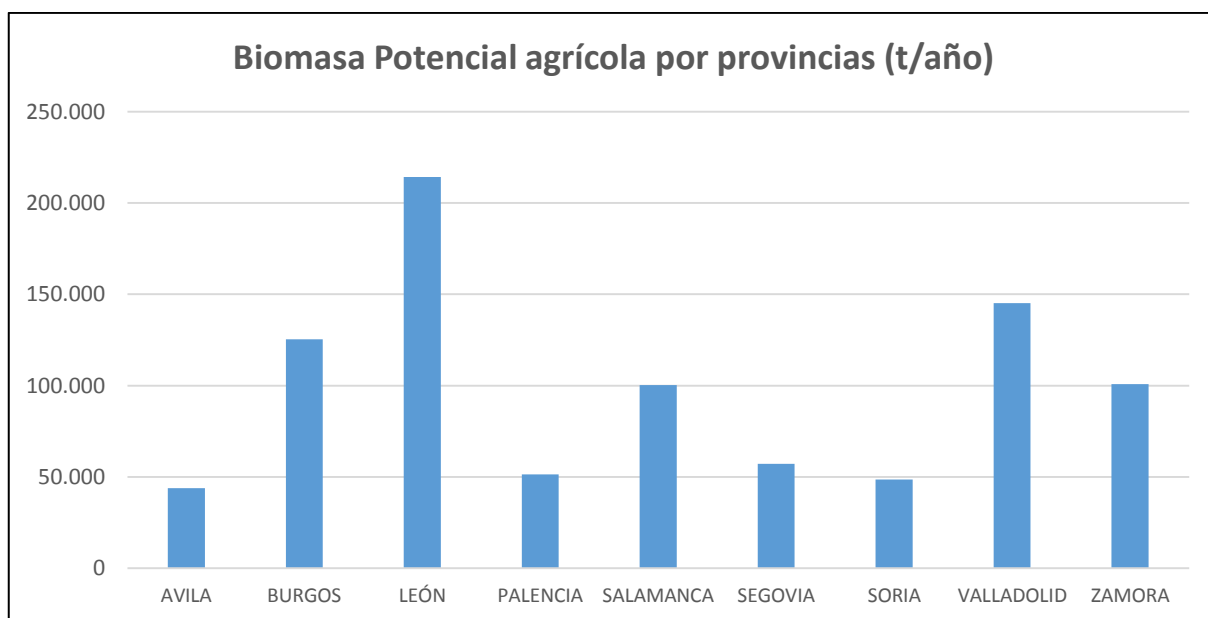
## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

Analizando los grupos de cultivos se puede concluir que los cereales grano son los que más biomasa residual generan, con un 44% de la biomasa total, seguida de los cultivos industriales con un 23% de la biomasa total.

PROVINCIA	Biomasa potencial agrícola por provincias (t/año)
AVILA	43.842
BURGOS	125.362
LEÓN	214.307
PALENCIA	51.402
SALAMANCA	100.361
SEGOVIA	57.154
SORIA	48.594
VALLADOLID	145.116
ZAMORA	100.879
<b>TOTAL</b>	<b>887.017</b>

**Tabla 25: Biomasa agrícola disponible por provincias en Castilla y León. Elaboración propia.**

A nivel provincial, León es la provincia donde más biomasa agrícola se genera, con más de 200.000 t/año, de las cuales casi 130.000 toneladas se producen a partir de los cereales grano, lo que supone prácticamente un 61% de la biomasa agrícola total de la provincia.



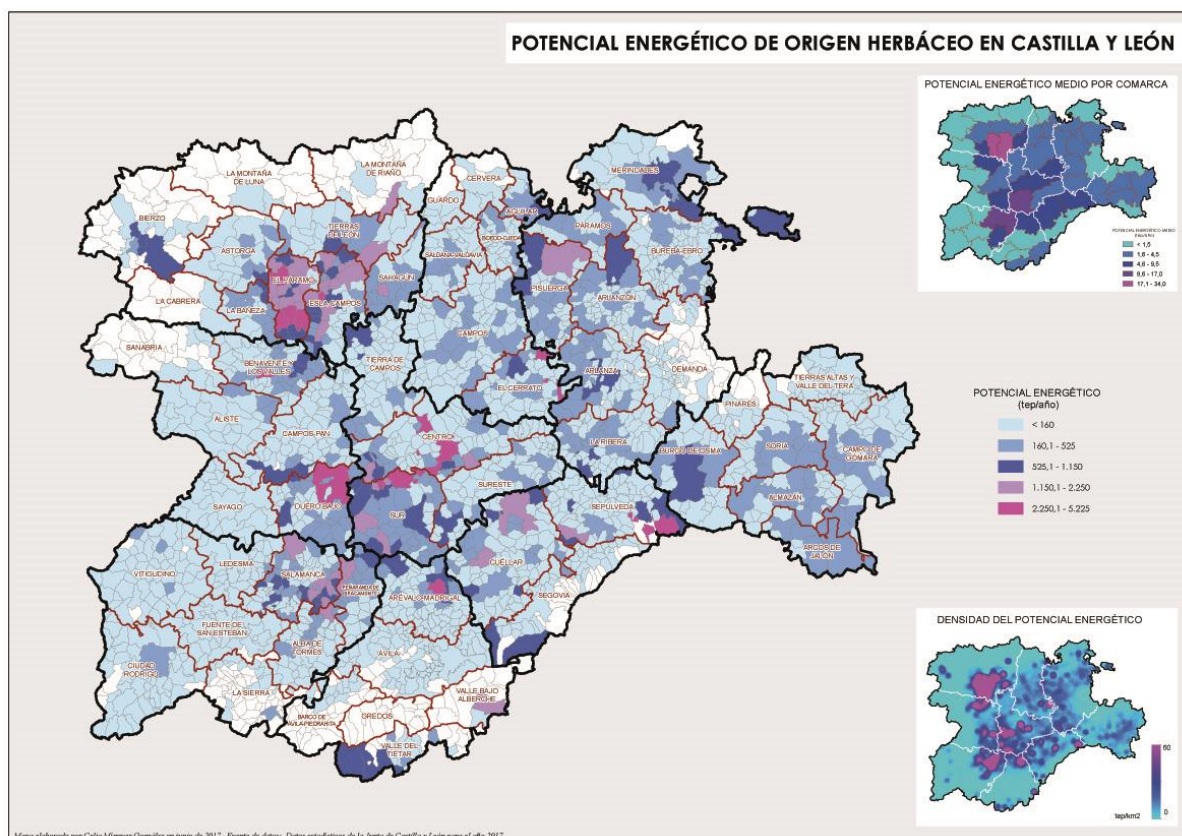
**Gráfico 8: Distribución provincial de la biomasa agrícola total disponible. Elaboración propia.**

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

En la provincia de Valladolid se generan un total de 145.116 t/año de biomasa residual, sin embargo, los cultivos que más peso tienen en la producción de la biomasa son los industriales y el viñedo, agrupando entre ambos un 47% del total.

El **potencial energético total estimado** a partir de la biomasa agrícola analizada es de 388 Ktep/año. Del potencial energético total el 90% se genera a partir de los cultivos herbáceos y el 10% restante de los leñosos.

La distribución territorial del potencial energético de ambos grupos de cultivos se muestra en los mapas siguientes:

