



## Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía

# Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía

SECRETARÍA GENERAL DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL



**POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA  
RESIDUAL AGRÍCOLA Y GANADERA EN ANDALUCÍA**

© *Edita:* JUNTA DE ANDALUCÍA.

Consejería de Agricultura y Pesca.

Publica: Dirección General de Planificación y Análisis de Mercados.

Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Colaboración técnica: Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero

Coordina: Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

Depósito Legal: SE-3339-2008

Maquetación e Impresión: Ideas, Exclusivas y Publicidad, S.L.

*La Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural ha sido la encargada de la coordinación y la dirección facultativa del presente estudio.*

*José Antonio Callejo López, Francisco de Santa Marta León Cívico, Vicente Manuel Montilla León, Alejandro Sanz Pagés, Teresa Parra Heras, y Francisco Cáceres Clavero, de la Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero, han participado en su elaboración.*



# Índice de contenidos

RESUMEN .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	13
2. ANTECEDENTES .....	15
3. OBJETIVOS .....	17
4. CONCEPTOS PREVIOS ACERCA DE LA BIOMASA .....	18
5. METODOLOGÍA .....	21
5.1. Fuentes de información utilizadas .....	21
5.2. Periodo de estudio .....	22
5.3. Modelo de representación utilizado .....	22
5.4. Cultivos agrícolas y explotaciones ganade- ras incluidos en el estudio .....	26
5.5. Estimación del potencial energético proce- dente de la biomasa residual .....	29
5.5.1. Estimación del potencial energético de la biomasa residual agrícola .....	29
5.5.1.1. Estimación del potencial de biomasa residual .....	29
5.5.1.2. Estimación del potencial ener- gético .....	32
5.5.2. Estimación del potencial energético de la biomasa residual ganadera .....	34
5.5.2.1. Estimación de la producción de metano .....	34
6. OBJETIVOS DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA LA BIOMASA Y EL BIOGÁS RECOGIDOS EN LA PLANIFICACIÓN ANDALUZA. REDUCCIÓN DE EMI- SIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ..	37
6.1. Objetivos de consumo energético para bio- masa y biogás en la planificación andaluza .....	37
6.2. Reducción de emisiones de GEI .....	40
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
7.1. Sector agrícola .....	44
7.1.1. Cultivos herbáceos .....	47
7.1.1.1. Cultivos COP .....	47
7.1.1.2. Resto de cultivos herbáceos ..	54
7.1.1.3. Potencial energético y potencial de producción de biomasa resi- dual de los cultivos herbáceos .....	56
7.1.2. Cultivos leñosos .....	58
7.1.3. Potencial energético total del sector agrícola andaluz .....	64
7.2. Sector ganadero .....	69

7.3. Potencial energético conjunto de la biomasa residual de los sectores agrícola y ganadero .....	74
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 1: USOS DEL SUELO DE SIGPAC PARA LAS CAMPAÑAS 2005 Y 2006 .....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO 2: ESTIMACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE CULTIVO .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO 3: ÍNDICES DE RESIDUO DE CULTIVO .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 4: EQUIVALENCIAS A UGM .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 5: CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PRODUCCIÓN DE METANO PARA LAS ESPECIES GANADERAS .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO 6: MAPAS DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL PROCEDENTE DE LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS .....</b>	<b>93</b>

**Potencial energético de la biomasa  
residual agrícola y ganadera en  
Andalucía**



## Resumen

Como la mayoría de las energías renovables, la biomasa, y en concreto la biomasa residual agrícola, es una **fente de energía** que aparece **dispersa en el territorio**. Del mismo modo, aunque la biomasa residual ganadera y la agroindustrial se producen concentradas, su aprovechamiento en las mismas instalaciones donde se generan (explotaciones ganaderas intensivas o industrias agroalimentarias) requiere cantidades suficientes para que su valorización energética resulte técnica y económicamente viable; su uso fuera de ellas depende de la existencia de grandes plantas que centralicen su recogida.

La dispersión territorial que caracteriza a la biomasa genera importantes costes de logística de aprovisionamiento, constituyendo éste uno de los principales obstáculos a su desarrollo. La necesidad de que las instalaciones de valorización energética tengan garantizado el suministro a lo largo de su vida útil, junto al mencionado condicionante de costes, justifican una **adecuada evaluación y caracterización de la distribución geográfica de este recurso que contemple su evolución en el tiempo**. A través de los análisis que incidan en este aspecto se puede facilitar la toma de decisiones a la hora de ubicar las instalaciones, centralizar la recogida de la biomasa, o incluso crear un sistema de logística de aprovisionamiento a gran escala.

Por otra parte, el sector de los biocarburantes ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años como consecuencia del establecimiento de ambiciosos objetivos de desarrollo en los ámbitos internacional y europeo. La controversia que suscita el uso de cereales y oleaginosas para producir energía, obliga aún más al **aprovechamiento de biomasa lignocelulósica que transformar en biocarburantes a través de tecnologías de 2ª generación**.

Este estudio se engloba dentro de las medidas que se contemplan en el **Plan de Acción para el Impulso de la Producción y el Uso de la Biomasa Agraria en Andalucía**, coordinado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, constituyendo concretamente uno de los documentos de carácter técnico previstos en el mismo. A su vez, el citado Plan constituye una de las medidas del Programa de Mitigación del Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012 (PAAC)<sup>1</sup> en el ámbito de las energías renovables.

El estudio que se presenta es un **primer análisis del potencial energético de la biomasa residual procedente de los sectores agrícola y ganadero**, pretendiéndose abordar en fases posteriores, la estimación de la biomasa procedente del sector agroindustrial de modo que se completaría el análisis del sector agrario andaluz.

Cabe destacar que en el estudio que ahora se presenta se estima el **potencial energético total** procedente de la biomasa residual de los principales subsectores agrícolas y ganaderos andaluces, es decir, la energía que se podrá conseguir **a partir de toda la biomasa que es susceptible de aprovechamiento sin considerar su posibilidad real de explotación o los aprovechamientos que de ella se hagan actualmente**. Una vez estimado el potencial total, se podrá disponer de la información básica de partida y de la metodología idónea a utilizar en posteriores estudios, como son la determinación del **potencial energético real**, es decir, el que tendría la biomasa residual cuyo aprovechamiento fuese técnica y económicamente viable.

<sup>1</sup> Este Plan se encuadra a su vez dentro de la Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático.

La **metodología desarrollada** para lograr el objetivo propuesto se basa en las herramientas que proporcionan los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, y utiliza un **variado conjunto de fuentes de información geográfica y alfanumérica** (SIGPAC, Declaraciones de cultivo del Fondo Andaluz de Garantía Agraria, SIG-Citrícola, SIG-GAN,...) que pueden catalogarse como de las más precisas y detalladas en cuanto a usos agrícolas del suelo y explotaciones ganaderas se refiere.

La **representación de los parámetros estudiados** (potencial de producción de biomasa residual agrícola y densidad energética superficial agrícola y ganadera), se ha llevado a cabo sobre una **malla formada por cuadrículas o píxeles de 1 km x 1 km** (100 hectáreas)<sup>2</sup>. La información de partida comprende datos de dos campañas (2005/06 y 2006/07) y contempla la mayor parte de los cultivos y especies ganaderas andaluzes, por lo que incluye la práctica totalidad de la biomasa residual procedente de estos sectores.

Para estimar el potencial energético procedente del sector agrícola se han utilizado índices de producción de residuos específicos para cada cultivo que proporcionan la cantidad de biomasa residual obtenida en función del rendimiento productivo del cultivo o de su superficie. En el caso del sector ganadero, se ha aplicado un índice de producción de metano que depende de la cantidad de sólidos volátiles que contiene el estiércol generado por las distintas cabañas y categorías de edad.

Según las estimaciones realizadas, el **potencial energético total** procedente de los sectores agrícola y ganadero asciende a 2.844 ktep, de los que el 92% (2.617 ktep) corresponde al sector agrícola, y el resto, 8% (226,6 ktep), al ganadero. El aprovechamiento energético de esta biomasa supondría el **14,25%** del **consumo de energía primaria** total que se registró en Andalucía en el año 2006, o expresado en otros términos, equivaldría al consumo doméstico anual de energía eléctrica de una población de más de **4,7 millones de habitantes**. Si se pudiera llevar a cabo este aprovechamiento eléctrico se evitaría la emisión de más de **2,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq** anuales, lo que supondría el 4,1% de las emisiones totales de Andalucía en el año 2006.

Por otro lado, el cumplimiento de los objetivos de incremento del consumo de energía primaria procedente de la biomasa y el biogás entre los años 2007 y 2013 (PASENER 2007-2013)<sup>3</sup>, requeriría el aprovechamiento del **22,3%** y del **4,7%** respectivamente, del potencial agrícola y ganadero estimado.

Del potencial energético procedente de la biomasa residual agrícola andaluza (obtenido a partir de cerca de 8 millones de toneladas de biomasa), el 67% proviene de los cultivos herbáceos, representando los cultivos COP (excluyendo el arroz) el 39% del potencial energético total procedente del sector agrícola. Le siguen por orden de importancia el resto de herbáceos (arroz, remolacha, algodón, fresa, tomate y cultivos de invernadero) con un 28% sobre el total, el sector del olivar (con el 26%) y el resto de cultivos leñosos (con el 7%).

---

<sup>2</sup> La ventaja de utilizar este modelo de representación es que cada unidad de información mantiene un área fija en el tiempo, lo que evita el problema de la distribución espacial de los recintos y parcelas agrícolas en cada campaña permitiendo la representación geográfica de los parámetros estudiados de forma individual para cada cultivo y especie ganadera, o agregada en función de una serie de características; para cada campaña, o como media de varias de ellas.

<sup>3</sup> Diferencia entre el consumo de energía primaria que se tendría en 2013 según el objetivo propuesto y el consumo estimado en 2007.

Se han identificado numerosas zonas de concentración de interés para el aprovechamiento energético de la biomasa residual agrícola. Una de las más importantes se encuentra en el bajo Guadalquivir, donde siete municipios producen más de un millón de toneladas al año de biomasa residual, lo que representa la octava parte del potencial energético total agrícola andaluz. La vega del Guadalquivir y lugares de producción de cultivos protegidos constituyen también zonas de importancia a destacar.

En el caso del sector ganadero, la mayor contribución energética corresponde al subsector porcino, con 145.335 tep/año, lo que representa el 64% del potencial estimado para el sector ganadero. El potencial energético procedente de la biomasa residual ganadera se encuentra más disperso en la geografía andaluza que el agrícola, aunque también se han identificado zonas de concentración. La más importante abarca cuatro municipios almerienses que acumulan 33.737 tep/año, el 15% del potencial energético procedente del sector ganadero andaluz.



# 1. Introducción

La biomasa es la fuente energética que más contribuye a la producción y consumo de energía primaria procedente de las energías renovables y una de las que posee mayor potencial de desarrollo dado su grado de aprovechamiento actual<sup>4</sup>.

Su destino mayoritario son las aplicaciones térmicas en el sector doméstico, aunque cada vez adquiere mayor relevancia su consumo en el ámbito industrial. La producción y uso de biocombustibles sólidos (pellets y briquetas)<sup>5</sup> en sistemas de calefacción se encuentra muy extendida en los países del centro y norte de Europa, mientras que en los países mediterráneos crece de forma moderada. Por su parte, la producción eléctrica a partir de biomasa se ha desarrollado a un ritmo más lento que el de otras tecnologías renovables, por lo que su promoción es una de las líneas de actuación prioritarias de la planificación energética<sup>6</sup>.

Además, a medio plazo, la importancia de la biomasa como materia prima utilizada en la producción de biocarburantes de segunda generación debe incrementarse para minimizar la competencia por las materias primas que existe entre el mercado alimentario y el energético.

Andalucía es la Comunidad Autónoma que registra mayor consumo de biomasa dentro del conjunto nacional<sup>7</sup> y una de las que posee mayor potencial de producción de este recurso. De hecho, en la planificación energética española (PER 2005-2010) Andalucía figura como una de las zonas prioritarias de actuación para el aprovechamiento de los residuos de cultivos herbáceos y leñosos, de industrias agroforestales y, fuera del ámbito de este estudio, de cultivos energéticos.

Los subproductos o residuos derivados de la actividad agraria constituyen una de las fuentes de biomasa con mayor potencial de desarrollo para uso energético. Su valorización energética conlleva además importantes beneficios medioambientales, económicos y sociales. En primer lugar, supone la reducción o eliminación de unos residuos en muchos casos contaminantes así como la disminución del riesgo de incendios provocado por la quema de rastrojos y restos de podas agrícolas. En segundo lugar, reduce los costes derivados de su gestión, e incluso se convierte en un recurso al generar

---

<sup>4</sup> En Europa, el 54% de la energía primaria de origen renovable procede de la biomasa (el 4% del total energético). Concretamente, según los datos del Observatorio Europeo de las Energías Renovables, EurObserv'ER, en 2006 la producción de energía primaria a partir de biomasa sólida fue de 62,4 Mtep (en general se destina el 83% para usos térmicos, principalmente calor doméstico, y el 17% a la producción de electricidad). En España, según el Plan de Energías Renovables 2005-2010, el potencial de la biomasa se calcula en torno a los 19 Mtep, de los cuales 13 Mtep corresponden a biomasa residual, y el resto a cultivos energéticos. En 2004, su aprovechamiento alcanzó el 45% de la producción con energías renovables (4,17 Mtep) (2,9% del total de consumo de energía primaria), repartidos en 680 ktep eléctricos y 3.487 ktep térmicos.

<sup>5</sup> Biomasa que se molture y se compacta para facilitar su transporte, almacenamiento y manipulación (este tratamiento encarece el producto final).

<sup>6</sup> Entre los objetivos del PER (2005-2010) destacan por su importancia las aplicaciones eléctricas de la biomasa fijándose un objetivo de aumento de su consumo para el periodo 2005-2010 de 5.138 ktep eléctricos con la ampliación de la potencia eléctrica hasta 1.695 MW, frente a los 344 MW instalados en 2004.

<sup>7</sup> Según el PER 2005-2010, en el año 2004 fue de 937.260 tep (22,5% del total). Le siguen Galicia con 683.497 tep (el 16,4% del total) y Castilla y León con 448.210 tep (10,76% del total).

unos ingresos adicionales a sus productores. Por último, el acopio y gestión de la biomasa genera un elevado número de empleos<sup>8</sup>, especialmente en las zonas rurales.

Por otra parte, las industrias agroalimentarias (junto con las forestales) constituyen las fuentes de biomasa residual actualmente más utilizadas en España, tanto para aplicaciones eléctricas como térmicas. Andalucía contribuye considerablemente a este aprovechamiento debido al desarrollo experimentado en el uso de los residuos de la industria del aceite.

Pese a ello, el escaso desarrollo del aprovechamiento de los residuos agrícolas, junto con el de los cultivos energéticos, han generado resultados poco alentadores en cuanto al cumplimiento de los objetivos propuestos en la planificación energética. El logro de estos objetivos requiere garantizar el suministro de materia prima para su aprovechamiento a las instalaciones<sup>9</sup>, por lo que resulta clave la existencia de sistemas de gestión y logística de aprovisionamiento a gran escala.

---

<sup>8</sup> Entre todas las energías renovables, la bioenergía es la más intensiva en mano de obra debido principalmente a la fase de producción de la materia prima. Según el estudio TERES II (Comisión Europea, 1999), que utiliza el modelo SAFIRE desarrollado para evaluar el mercado y el impacto de tecnologías y políticas energéticas en términos económicos (empleo, valor añadido, etcétera), en 2010, el sector de la bioenergía en la UE generaría 642.683 empleos netos, el 97% del total generado por todas las renovables, de los que 416.538 corresponderían al sector productor de cultivos energéticos y residuos agrícolas y forestales (en España serían 20.982), 70.168 al biogás y el resto a la biomasa térmica y los biocarburantes.

<sup>9</sup> Centrales termoeléctricas, instalaciones de producción de biocombustibles sólidos y, en un futuro próximo, plantas de producción de biocarburantes de segunda generación.

## 2. Antecedentes

La promoción de las energías renovables como estrategia de lucha contra el cambio climático y como modo de disminuir la dependencia energética de los combustibles fósiles constituye uno de los objetivos prioritarios de las políticas energéticas y medioambientales nacionales e internacionales.

Dada su importancia en el conjunto de las energías renovables, la biomasa en particular, no ha quedado al margen de las iniciativas que, para su promoción, han emprendido las distintas Administraciones Públicas. La Unión Europea, en el marco de las estrategias en el campo de la biomasa y los biocarburantes, presentó, en diciembre de 2005, el Plan de Acción para la Biomasa<sup>10</sup> que fomenta el empleo de materiales provenientes de los bosques, la agricultura y los residuos, tanto urbanos como industriales, como energía alternativa para el transporte, la electricidad y la calefacción. Complementariamente, la Comisión hizo pública, en febrero de 2006, la Estrategia de la UE para los biocarburantes (SEC (2006) 142), que completa al Plan de Acción para la Biomasa.

Por otra parte, en marzo de 2007 el Consejo Europeo adoptó un plan de acción en el ámbito de la energía para el período 2007-2009, sobre la base de la Comunicación de la Comisión “Una política energética para Europa” (SEC (2007) 12), en la que se establecieron unos objetivos en materia de eficiencia energética, energías renovables y uso de biocombustibles. En conformidad con estos objetivos, el pasado 23 de enero de 2008 la Comisión dio a conocer el paquete integrado de medidas sobre cambio climático y energía denominado “En Acción por el Clima. Energía para un mundo en cambio”, en el que se incluye un conjunto de medidas legislativas para combatir el cambio climático y mejorar la competitividad y seguridad energética europeas. Para lograr ambos objetivos propone:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% (30% si se alcanza un acuerdo internacional)
- Ahorrar el 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética
- Alcanzar una cuota del 20% de energías renovables en el consumo de energía global de la UE para el año 2020.

En sintonía con estos objetivos y enmarcado en los objetivos generales a medio y largo plazo de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia y de la Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático, el **Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012 (PAAC): Programa de Mitigación**<sup>11</sup> supone la respuesta del Gobierno Andaluz a la necesidad de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero, de forma más acelerada, al tiempo que se amplía la capacidad de sumidero de estos gases (mitigación).

---

<sup>10</sup> En el que se incluyen también los biocarburantes.

<sup>11</sup> Aprobado como acuerdo de Consejo de Gobierno el 5 de junio de 2007.

Una de las medidas que contempla el PAAC es precisamente la puesta en marcha de un *Plan de Acción para el Impulso de la Producción y Uso de la Biomasa Agraria y los Biocarburantes en Andalucía* (Aprovechamiento energético de la Biomasa: M94), que la Consejería de Agricultura y Pesca ya ha comenzado a desarrollar a través de la implementación de alguna de sus medidas.

Este que se presenta es el cuarto de los estudios que ya se han realizado en el marco del Plan de Acción. Corresponde en concreto a la medida 1.2. del Plan: estimación del potencial energético de la biomasa residual agraria andaluza<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Los documentos de carácter técnico publicados hasta ahora, y que forman parte de las medidas contempladas en el citado plan, son: “Estudio previo para la implantación de un plan de cultivos energéticos en Andalucía”, “Situación del sector de los biocarburantes en Andalucía y perspectivas de desarrollo” y “Análisis de los factores que interfieren en el desarrollo y expansión de la bioenergía”.