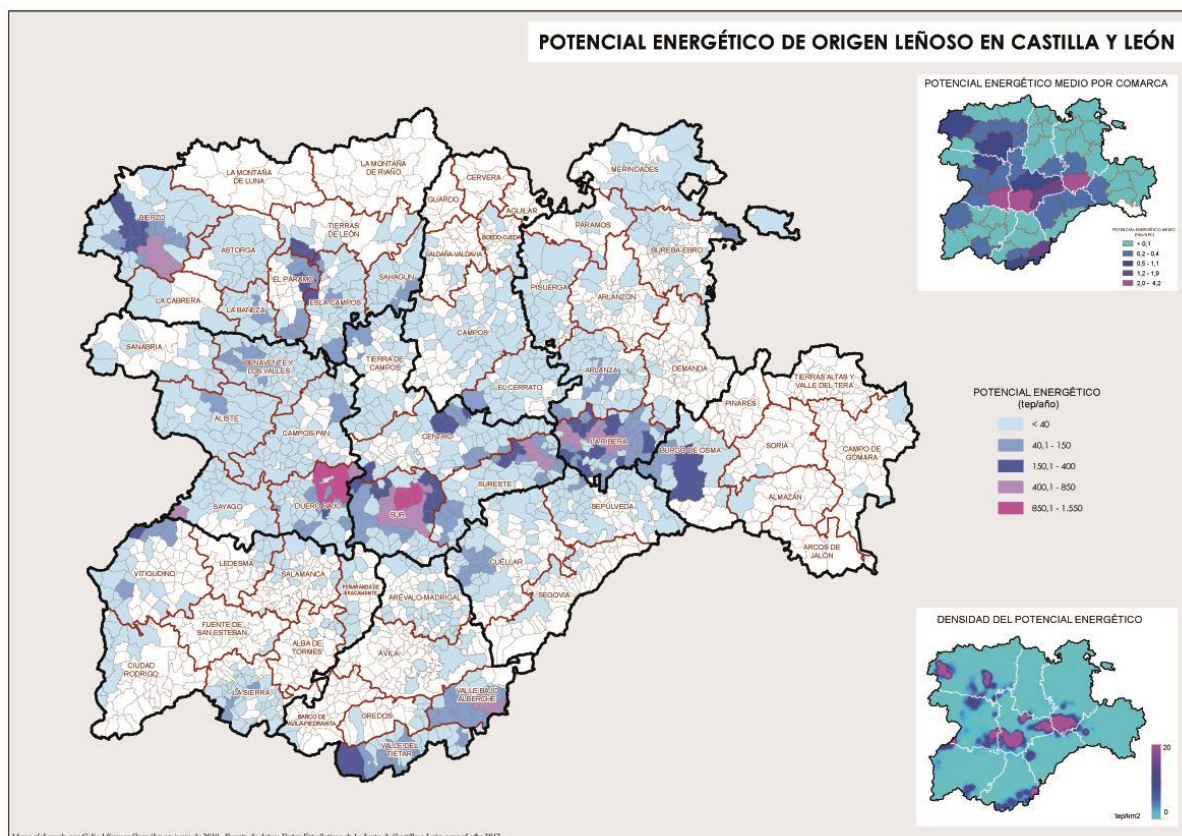


**Mapa C016: Potencial energético generado a partir de la biomasa agrícola herbácea. Elaboración propia**

El mapa C016 representa el potencial energético procedente de la biomasa residual agrícola de origen herbáceo y se concentra principalmente en las comarcas agrarias de El Páramo, Esla Campos y Sahagún en León, en las comarcas de Duero Bajo en Zamora, Sur y Sureste en Valladolid, Pisuerga en Palencia y Cuéllar en Segovia. Representando este conjunto de comarcas un potencial energético del 35% del total disponible.

La densidad del potencial energético en estas comarcas puede alcanzar las 60 tep/Km<sup>2</sup>.

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.



**Mapa C017: Potencial energético generado a partir de la biomasa agrícola de cultivos leñosos.**  
Elaboración propia

El residuo procedente de los cultivos leñosos (fundamentalmente del viñedo) se manifiesta con una densidad energética superficial que llega a las 20 tep/Km<sup>2</sup>, concentrado básicamente en las comarcas agrarias de Duero Bajo, Sur, Sureste y la Ribera.

Respecto a la **producción total de biogás**, la tabla siguiente muestra la producción por cada grupo de cultivos analizado. Observando cómo el 87% de la producción total de biogás se produce gracias a los cultivos herbáceos. De estos, nuevamente los cereales son los que más peso tienen en el total del conjunto con una producción potencial de más de 200 Mill. de metros cúbicos anuales.

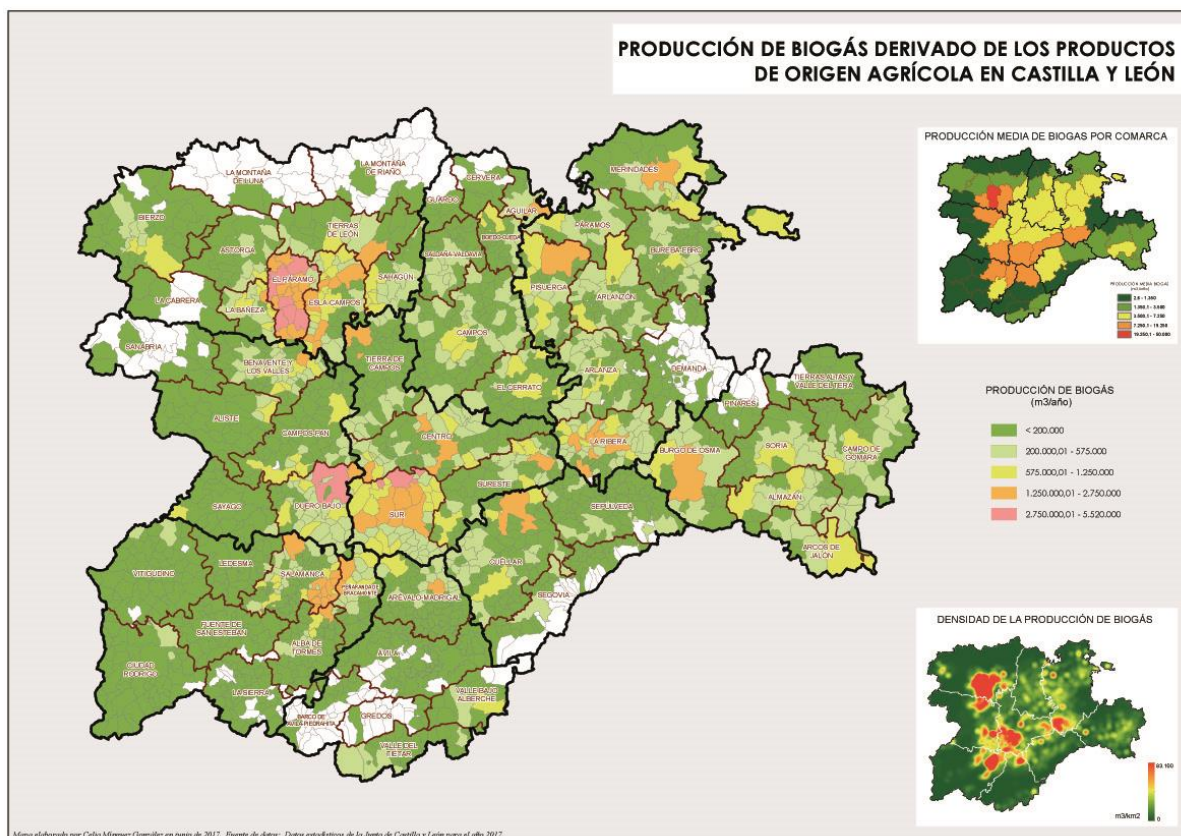
Producción potencial de biogás a partir de biomasa por cada grupo de cultivos (m3/año)			
GRUPO DE CULTIVOS	CULTIVOS	TOTAL CASTILLA Y LEÓN	%
CULTIVOS HERBÁCEOS	CERALES GRANO	206.803.857	44%
	INDUSTRIALES	105.353.840	23%
	HORTÍCOLAS	56.615.629	12%
	TUBÉRCULOS	35.059.054	8%
CULTIVOS	FRUTALES	2.917.164	1%



## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

LEÑOSOS	OLIVAR	1.273.607	0,27%
		VIÑEDO	57.624.610
TOTAL		465.647.761	100%

Tabla 26: Biogás producido a partir de la biomasa agrícola por grupo de cultivos. Elaboración propia.



Mapa C021: Producción de biogás derivado de los productos de origen agrícola en Castilla y León. Elaboración propia

El 51% de la potencial producción total del biogás se concentraría en las provincias de León, Valladolid y Zamora, con producciones medias a nivel provincial de 536.000 m<sup>3</sup>/año, 338.000 m<sup>3</sup>/año, y 220.236 m<sup>3</sup>/año respectivamente.

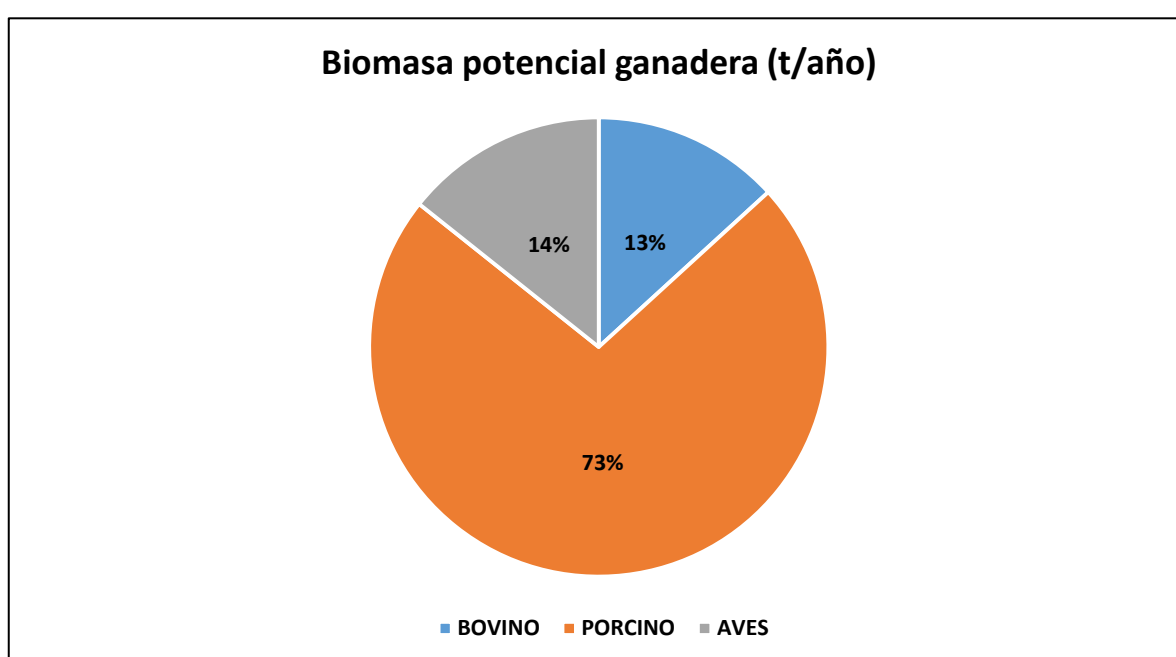
## 5.2 RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LA BIOMASA RESIDUAL GANADERA

Del análisis de datos procedente de la ganadería y cuya metodología de cálculo se ha comentado en el punto 4.5 B, se obtienen los resultados que se muestran en la tabla nº 27, donde se observa que la cabaña de mayor peso en producción de biomasa ganadera es la porcina, con más de dos millones de toneladas de residuos al año, representando esto un 73% del total. Las otras dos cabañas analizadas, aves y bovino representan y 14% y 13% respectivamente.

Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

Biomasa potencial disponible procedente de deyecciones ganaderas ( t/año de materia seca)	
	Total Castilla y León
<b>Bovino</b>	420.155
<b>Porcino</b>	2.303.698
<b>Aves</b>	454.420
<b>TOTAL</b>	<b>3.178.273</b>

*Tabla 27: Potencial de biomasa disponible por cada cabaña ganadera en base seca en Castilla y León. Elaboración propia.*



*Gráfico 9: Biomasa potencial ganadera. Elaboración propia.*

A nivel provincial, Segovia es la provincia donde más biomasa ganadera se genera (es la que más ganado porcino tiene), con 818.144 t/año, seguida de Salamanca con 512.856 t/año y Burgos con 437.805 t/año, lo que supone un 26%, 16% y 14% respectivamente.

Provincia	Biomasa potencial ganadera por provincias (t/año)
<b>AVILA</b>	230.386
<b>BURGOS</b>	437.805
<b>LEÓN</b>	145.447
<b>PALENCIA</b>	117.868

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

<b>SALAMANCA</b>	512.856
<b>SEGOVIA</b>	818.144
<b>SORIA</b>	292.616
<b>VALLADOLID</b>	333.871
<b>ZAMORA</b>	289.280
<b>TOTAL</b>	<b>3.178.273</b>

*Tabla 28: Potencial de biomasa ganadera por provincias en Castilla y León. Elaboración propia.*

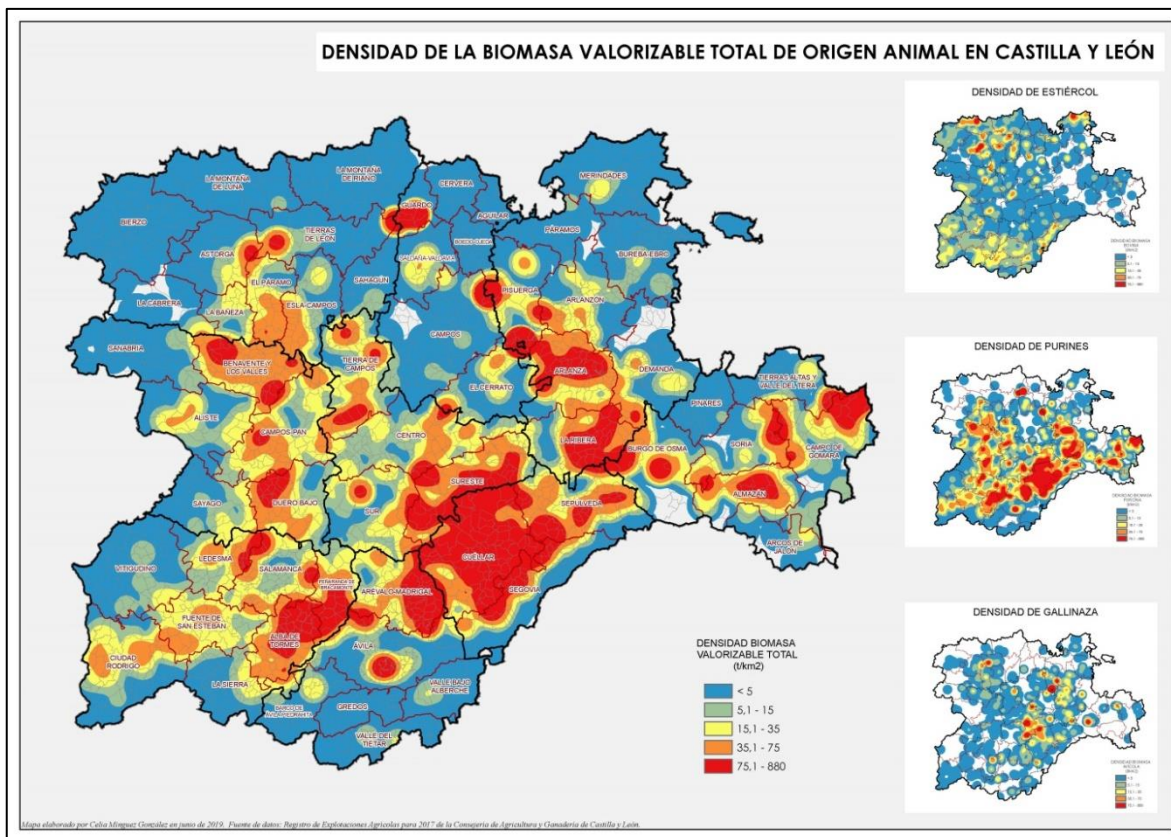
En el MAPA siguiente G006 se muestra un ejemplo de la representación geográfica de la **biomasa valorizable procedente de las tres cabañas ganaderas del estudio a nivel de comarca agraria**. La representación se realiza en forma de densidad de biomasa valorizable ( $t/Km^2$ ) porque se ha elaborado en formato ráster.

Analizando las comarcas agrarias, se observa en el mapa que las mayores densidades de biomasa ganadera se encuentran por la zona sur de la Comunidad, concretamente en las comarcas agrarias de Alba de Tormes, Peñaranda de Bracamonte, Arévalo-Madrigal, Ávila Cuéllar, Sepúlveda y Sureste, abarcando estas comarcas un 42 % de la biomasa valorizable total de origen animal.

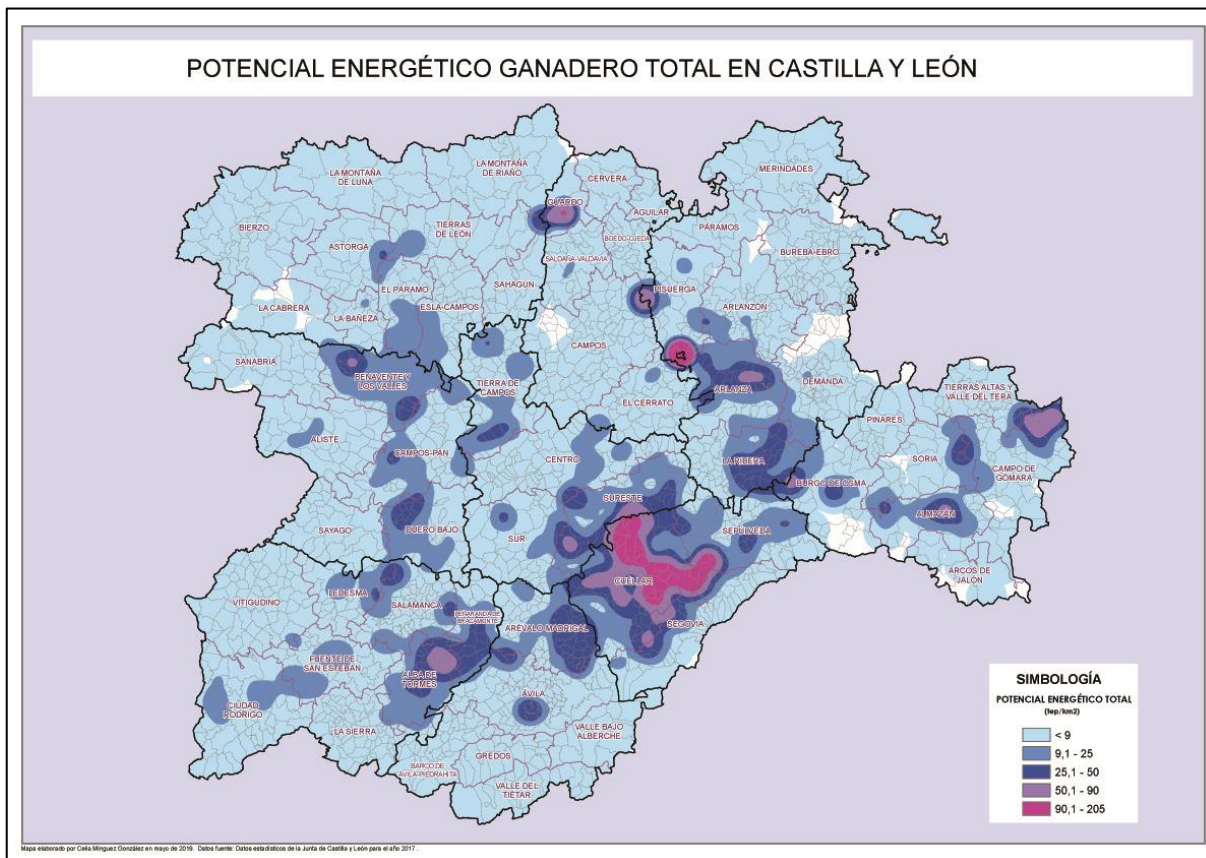
Respecto a la distribución provincial de la biomasa generada por cabañas ganaderas podemos afirmar que es bastante heterogénea, resumiéndose de la siguiente manera:

- La biomasa procedente de la cabaña bovina se concentra fundamentalmente en las provincias de Salamanca y Ávila, con un 38% y un 17% respectivamente del total de bóvidos.
- La biomasa procedente de la cabaña de porcino se concentra en las provincias Segovia, Salamanca y Soria, con un 31%, 15% y 12% respectivamente del total de cabezas de porcino.
- La biomasa procedente de la ganadería aviar se concentra en las provincias Burgos, Valladolid y Segovia, con un 37%, 22% y 13% respectivamente del total.