### 3. Objetivos

El análisis territorial de la producción de biomasa es clave para caracterizar esta fuente de energía de elevada dispersión superficial, así como para determinar las localizaciones óptimas de las instalaciones que la aprovechen de forma que se minimicen los costes de logística de aprovisionamiento (una de las barreras más importantes que comprometen el desarrollo de esta fuente de energía). Debido a su heterogeneidad, por su gran diversidad de orígenes, sistemas de acopio y tecnologías utilizadas para su conversión energética, el análisis sectorial resulta también fundamental.

Dicho lo anterior, el **objetivo principal** del estudio que se presenta consiste en estimar y representar en el territorio el potencial de producción energética a partir de la biomasa residual procedente del sector agrícola y ganadero andaluz<sup>13</sup>.

El potencial energético que se pretende estimar es el potencial máximo que se obtendría del aprovechamiento energético de toda la biomasa residual agrícola y ganadera generada en Andalucía sin considerar su posibilidad real de explotación (económica y técnicamente viable) o los aprovechamientos que de ella se hagan actualmente. Con ello, se lograría disponer de la información básica de partida para abordar posteriores análisis que tuvieran en cuenta restricciones técnicas y/o de mercado.

Como **objetivos de carácter específico** cabe destacar los siguientes:

- Conocer la distribución espacial de los diferentes cultivos y explotaciones ganaderas intensivas andaluzas.
- Estimar y representar geográficamente la biomasa residual total de origen agrícola existente en Andalucía.
- Estimar y representar geográficamente el potencial energético de los residuos agrícolas y ganaderos.
- Identificar zonas con mayor densidad energética superficial.

Para lograr los objetivos propuestos, se ha desarrollado una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permite estimar el potencial energético, y al mismo tiempo, representar geográficamente la densidad energética superficial de la biomasa residual. De esta forma es posible identificar las zonas de concentración de biomasa, delimitando su distribución geográfica y su impacto territorial.

La metodología aplicada y las fuentes de información geográfica utilizadas permiten realizar un seguimiento de la evolución de los parámetros estudiados en el tiempo. El enfoque sectorial adoptado posibilita el estudio independiente de diferentes subsectores o bien su análisis conjunto en función de las diferentes características de la biomasa (diferentes manejos, logística, almacenamiento) y sus formas de aprovechamiento energético.

---

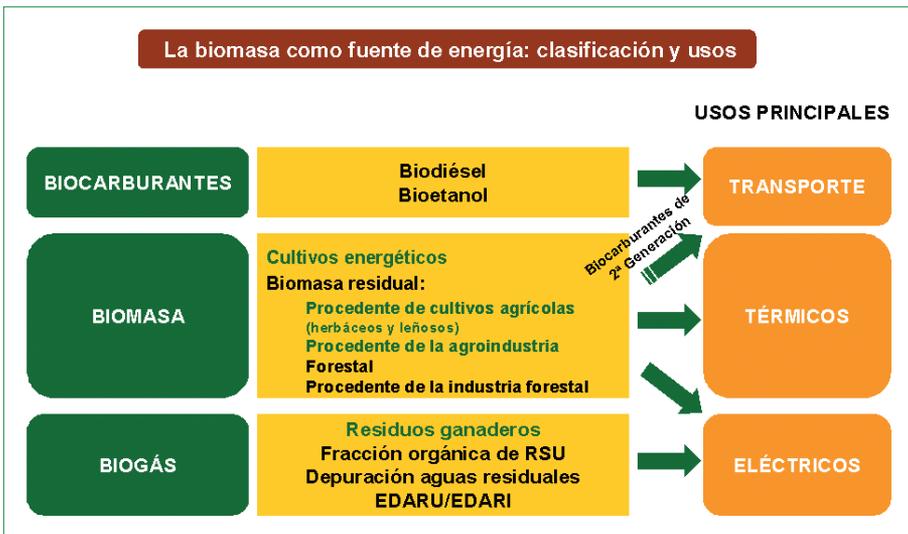
<sup>13</sup> Tras este estudio se completará la estimación del potencial energético del sector agrario andaluz mediante el estudio de la biomasa residual procedente de la agroindustria.

## 4. Conceptos previos acerca de la biomasa

La biomasa, entendida como fuente de energía renovable, se define como toda materia orgánica vegetal o animal, además de la que procede de su transformación natural o artificial, susceptible de un aprovechamiento energético. Engloba, por tanto, todas las formas de materia orgánica y sus transformados (Figura 1).

No obstante, dada la heterogeneidad que la caracteriza (amplia gama de orígenes y diversidad de tecnologías para su aprovechamiento energético), el concepto de biomasa ha experimentado una evolución que ha de tenerse en cuenta: actualmente, el término *biomasa* se utiliza para hacer referencia a los biocombustibles sólidos, distinguiéndolos por tanto de los biocarburantes<sup>14</sup> y del biogás<sup>15</sup> (aunque éstos provengan también de la materia orgánica). Incluye por tanto la madera, astillas, paja, o sus formas densificadas como los pellets y briquetas, posee mayoritariamente carácter lignocelulósico y se puede utilizar con fines térmicos o eléctricos<sup>16</sup>.

Figura 1. La biomasa como fuente de energía<sup>17</sup>.



Fuente: Elaboración propia.

<sup>14</sup> Los biocarburantes se utilizan mayoritariamente en el sector del transporte, principalmente en forma de bioetanol y biodiésel.

<sup>15</sup> El biogás es un gas combustible que se produce durante la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos biodegradables (residuos ganaderos, lodos de depuradora de las estaciones de aguas residuales urbanas o EDARU, efluentes industriales o EDARI y fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos o RSU). Se compone principalmente de metano, y en menor proporción, de otros compuestos como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, etc., y se puede utilizar con fines eléctricos, térmicos, e incluso, para el transporte.

<sup>16</sup> También tiene como destino la producción de biocarburantes, aunque este uso no se generalizará hasta que las tecnologías de segunda generación no estén desarrolladas completamente a escala comercial.

<sup>17</sup> Se ha identificado con caracteres verdes la biomasa o biocombustible de origen agrario.

Ya se ha mencionado que el objetivo principal de este estudio es estimar la biomasa residual agraria y el potencial energético derivado de la misma. La **biomasa residual de origen agrario** se define como todo residuo de carácter orgánico generado en cualquier actividad agraria, ya sea agrícola, ganadera o agroindustrial. Por tanto, se puede clasificar en:

- **Biomasa residual agrícola:** en este grupo se incluye todo el material vegetal producido en las explotaciones agrícolas. Comprende los residuos de cultivos leñosos como los restos de poda del olivar, cítricos, almendro, viñedo, etc. y los residuos de los cultivos herbáceos como la paja de cereal, los restos del cultivo del algodón, el cañote de girasol o maíz, etc. Su disponibilidad depende de la época de recolección y de la variación de la producción agrícola por lo que es recomendable la existencia de centros de acopio de biomasa donde centralizar su distribución (IDAE, 2005). Se caracteriza por su producción dispersa en el territorio y su baja densidad, que provoca elevados costes en la logística de su aprovisionamiento. El pretratamiento para su densificación (empacado, astillado, etc.) supone un coste adicional pero consigue un transporte más económico. Estas dos características son los obstáculos más importantes para lograr la viabilidad técnica y económica de su aprovechamiento energético.
- **Biomasa residual ganadera:** incluye todo residuo biodegradable procedente de la actividad ganadera, y se puede clasificar en estiércol, compuesto por la mezcla de las deyecciones y el material de la cama del ganado; purines, mezcla de deyecciones y el agua de limpieza y arrastre; aguas sucias procedentes del lavado, desperdicios de abrevaderos y deyecciones diluidas; y animales muertos<sup>18</sup>. Se pueden transformar en biogás mediante digestión anaerobia, o bien secar y utilizar directamente como combustible. Se encuentran concentrados en las instalaciones donde se generan y son muy contaminantes debido a su elevada carga orgánica. La producción de biogás a partir de residuos ganaderos sólo es posible tecnológicamente cuando existe una elevada concentración de cabezas de ganado en explotaciones intensivas (IDAE, 2005).
- **Biomasa residual agroindustrial:** incluye los subproductos derivados de los procesos de producción industrial de productos agroalimentarios, como el bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz, orujo y orujillo de aceituna, etc. Al igual que en el caso anterior, se encuentra concentrada allí donde se genera, suele ser contaminante y en muchas ocasiones tiene un elevado contenido en humedad por lo que su secado supone un coste adicional. Su disponibilidad depende de las variaciones de la actividad industrial que la genera que en muchos casos es estacional.

Dentro de los residuos ganaderos, el estudio se centra en el estiércol y purines generados en las explotaciones intensivas, ya que es en éstas donde se produce una mayor acumulación de estos desechos que requieren una gestión adecuada (debido a su carácter contaminante), y es dónde resultan más fáciles de recoger (al producirse concentrados).

---

<sup>18</sup> Los cadáveres de animales están sujetos a lo establecido en el Reglamento CE/1774/2002 del Parlamento Europeo y el Consejo, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano. De acuerdo con esta norma y con el Real Decreto 1429/2003, los cadáveres de animales de especies no ruminantes se consideran como material de categoría 2 y deberán eliminarse directamente como residuos mediante incineración en la propia granja con un sistema autorizado, o bien se entregarán a través de un circuito de recogida para su transformación en una planta autorizada. Excepcionalmente, las autoridades competentes podrán definir otros destinos como el enterramiento *in situ*, cuando se originen en zonas remotas, o la alimentación para silvestres en áreas previamente autorizadas.

Ya se ha mencionado que el presente estudio analiza el potencial energético de los residuos agrícolas y ganaderos, dejando para un estudio posterior la estimación de los residuos de origen agroindustrial.

Igualmente recordar que, como ya se ha indicado, se trata de analizar el **potencial energético total**<sup>19</sup>, es decir, la energía generada por la biomasa que es susceptible de aprovechamiento sin considerar su posibilidad real de explotación o los aprovechamientos que de ella se hagan actualmente.

A partir de los resultados de este estudio se podrán iniciar otros para determinar el potencial energético aprovechable o los umbrales económicos del aprovechamiento de la biomasa residual bajo diferentes restricciones técnicas y de mercado, tomando en consideración las limitaciones medioambientales y de competencia con otros usos tradicionales.

---

<sup>19</sup> Se distingue del *potencial real* (energía generada por toda la biomasa que puede utilizarse con las tecnologías existentes, que no posee otro valor que el energético y cuyo aprovechamiento es técnica y económicamente viable) y del *potencial disponible* (energía generada por la biomasa que en el momento de su aprovechamiento no esté siendo utilizada para ningún otro fin) (Domínguez *et al.*, 2003).

## 5. Metodología

### 5.1. Fuentes de información utilizadas

Como se ha comentado anteriormente, la estimación del potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera andaluzas se ha abordado desde un análisis territorial, siendo la superficie de cultivo, en el caso de los residuos agrícolas, y el número de cabezas de ganado, en el caso de los ganaderos, los parámetros básicos con los que se han iniciado los cálculos.

El enfoque sectorial también se ha considerado esencial debido a las diferencias que existen en el aprovechamiento energético de los distintos tipos de residuos, así como en su logística, manejo, almacenamiento, poder calorífico, etc.

A continuación, se presentan las fuentes de información cartográficas y alfanuméricas de las que se ha hecho uso, describiéndolas brevemente:

- **Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC 2005 y 2006):** es un Sistema de Información Geográfica dedicado al control de las ayudas agrícolas de la PAC, siendo la base identificativa de cualquier tipo de ayuda relacionada con la superficie y de obligada utilización en la gestión de las mismas (sustituye al catastro como referencia para solicitarlas, aunque sólo con esta finalidad). Dispone de soporte gráfico del terreno, de las parcelas catastrales y recintos<sup>20</sup> con usos o aprovechamientos agrarios definidos. Proporciona, por tanto, información relativa a la ubicación, superficie y uso de recintos, e integra otros sistemas utilizados antes del inicio su empleo.
- **Bases de datos de declaraciones de cultivo del Fondo Andaluz de Garantía Agraria (FAGA):** contienen las declaraciones de cultivo que el agricultor está obligado a presentar cuando solicita alguna ayuda a la superficie o a la producción, incluido el pago único. Proporciona información acerca de la superficie y el cultivo a nivel de productor y recinto.
- **Sistema de Información Geográfica de Cítricos (SIG-Citrícola 2006):** contiene información relativa a la superficie, especie, variedad, portainjerto, edad, estado, marco y régimen de cultivo (secano o regadío) a nivel de recinto y parcela catastral de los cultivos cítricos andaluces.
- **Sistema Integrado de Gestión Ganadera (SIGGAN 2005 y 2006):** proporciona información sobre la ubicación geográfica de las explotaciones ganaderas, la orientación de cada explotación (leche o carne) y el número de cabezas de ganado existentes en las mismas.
- **Modelo AGER:** modelo desarrollado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía para la evaluación del impacto de las políticas agrarias comunitarias en Andalucía. Contiene información de distinta índole relativa al ámbito agrario andaluz a nivel municipal, a partir de la cual se construyen indi-

---

<sup>20</sup> Se define como recinto cada una de las superficies continuas de terreno dentro de una parcela catastral, con un uso agrícola único de los definidos en el SIGPAC (se detallan en el **Anexo 1**).

cadoreos económicos, sociales y medioambientales cuya evolución a lo largo del tiempo determina el impacto de las distintas políticas comunitarias. De este modelo se ha extraído información relativa a producciones y rendimientos de los cultivos herbáceos, así como a superficies de determinados cultivos leñosos, como el almendro.

Igualmente, se han utilizado otras fuentes de información bibliográfica y estudios diversos de los que se han extraído en concreto:

- **Coefficientes para la estimación de la biomasa residual:** coeficientes de producción de residuos en el caso de los cultivos agrícolas e índices de producción de sólidos volátiles en el de las explotaciones ganaderas.
- **Poder calorífico y humedad media** para cada tipo de biomasa residual.

## 5.2. Periodo de estudio

El período de tiempo considerado en este estudio abarca **dos campañas de comercialización, la campaña 2005/2006 y la campaña 2006/2007** (que coinciden con las campañas agrícolas 2004/2005 y 2005/2006 y las campañas PAC 2005 y 2006). La razón de no haber escogido un período más amplio ha sido la dificultad que hubiera entrañado realizar un análisis territorial como el que se aborda sin contar con la cobertura geográfica clave para llevarlo a cabo: el SIGPAC.

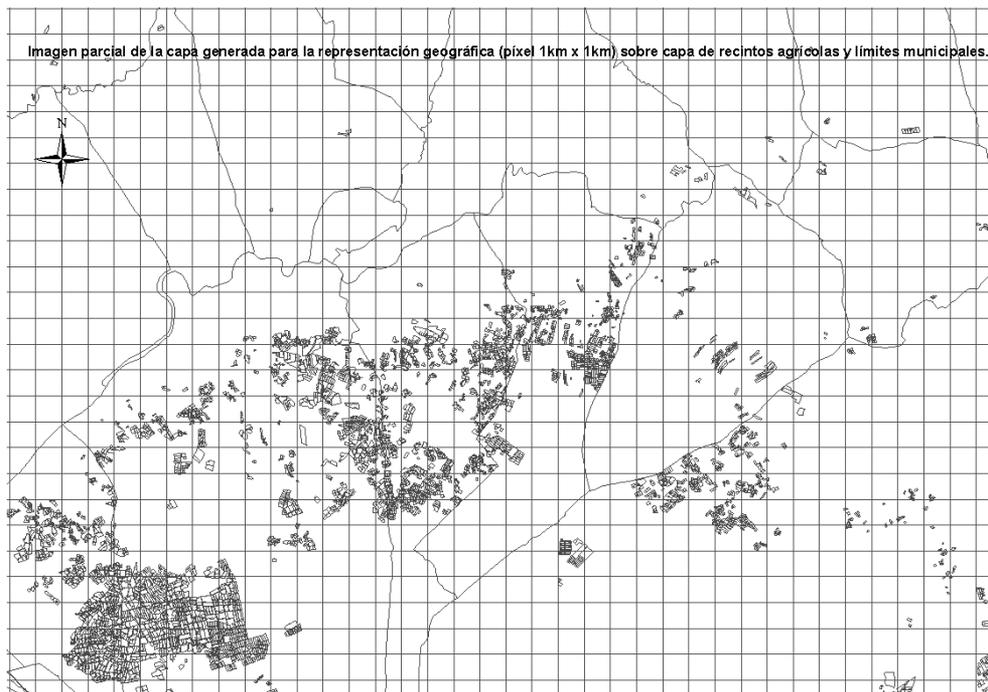
Hay que reseñar que en el caso de los árboles frutales y frutos secos sólo se ha considerado la campaña de comercialización 2006/2007 al no disponer de información para realizar el análisis de lo acaecido la campaña anterior. Igualmente, los datos relativos a superficies proporcionados por el SIG-Citrícola no posibilitan distinguir la superficie de cítricos de las campañas de comercialización 2005/2006 y 2006/2007, por tanto, se ha adoptado la superficie que proporciona el SIG-Citrícola disponible a fecha de realización de este estudio (versión de diciembre de 2006).

En el sector ganadero se han considerado los datos del censo de SIGGAN 2005 y SIGGAN 2006, excepto en el caso del sector avícola, en el que sólo se ha considerado SIGGAN 2006 debido a que en el correspondiente a 2005 no se diferencia entre pollos de carne y gallinas ponedoras.

## 5.3. Modelo de representación utilizado

El análisis territorial del potencial energético de la biomasa residual se ha llevado a cabo utilizando las herramientas que proporcionan los SIG. Para ello, la información vectorial referente a la distribución de los cultivos agrícolas y explotaciones ganaderas se ha rasterizado con un píxel de 1 km x 1 km (100 ha) de resolución espacial. Es decir, la información alfanumérica disponible en las distintas fuentes empleadas (superficie de cultivo y número de cabezas fundamentalmente) se ha trasladado a la capa obtenida tras dividir el mapa de Andalucía en cuadrículas o píxeles de 100 ha.

**Figura 2. Imagen parcial de la capa generada para la representación geográfica (retícula de 1 km x 1 km) sobre los recintos agrícolas y límites municipales en una zona de producción de fresa en la provincia de Huelva.**



Fuente: Elaboración propia.

En el caso del sector agrícola, la metodología empleada para trasladar esta información ha consistido en asignar a cada unidad de información espacial generada (píxel de 100 ha) los recintos cuyos centroides<sup>21</sup> se situasen en su interior. La superficie de un determinado cultivo asociada a cada píxel es la suma de las superficies de los recintos dedicados al cultivo en cuestión cuyos centroides se sitúan en su interior<sup>22</sup>.

En el caso del sector ganadero, se ha asignado a cada píxel la suma de cabezas de ganado de las explotaciones ganaderas que se encuentran en su interior (geográficamente cada explotación es un punto georreferenciado).

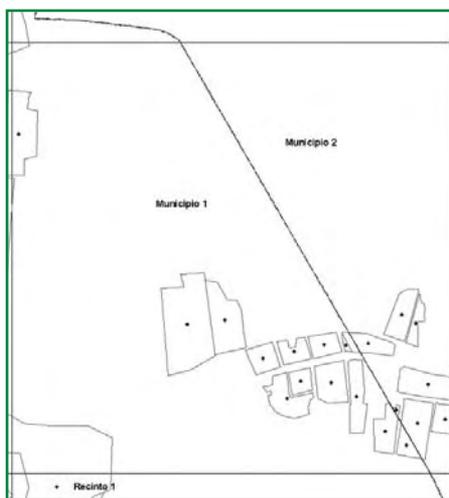
<sup>21</sup> El centroide de una figura geométrica representa su centro de simetría. En este caso, los centroides de los recintos se han obtenido mediante análisis matemáticos que proporcionan los SIG a partir de las coberturas de polígonos irregulares que representan los recintos. Los centroides se encuentran georreferenciados, es decir, tienen una localización concreta en el plano con sus coordenadas X e Y, y están vinculados al polígono que los generó, lo que hace que se les pueda asociar la información de atributos correspondiente a dicho polígono, y por tanto al recinto agrícola al que estos representan.

<sup>22</sup> La metodología empleada para determinar la distribución de las superficies de cada cultivo y las fuentes de información utilizadas en cada caso se recogen en el **Anexo 2**.

Para simplificar los cálculos, cada píxel se ha asignado a un único municipio. Aquellas cuadrículas o píxeles con superficie en más de un municipio se han asignado al municipio que contuviera mayor porcentaje de su superficie. Esto permite extraer resultados con gran facilidad a niveles de agregación superiores al píxel como son el municipal, el comarcal o el provincial.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo que trata de ilustrar mejor la metodología empleada. Supongamos que todos los recintos representados corresponden a un mismo cultivo; como se observa en la figura, los centroides de todos los recintos, excepto el correspondiente al identificado como Recinto 1, se sitúan en el interior del píxel, por lo que la superficie del cultivo asignada al píxel sería la suma de las superficies de todos los recintos, excepto la del Recinto 1. Por otro lado, como el mayor porcentaje de la superficie del píxel se encuentra en el Municipio 1, el código de éste será el que se asigne al píxel, con lo que le corresponderá el rendimiento de cultivo asignado a este municipio 1.

**Figura 3. Asignación de recintos y municipios al píxel.**



Fuente: Elaboración propia.

El objetivo es obtener, a nivel píxel, el potencial energético procedente de la biomasa residual en términos de densidad energética superficial, expresada en tep/ha<sup>23</sup>, para cada cultivo y especie ganadera. Esto permite cartografiar la densidad energética superficial de los residuos de los distintos cultivos, ya sea de forma individual, o agrupada en función de una serie de características (formas similares de manejo, almacenamiento o aprovechamiento, o según su logística de aprovisionamiento), así como representar en un mapa la densidad energética superficial generada por las explotaciones ganaderas. Igualmente se puede elaborar mapas de densidad energética superficial que contemplen el potencial conjunto de los sectores agrícola y ganadero.

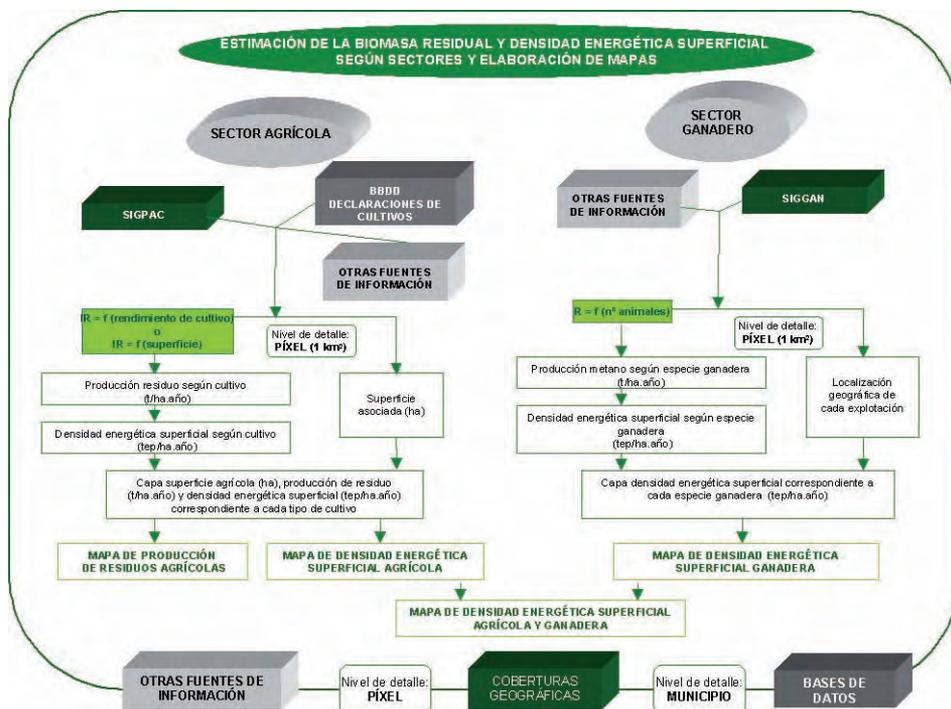
<sup>23</sup> tep: tonelada equivalente de petróleo. 1 tep = 10<sup>7</sup> Kcal.

La ventaja de utilizar este modelo de representación es que cada unidad de información mantiene un área única constante en el tiempo superando el problema de la distribución espacial de los recintos en cada campaña. Esto permite el análisis de la evolución de la biomasa residual en distintos períodos, la obtención de valores medios del potencial energético para varios años o el cálculo de la energía potencial generada a partir de distintos tipos de biomasa de forma individual o agregada.

La metodología general aplicada para calcular la densidad energética superficial de la biomasa ha sido la siguiente (Figura 4):

1. Creación de una base de datos en la que, a nivel de píxel, se tienen las superficies y rendimientos de cada cultivo, y el número de cabezas de ganado de cada explotación ganadera.
2. Estimación de la cantidad de biomasa residual, a nivel de píxel, en función del rendimiento o superficie de cada cultivo, y estimación de la producción de metano a nivel de píxel en función del número de animales de cada especie ganadera.
3. En el caso de los cultivos, estimación de la densidad energética superficial (tep/ha) a nivel de píxel en función de la cantidad de la biomasa residual estimada y del poder calorífico de cada tipo de residuo.
4. En el caso de las especies ganaderas, estimación de la densidad energética superficial (tep/ha) a nivel de píxel en función de la cantidad de metano estimada y su poder calorífico.

**Figura 4. Metodología utilizada para la estimación de la biomasa residual y densidad energética superficial, y su representación cartográfica.**



## 5.4. Cultivos agrícolas y explotaciones ganaderas incluidos en el estudio

En el caso de la biomasa residual agrícola, el estudio contempla todos los cultivos andaluces con una mínima amplitud de distribución o concentración en determinadas zonas, es decir, la práctica totalidad de la biomasa residual procedente de este sector.

Los cultivos herbáceos y leñosos cuyos residuos se han estimado son:

- **Cultivos COP: trigo, cebada, avena, centeno, arroz, maíz y girasol.**

- Cereales (excepto arroz): el trigo es con diferencia el cereal más importante en Andalucía, tanto en producción como en superficie. Le siguen en importancia la cebada y la avena, si se tiene en cuenta la superficie, ya que según la producción, el maíz ocuparía el segundo lugar (cultivo de regadío). Los cereales generan como residuos los rastrojos, paja, cañote, hojas, etc.
- Oleaginosas: el girasol es la oleaginosa de mayor importancia en Andalucía representando más del 99% de la superficie total de éstas. El girasol andaluz supone el 37,6% de la superficie nacional del cultivo y el 45,8% de su producción. Se trata de un cultivo tradicional del secano andaluz, especialmente, en Andalucía Occidental, y tras su cosecha quedan el cañote (tallo de la planta) y el capítulo floral como residuos.
- Arroz: es un cultivo de gran relevancia en el bajo Guadalquivir, que se ha seleccionado debido a su concentración en dicha zona y a su elevada productividad en biomasa residual. Su análisis así como la representación geográfica de la densidad energética superficial de la paja de arroz se ha realizado de forma independiente a la del resto de cultivos COP debido a sus características distintivas.

- **Cultivos industriales: remolacha azucarera y algodón.**

- Remolacha azucarera: ha sido un cultivo de enorme importancia en la región, si bien su superficie se está viendo reducida como consecuencia de la aplicación de la nueva OCM del azúcar. En el cálculo de la producción de su biomasa residual se ha tenido en cuenta tanto las hojas como la parte alta de la raíz donde se insertan éstas (corona).
- Algodón: al igual que el anterior, es un cultivo de gran importancia en la región, que además genera una elevada cantidad de biomasa residual por unidad de superficie.

- **Cultivos protegidos.**

- Invernaderos: se concentran principalmente en el poniente almeriense y a lo largo de la costa malagueña y granadina, donde han adquirido una gran importancia económica y social. Sus residuos se caracterizan por su elevada heterogeneidad y producción por unidad de superficie. Debido a ello, se han convertido en foco de infección para los propios cultivos, contaminantes de acuíferos y aguas superficiales, productores de malos olores, etc. Si a

esto añadimos el hecho de que en muchos casos cuentan con una elevada concentración en fitosanitarios que los invalidan como alimento para los animales, su aprovechamiento energético resulta muy adecuado.

- Fresa: su elección responde a los mismos criterios utilizados para los cultivos de invernadero. Por un lado, su producción se encuentra muy concentrada, en la provincia de Huelva, y por otro, posee una elevada productividad en biomasa residual.
- **Tomate al aire libre.** Aparte del tomate que se produce bajo plástico, se ha incluido el cultivo de tomate al aire libre debido a su importancia en algunas zonas y a que produce gran cantidad de residuos que pueden llegar a resultar un problema para el agricultor. Además, en las zonas en las que el tomate al aire libre posee cierta relevancia también se suele cultivar algodón y remolacha que por ser igualmente cultivos con elevado rendimiento en biomasa residual, posibilitan la concentración de biomasa residual en una superficie relativamente limitada; lo que redundaría en un mayor interés para el aprovechamiento energético.
- **Cultivos leñosos.** Tradicionalmente, los restos de poda de los cultivos leñosos se han quemado *in situ*, práctica que supone un derroche energético y el aumento de riesgo de incendios, o bien, en algunos casos, se han incorporado al suelo de la explotación. Sólo determinadas especies, y en cantidades relativamente pequeñas, se han utilizado como leña.

Los cultivos leñosos que destacan por su importancia en Andalucía que se han considerado en este estudio son los siguientes:

- **Olivar:** se trata del principal cultivo leñoso en Andalucía. Ocupa más del 32% de la superficie agrícola andaluza, llegando a ser monocultivo en amplias zonas como Jaén donde ocupa el 85%. Su superficie ha aumentado de forma continuada desde el año 1996 hasta ahora. Las nuevas explotaciones tienen mayor densidad de pies por unidad de superficie, y el regadío aumenta en detrimento del secano debido tanto a las nuevas plantaciones, como a la modernización de los olivares en producción mediante su puesta en riego.
- **Frutos secos:** dentro de los frutales de cáscara (avellano, pistacho, nogal...) se ha tomado como referencia el almendro debido a que ocupa la práctica totalidad de la superficie dedicada a estos frutales en Andalucía.
- **Viñedo:** cultivo del que se obtiene uva de vinificación (Cádiz, Córdoba y Huelva) y uva pasa, encontrándose la casi totalidad de ésta en la provincia de Málaga. También existe cierta proporción de uva de mesa, principalmente en las provincias de Sevilla y Málaga, y en mucha menor medida en Almería.
- **Cítricos:** el naranjo dulce ocupa el 70% de la superficie dedicada a cítricos de la región, el 18% es mandarina y el resto limonero, por lo que el cálculo de la biomasa residual en este grupo se ha asociado a la producida por el primer cultivo de los mencionados.
- **Otros frutales:** consideraremos como tales al resto de las plantaciones leñosas agrícolas no incluidas en ninguna de las otras categorías, independien-

temente de si son frutales de hueso o de pepita. Se ha tomado como referencia los residuos generados por el melocotonero, dado que ocupa la mayor parte de la superficie dedicada a frutales en Andalucía, excepto en Málaga, provincia en la que se ha considerado la biomasa residual procedente del aguacate, ya que la mayor parte de la superficie catalogada como frutal de esta provincia está dedicada a cultivos subtropicales, principalmente el mencionado.

**Tabla 1. Cultivos agrícolas contemplados en el estudio.**

Grupo	Subgrupo	Subgrupo	Tipo de residuo
<b>Cultivos herbáceos</b>	Cultivos COP (excepto arroz)	Trigo Maiz Cebada Avena Sorgo Girasol	Paja de cereal Cañote de girasol
	Arroz	Arroz	Paja de arroz
	Tomate al aire libre	Tomate al aire libre	Mata de tomate
	Cultivos industriales	Algodón	Mata de algodón
		Remolacha	Restos aéreos y corona
Cultivos protegidos	Hortícolas de invernadero Fresa	Residuos biodegradables	
<b>Cultivos leñosos</b>	Cultivos leñosos	Olivar Cítricos Viñedo Frutos secos (almendro) Otros frutales (melocotonero y aguacate)	Leña Ramón Hoja

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del sector ganadero, se han contemplado las explotaciones intensivas de la mayor parte de las especies presentes en la región, en concreto las siguientes:

- Bovino de leche y carne.
- Ovino.
- Caprino.
- Porcino.
- Avícola.

## 5.5. Estimación del potencial energético procedente de la biomasa residual

Como ya se ha mencionado, la estimación del potencial energético procedente de la biomasa residual se ha abordado desde una perspectiva territorial basada en la distribución de las superficies ocupadas por cada cultivo y las cabezas de ganado. Para ello se ha trasladado a cada píxel la información que sobre estas dos variables se recoge o se estima a partir de distintas fuentes.

### 5.5.1. Estimación del potencial energético de la biomasa residual agrícola

#### 5.5.1.1. Estimación del potencial de biomasa residual

Una vez obtenidas las superficies de los distintos cultivos a nivel de cuadrícula o píxel, el potencial de biomasa residual asociado a cada píxel se estima utilizando un índice de producción de residuo específico de cada cultivo. El índice de residuo (IR) relaciona la producción de residuos con el rendimiento productivo del cultivo (kg de residuo / kg de producto) o con la superficie (kg de residuo/ha.año). Tanto el rendimiento en los casos en los que se ha utilizado, como el IR, se asignan a cada píxel en función del cultivo.

La biomasa residual se calcula mediante una de las expresiones siguientes, según se utilice un IR basado en el rendimiento (1) o en la superficie (2):

$$(1) \text{ Biomasa residual } \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = S(\text{ha}) \times \eta \left( \frac{\text{kg producto}}{\text{ha} \times \text{año}} \right) \times \text{IR} \left( \frac{\text{kg residuo}}{\text{kg producto}} \right)$$

$$(2) \text{ Biomasa residual } \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = S(\text{ha}) \times \text{IR} \left( \frac{\text{kg}}{\text{ha} \times \text{año}} \right)$$

donde:

**S** = superficie asignada al píxel de un cultivo determinado.

**$\eta$**  = rendimiento en producto del cultivo.

**IR** = índice de residuo específico de cada cultivo.

Relacionar la producción de biomasa residual con el rendimiento específico de la zona donde se localiza un determinado cultivo, hace que ésta dependa a su vez de las condiciones agroclimáticas y técnicas de cultivo empleadas. Por tanto, la estimación y representación geográfica de aquellos cultivos en los que ha sido posible utilizarla contempla la influencia de factores que, como el clima, inciden en la producción de biomasa residual, lo que se observa claramente al comparar la biomasa producida un año de sequía y la producida un año medio, como se verá posteriormente.

Los cultivos en los que se ha utilizado el IR en función del rendimiento productivo han sido los cultivos COP, los industriales (algodón y remolacha) y el tomate al aire libre. Los rendimientos considerados se han extraído del Modelo AGER y se han asignado a cada píxel en función del municipio al que pertenecen. En el **Anexo 3** se muestran diferentes índices de residuos referenciados en la bibliografía y el criterio adoptado para la elección de los utilizados finalmente en el estudio, que son los siguientes:

**Tabla 2. Índices de residuo utilizados para los cultivos COP, cultivos industriales y tomate al aire libre (kg de residuo / kg de producto).**

Cultivo	Trigo	Maíz	Cebada	Avena	Sorgo	Girasol	Arroz	Algodón	Remolacha	Tomate
<b>Índice de residuo (kg residuo/ kg producto)</b>	1,2	2,0	1,3	1,3	1,7	1,5	1,5	1,80	0,30	0,1

Para la biomasa residual procedente del trigo, maíz, cebada, avena y girasol se ha considerado un porcentaje de humedad del 12%; para los residuos del resto de cultivos se ha considerado un grado de humedad del 10%. Fuente: CIEMAT (trigo, maíz, cebada, avena y girasol), Fernández, J. (sorgo, arroz, algodón y remolacha); el IR del tomate se ha obtenido de la consulta a expertos.

En el caso de los cultivos leñosos y los cultivos protegidos, se ha recurrido a índices de producción de biomasa residual por unidad de superficie al no haber sido posible encontrar una relación 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. Cada índice de producción de residuos (kg/ha.año) se ha asignado al píxel en función del cultivo independientemente del municipio donde se encuentre.

En el caso del olivar, se ha considerado un índice de residuo de 1.700 kg/ha en las superficies cuyo rendimiento en aceituna era mayor o igual a 3.000 kg/ha, y de 1.400 kg/ha para las que tuvieran un rendimiento inferior<sup>24</sup>.

Para otros frutales se ha tenido en cuenta un índice de producción de residuos de 3.500 kg/ha (correspondiente al melocotonero) excepto en las superficies pertenecientes a la provincia de Málaga, en las que se ha considerado un índice de 2.000 kg/ha, correspondiente al aguacate, ya que la mayor parte de la superficie catalogada en SIG-PAC como frutal de esta provincia está dedicada a esta especie subtropical.

<sup>24</sup> Estos índices se han estimado a partir de la información recogida en el estudio titulado “Potencial y aprovechamiento energético de la biomasa de olivar en Andalucía” que resume los distintos trabajos realizados por SODEAN (Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía, Agencia Andaluza de la Energía desde septiembre de 2003) para el establecimiento del potencial energético de la biomasa residual en nuestra Comunidad. El primer índice agrega tres tipos de olivar: intensivo de regadío, intensivo de secano y extensivo de regadío; y el segundo correspondería a un olivar extensivo de secano.

**Tabla 3. Índices de residuo utilizados para los cultivos leñosos (kg/ha).**

Cultivo	Olivar*		Frutos secos (almendro)	Viñedo	Cítricos	Otros frutales	
	Rdto. en aceituna < 3000 kg/ha	Rdto. en aceituna ≥ 3000 kg/ha				Melocotonero	Aguacate
<b>Índice de residuo (kg residuo/ha)</b>	<b>1.400</b>	<b>1.700</b>	<b>1.300</b>	<b>3.500</b>	<b>2.000</b>	<b>3.500</b>	<b>2.000</b>

\* 3.000 kg/ha se refiere a rendimiento en aceituna.