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.



**Mapa G006: Densidad de la Biomasa valorizable total de origen animal en Castilla y León. Elaboración propia.**



**Mapa G007: Potencial energético generado a partir de la biomasa ganadera. Elaboración propia**



## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

El mapa G007 representa el **potencial energético** procedente de la biomasa residual ganadera total que es de 848 Ktep/año. El 56 % del total se produce en las provincias de Segovia, Salamanca y Burgos con porcentajes parciales de 27%, 15% y 14% respectivamente.

Las comarcas agrarias de Cuéllar, Sepúlveda, Alba de Tormes, Peñaranda de Bracamonte, Arévalo Madrigal, Almazán, Campo de Gomara, Pisuegra y Guardo representan un 49% del potencial total ganadero y el 84% del total disponible.

La densidad del potencial energético en estas comarcas varía desde 90 a 205 tep/Km<sup>2</sup>.

Respecto a la **potencial producción total de biogás**, la tabla siguiente muestra la producción por cada cabaña ganadera. Observando cómo el 81% de la producción total de biogás se produce a partir de las deyecciones de la cabaña porcina.

Cabaña	Producción potencial de biogás a partir de biomasa ganadera (m <sup>3</sup> /año)
BOVINO	110.267.133
PORCINO	1.333.304.056
AVES	206.003.830
TOTAL	1.649.575.019

Tabla 29: Producción de Biogás de biomasa ganadera por cabañas. Elaboración propia

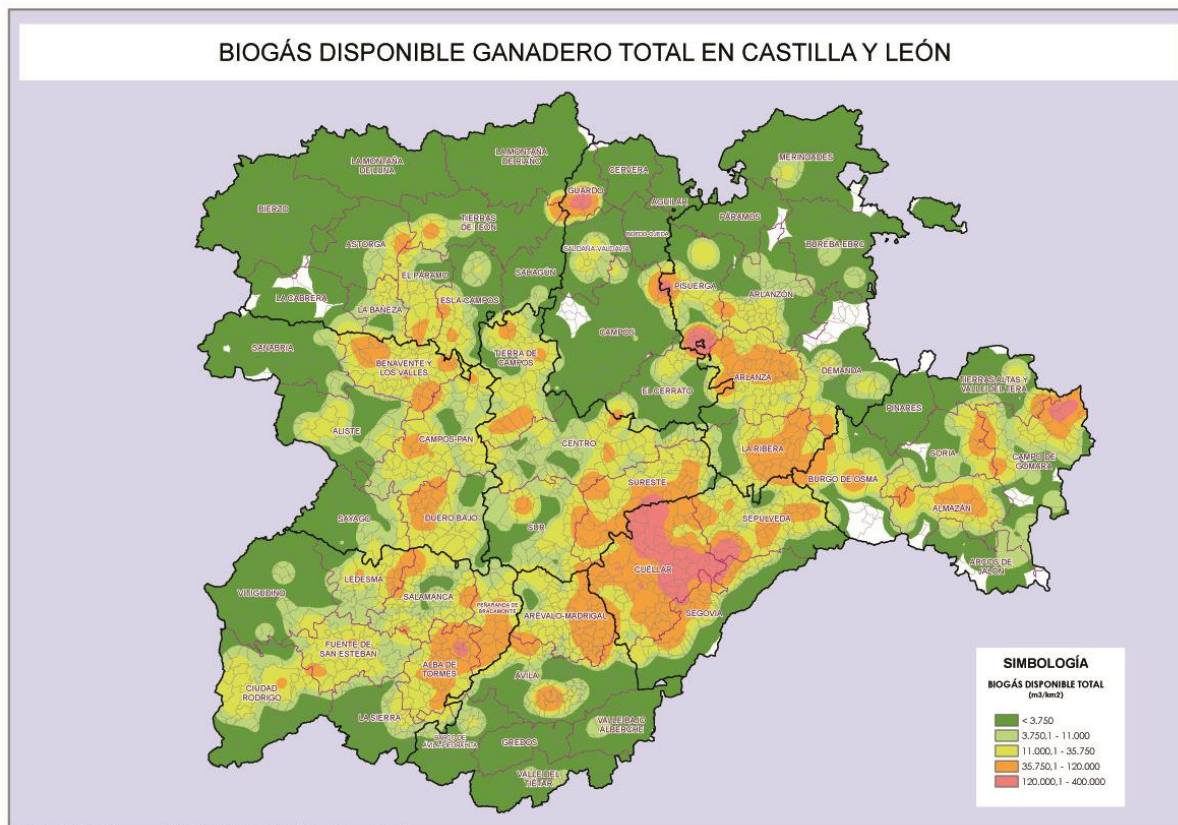
Provincia	Producción potencial de biogás a partir de biomasa ganadera por provincias (m <sup>3</sup> /año)
AVILA	109.829.205
BURGOS	225.298.044
LEÓN	64.491.885
PALENCIA	58.437.023
SALAMANCA	244.796.451
SEGOVIA	452.701.502
SORIA	164.445.810
VALLADOLID	174.957.855
ZAMORA	154.614.307
TOTAL	1.649.572.082

Tabla 30: Producción de Biogás de biomasa ganadera por provincias en Castilla y León. Elaboración propia



## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

En el MAPA G008 se representa el biogás disponible en la región partir de la biomasa valorizable procedente de las tres cabañas ganaderas del estudio a nivel de comarca agraria. La representación se realiza en forma de densidad de biomasa valorizable ( $\text{m}^3/\text{Km}^2$ ) porque se ha elaborado en formato ráster.



Mapa G008: Biogás disponible ganadero total. Elaboración propia

El 56% del biogás disponible a partir de la biomasa ganadera a nivel provincial, se concentra en las provincias de Segovia (porcino), Salamanca (vacuno).

Sin embargo, si analizamos a nivel comarcal, observamos como, por ejemplo, en las comarcas de Guardo y Pisuerga (en Palencia), tenemos densidades de producción desde  $120.000 \text{ m}^3/\text{Km}^2$  hasta  $4000.000 \text{ m}^3/\text{Km}^2$ . Las comarcas de Cuéllar y Sepúlveda en Segovia es la que ejercen la supremacía sobre el resto de comarcas agrarias, con producciones superiores a los 90 Mill de  $\text{m}^3/\text{año}$ .

### 5.3 BIOMASA RESIDUAL TOTAL

Una vez que se ha determinado y cuantificado, en apartados anteriores, como se distribuye la **biomasa residual** proveniente de los sectores agrícola y ganadero, vamos a realizar un análisis considerando los resultados analizados de los dos sectores de manera conjunta.

Así pues, totalizando todos los datos observamos en la tabla nº 31 y el gráfico nº 10, que a nivel provincial Segovia es la provincia donde más biomasa se genera, con un

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

21% del total, seguido de Salamanca, Burgos y Valladolid con valores muy similares (en torno al 14% del total). La provincia donde menos biomasa agropecuaria se genera es en Palencia (4%).

Provincia	Biomasa potencial total (t/año de materia seca)
AVILA	274.228
BURGOS	563.167
LEÓN	359.754
PALENCIA	169.270
SALAMANCA	613.217
SEGOVIA	875.297
SORIA	341.210
VALLADOLID	478.988
ZAMORA	390.159
<b>TOTAL</b>	<b>4.065.290</b>

Tabla 31: Biomasa potencial total generada (t/año). Elaboración propia.