Para todos los residuos de cultivo se ha considerado una humedad del 20%.

Fuente: SODEAN (olivar). Consulta a expertos (resto de especies).

Dentro de los cultivos protegidos, los residuos procedentes de invernaderos se han incluido dentro una sola clase como Restos Vegetales de Invernadero (RVI), debido a la elevada heterogeneidad que los caracteriza (Manzano, 2007). Esto se debe a la dificultad que conlleva asociar un cultivo concreto, y la producción de éste, a una superficie determinada, ya que en un mismo invernadero se obtiene más de un cultivo al año. Se han incluido como RVI los residuos generados por tomate, pimiento, lechuga, judía, melón, sandía, berenjena, calabacín y pepino, por ser los que tienen una mayor importancia en cuanto a superficie cultivada en invernaderos. El RVI considerado ha sido 28,5 t/ha (Manzano, 2007).

En el caso de la fresa, se ha considerado un valor de 18.375 kg/ha, tras haber consultado con distintos expertos del sector<sup>25</sup>.

**Tabla 4. Índices de residuo de los cultivos de protegidos (kg/ha).**

Cultivo	Invernadero (RVI)	Fresa
<b>Índice de residuo (kg residuo/ ha)</b>	<b>28.500</b>	<b>18.375</b>

Para todos los residuos de cultivo se ha considerado un grado de humedad entre el 60 y el 80 %.

Fuente: Manzano, F. (2007) para Residuos Vegetales de Invernadero (RVI); para fresa se han realizado consultas a expertos.

Cabe indicar que los índices de residuos utilizados en los cálculos vienen expresados en función del porcentaje de humedad que presenta la biomasa residual cuando se retira del campo<sup>26</sup>.

<sup>25</sup> La densidad de plantación media de fresa en la provincia de Huelva se encuentra entre 55.000 y 60.000 plantas/ha, de las que se suelen perder durante el ciclo del cultivo en torno a 5.000. Teniendo en cuenta estas pérdidas, se puede considerar que al final del ciclo la densidad media es de unas 52.500 plantas/ha. El peso de cada planta una vez realizada la recolección (lo que constituiría la biomasa residual) se sitúa en torno a 350 gramos siendo su humedad cercana al 80%.

<sup>26</sup> El grado de humedad de cada tipo de residuo condiciona técnicamente su aprovechamiento, lo que debe tenerse en cuenta en posteriores estudios.

De este modo, se ha considerado una humedad del 12% para los residuos de cultivo del trigo, maíz, cebada, avena y girasol, y del 10% para los del sorgo, arroz, algodón, remolacha y tomate, ya que se trata de biomasa que suele permanecer bastante tiempo en el campo una vez realizada la cosecha, por lo que se favorece su secado natural. En el caso de los cultivos leñosos se ha considerado un grado de humedad del 20%, valor medio para este tipo de biomasa si se mide la humedad un tiempo después de realizarse la poda.

Para los residuos de los cultivos protegidos se ha considerado un grado de humedad comprendido entre el 60 y el 80%, ya que se trata de residuos que suelen apilarse poco después de la cosecha, lo que impide su secado natural. Los índices equivalentes que se obtendrían a una humedad del 12% (partiendo de una humedad inicial media del 70%), serían de 9.716 kg/ha para los RVI, y de 6.264 kg/ha en el caso de la fresa.

### 5.5.1.2. Estimación del potencial energético

Una vez obtenida la producción de biomasa residual de cada cultivo a nivel de píxel, la densidad energética superficial (tep/ha) se calcula aplicando un poder calorífico según el tipo de residuo y en función de su contenido en humedad. La humedad a la que se expresa el poder calorífico es la que contiene la biomasa producida según el índice de residuo considerado. El poder calorífico se asigna a cada píxel en función del cultivo en kcal/kg de residuo.

**Tabla 5. Poder Calorífico Inferior (PCI)<sup>27</sup> de los residuos de los distintos cultivos (kcal/kg).**

Cultivo	Trigo	Maiz	Cebada	Avena	Sorgo	Girasol	Arroz	Algodón	Remolacha	Tomate
<b>PCI<sub>(n)</sub> (kcal/kg)</b>	3.702	3.597	3.714	3.733	3.630	3.382	3.630	3.630	3.630	3.630

Para los residuos de trigo, maíz, cebada, avena y girasol se ha considerado una humedad del 12%; para el resto de residuos el grado de humedad considerado ha sido del 10%.

Fuente: CIEMAT (trigo, maíz, cebada, avena y girasol), Fernández, J. (sorgo, arroz, algodón, remolacha y tomate).

**Tabla 6. Poder Calorífico Inferior (PCI) para los cultivos leñosos y cultivos protegidos (kcal/kg).**

Cultivo	Olivar	Frutos secos (almendro)	Viñedo	Cítricos	Otros frutales	RVI	Fresa
<b>PCI<sub>(n)</sub> (kcal/kg)</b>	3.190	3.002	3.280	3.002	3.002	2.150	2.150

Para todos los residuos leñosos de cultivo se ha considerado una humedad del 20%; para los RVI y los residuos de cultivo de fresa se ha considerado que varía entre el 60 y el 80%.

Fuente: Fernández, J. (olivar y viñedo); CIEMAT (frutos secos, cítricos y frutales); Comisión Europea, 2005 (RVI y fresa).

<sup>27</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.

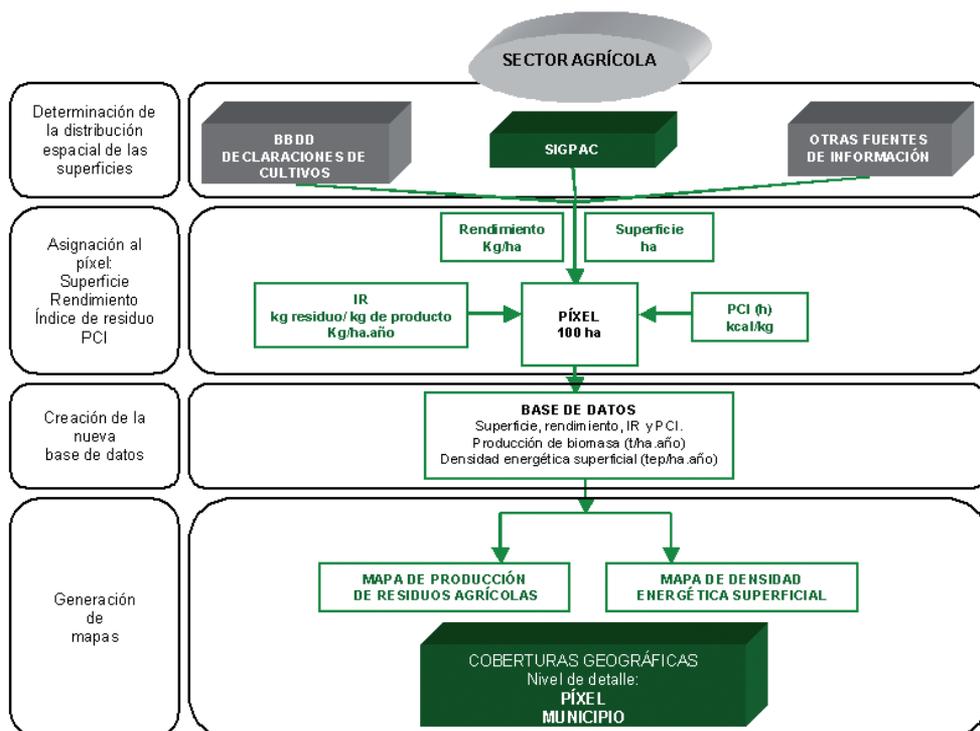
Para el caso de los residuos procedentes de los cultivos protegidos, dado su elevado contenido en humedad, se ha elegido un poder calorífico genérico para biomasa húmeda (Comisión Europea, 2005).

La energía potencial procedente de la biomasa residual en cada píxel expresada en tep se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{Energía} \left( \frac{\text{tep}}{\text{año}} \right) = \text{Biomasa}_{\text{residual}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) \times \text{PCI}_h \left( \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times \frac{1}{10^7} \left( \frac{\text{tep}}{\text{kcal}} \right)$$

La densidad energética superficial (tep/ha.año) a nivel de cuadrícula viene determinada por la cantidad obtenida de la expresión anterior, dividida entre la superficie del píxel (100 ha).

**Figura 5. Metodología utilizada para la estimación y representación geográfica del potencial energético procedente de los residuos agrícolas.**



Fuente: Elaboración propia.

## 5.5.2. Estimación del potencial energético de la biomasa residual ganadera

Como ya se ha mencionado, la estimación del potencial energético de la biomasa residual ganadera se ha realizado a partir del número de cabezas de ganado o animales. Por tanto, en primer lugar se ha determinado la distribución espacial de las explotaciones ganaderas, y en función de ésta, se han asignado a los píxeles. El número de cabezas de ganado asignado a cada píxel de una determinada especie ganadera es la suma del número de cabezas de dicha especie de todas las explotaciones que se sitúan en su interior.

En la determinación de la distribución espacial de las explotaciones se ha utilizado la información de SIGGAN, que posee las coordenadas de la situación geográfica de la mayor parte de las explotaciones ganaderas intensivas y el número de cabezas de ganado en ellas existente. Las cabezas de ganado de aquellas explotaciones intensivas que no presentaban coordenadas en SIGGAN, se han redistribuido entre las explotaciones con coordenadas del mismo municipio con el objeto de considerar estos animales en la producción de biomasa<sup>28</sup>.

La producción de heces de cada animal es muy variable y depende de la especie, raza, edad, alimentación, estación climática, etc. lo que le confiere una elevada heterogeneidad. Aunque no resulta posible considerar todos estos factores, en aras de tenerlos en cuenta de algún modo, en el sector bovino se ha diferenciado entre bovino de leche y de carne (es en el primero donde los residuos son más cuantiosos), en el sector porcino se ha distinguido entre lechones, animales de recría, cebo, reposición, hembras reproductoras y verracos; y en el avícola entre gallinas ponedoras, pollos y pavos.

El censo animal de SIGGAN distingue también entre períodos de edad, lo que provoca que la tabla censal esté muy diversificada. Por ello, en el caso del ganado bovino, ovino y caprino, se ha hallado la correspondencia entre cada edad del animal clasificado por SIGGAN y la Unidad Ganadera Mayor (UGM), homogeneizando de esta forma los animales según especie. En el **Anexo 4** se describe la metodología utilizada para el cálculo de las UGM de estas especies y las equivalencias de las distintas categorías recogidas en el censo.

En el sector porcino y avícola no ha sido necesaria esta transformación, por lo que se ha utilizado el número de cabezas de ganado y el número de animales, respectivamente, proporcionados por SIGGAN.

### 5.5.2.1. Estimación de la producción de metano

Una vez asignado el número de cabezas de ganado a nivel de píxel, el potencial energético se estima a partir de la cantidad de metano que generan las diversas especies estudiadas, ya que, el valor energético del biogás producido mediante digestión anaerobia está determinado principalmente por su concentración en este gas. Por tanto, no se ha estimado la cantidad producida de biomasa residual, en este caso excretas, como se hizo anteriormente para los residuos agrícolas, sino la de metano, y a partir de ésta la energía en tep/año.

---

<sup>28</sup> En el caso del bovino de leche, el 1% de las cabezas de ganado censadas en 2005 pertenecen a explotaciones que no poseen coordenadas, aumentando este porcentaje al 2% en 2006, en el caso del bovino de carne el 4% de las cabezas para ambos años se encuentran en explotaciones sin coordenadas; el 1% para ambos años en el porcino; el 2% para ambos años en el caprino; y el 7% en 2005 y el 8% en 2006, en el caso del ovino.

Para su cálculo se ha utilizado la siguiente expresión:

Cultivo	Trigo	Maíz	Cebada	Avena	Sorgo	Girasol	Arroz	Algodón	Remolacha	Tomate
<b>PCI<sup>(N)</sup> (kcal/kg)</b>	3.702	3.597	3.714	3.733	3.630	3.382	3.630	3.630	3.630	3.630

Donde:

**N** = Número de Unidad Ganadera Mayor (UGM) en bovino, ovino y caprino; número de cabezas de ganado en porcino; y número de animales en avícola.

**IPM** = Índice de Producción de Metano específico de cada especie ganadera y/o de subespecie o categoría edad.

**PCM** = Poder calorífico del metano (13.187 kcal/kg).

A cada de píxel se le asigna los Índices de Producción de Metano (IPM) en función de las especies ganaderas que contengan. La metodología aplicada para el cálculo de los IPM se describe en el **Anexo 5**.

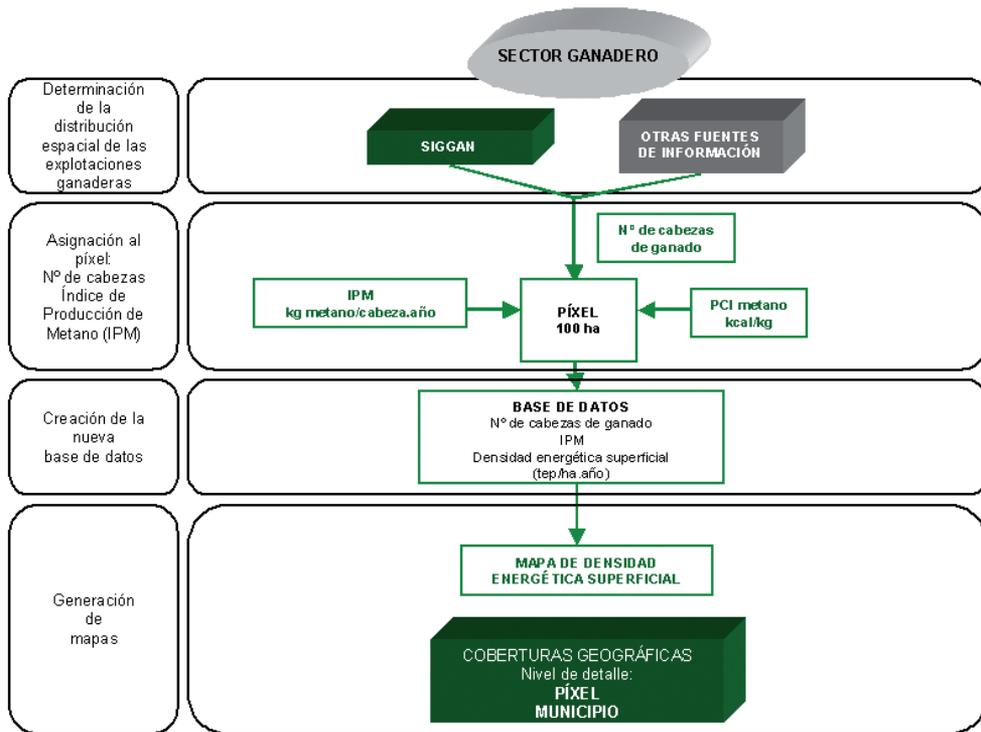
**Tabla 7. Índices de producción de metano (IPM) de las especies ganaderas (kg CH<sub>4</sub>/cabeza o UGM.año).**

Especie		IPM (kg CH <sub>4</sub> / cabeza o UGM.año)
<b>Bovino</b>	<b>Lechero</b>	207,18
	<b>Carne</b>	115,16
<b>Porcino</b>	<b>Lechones</b>	8,73
	<b>Recría</b>	23,15
	<b>Cebo</b>	75,32
	<b>Reposición</b>	53,68
	<b>Reproductora</b>	114,08
	<b>Verracos</b>	118,82
<b>Ovino / caprino</b>		25,24
<b>Avícola</b>	<b>Gallina ponedora</b>	2,12
	<b>Pollo</b>	1,47
	<b>Pavo</b>	7,40

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de diversas fuentes (ver Anexo 5).

La densidad energética superficial (tep/ha) por píxel se obtiene al dividir el resultado de la expresión anterior entre las 100 ha que tiene dicho píxel.

**Figura 6. Metodología para la estimación del potencial energético procedente de los residuos ganaderos.**



Fuente: Elaboración propia.

## 6. Objetivos de consumo energético para la biomasa y el biogás recogidos en la planificación andaluza. Reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero

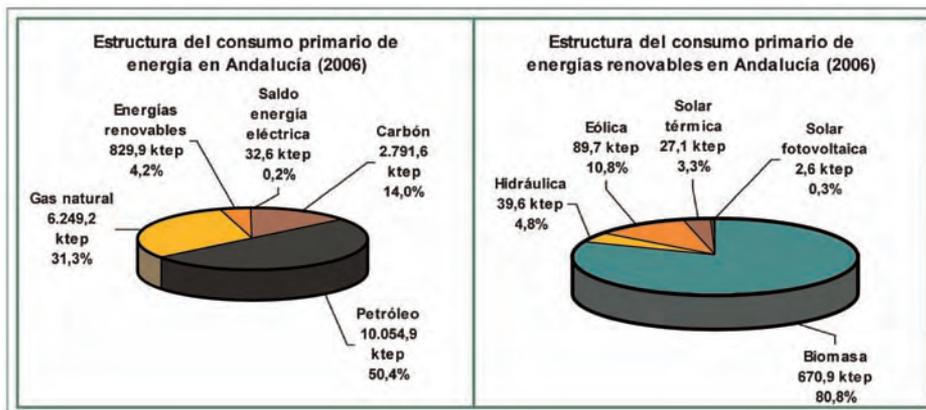
En este capítulo se presentan los objetivos de consumo para la biomasa y el biogás que recoge la planificación energética andaluza con objeto de evaluar posteriormente, en el capítulo referente a resultados y conclusiones, si la biomasa residual total estimada resultaría suficiente para darles respuesta.

Por otra parte también se estiman las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se podrían evitar si se cumplieran dichos objetivos.

### 6.1. Objetivos de consumo energético para biomasa y biogás en la planificación andaluza

En el año 2006, el aporte de las energías renovables al conjunto del consumo de energía primaria en Andalucía fue tan sólo del 4,2%, siendo la biomasa la que más contribuyó a la estructura del consumo primario de todas las renovables en la región con un 80,8% (85,8% como media de los últimos siete años)(Gráfico 1 ).

Gráfico 1. Estructura del consumo de energía primaria en Andalucía en el año 2006.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Andaluza de la Energía.

Los objetivos autonómicos de consumo de energía primaria procedente de energías renovables para los próximos años se fijan en el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013 (PASENER 2007-2013)<sup>29</sup>. Este Plan se encuadra bajo el marco legal que esta-

<sup>29</sup> El establecimiento de unos objetivos de consumo energético procedente de energías renovables en cualquier planificación energética tiene la finalidad de incrementar su participación en la estructura de consumo de energía dentro de su ámbito de aplicación territorial. Dado el carácter autóctono de las fuentes de energía renovables, con ello se pretende reducir la dependencia energética del exterior, mejorar la seguridad del abastecimiento energético, reducir las emisiones de gases efecto invernadero e impulsar el desarrollo tecnológico regional y el empleo en este sector. Para facilitar la integración de las energías renovables en la oferta energética los planes establecen diversas medidas que mejoran su competitividad respecto a las energías convencionales.

blece la Ley de Fomento de las Energías Renovables y del Ahorro y Eficiencia Energética aprobada en marzo de 2007<sup>30</sup>, y continúa la senda abierta por el anterior Plan Energético de Andalucía (PLEAN) 2003-2006.

En el caso de la biomasa y el biogás los objetivos de consumo de energía primaria se segmentan en usos térmicos y eléctricos. A su vez, los objetivos para estos últimos se subdividen en función de que se utilice exclusivamente biomasa o se use en combinación con carbón u otro combustible convencional en lo que se denomina co-combustión.

Por otro lado, los objetivos de consumo eléctrico del PASENER<sup>31</sup> vienen dados en términos de potencia instalada, por lo que para facilitar su comparación tanto con el potencial estimado en este estudio como con otros objetivos de consumo, se ha procedido a su transformación en ktep. Para ello se han considerado las instalaciones tipo que define el PER 2005-2010 para caracterizar los aspectos económicos de las aplicaciones eléctricas de la biomasa (IDAE, 2005)<sup>32</sup>.

En relación a estas instalaciones cabe señalar que las potencias consideradas son las más idóneas para el aprovechamiento energético de la biomasa que se encuentra distribuida territorialmente (como la biomasa residual agrícola), ya que a mayor potencia, mayor es la cantidad de biomasa requerida por la planta, y por tanto, mayores son los costes de la logística de su aprovisionamiento.

De este modo, la potencia óptima de una planta de generación eléctrica que utilice exclusivamente biomasa está comprendida entre 5 y 10 MW, siendo viables potencias superiores si se utilizan tecnologías que mejoren el rendimiento de conversión energética global, ya que esto hace que disminuya la relación entre la biomasa necesaria y la potencia instalada. Así por ejemplo, una planta de co-combustión de biomasa y carbón puede alcanzar una potencia de hasta 56 MW, debido a que posee un rendimiento de conversión energética global superior (del 30% mientras que el rendimiento de una planta de 5 MW es del 21,6%) y a que utiliza un combustible con un PCI superior al estar mezclado con carbón. Igualmente, un ciclo combinado<sup>33</sup> para generación eléctrica mediante la gasificación

---

<sup>30</sup> Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía.

<sup>31</sup> El PASENER 2007-2013 establece como objetivo general que el 17% (18,3% si se excluyen los usos no energéticos) del consumo de energía primaria de Andalucía en el año 2013 proceda de fuentes de energía renovables (como se ha mencionado anteriormente, en el año 2006 representaban el 4,2%). Otros objetivos del Plan se refieren a ahorro y eficiencia energética, objetivos de consumo de biocarburantes, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, etc.

<sup>32</sup> En la categoría de generación eléctrica con biomasa se considera una planta tipo con una potencia de 5 MW y un rendimiento global del 21,6%, con lo que generaría 37.500 MWh/año en 7.500 horas de funcionamiento. Esta planta requeriría un consumo de 14.938 tep anuales, lo que equivaldría a 53.500 t/año a un PCI medio de 2.792 kcal/kg.

La instalación tipo considerada en la categoría co-combustión con biomasa tiene una potencia de 56 MW y un rendimiento global del 30%, por lo que generaría 420.000 MWh/año (7.500 h de funcionamiento anuales), lo que requeriría un consumo de 120.461 tep anuales (un consumo de 340.300 t de biomasa al año).

En el caso del objetivo marcado para la generación eléctrica a partir de biogás se ha considerado un rendimiento eléctrico del 27,1%, correspondiente al de los motores utilizados para su aprovechamiento.

<sup>33</sup> Un ciclo combinado utiliza dos turbinas para la generación eléctrica, una de gas y otra de vapor. Se requiere de un combustible gaseoso, normalmente gas natural, que primero pasa por la turbina de gas generando la energía mecánica necesaria para accionar el alternador que produce la energía eléctrica. Los gases de escape tienen todavía la temperatura suficiente para generar el vapor de agua que se llevará a la turbina de vapor, la cual accionará otro alternador. El rendimiento de conversión energética global es superior al 50%, en contraste a los ciclos simples de turbina de vapor utilizados con combustibles sólidos que se encuentra en torno al 28%.

de la biomasa permitiría unas potencias mayores de planta en torno a los 50 MW, al aumentar el rendimiento por encima del 50%.

Estas cifras de potencia son relativamente pequeñas si se comparan con las que presentan las plantas de generación eléctrica que utilizan combustibles convencionales. Por ejemplo, una central termoeléctrica de carbón tiene una potencia típica de 500 MW y las plantas de ciclo combinado generalmente se encuentran entre 400 y 500 MW, pudiendo alcanzar máximos entre 800 y 1000 MW. Las centrales nucleares suelen ser las más grandes en cuanto a potencia instalada, con valores en torno a 1000MW e incluso superiores<sup>34</sup>.

Los objetivos establecidos en el PASENER para la biomasa y el biogás según las distintas categorías, y sus equivalentes transformados a ktep en el caso de los objetivos eléctricos, se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Objetivos de consumo de energía primaria procedente de la biomasa y el biogás propuestos en el PASENER 2007-2013, y equivalentes en ktep en el caso de los objetivos de consumo eléctrico.**

Tecnología	2007		2010		2013		Diferencia 2013-2007	
	MW	ktep	MW	ktep	MW	ktep	MW	ktep
<b>Biomasa generación eléctrica</b>	169,9	507,3	209,9	626,8	256,0	764,4	86,1	257,1
<b>Biomasa co-combustión</b>	0,0	0,0	61,0	131,1	122,0	262,3	122,0	262,3
<b>Biomasa uso térmico</b>		583,5		615,6		649,0		65,5
<b>TOTAL BIOMASA</b>		<b>1.090,8</b>		<b>1.373,5</b>		<b>1.675,7</b>		<b>584,9</b>
<b>Biogás generación eléctrica</b>	16,0	38,1	17,1	40,7	20,1	47,8	4,1	9,8
<b>Biogás uso térmico</b>		2,1		2,5		3,0		0,9
<b>TOTAL BIOGÁS</b>		<b>40,2</b>		<b>43,2</b>		<b>50,8</b>		<b>10,7</b>
<b>TOTAL BIOMASA Y BIOGÁS</b>		<b>1.131,0</b>		<b>1.416,7</b>		<b>1.726,6</b>		<b>595,6</b>
<b>Total energía primaria procedente de fuentes renovables</b>		<b>1.401,00</b>		<b>2.591,00</b>		<b>4.282,00</b>		<b>2.881,0</b>
<b>Porcentaje procedente de biomasa y biogás respecto al total de energías renovables</b>		<b>80,7%</b>		<b>54,7%</b>		<b>40,3%</b>		<b>20,7%</b>

Para el cálculo de los equivalentes en ktep de los objetivos eléctricos de consumo de energía primaria de biomasa generación eléctrica se ha considerado un factor de conversión de 0,3982 tep/MWh; para la biomasa co-combustión se ha considerado un factor de conversión de 0,2867 tep/MWh; para el biogás generación eléctrica se ha considerado un factor de conversión de 0,3176 tep/MWh. (IDAE, 2005). En todos los casos se ha considerado un tiempo de funcionamiento de las plantas de producción de energía eléctrica de 7.500 horas anuales.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del PASENER 2007-2013.

Según los datos mostrados en la tabla, el objetivo fijado para la biomasa con fines térmicos consiste en alcanzar un consumo en términos de energía primaria de 649 ktep

<sup>34</sup> Se trata de tecnologías que no son comparables con las que utilizan energías renovables (caracterizadas por su baja densidad energética y dispersión en el territorio). Así, por ejemplo, una central de energía solar térmica de alta temperatura ronda una potencia de 10 MW; la energía solar fotovoltaica suele agruparse en grupos de 100 kW hasta sumar potencias máximas de 1 a 5 MW, y un generador eólico terrestre tiene una potencia típica de 1,5 MW, siendo lo habitual su agrupamiento en parques de distintos tamaños.

en el año 2013, lo que supone un incremento de 65,5 ktep respecto a 2007. En el caso de la generación eléctrica a partir de biomasa se pretende incrementar la potencia instalada en 86,1 MW, y en 122 MW en el caso de la co-combustión, lo que requeriría la implantación de 17 nuevas plantas de generación eléctrica a partir de biomasa de 5 MW de potencia instalada y dos de 56 MW de co-combustión de biomasa y carbón.

En el caso del biogás el objetivo consiste en aumentar el consumo de energía primaria para uso térmico obtenida del mismo hasta 3,0 ktep en 2013, e incrementar la potencia instalada para generación eléctrica con este biocombustible hasta los 20,1 MW en ese año, lo que equivaldría a un aumento de 9,8 ktep respecto a 2007.

Si se cumplieran estos objetivos, es decir, si se alcanzara un consumo de energía primaria de 1.726,6 ktep procedente de estas fuentes en su conjunto en el año 2013, se lograría cubrir con biomasa y biogás el **8,7%** del consumo de energía primaria que se registró en Andalucía en 2006 (19.958,2 ktep) . Por otra parte, la consecución de los objetivos eléctricos (2.985,8 GWh) equivaldría al consumo doméstico de una población de **1.932.856 habitantes** (623.527 hogares)<sup>35</sup>.

Como se puede observar en la tabla, la importancia de la biomasa y el biogás en el consumo total de energía primaria a partir de energías renovables disminuiría significativamente entre 2007 y 2013 (desde el 80,7% hasta el 40,3%). Su desarrollo durante este período (2007-2013) representaría en términos energéticos el 20,7% del aumento que experimentarían todas las tecnologías renovables.

## 6.2. Reducción de emisiones de GEI

El Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012: Programa de Mitigación (PAAC) incluye una estimación de las tendencias que seguirán las emisiones de Gases de Efecto Invernadero<sup>36</sup> (GEI) hasta el año 2012 contemplando tres escenarios de emisiones:

- Escenario 1: Escenario tendencial “sin medidas”, basado en la situación actual en Andalucía pero sin considerar la aplicación de ninguna medida frente a las emisiones, es decir, representa la evolución de las emisiones de GEI en Andalucía sin considerar la aplicación a corto plazo de medidas y estrategias de actuación (PAAC).
- Escenario 2: Escenario tendencial “con medidas”, basado en la situación actual y prevista para Andalucía, considerando las estrategias y medidas de actuación propuestas en el momento actual y que serán de aplicación en el ámbito temporal de estudio (tiene en cuenta el cumplimiento de los planes y medidas que ya se han iniciado y tienen como efecto la reducción de las emisiones).

---

<sup>35</sup> Valores calculados en base a un consumo de 1.544,74 kWh/hab.año y de 4.788,49 kWh/hogar.año respectivamente, obtenidos a partir del consumo de energía eléctrica del sector residencial en Andalucía (12.320,3 GWh en 2006 según datos de la Agencia Andaluza de la Energía) y de la población y número de hogares existente en ese mismo año (7.975.672 habitantes y 2.572.900 hogares, respectivamente, según datos del Instituto de Estadística de Andalucía).

<sup>36</sup> Son gases que provocan efecto invernadero el vapor de agua, ozono, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), halocarbonos y partículas suspendidas en la atmósfera. Sin embargo, el control marcado por la comunidad internacional en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y en el Protocolo de Kyoto se limita a CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, y halocarbonos distintos a los regulados por el Protocolo de Montreal para la protección de la capa de ozono.

- Escenario 3: Escenario tendencial “con medidas adicionales”, basado en la reducción de emisiones generada por la aplicación de las medidas propuestas en el Programa de Mitigación del PAAC.

En la Tabla 9 se muestran las emisiones de GEI, en términos de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>37</sup>, en los tres escenarios de evolución teórica de las emisiones de GEI del PAAC: Programa de Mitigación.

**Tabla 9. Emisiones de GEI provocadas por la agricultura y a nivel global en Andalucía según los distintos escenarios tendenciales que contempla el PAAC.**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Escenario tendencial de emisiones "sin medidas"</b>						
<b>Agricultura</b>	5.002.143	5.067.081	5.097.155	4.888.190	5.047.374	5.211.851
<b>Total</b>	64.504.506	66.758.144	69.090.520	71.504.383	74.002.582	76.588.061
<b>Escenario tendencial de emisiones "con medidas"</b>						
<b>Agricultura</b>	4.432.423	4.285.610	4.104.865	3.930.097	3.778.317	3.668.031
<b>Total</b>	59.612.123	58.785.725	58.027.272	57.513.578	57.180.005	56.816.804
<b>Escenario tendencial de emisiones "con medidas adicionales"</b>						
<b>Agricultura</b>	4.401.112	4.253.988	4.010.621	3.804.542	3.621.451	3.385.921
<b>Total</b>	59.071.500	57.634.190	56.175.986	54.971.209	54.130.959	52.790.472
<b>Diferencia entre los escenarios tendenciales de emisiones "con medidas adicionales" y "sin medidas"</b>						
<b>Agricultura</b>	-601.031	-813.093	-1.086.534	-1.083.648	-1.425.923	-1.825.930
<b>Total</b>	-5.433.006	-9.123.954	-12.914.534	-16.533.174	-19.871.623	-23.797.589

Fuente: PAAC 2007-2012.

Por otra parte, en la Tabla 10 se muestran las emisiones de GEI que se evitarían si se cumplieran los objetivos de consumo para la biomasa y el biogás que establece el PASENER, con el fin de conocer el impacto que su desarrollo implicaría respecto al resto de medidas que se están aplicando para la reducción global de las mismas.

<sup>37</sup> El concepto de CO<sub>2</sub> equivalente posibilita “traducir” la contribución de los diversos gases de efecto invernadero a una unidad común, ya que la dinámica de estas sustancias en la atmósfera es variable en dos sentidos. Desde una perspectiva “estática”, unas sustancias inducen un mayor efecto que otras por unidad (1 molécula de metano en el aire induce un mayor potencial de calentamiento que una molécula de dióxido de carbono); desde la perspectiva dinámica, estas sustancias tienen unas “vidas medias” diferentes, cambiando su potencial de calentamiento en el tiempo. Combinando ambos factores, se han asumido los valores de potencial de calentamiento global para cada sustancia en un periodo de 100 años establecidos en el Tercer Informe del IPCC (2001). De esta forma, la contribución al efecto invernadero para cada sustancia se traduce a su equivalente en CO<sub>2</sub> en un periodo de 100 años (Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012: Programa de Mitigación).

Tabla 10. Emisiones que se evitarían con el cumplimiento de los objetivos de consumo de energía propuestos en el PASENER (2007-2013) para la biomasa y el biogás.

Tecnología	2007		2010		2013		Diferencia 2013-2007
	GWh o ktep	tCO <sub>2</sub> -eq	GWh o ktep	tCO <sub>2</sub> -eq	GWh o ktep	tCO <sub>2</sub> -eq	tCO <sub>2</sub> -eq
Biomasa generación eléctrica (GWh)	1.274,3	474.021,0	1.574,3	585.621,0	1.920,0	714.240,0	240.219,0
Biomasa co-combustión (GWh)	0,0	0,0	457,5	439.657,5	915,0	879.315,0	879.315,0
Biomasa uso térmico (ktep)	583,5	1.791.345,0	615,6	1.889.892,0	649,0	1.992.430,0	201.085,0
<b>TOTAL BIOMASA</b>		<b>2.265.366,0</b>		<b>2.915.170,5</b>		<b>3.585.985,0</b>	<b>1.320.619,0</b>
Biogás generación eléctrica (GWh)	120,0	44.640,0	128,3	47.709,0	150,8	56.079,0	11.439,0
Biogás uso térmico (ktep)	2,1	6.447,0	2,5	7.675,0	3,0	9.210,0	2.763,0
<b>TOTAL BIOGÁS</b>		<b>51.087,0</b>		<b>55.384,0</b>		<b>65.289,0</b>	<b>14.202,0</b>
<b>TOTAL BIOMASA Y BIOGÁS</b>		<b>2.316.453,0</b>		<b>2.970.554,5</b>		<b>3.651.274,0</b>	<b>1.334.821,0</b>
Reducción total de emisiones "con medidas adicionales"		5.433.006,00		16.533.174,00		23.797.589,00 <sup>1</sup>	18.364.583,0
Porcentaje emisiones evitadas por biomasa y biogás respecto al total de emisiones evitadas "con medidas adicionales"		42,6%		18,0%		15,3%	7,3%

Las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas si se cumplieran los objetivos eléctricos de consumo se calculan en función de la energía que se sustituiría procedente de una central de ciclo combinado a gas natural con un rendimiento del 54% (372 tCO<sub>2</sub>/GWh), excepto en el caso de la co-combustión, para lo que se tiene en cuenta una central térmica de carbón (961 tCO<sub>2</sub>/GWh). En el caso de los objetivos térmicos los cálculos se realizan en relación al gasóleo C (3.070 tCO<sub>2</sub>/ktep). (PER 2005-2010).

<sup>1</sup> Dato de 2012.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del PASENER 2007-20013 y del PAAC 2007-2012.

Según las estimaciones mostradas en la Tabla 10, en 2013 el volumen de emisiones que se evitarían si se cumplieran los objetivos para la biomasa y el biogás del PASENER alcanzaría 1,3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente anuales (respecto a 2007), lo que representa el 2% de las emisiones totales de Andalucía en 2006<sup>38</sup>.

Respecto a las emisiones totales que se evitarían con la aplicación de todos los planes y medidas propuestos hasta ahora para la reducción de emisiones, así como por las medidas adicionales contempladas en el PAAC, la reducción derivada de las medidas

<sup>38</sup> Según los datos del Inventario Español de Gases de Efecto Invernadero, Andalucía emitió 65.415.000 tCO<sub>2</sub>-eq en el año 2006, lo que supuso el 15,1% de las emisiones totales de España.

del PASENER por la biomasa y el biogás representaría el 18% en 2010<sup>39</sup>. Esto denota la importancia que tiene la consecución de los objetivos energéticos de estos sectores para conseguir la reducción de las emisiones tal y como se espera en el PAAC.

Además de la reducción de las emisiones mostrada anteriormente, calculada en función de la energía fósil sustituida, hay que tener en cuenta que el aprovechamiento de la biomasa residual y el biogás conlleva una reducción intrínseca de las mismas al reducirse las emisiones directas derivadas de la quema de rastrojos y en el manejo del estiércol.

---

<sup>39</sup> Referido a ese año debido a la falta de datos en el PAAC en cuanto a las emisiones andaluzas en el año 2013, ya que dicho plan está establecido para el periodo 2007-2012.

## 7. Resultados y discusión

### 7.1. Sector agrícola

Los cálculos realizados permiten estimar que la producción potencial total de biomasa residual agrícola en Andalucía alcanza cerca de 8 millones de toneladas al año, lo que supone un potencial energético de 2,6 millones de tep/año<sup>40</sup>, del cual el 67% proviene de cultivos herbáceos (Tabla 11).

El aprovechamiento de este potencial energético estimado representaría el **13,1%** del **consumo de energía primaria** de Andalucía en 2006, aunque, como se ha mencionado anteriormente, no sería posible aprovechar todo este potencial debido a diversos condicionantes técnicos, económicos y medioambientales. En el caso hipotético de que se utilizara toda la biomasa estimada para la generación de electricidad se obtendrían **6.573 GWh** eléctricos anuales<sup>41</sup>, lo que equivaldría al consumo doméstico de una población de **4.255.195 habitantes** (1.372.698 hogares) y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq de **2.445.212** toneladas al año, el **3,7%** de las emisiones totales de Andalucía en 2006.