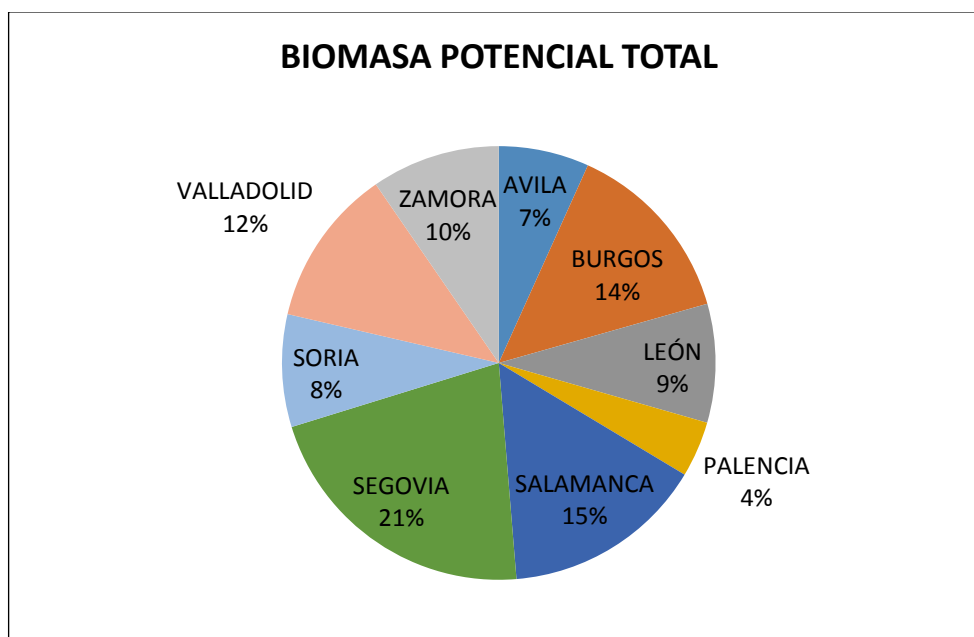
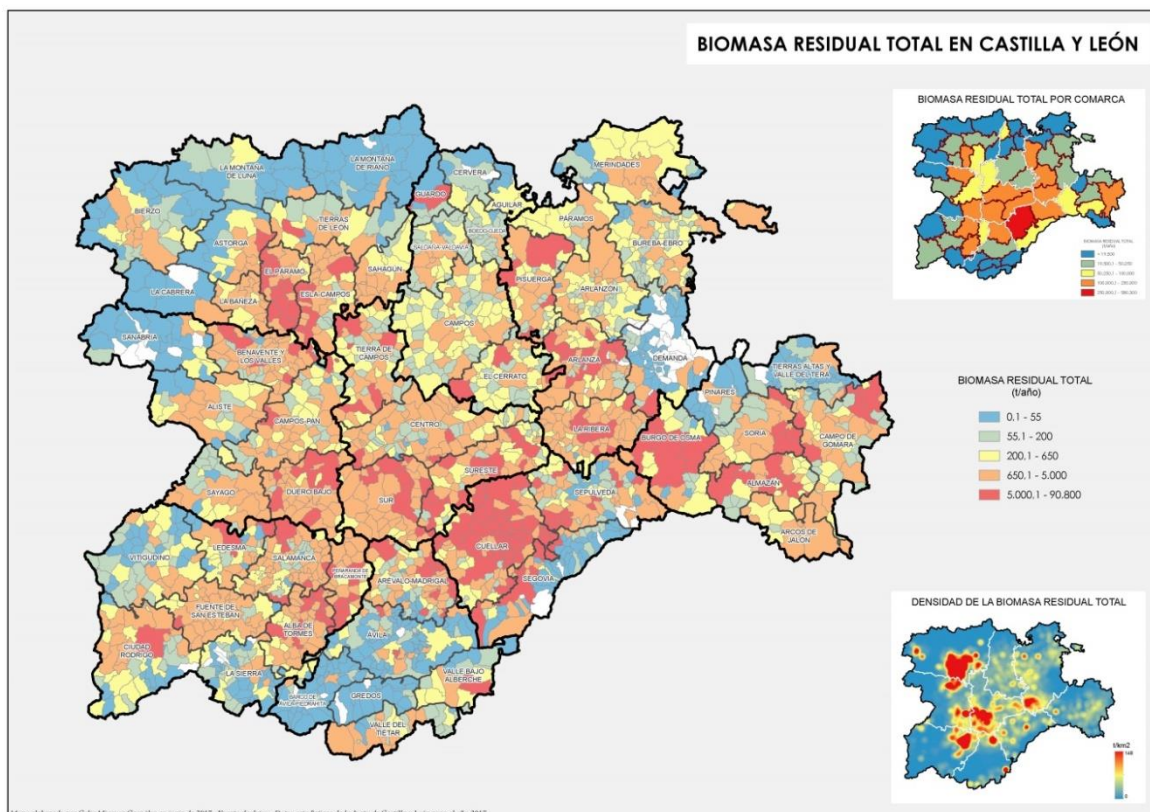


Gráfico 10. Biomasa potencial total en Castilla y León. Elaboración propia.

En el mapa siguiente se ha representado un conjunto de tres mapas con diferentes escalas de trabajo, de forma que quede perfectamente representada por un lado la cantidad de biomasa residual total en toneladas/año producidas en cada municipio del estudio, la biomasa residual media por comarca agraria (t/año) y el mapa de densidad de biomasa (t/Km<sup>2</sup>).

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.



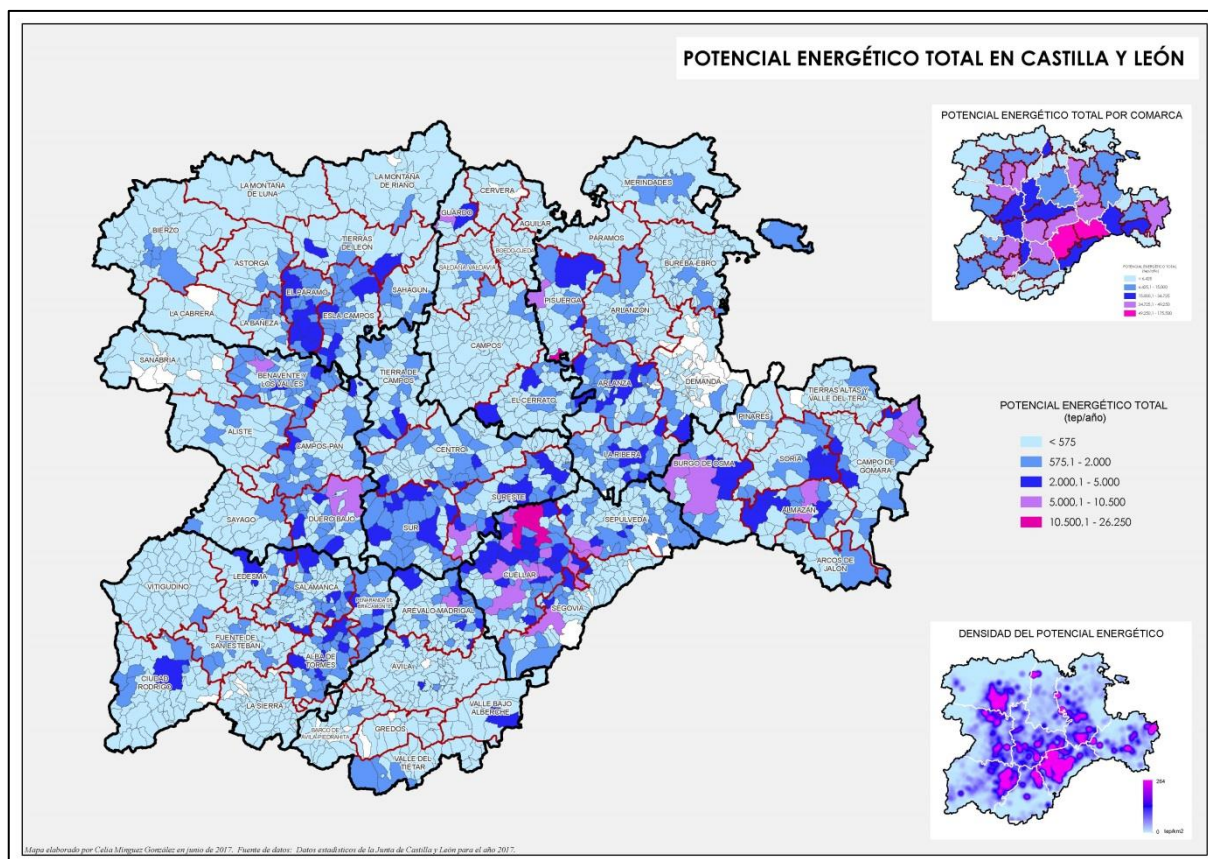
**Mapa T001: Biomasa residual total en Castilla y León. Elaboración propia.**

Se ha representado de esa manera pensando en que lo ideal es presentar un mapa que permita observar por un lado el “número bruto” (cantidad total de biomasa por comarca agraria), pero también es necesario representar un plano de detalle en el que se simbolice la cantidad de biomasa y la distribución provincial de la misma. Un conjunto de mapas que, desde la escala comarcal ofrece una mirada en bruto y que al mismo tiempo permite hacer zoom para saber, de forma exacta, cuánta biomasa hay en cada municipio de esas comarcas agrarias. Por último, se realiza también una representación de la cantidad de biomasa disponible en cada kilómetro cuadrado de la Comunidad Autónoma.

Respecto al **potencial energético** que se podría generar, se presenta a continuación un mapa de densidad energética superficial (T002) que muestra el potencial energético conjunto de los sectores agrícola y ganadero.

Como resumen se podría apuntar que, según los cálculos realizados, el potencial energético total estimado procedente de ambos sectores asciende a 1.236.129 tep, o lo que lo mismo 1.236 Ktep de las que el 69 % corresponde al sector ganadero (848 ktep).

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.



**Mapa T002: Potencial energético total en Castilla y León. Elaboración propia.**

La distribución geográfica del potencial energético en la región de Castilla y León refleja la contribución de las cabañas ganaderas y de todos los cultivos analizados al global energético, especialmente del sector ganadero.

Como ya se ha descrito anteriormente, este potencial se extiende principalmente por las comarcas agrarias de Sepúlveda, Cuéllar, el Páramo, Esla Campos, Peñaranda de Bracamonte o Alba de Tormes, con valores de densidad superiores a las 250 tep/Km<sup>2</sup>.

En otras comarcas como la del Sur, Sureste y La Ribera el potencial energético ronda las 130 tep/Km<sup>2</sup>, e incluso las 150 tep/Km<sup>2</sup> en muchas zonas. También se dan densidades mayores de 150 tep/Km<sup>2</sup> en la zona más septentrional de la Comunidad, concretamente en la Comarca de Guardo (cuyo potencial energético total en valores absolutos se sitúa en torno a las 15.000 tep/Km<sup>2</sup>, debido fundamentalmente a la carga ganadera que tienen).