Por otro lado, se puede conocer que porcentaje de dicho potencial tendría que ser utilizado para cumplir con los objetivos de la planificación energética y, por tanto, cuanto sobraría para otros usos e incluso para el mismo si se fomentara el desarrollo tecnológico dirigido al máximo aprovechamiento de estos recursos. De este modo, teniendo como punto de referencia el PASENER 2007-2013, el cumplimiento de los objetivos propuestos de incremento del consumo de energía primaria procedente de la biomasa entre 2007 y 2013 requeriría el aprovechamiento del **22,3%** de dicho potencial energético, es decir, **584,9 ktep** adicionales respecto al consumo de energía primaria procedente de la biomasa en 2007<sup>42</sup>. El aprovechamiento de dicha parte del potencial total estimado conllevaría, en resumen, los siguientes beneficios (algunos de los cuales ya se indicaron en el apartado anterior sobre los objetivos de consumo energético para la biomasa y biogás recogidos en la planificación andaluza y reducción de emisiones de GEI):

---

<sup>40</sup> Media de las campañas de comercialización 2005/2006 y 2006/2007.

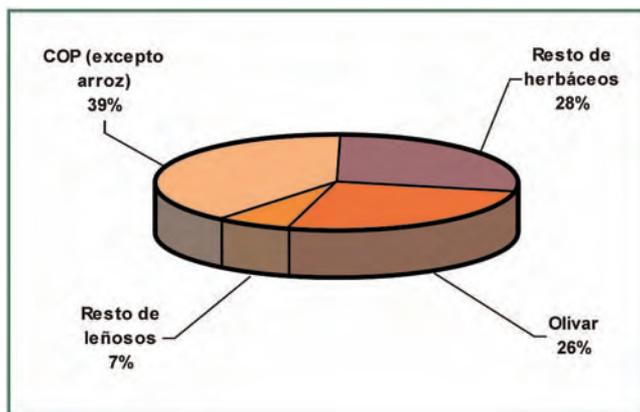
<sup>41</sup> Valor calculado en base a un factor de conversión de 0,3982 tep/MWh correspondiente a biomasa eléctrica (para simplificar los cálculos se ha considerado que toda la biomasa se utiliza para la generación eléctrica sin tener en cuenta que una parte se puede usar para co-combustión).

<sup>42</sup> Se ha evaluado la cantidad de biomasa necesaria para cubrir los objetivos de incremento entre 2007 y 2013 en lugar de la necesaria para cubrir el objetivo fijado en 2013 porque se considera que actualmente el consumo de energía primaria procedente de la biomasa en Andalucía proviene de fuentes distintas a las consideradas en este estudio, por lo que el incremento entre ambos años debería proceder de residuos agrícolas, cultivos energéticos y de los residuos de industrias agrícolas y forestales que no están siendo utilizados actualmente, cuyo aprovechamiento con fines energéticos presenta actualmente un bajo grado de desarrollo. En este sentido, en la actualidad la biomasa utilizada para fines térmicos procede principalmente de explotaciones forestales y dehesas, mientras que la utilizada para la generación eléctrica se cubre mayoritariamente con la biomasa residual generada en agroindustrias e industrias forestales y de la madera (según datos de la Agencia Andaluza de la Energía de enero de 2008, el aprovechamiento de orujo y orujillo, subproductos de la industria productora de aceites de oliva, representa el 70% de la potencia total instalada en Andalucía con biomasa, los residuos de la madera el 28% y los residuos de invernadero el 2%). De este modo, si el objetivo fijado en 2013 se cubriera exclusivamente con biomasa residual agrícola, la cantidad necesaria para su cumplimiento ascendería al 64% del potencial energético agrícola total estimado en este estudio.

- Se evitaría la emisión de **1.320.619 t** de CO<sub>2</sub>-eq anuales más que las que se evitaban en el año 2007 con el aprovechamiento de la biomasa.
- Se establecerían 17 nuevas plantas de generación eléctrica de 5 MW de potencia instalada a partir de biomasa y dos de 56 MW de co-combustión de biomasa y carbón, cuya producción eléctrica equivaldría al consumo doméstico de una población de **1.010.367 habitantes** (325.938 hogares).

Del potencial energético total estimado procedente del sector agrícola, los cultivos COP (excepto el arroz) representan el 39% (más de 1 millón de tep/año) (Gráfico 2). Le siguen por orden de importancia el resto de herbáceos (arroz, remolacha, algodón, fresa, tomate y cultivos de invernadero) con el 28%, el sector del olivar (26%) y el resto de cultivos leñosos (7%).

**Gráfico 2. Participación de las distintas fuentes de biomasa residual en el potencial energético total agrícola.**



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11. Potencial de producción de biomasa residual y potencial energético de los diferentes subsectores agrícolas (campañas de comercialización 2005/2006 y 2006/2007 y media de ambas).**

Subsector	Superficie (ha)			Producción potencial de biomasa residual (t/año)			Rendimiento medio biomasa residual (t/ha.año)			Potencial energético (tep/año)				
	2005/2006	2006/2007	PROMEDIO	2005/2006	2006/2007	PROMEDIO	2005/2006	2006/2007	PROMEDIO	2005/2006	2006/2007	PROMEDIO		
Herbáceos	COP (excepio arroz)	928.218	950.848	939.533	2.174.365	3.436.176	2.805.271	2,34	3,61	2,99	787.433	1.256.754	1.022.094	
	Arroz	39.221	28.885	34.053	489.441	355.617	422.529	12,48	12,31	12,41	177.667	129.089	153.378	
	Remolacha	36.785	36.729	36.757	655.157	562.874	609.015	17,81	15,33	16,57	237.822	204.323	221.073	
	Algodón	84.118	62.826	73.472	610.184	244.012	427.098	7,25	3,88	5,81	221.497	88.577	155.037	
	Tomate (aite libre)	5.311	1.516	3.414	40.275	10.627	25.451	7,58	7,01	7,46	14.620	3.858	9.239	
	Fresa	7.733	8.117	7.925	142.098	149.145	145.621	18,37	18,37	18,37	30.551	32.066	31.309	
	Invernadero	26.792	26.821	26.806	763.569	764.400	763.985	28,50	28,50	28,50	164.167	164.346	164.257	
	<b>Total herbáceos</b>	<b>1.128.178</b>	<b>1.115.742</b>	<b>1.121.960</b>	<b>4.875.089</b>	<b>5.522.851</b>	<b>5.198.970</b>	<b>4,32</b>	<b>4,95</b>	<b>4,63</b>	<b>1.633.757</b>	<b>1.879.012</b>	<b>1.756.385</b>	
	Leñosos	Olivar	1.448.398	1.463.643	1.456.020	2.242.547	2.083.308	2.162.927	1,55	1,42	1,49	715.372	664.575	689.974
		Frutos secos	-	158.920	158.920	-	206.596	206.596	-	1,30	1,30	-	62.020	62.020
Vinedo		38.324	38.185	38.255	134.133	133.649	133.891	3,50	3,50	3,50	43.996	43.837	43.916	
Citricos		-	60.258	60.258	-	120.603	120.603	-	2,00	2,00	-	36.179	36.179	
Frutales		-	30.690	30.690	-	96.450	96.450	-	3,14	3,14	-	28.954	28.954	
<b>Total leñosos</b>	<b>1.736.590</b>	<b>1.751.697</b>	<b>1.744.143</b>	<b>2.800.243</b>	<b>2.640.519</b>	<b>2.720.381</b>	<b>1,61</b>	<b>1,51</b>	<b>1,56</b>	<b>886.521</b>	<b>835.565</b>	<b>861.043</b>		
<b>TOTAL SECTOR AGRICOLA</b>	<b>2.864.767</b>	<b>2.867.439</b>	<b>2.866.103</b>	<b>7.675.332</b>	<b>8.163.370</b>	<b>7.919.351</b>	<b>2,72</b>	<b>2,89</b>	<b>2,80</b>	<b>2.520.279</b>	<b>2.714.578</b>	<b>2.617.428</b>		

Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.1. Cultivos herbáceos

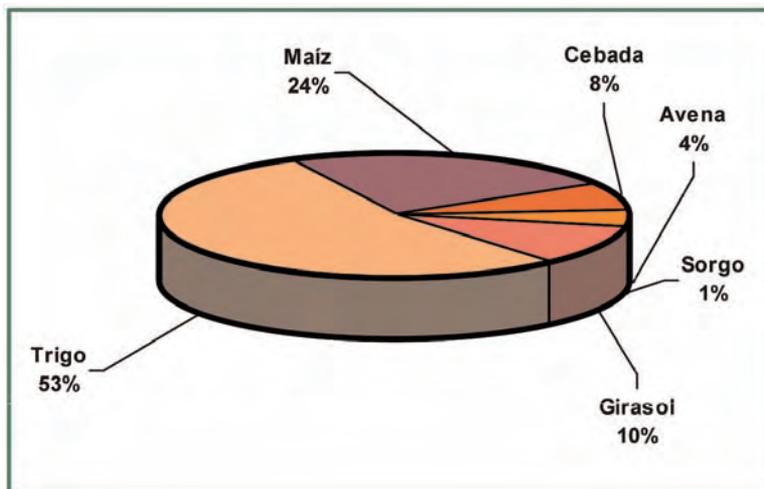
Se ha estimado que el potencial de producción de biomasa residual de los cultivos herbáceos es de 5,2 millones de toneladas al año, lo que equivale a 1,76 millones de tep/año (como media de las campañas de comercialización 2005/2006 y 2006/2007). De éstos, el 58,2% lo generan los residuos procedentes de los cultivos COP (excepto el arroz).

El resto de herbáceos (arroz, remolacha, algodón, tomate, fresa y cultivos de invernadero) tienen un potencial energético total algo menor al de los COP, sin embargo, su aprovechamiento energético puede ser más viable debido a su menor dispersión territorial y elevado rendimiento superficial en biomasa.

#### 7.1.1.1. Cultivos COP

El trigo es el cultivo COP con mayor potencial energético ya que representa el 53,5% del total procedente de los mismos exceptuando el arroz (Gráfico 3). Esto se debe fundamentalmente a que es el cultivo herbáceo más importante de la región (cerca de 540.000 hectáreas cultivadas como media de las campañas de comercialización 2005/2006 y 2006/2007). El maíz ocupa el segundo lugar debido a su elevado rendimiento en biomasa residual, aunque su superficie es mucho menor a la de otros COP. Le siguen por orden de importancia, el girasol (10%), la cebada (8%), la avena (4%) y el sorgo (1%).

**Gráfico 3. Participación de las distintas fuentes de biomasa residual agrícola en el potencial energético total de los cultivos COP.**



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Potencial de producción de biomasa residual y potencial energético de los cultivos COP (excepto el arroz).

	Superficie (ha)			Producción potencial de biomasa residual (t/año)			Rendimiento medio biomasa (t/ha/año)			Potencial energético (tep/año)		
	2005/2006	2006/2007	PROMEDIO	2005/2006	2006/2007	PROMEDIO	2005/2006	2006/2007	PROMEDIO	2005/2006	2006/2007	PROMEDIO
Trigo	578.398	500.020	539.209	849.336	2.107.400	1.478.368	1,47	4,21	2,74	314.424	780.160	547.292
Maiz	40.342	19.403	29.872	961.209	390.432	675.820	23,83	20,12	22,62	345.747	140.438	243.093
Cebada	85.516	118.694	102.105	65.038	350.303	207.670	0,76	2,95	2,03	24.155	130.102	77.129
Avena	54.213	76.371	65.292	47.685	190.680	119.182	0,88	2,50	1,83	17.801	71.181	44.491
Sorgo	1.653	1.653	1.658	15.527	19.571	17.549	9,34	11,84	10,59	5.636	7.104	6.370
Girasol	168.086	234.707	201.397	235.571	377.790	306.681	1,40	1,61	1,52	79.670	127.769	103.719
<b>TOTAL</b>	<b>928.218</b>	<b>950.848</b>	<b>939.533</b>	<b>2.174.365</b>	<b>3.436.176</b>	<b>2.805.271</b>	<b>2,34</b>	<b>3,61</b>	<b>2,99</b>	<b>787.433</b>	<b>1.256.754</b>	<b>1.022.094</b>

Fuente: Elaboración propia.

En el Mapa 1 se presenta la distribución del potencial energético, en términos de densidad energética superficial, procedente de la biomasa residual de los cultivos COP más importantes en cuanto a su contribución al global (media de las campañas de comercialización 2005-2006 y 2006-2007).

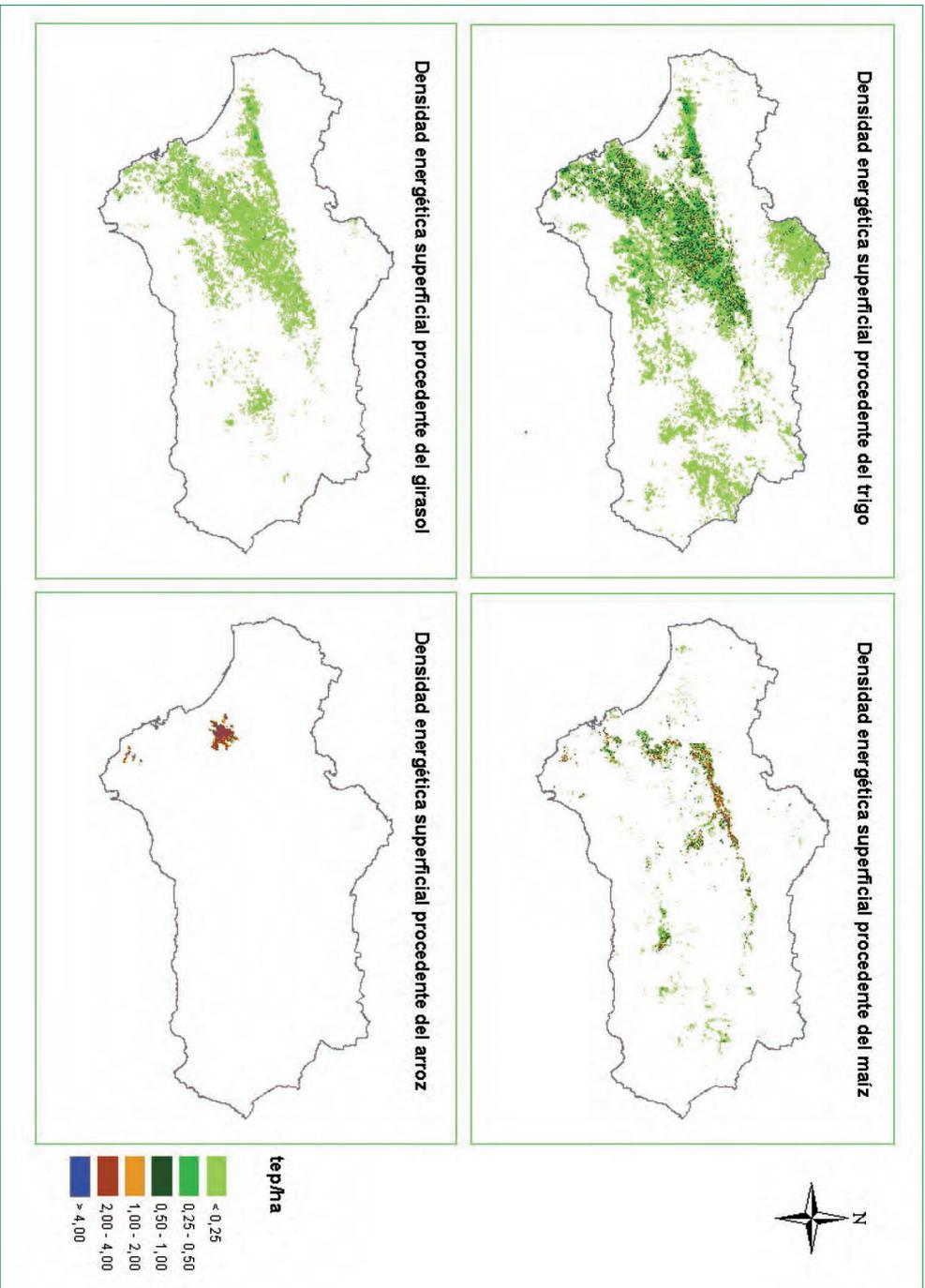
Como se puede observar en el mismo, el potencial energético procedente de la biomasa residual del cultivo del trigo y el girasol se concentra principalmente en el valle del Guadalquivir. En esta zona se obtienen rendimientos en producción de biomasa residual entre 1 y 4 t/ha por píxel, para el trigo, y menores de 1 t/ha en el caso del girasol. Esto se corresponde con una densidad energética superficial que varía entre 0,5 y 1,00 tep/ha en el primer caso, mientras que en el girasol apenas se superan las 0,25 tep/ha en algunos puntos muy dispersos (Mapa 1).

Existen zonas de concentración de biomasa procedente del trigo, de hasta 8 t/ha, en el noroeste del término municipal de Jerez de la Frontera (Cádiz) y las zonas limítrofes de los municipios adyacentes. Con las mismas características se dan estos residuos en Utrera, Alcalá de Guadaíra, Carmona, Écija y Sanlúcar la Mayor, en la provincia de Sevilla, y en el término municipal de Córdoba. En el caso del girasol sólo se obtienen zonas de concentración, y poco importantes (entre 1 y 3 t/ha de cañote), en el municipio de Villamartín (Cádiz), y de 1 a 2 t/ha en Manzanilla y Trigueros (Huelva).

Todo lo contrario sucede con el maíz. Su cultivo se concentra principalmente a lo largo de la vega del Guadalquivir donde se cultiva en regadío, dando lugar a una elevada productividad en biomasa residual (Mapa 1). Se obtienen rendimientos en biomasa entre 2 y 8 t/ha en los términos municipales de Almodóvar del Río y en el sur de Posadas y de Hornachuelos, en la provincia de Córdoba; Peñaflor, Lora del río, Alcolea del Río, Cantillana, La Rinconada y Coria del Río, en Sevilla. Su potencial de producción de biomasa residual supera las 3 t/ha como media en dicha superficie, superior a 1 tep/ha.

El residuo del arroz se manifiesta con una densidad energética superficial que supera las 2 tep/ha, concentrado principalmente en los municipios de La Puebla del Río y Villafranco del Guadalquivir (Mapa 1). La producción de biomasa supera las 10 t/ha en muchas zonas del interior de estos municipios, siendo superior a 5 t/ha en la mayor parte de los mismos.

Mapa 1. Densidad energética superficial procedente de la biomasa residual del cultivo del trigo, maíz, girasol y arroz (tep/ha y píxel) (media de las campañas de comercialización 2005/06-2006/07).