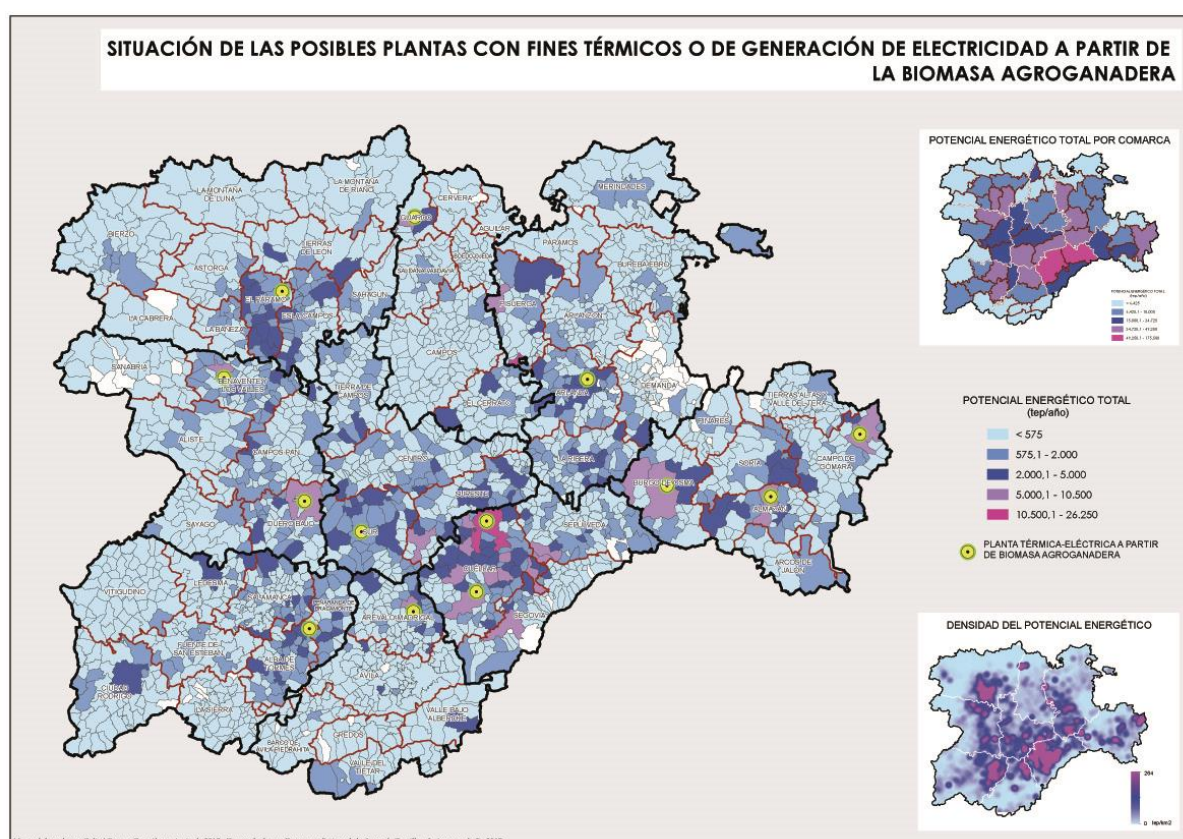


## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

Si bien es cierto que la biomasa analizada en el trabajo es de dos tipos y que por tanto poseen características y tecnologías de aprovechamiento diferentes, parece interesante conocer la distribución de la biomasa residual de forma conjunta debido a que cada vez tiene más importancia la producción y aprovechamiento de estas materias primas para su valorización por ejemplo en biogás mediante co-digestión<sup>54</sup> de biomasa de distintos orígenes.

Las zonas con una elevada densidad energética superficial conjunta, resultarían pues de interés para ubicar por ejemplo plantas que realizasen este aprovechamiento a gran escala. Tal y como se ha reflejado en el mapa siguiente P002.

Hay que aclarar que el único criterio que se ha tenido en cuenta para situar las potenciales plantas ha sido el de identificar zonas de especial concentración, esperando que pueda servir de esquema o punto de partida para otro tipo de trabajos.



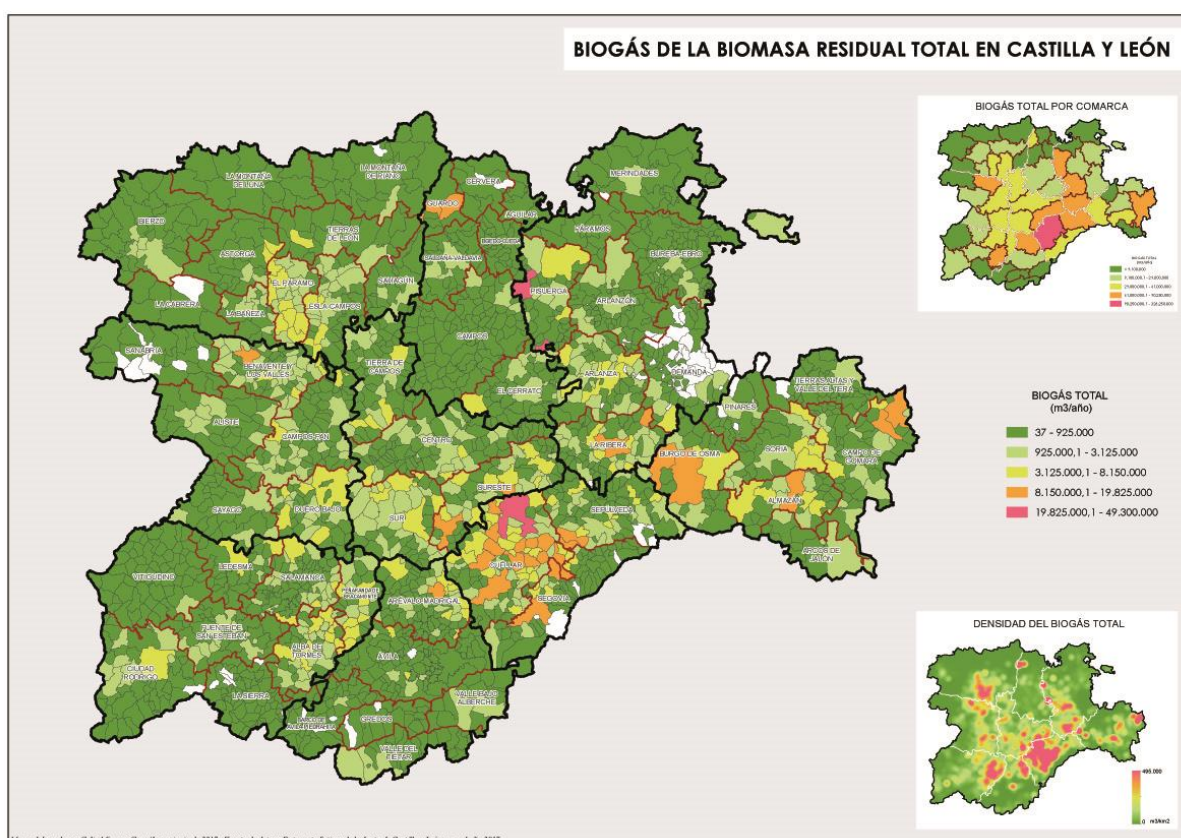
**Mapa P002: Situación de las posibles plantas de generación de electricidad o con fines térmicos. Elaboración propia.**

<sup>54</sup> El término co-digestión se utiliza para expresar la digestión anaerobia conjunta de dos o más sustratos de diferente origen. La ventaja principal radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los sustratos por separado. La co-digestión de residuos orgánicos de diferente origen ha resultado una metodología exitosa tanto en régimen termofílico como mesofílico. (Biomasa: digestores anaerobios, pág. 22, IDAE)

## Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

Para concluir el apartado, se muestra en el mapa siguiente (T003), la distribución geográfica del biogás producido a partir de la biomasa residual ganadera, la cual contribuye a la producción de biogás en Castilla y León en un 78%, siendo del 22% la producción de biogás a partir de la biomasa agrícola.

Desde el punto de vista provincial y comarcal, sin lugar a dudas Segovia es la provincia donde el potencial de producción de biogás es mayor, con un 24%. Sus comarcas agrarias Cuellar, Sepúlveda y Segovia agrupan 472 Mill m<sup>3</sup>/año de biogás, suponiendo esto una densidad superficial de producción de aproximadamente 495.000 m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>.



**Mapa T003: Biogás producido a partir de la biomasa residual total en Castilla y León.**  
**Elaboración propia.**

Nuestra región concentra alrededor del 17% del potencial total de producción de biogás que existe en España. En estos momentos existen en Castilla y León 23 instalaciones de aprovechamiento energético de biogás que producen en torno a 20 ktep/año, de los cuales un 93% se destina la producción de electricidad.<sup>55</sup>

<sup>55</sup>Fuente:

[https://comunicacion.jcyl.es/web/jcyl/Comunicacion/es/Plantilla100Detalle/1281372051501/\\_/1284241976930/Comunicacion](https://comunicacion.jcyl.es/web/jcyl/Comunicacion/es/Plantilla100Detalle/1281372051501/_/1284241976930/Comunicacion)

## 6. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones que se extraen tras la realización del presente trabajo:

- ✓ La primera de ellas es que desde el punto de vista de la metodología para realizar el análisis de todos los datos se considera a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una herramienta potente para en análisis y evaluación de los recursos de biomasa, tanto en cuanto son capaces de combinar de forma eficaz bases datos alfanuméricas y gráficas, facilitando así la elaboración de la cartografía o mapas con los resultados.