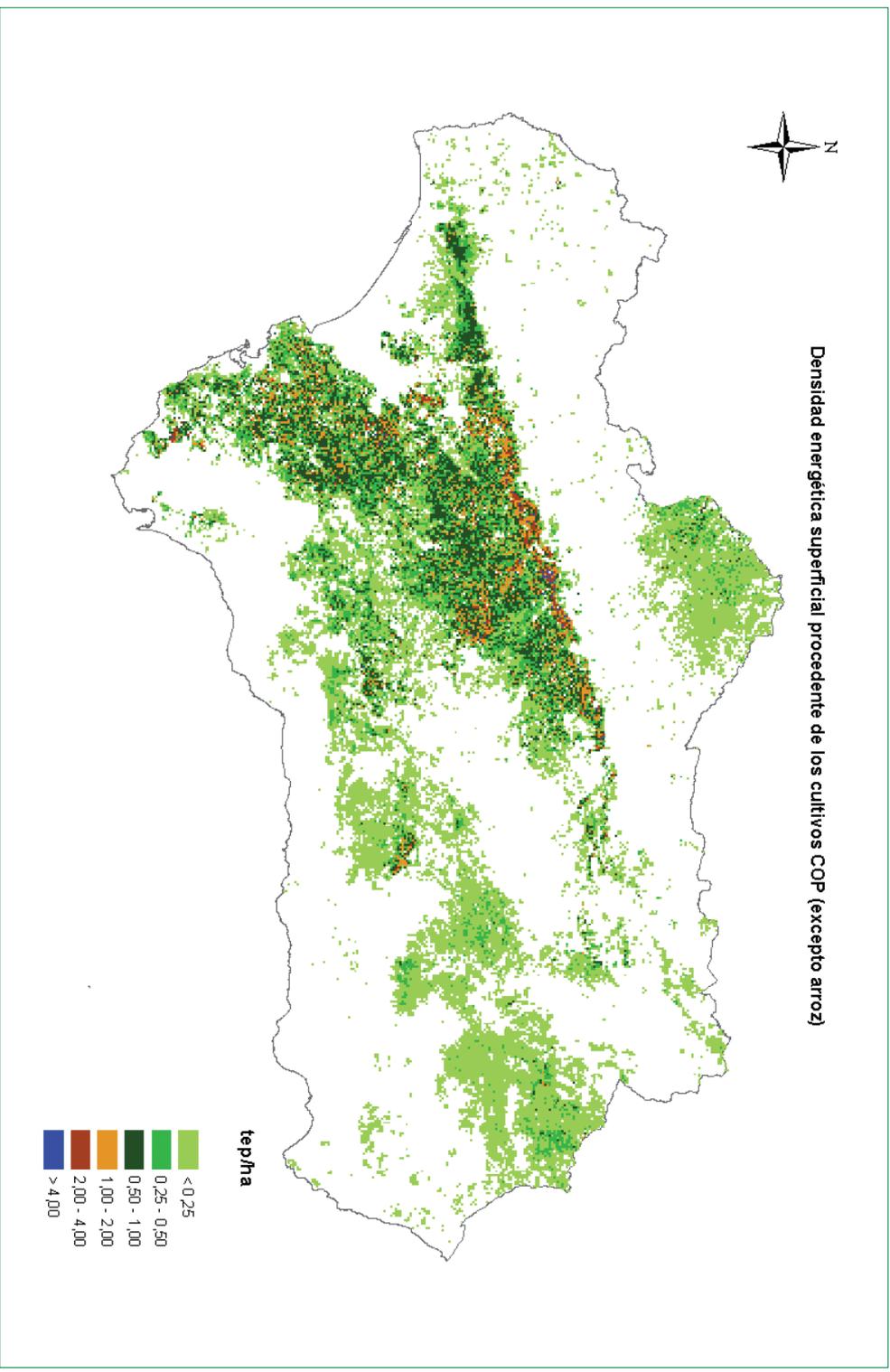
A continuación, tras comprobar la distribución individual del potencial energético de determinados cultivos COP, en el Mapa 2 se presenta la contribución conjunta de todos ellos (media de las campañas de comercialización 2005-2006 y 2006-2007). En él se ha excluido el arroz por tratarse de un cultivo con un manejo muy diferente al del resto de cereales. En el Mapa 16 del **Anexo 6** se puede ver el potencial de producción de biomasa residual de los mismos.

Como se puede observar, el potencial energético proveniente de los cultivos COP se concentra principalmente en el valle del Guadalquivir donde se obtienen densidades energéticas superficiales superiores a 0,5 tep/ha. Destaca la zona de la vega y las campiñas de Córdoba, Sevilla y Cádiz, con más de 1,0 tep/ha. El potencial de producción de biomasa residual en la vega del Guadalquivir supera las 8 t/ha en varios puntos del sur de los términos municipales de Posadas, Hornachuelos y Almodóvar del Río, en la provincia de Córdoba (Mapa 16 del **Anexo 6**). Se obtienen entre 2 y 8 t/ha en los términos de Córdoba, El Carpio, Villafranca de Córdoba, Peñaflor y Palma del Río, en la provincia de Córdoba; y en Lora del Río, norte de Carmona, Villanueva del Río, Cantillana, Alcalá del río y La Rinconada, en la provincia de Sevilla.

En las campiñas destacan los municipios de Santaella en Córdoba, y Écija, Carmona, Utrera y Cabezas de San Juan, en Sevilla, donde se obtienen rendimientos en biomasa entre 2 y 4 t/ha (mayores a 1 tep/ha por píxel). Lo mismo ocurre en la mayor parte del término municipal de Jerez de la Frontera, Espera, Arcos de la Frontera, Vejer de la Frontera y Villamartín, en Cádiz; Antequera, en Málaga; y en el término municipal de Granada.

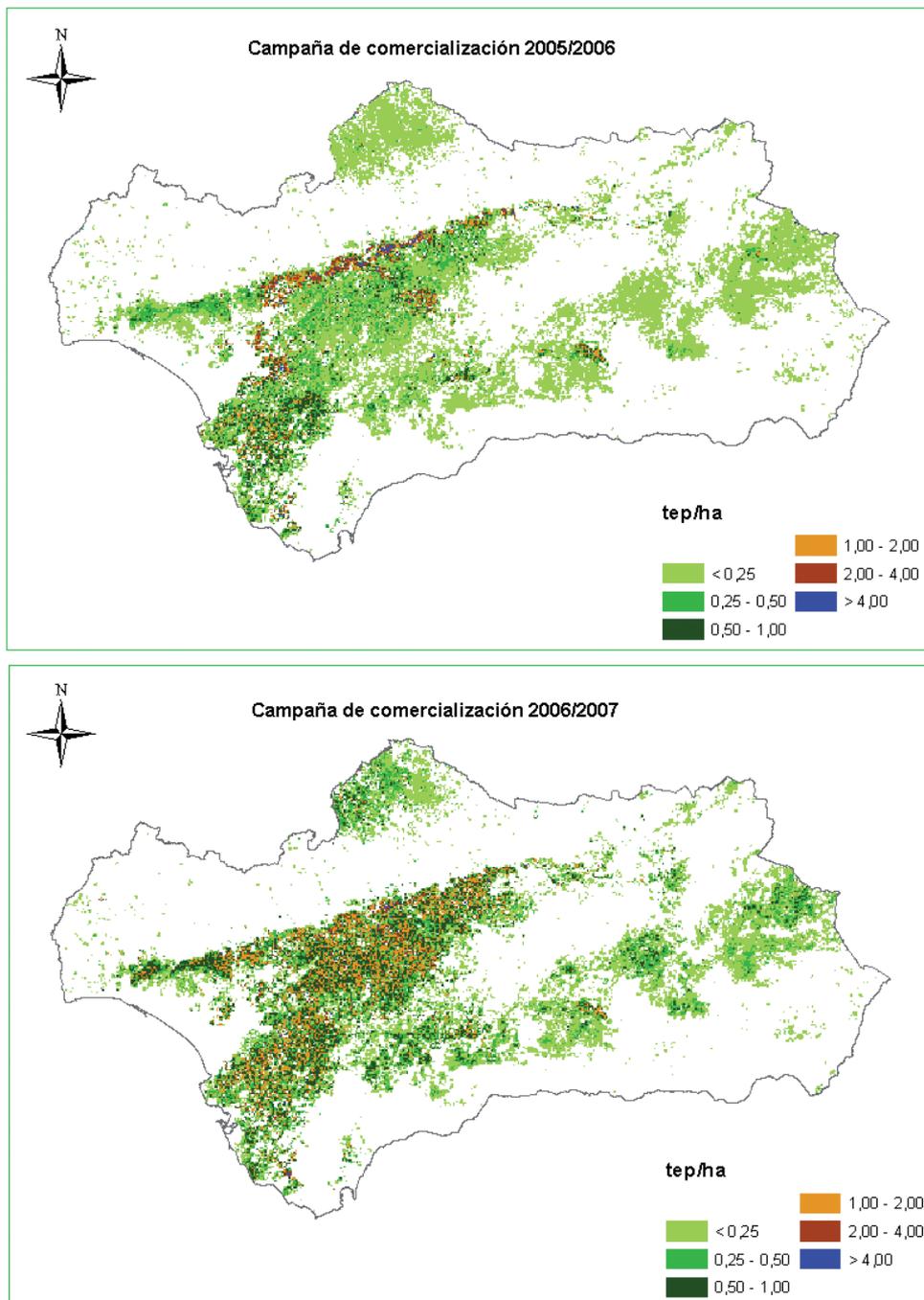
En el Mapa 3 se presenta el potencial energético procedente de los COP (excepto arroz) en las campañas de comercialización 2005-2006 y 2006-2007. Como se puede observar, las diferencias entre ambas son notables debido a la sequía acontecida en 2005, año en el que las producciones de la mayoría de estos cultivos fueron muy bajas (Tabla 12). En la campaña 2005-2006 la producción de biomasa residual estaba concentrada en la zona de regadío de la vega, aportada principalmente por el maíz, y en algunas zonas de la campiña de Cádiz. Por el contrario, en la campaña 2006-2007 se observa una distribución más homogénea de los valores de densidad energética superficial por todo el valle del Guadalquivir, y superiores a los de la campaña anterior. La disminución de la concentración del potencial energético en la zona de la vega del Guadalquivir en esa última campaña se debe a que la superficie de maíz se redujo a la mitad respecto a la campaña anterior.

Mapa 2. Densidad energética superficial procedente de la biomasa residual de los cultivos COP, excepto arroz (tep/ha y píxel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/07).



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 3. Densidad energética superficial procedente de la biomasa residual de los cultivos COP, excepto el arroz (tep/ha y píxel), para las campañas de comercialización 2005/2006 y 2006/2007.



Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.1.2. Resto de cultivos herbáceos

Como se ha dicho anteriormente, el resto de cultivos herbáceos (remolacha, algodón, tomate, fresa y cultivos de invernadero), a pesar de contribuir en menor medida al global energético que los COP, resultan muy interesantes desde el punto de vista de un aprovechamiento energético por su elevada productividad en biomasa residual. Esta elevada productividad se debe a que se cultivan principalmente en régimen de regadío.

Según se observa en el Mapa 4, el mayor potencial de biomasa procedente del algodón se da en el municipio de Los Palacios y Villafranca, y en las zonas limítrofes de los municipios adyacentes de Utrera, Cabezas de San Juan y Lebrija, donde existe una productividad entre 2 y 4 t/ha (más de 1 tep/ha).

Del mismo modo, existe un elevado potencial energético de este cultivo a lo largo de la vega del Guadalquivir, concretamente en los municipios de Palma del Río, Peñaflores, Lora del Río, Alcolea del Río, Cantillana, La Rinconada y Alcalá del Río. También se da con importancia en algunas zonas de la campiña de Córdoba y Sevilla, concretamente en Santaella y Écija.

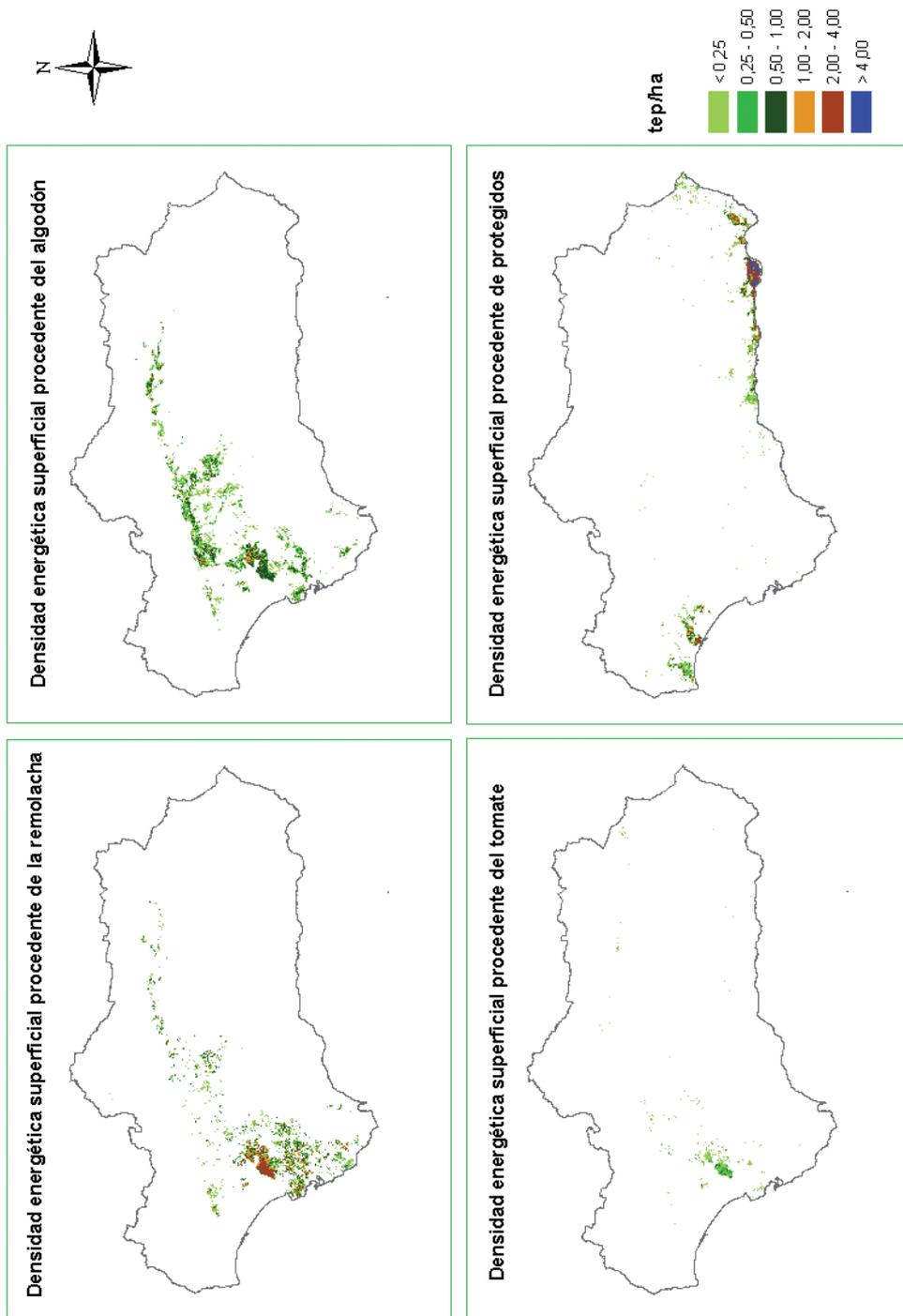
En el caso de la remolacha, existe una elevada densidad energética superficial que supera las 2,5 tep/ha en el noroeste de Lebrija, donde se pueden encontrar entre 8 y 12 t/ha de residuo (Mapa 4).

En cuanto al tomate cultivado al aire libre, su residuo es importante principalmente en el municipio de Lebrija, con rendimientos en biomasa residual en torno a 1 t/ha por píxel (0,5 tep/ha) (Mapa 4). Se da también con importancia en Los Palacios y Villafranca y en la zona próxima de Utrera.

Los residuos biomásicos procedentes de invernadero se distribuyen a lo largo de la costa de Málaga, Granada y Almería, aunque es en esta última donde se concentra la mayor densidad energética superficial. En concreto, en el municipio de El Ejido se obtienen potenciales de producción de residuos por píxel de más de 10 t/ha, lo que equivale a más de 2 tep/ha (Mapa 4).

El cultivo de la fresa se concentra en unos pocos municipios de la provincia de Huelva donde se generan elevadas cantidades de residuos, mayores de 4 t/ha (más de 1 tep/ha), en Lucena del Puerto, Bonares y determinadas zonas de Almonte; y de más de 8 t/ha (más de 2 tep/ha) en los municipios de Palos de la Frontera y Moguer (Mapa 4). También son importantes los residuos generados en Cartaya y Lepe.

Mapa 4. Densidad energética superficial procedente de la biomasa residual del cultivo de remolacha, algodón, tomate y protegidos (tep/ha y pixel) (media de las campañas de comercialización 2005-2006 y 2006-2007).



### 7.1.1.3. Potencial energético y potencial de producción de biomasa residual de los cultivos herbáceos

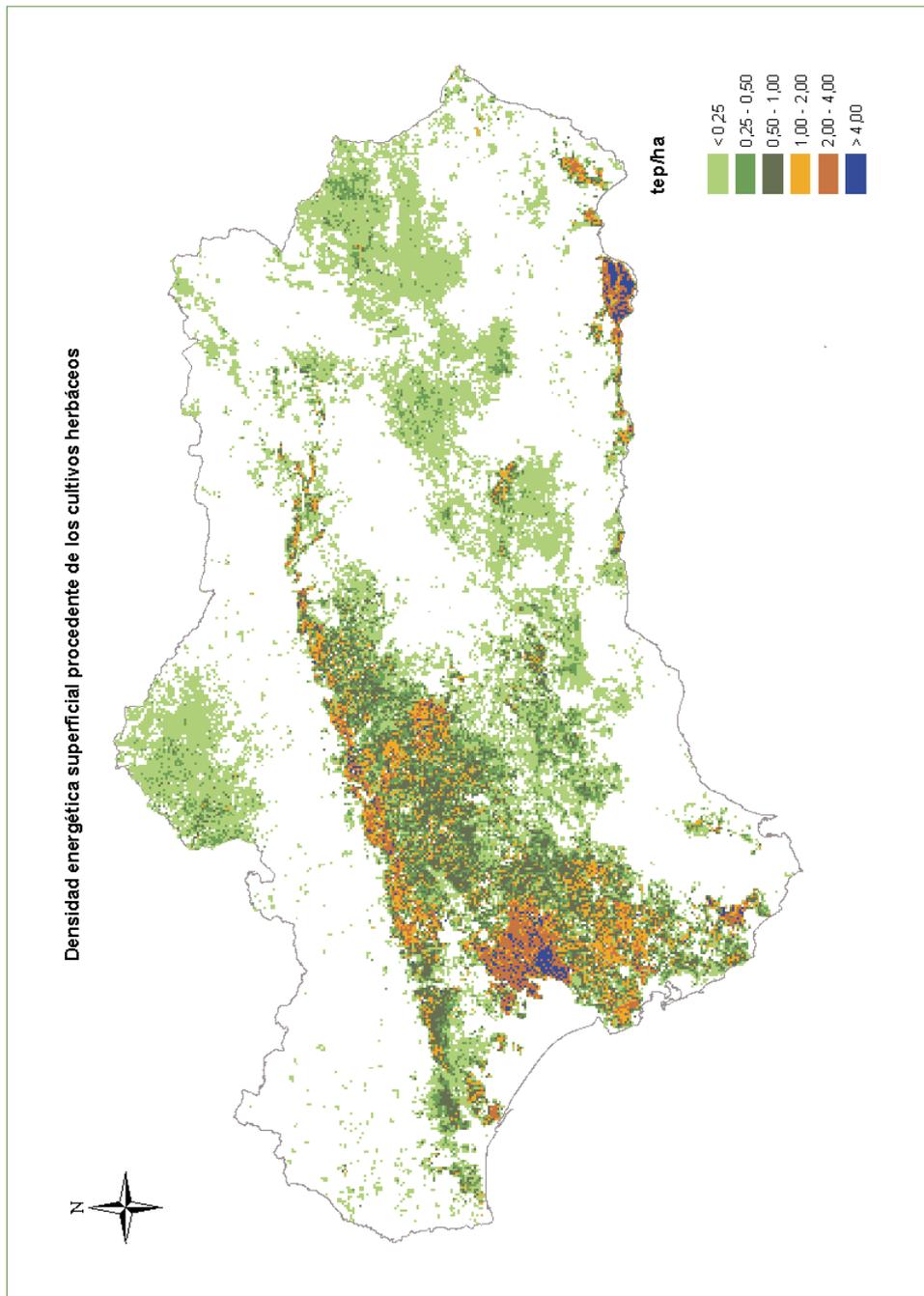
A continuación, en el Mapa 5, se muestra de forma agregada la distribución del potencial energético procedente de los cultivos herbáceos vistos hasta ahora, y en el Mapa 17 del **Anexo 6** su potencial de producción de biomasa residual.