El uso de un SIG ha permitido cumplir claramente los objetivos del estudio, y que a modo recordatorio eran estimar, evaluar y caracterizar la producción de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León del año 2017, realizar un análisis territorial y representar en mapas la densidad de la biomasa valorizable según el origen de los residuos (agrícolas o ganaderos).

- ✓ La superficie agrícola de Castilla y León con más de 3,5 millones de hectáreas supone un 40% de la superficie regional total. Los cultivos predominantes son el trigo, la cebada, el maíz, la remolacha azucarera, el viñedo y la patata. La cabaña ganadera de la región se perfila como el soporte básico para la industria agroalimentaria y las principales cabañas según el censo ganadero analizado son el ovino (3,1 mill/c), porcino (3,9 mill/c), bovino (1,4 mill/c) y aviar (39 mill/c).
- ✓ Se constata que las fuentes más importantes de la biomasa agrícola en Castilla y León provienen fundamentalmente de los cereales (trigos blandos y duros, cebada, centeno, triticale, sorgo, avena y maíz) y de los cultivos industriales (girasol, la colza y la remolacha azucarera).
- ✓ La distribución geográfica de la biomasa agropecuaria responde a un predominio claro de la biomasa ganadera en las comarcas del centro y sur de la Comunidad (Peñaranda de Bracamonte, Alba de Tormes, Cuellar, Sepúlveda, etc) frente a los agrícolas (predominando por otro lado en las comarcas más septentrionales de El Páramo, La Bañeza, Esla Campos, Sahagún o Benavente y Los Valles).
- ✓ La biomasa ganadera representa un 78% del total, frente al 22% de la agrícola., siendo por tanto la producción energética potencial y la de biogás procedente de los residuos ganaderos muy superior a la de los agrícolas.
- ✓ De los tipos de residuos ganaderos analizados, la mayor contribución energética pertenece a los purines porcinos, si bien hay que puntualizar que su importancia varía en cada comarca. Respecto a los residuos agrícolas, la mayor contribución energética pertenece a los cereales grano, igualmente que, para los residuos ganaderos, aquí se dan variaciones comarcales de cierta importancia.

- ✓ Los valores de la biomasa, la energía potencial y biogás calculados para cada tipo de residuo analizado es común a toda la superficie municipal y comarcal. Esto se debe a que no tenemos información exacta de donde están localizados ni los cultivos ni las explotaciones ganaderas.

La razón de haber utilizado la superficie municipal y comarcal frente a la parcela agrícola o la explotación ganadera georreferenciada ha sido porque para poder realizarlo de esta forma en el primer caso habría que haber utilizado la cartografía del SIGPAC con sus correspondientes declaraciones, lo cual no era factible para este tipo de trabajo. Para el caso de las explotaciones ganaderas, habría que haber utilizado datos el REGA<sup>56</sup>, cuya información sólo puede ser utilizada por titulares de animales y explotaciones ganaderas de Castilla y León, que estén inscritos en el registro de explotaciones ganaderas.

- ✓ A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que Castilla y León tiene un gran potencial de recursos agropecuarios para la obtención biomasa, (equivalente a 1.236 Ktep ), al contar con una gran superficie agrícola y un importante desarrollo de sus industrias asociadas.

Por último, hay que puntualizar que los resultados de todos los parámetros analizados en este trabajo se refieren únicamente a biomasa, energía y biogás potencial, luego para poder utilizar o explotar estos datos en otros proyectos, habría que tenerlo en cuenta.

---

<sup>56</sup> Registro de explotaciones ganaderas de Castilla y León.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

### 7.1 REFERENCIAS

- [1] “Plan de la Bioenergía de Castilla y León” (PBCYL). Documento de descarga: <https://energia.jcyl.es/web/jcyl/Energia/es/Plantilla100Detalle/1267710822752/Programa/1284151659081/Comunicacion>
- [2] Portal de la Junta de Castilla y León de datos abiertos datos de superficies <https://analisis.datosabiertos.jcyl.es/Medio-Rural/Superficies-de-cultivos-municipales/9t62-6gai>
- [3] Agricultura y Ganadería - Estadística agraria - Estadísticas agropecuarias - Superficies de cultivo por término municipal <https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284227967994/ / />
- [4] Portal de la Junta de Castilla y León de datos abiertos datos de ganadería [https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/medio-rural-pesca/ganaderia\\_ bovino\\_ 2017/1284707647175](https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/medio-rural-pesca/ganaderia_ bovino_ 2017/1284707647175)
- “El Sector agrario en Castilla y León”. 2018. Cuarta edición digital en Septiembre de 2018. Banco de Caja España de Inversiones, Salamanca y Soria, SA, Servicio de Publicaciones D.L.: MA 958-2015. ISSN: 978-84-92443-36-9. 141 p.
- “Energía de la biomasa”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Javier Rico (Col. ). Depósito Legal: M-44500-2007. ISBN: 978-84-96680-15-9. 134 p.
- “*Metodología SIG para la Localización de Centrales de Biomasa mediante Evaluación Multicriterio y Análisis de Redes. Modelos de Localización-Asignación para el Aprovechamiento de Biomasa Forestal*”. Autores: C. de la Paz J. Domínguez M<sup>a</sup>. E. Pérez. CIEMAT. Depósito Legal: M -26385-2011 ISSN: 1135 - 9420 NIPO: 721-13-005-7. 46 p.
- “Potencial Energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía” (2008). Editado por la Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Depósito Legal: SE-3339-2008. 101 p.
- España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría general técnica. Centro de Publicaciones. NIPO: 280-15-197-6. “*Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería sectores de bovino, porcino, avicultura de carne y puesta*”. 95 p.
- “*De residuo a recurso. Aspectos biológicos de la estabilización aeróbica II.1.*” J. Moreno, R. Moral, J.L. García-Morales, J.A. Pascual y M.P. Bernal (eds. Científicos). 2015. 316 p. ISBN: 9788484765677
- “*De residuo a recurso. Estrategias de Gestión, Tratamiento y Valorización*”. M.P. Bernal, J.A. Pascual, M. Ros, R. Clemente (eds.) Red Española de Compostaje. 2014. 376 p. ISBN: 978-84-617-2429-1 Depósito Legal: AL 1189-2014
- España. Ministerio de Ciencia e innovación. “*Cuantificación de materias primas de origen ganadero. Proyecto Probiogas*”. IIE-UPV: Alfonso, David; Brines, Natalia;

- Peñalvo, Elisa; Vargas, Carlos A., Pérez-Navarro, Angel; AINIA: Gómez, Paz., Pascual. Andrés; Ruiz Begoña. (2009). 31 p.
- “Cuantificación de materias primas para cuantificación de biogás. Proyecto Probiogas”. IIE-UPV: Alfonso, David; Brines, Natalia; Peñalvo, Elisa; Vargas, Carlos A., Pérez-Navarro, Angel; AINIA: Gómez, Paz., Pascual. Andrés; Ruiz Begoña. (2010). 21 p.
  - “Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad”. Ana Isabel de Lucas Herguedas, Carlos del Peso Taranco, Encarna Rodríguez García, Prado Prieto Paniagua, Esther Sanz González, Marta Sánchez Martín. Edita y maqueta: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT. ISBN: 978-84-931891-5-0
  - BREF, 2015. European Commission, 2015. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs (BREF). Revisión agosto 2015.. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) JOINT RESEARCH CENTRE Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau. 877 p.
  - Bolado, S., Toquero, C., Martín-Juárez, J., Travaini, R., García-Encina, P.A. Effect of thermal, acid, alkaline and alkaline-peroxide pretreatments on the biochemical methane potential and kinetics of the anaerobic digestion of wheat straw and sugarcane bagasse. *Bioresource Technology* 201, pp. 182-190 (2016).
  - “Manual de Biogás” (2011). FAO. ISBN 978-95-306892-0 Editado por: Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”.
  - Toquero, C., Bolado, S. Effect of four pretreatments on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation of wheat Straw. Influence of inhibitors and washing. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*. 157. 68-76 2014.
  - Barroso Casillas, Miguel. “Pretratamiento de Biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería” (2010) 151 p.
  - De Godos Ignacio, Blanco Saúl, García-Encina Pedro A., Becares, E. “Long-term operation of high rate algal ponds for the bioremediation of piggery wastewaters at high loading rates”. *Bioresource Technology*, Volume 100, Issue 19, October 2009, Pages 4332-4339.
  - González Lopez, C.V., Cerón García, M.C., Ación Fernández, F.G., Segovia Bustos, C., Chisti, Y., Fernández Sevilla, J.M., “Protein measurements of microalgal and cyanobacterial biomass”. In *Bioresour. Technol.* 101, 7587–7591. 2010.
  - Biomasa: digestores anaerobios. IDEA. ELABORACIÓN TÉCNICA BESEL, S.A. (Departamento de Energía). ISBN-13: 978-84-96680-21-0. 43 p.

## 7.2 LEGISLACIÓN

- España. Decreto de 20 de marzo, por el que se aprueba el Plan Regional de Ámbito Sectorial denominado «Plan Integral de Residuos de Castilla y León». Boletín Oficial de Castilla y León de 24 de marzo de 2014.
- España. Orden FYM/162/2012, de 9 de marzo, por la que publica la relación de residuos susceptibles de valorización y se establecen los métodos y criterios para la

estimación indirecta del peso y composición de residuos en el impuesto sobre la eliminación de residuos de Castilla y León. (BOCyL de 29-03-2012).

- España. Orden MAM/1536/2010, de 5 de noviembre, por la que se modifica la Orden MAM/2348/2009, de 30 de diciembre, por la que se aprueba el programa de actuación de las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de Fuente de datos:s de origen agrícola y ganadero designadas de Castilla y León por el Decreto 40/2009, de 25 de junio. (BOCyL de 15-11-2010).
- España. Orden MAM/2348/2009, de 30 de diciembre, por la que se aprueba el programa de actuación de las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de Fuente de datos:s de origen agrícola y ganadero designadas de Castilla y León por el Decreto 40/2009, de 25 de junio. (BOCyL de 21-01-2010).
- España. Decreto 40/2009, de 25 de junio, por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de Fuente de datos:s de origen agrícola y ganadero, y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias. (BOCyL de 01-07-2009).
- España. Decreto 74/2002, de 30 de mayo, por el que se aprueba la Estrategia Regional de Residuos de la Comunidad de Castilla y León 2001-2010. (BOCyL 05-06-02).
- España. Resolución de 20 de noviembre de 2001, de la Consejería de Medio Ambiente, por la que se hace público Dictamen Medioambiental de la Evaluación Estratégica Previa sobre la Estrategia Regional de Residuos de Castilla y León 2001-2010. (BOCyL 07-12-01).
- España. Orden de 27 de junio de 2001, de la Consejería de Medio Ambiente, por la que se aprueban los programas de actuación de las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de Fuente de datos:s de origen agrícola y ganadero designadas por el Decreto 109/1998, de 11 de junio. (BOCyL 29-06-01).
- España. Decreto 109/1998, de 11 de junio, por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de Fuente de datos:s de origen agrícola y ganadero y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias. (BOCyL 16-6-98) (Derogado por el Decreto 40/2009)
- España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales).
- España. Real Decreto 1528/2012, de 8 de noviembre, por el que se establecen las normas aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano.
- España. ORDEN PRE/468/2008, de 15 de febrero, por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros, por el que se aprueba el Plan Nacional Integral de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano.
- España. Real Decreto 1221/2009, de 17 de julio, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones de ganado porcino extensivo y por el que se modifica el Real Decreto 1547/2004, de 25 de junio, por el que se establecen las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas.

## 8. ANEXOS

En documento a parte.

## 9. DOCUMENTO DE MAPAS

En documento a parte.

### GRÁFICOS

<b>Nº</b>	<b>Denominación</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Distribución de la tierra de Castilla y León según aprovechamientos.	<b>5</b>
<b>2</b>	Distribución de la superficie de tierras de cultivo de Castilla y León.	<b>6</b>
<b>3</b>	Cabezas de ganado de las principales cabañas en Castilla y León.	<b>8</b>
<b>4</b>	Distribución de las explotaciones ganaderas del estudio por las cabañas ganaderas.	<b>8</b>
<b>5</b>	Distribución provincial de las explotaciones de ganado intensivo de Castilla y León.	<b>9</b>
<b>6</b>	Distribución provincial del viñedo en Castilla y León. Elaboración propia.	<b>26</b>
<b>7</b>	Biomasa potencial de los cultivos.	<b>50</b>
<b>8</b>	Distribución provincial de la biomasa agrícola total disponible.	<b>51</b>
<b>9</b>	Biomasa potencial ganadera.	<b>55</b>
<b>10</b>	Biomasa potencial total en Castilla y León.	<b>60</b>

### FIGURAS

<b>Nº</b>	<b>Denominación</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Clasificación de la biomasa. Elaboración propia.	<b>19</b>

### MAPAS

<b>Nº</b>	<b>Denominación</b>	<b>Página</b>
<b>C005</b>	Distribución en superficie de cultivos de cereal en castilla y león.	<b>20</b>
<b>C006</b>	Distribución en superficie de cultivos de hortícolas en castilla y león.	<b>21</b>
<b>C011</b>	Distribución en superficie de cultivos de viñedo en castilla y león.	<b>22</b>
<b>C004</b>	Distribución en superficie de cultivos agrícolas en Castilla y León	<b>25</b>
<b>G001</b>	Carga ganadera del total de las cabañas estudiadas en Castilla y León	<b>29</b>
<b>G003</b>	Carga ganadera total bovina.	<b>32</b>
<b>C018</b>	Distribución de la relación etanol-lignina derivado de los productos de origen agrícola.	<b>45</b>
<b>G011</b>	Densidad de proteína algal disponible en la biomasa residual ganadera.	<b>48</b>

Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

<b>C012</b>	Producción potencial de la biomasa residual agrícola en la Comunidad de Castilla y León.	<b>49</b>
<b>C016</b>	Potencial energético generado a partir de la biomasa agrícola herbácea.	<b>52</b>
<b>C017</b>	Potencial energético generado a partir de la biomasa agrícola de cultivos leñosos.	<b>53</b>
<b>C021</b>	Producción de biogás derivado de los productos de origen agrícola en Castilla y León.	<b>54</b>
<b>G006</b>	Mapa: Densidad de la Biomasa valorizable total de origen animal en Castilla y León.	<b>57</b>
<b>G007</b>	Potencial energético generado a partir de la biomasa ganadera.	<b>57</b>
<b>G008</b>	Biogás disponible ganadero total. Elaboración propia.	<b>59</b>
<b>T001</b>	Biomasa residual total en Castilla y León. Elaboración propia.	<b>61</b>
<b>T002</b>	Potencial energético total en Castilla y León. Elaboración propia.	<b>62</b>
<b>P002</b>	Situación de las posibles plantas de generación de electricidad o con fines térmicos.	<b>63</b>
<b>T003</b>	Biogás producido a partir de la biomasa residual total en Castilla y León.	<b>64</b>

**TABLAS**

<b>Nº</b>	<b>Denominación</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Efectivos ganaderos según las especies. Elaboración propia.	<b>7</b>
<b>2</b>	Ámbito material del análisis basado en el Listado Europeo de Residuos	<b>13</b>
<b>3</b>	Superficies de los cultivos herbáceos que se han tenido en cuenta para el cálculo de los residuos.	<b>19</b>
<b>4</b>	Resumen regional de superficies por grupos de cultivos herbáceos. Elaboración propia.	<b>19</b>
<b>5</b>	Superficies de los cultivos leñosos que se han tenido en cuenta para el cálculo de los residuos	<b>22</b>
<b>6</b>	Resumen regional de superficies por grupos de cultivos leñosos. Elaboración propia	<b>22</b>
<b>7</b>	Equivalencias en UGM de los distintos tipos de ganado	<b>27</b>
<b>8</b>	Efectivos ganaderos totales según especies. Elaboración propia.	<b>28</b>
<b>9</b>	Ratio residuo producto (Kg residuo/Kg producto). Kilogramos de residuo que se obtienen por kilogramo de producto con su humedad natural en el momento de la cosecha.	<b>28</b>

Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

<b>10</b>	Residuos medios en fresco de los cultivos hortícolas (t/ha).	<b>33</b>
<b>11</b>	Ratio residuo producto (t/ha*año). Para el cálculo del residuo generado con los cultivos leñosos se han utilizado valores medios de producción de biomasa residual por unidad de superficie.	<b>33</b>
<b>12</b>	Factores de disponibilidad de la biomasa disponible procedente de residuos agrícolas.	<b>34</b>
<b>13</b>	Porcentaje de humedad en origen de los diferentes cultivos.	<b>35</b>
<b>14</b>	Generación de Nitrógeno y deyecciones por tipo de plaza ganadera y fase productiva	<b>36</b>
<b>15</b>	Riqueza en materia seca de los estiércoles	<b>38</b>
<b>16</b>	Poder Calorífico Inferior (PCI) de los residuos de los distintos cultivos (kcal/kg).	<b>39</b>
<b>17</b>	Producción de metano a partir de residuos ganaderos por especie.	<b>40</b>
<b>18</b>	Composición química del biogás.	<b>41</b>
<b>19</b>	Composición química del material lignocelulósico de la biomasa agrícola.	<b>42</b>
<b>20</b>	Materia prima extraída de la biomasa agrícola	<b>43</b>
<b>21</b>	Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal.	<b>44</b>
<b>22</b>	Valorización fraccional de la biomasa ganadera: proteína disponible y biogás	<b>46</b>
<b>23</b>	Valorización fraccional de la biomasa ganadera: proteína disponible y biogás	<b>46</b>
<b>24</b>	Potencial de biomasa disponible por cada grupo de cultivos en Castilla y León	<b>47</b>
<b>25</b>	Biomasa agrícola disponible por provincias en Castilla y León	<b>50</b>
<b>26</b>	Biogás producido a partir de la biomasa agrícola por grupo de cultivos.	<b>51</b>
<b>27</b>	Potencial de biomasa disponible por cada cabaña ganadera en base seca en Castilla y León.	<b>53</b>
<b>28</b>	Potencial de biomasa ganadera por provincias en Castilla y León.	<b>55</b>
<b>29</b>	Producción de Biogás de biomasa ganadera por cabañas	<b>55</b>

Análisis y localización de la biomasa agrícola y ganadera en Castilla y León.

<b>30</b>	Producción de Biogás de biomasa ganadera por provincias en Castilla y León	<b>58</b>
<b>31</b>	Biomasa potencial total generada (t/año).	<b>60</b>