En los mismos se observa como existe una especial concentración de residuos agrícolas en el bajo Guadalquivir y su vega, donde, como se ha visto anteriormente, contribuyen en gran medida los cultivos de remolacha, algodón, tomate, maíz, y en el caso del bajo Guadalquivir, también de arroz. En esta zona, la densidad energética superficial procedente de los cultivos herbáceos supera las 2 tep/ha en la mayor parte del territorio (más de 4 t/ha), e incluso alcanza las 4 tep/ha en muchas zonas (más de 8 t/ha). En la vega, la densidad energética superficial es ligeramente inferior.

En el valle del Guadalquivir, la densidad energética superficial supera en general las 0,5 tep/ha, presentando muchas zonas más de 1 tep/ha. La biomasa aquí producida se encuentra entre 1 y 8 t/ha, aunque existen lugares donde se superan estas cantidades.

Otras zonas de concentración, son aquellas en las que se sitúan los cultivos protegidos de Huelva (fresa) y la costa de Almería (cultivos de invernadero), que se han comentado anteriormente.

Mapa 5. Densidad energética superficial procedente de la biomasa residual de los cultivos herbáceos (tep/ha y píxel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/2007).



Fuente: Elaboración propia.

## 7.1.2. Cultivos leñosos

Como se observa en la Tabla 11, el potencial de producción de biomasa residual procedente de los cultivos leñosos considerados en el estudio que se ha estimado asciende a 2,7 millones de toneladas al año, es decir, 860.000 tep/año (media de las campañas de comercialización 2005/2006 y 2005/2007). El residuo generado en las labores de poda del olivar representa el 80% de este potencial energético y supone una de las fuentes de energía procedente de la biomasa con mayor potencial de desarrollo en Andalucía.

Del olivar se pueden extraer en torno a 2,16 millones de toneladas al año de restos, lo que equivale a un potencial energético de 690.000 tep/año. Su cultivo se concentra fundamentalmente en el centro y nordeste de la región, donde las provincias de Jaén y Córdoba engloban el 62% de su superficie. Le siguen por orden de importancia Sevilla, Granada y Málaga.

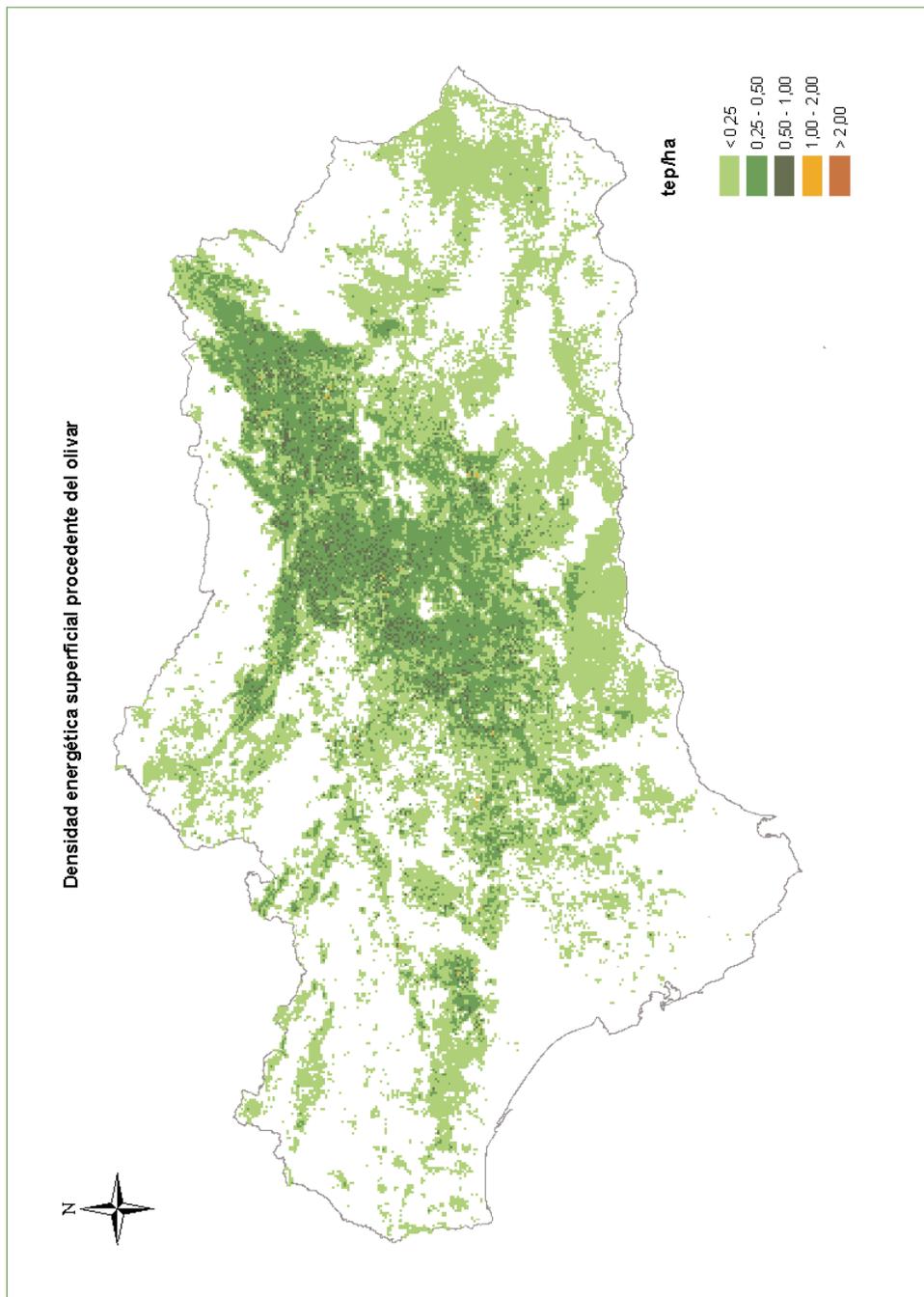
Los frutos secos (principalmente almendro), cítricos y frutales, tienen un potencial energético mucho menor y más disperso, por lo que su aprovechamiento sólo resulta interesante si se considera junto al de otros residuos agrícolas. Los residuos de la vid sí se encuentran relativamente concentrados a pesar de que su potencial total no es muy elevado.

### El olivar

En el Mapa 6 se presenta la densidad energética superficial producida en el manejo del olivar y en el Mapa 18 del **Anexo 6** su potencial de producción de biomasa residual.

Como se puede observar en los mismos, en el olivar se generan entre 1 y 2 t/ha de residuos por píxel (de 0,5 a 1 tep/ha) en la mayor parte de las zonas donde se cultiva de la provincia de Jaén y del sur de Córdoba. Allí se encuentran algunos puntos donde se registran rendimientos en biomasa residual entre 2 y 4 t/ha, aunque muy dispersos. También se obtienen entre 1 y 2 t/ha de biomasa en la comarca de El Aljarafe, provincia de Sevilla, donde se cultiva principalmente para aceituna de mesa.

Mapa 6. Densidad energética superficial procedente de la biomasa residual del sector del olivar (tep/ha y pixel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/07)



Fuente: Elaboración propia.

## Resto de cultivos leñosos

Como ya se ha comentado, el resto de cultivos leñosos no tiene un elevado potencial energético. Sin embargo, su aprovechamiento puede tener interés si se realiza junto con el de otros residuos agrícolas que se encuentren en las zonas próximas.

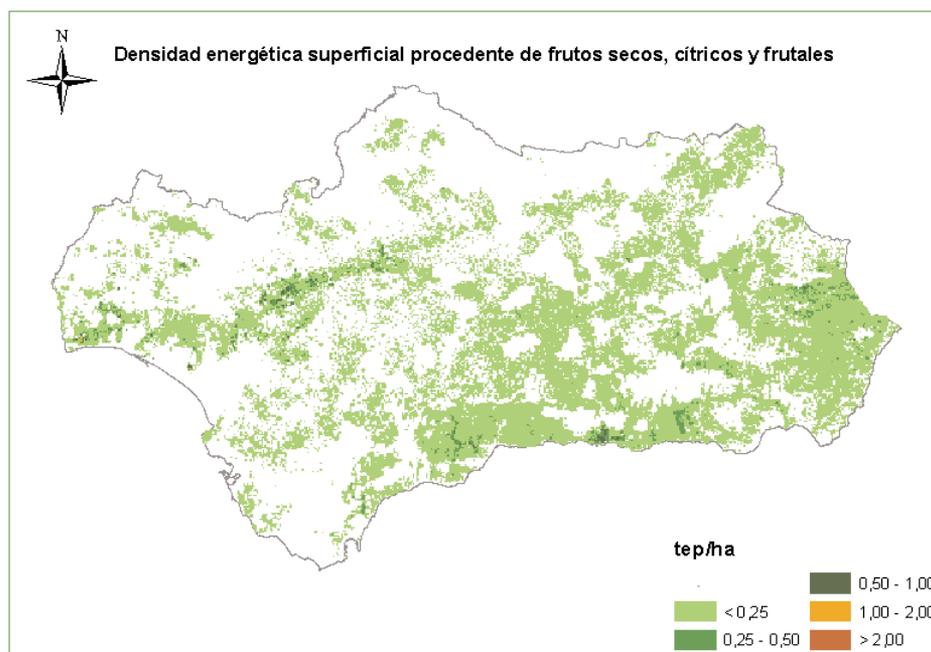
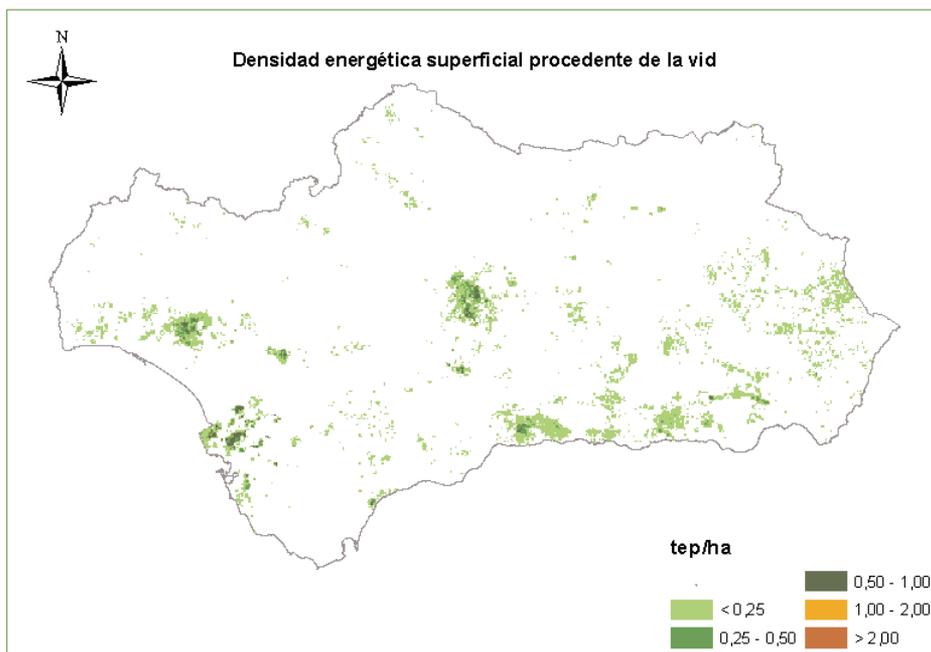
El caso del viñedo es una excepción ya que se encuentran algunas zonas con mayores rendimientos energéticos superficiales (Mapa 7). Se obtienen valores de producción de biomasa entre 2 y 4 t/ha en Montilla, y zonas adyacentes, y en los municipios de la comarca del Condado de Huelva y en Jerez de la Frontera. Los municipios de Montilla y Aguilar de la Frontera, en Córdoba, obtienen entre 0,25 y 1,00 tep/ha en gran parte de su superficie dedicada a la vid. La densidad energética superficial está entre 0,50 y 1,00 tep/ha en los municipios de Bollullos Par del Condado, Rociana del Condado y Palma del Condado, en la provincia de Huelva. Lo mismo ocurre en Jerez de la Frontera, donde incluso se encuentran píxeles con más de 1,00 tep/ha; y en Sánlúcar de Barrameda y Trebujena, todos ellos en la provincia de Cádiz.

El residuo generado en las superficies cultivadas de frutos secos asciende a 206.000 toneladas al año (62.000 tep/año), principalmente proveniente del almendro. Su densidad energética superficial es relativamente baja si la comparamos con los anteriores cultivos. La mayor parte no llega a 0,25 tep/ha y sólo se encuentra una concentración destacable en los municipios de Murtas y Cadiar (Granada). Existen otros lugares con el mismo rendimiento en los municipios de Vélez-Rubio, Chirivel y Oria, en la provincia de Almería.

En los cítricos se obtienen rendimientos energéticos menores de 0,25 tep/ha en la mayor parte de los píxeles. Sin embargo, su aprovechamiento puede ser interesante ya que su cultivo se concentra principalmente en la vega del Guadalquivir, donde se producen elevados potenciales procedentes de los cultivos herbáceos. También se producen concentraciones importantes en los municipios de Ayamonte, Villablanca, Isla Cristina, Lepe y Cartaya, en la provincia de Huelva; Pizarra, Coin, Cartama, Álora, Alhaurín el Grande y Alhaurín de la Torre, en Málaga; y en Cuevas del Almanzora, Vera, Antas, Huércal-Overa, Zurgena y Pulpi, en Almería.

En el caso de los frutales, la mayor parte del potencial energético superficial tampoco supera las 0,25 tep/ha. Aún así, existen rendimientos entre 0,25 y 1 tep/ha situados en Almúñecar, y municipios colindantes, de la provincia de Granada.

**Mapa 7. Densidad energética superficial procedente de los residuos generados en el cultivo de la vid (tep/ha y píxel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/07) y del conjunto de los cultivos de frutos secos, cítricos y frutales (campaña de comercialización 2006/07).**



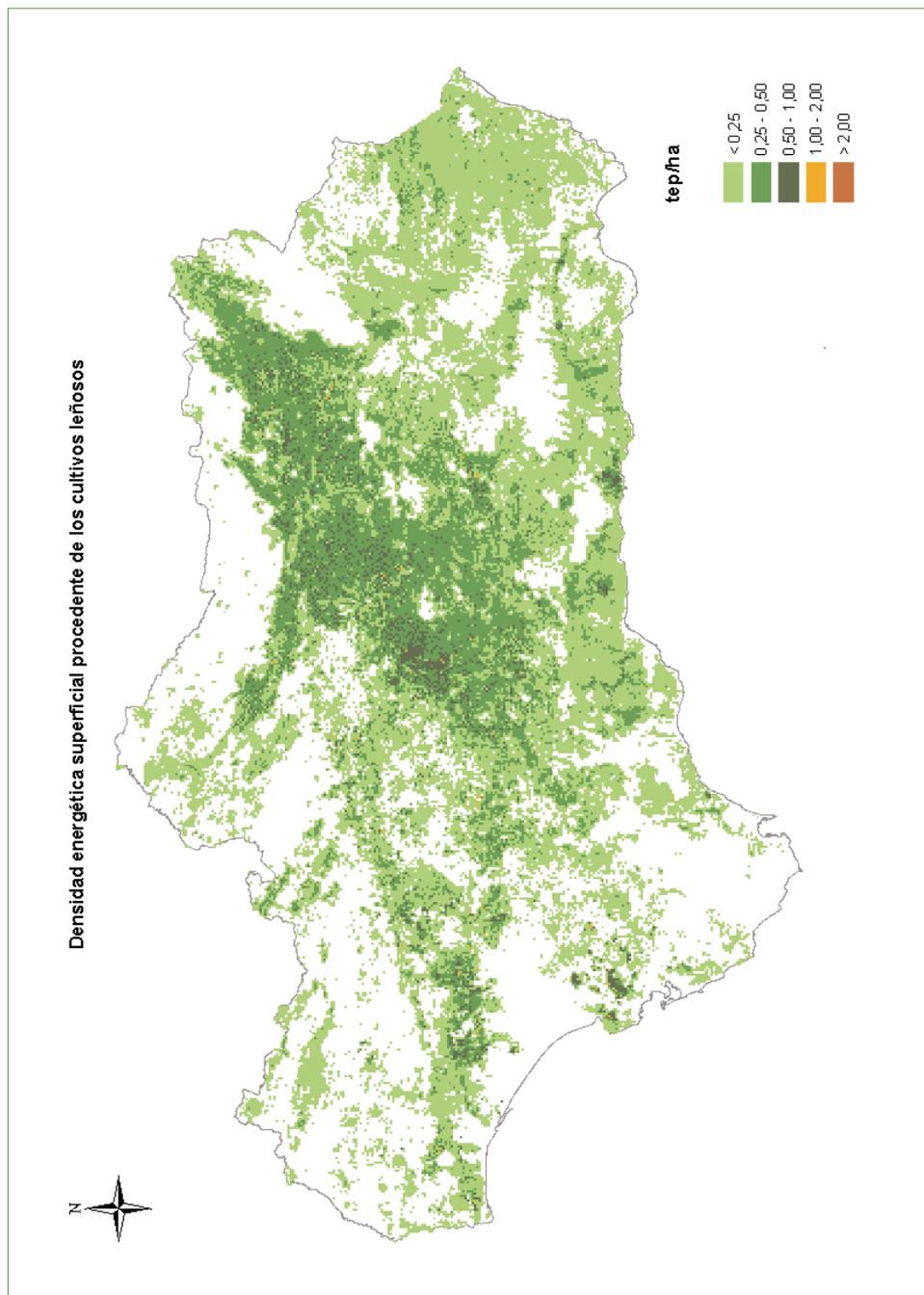
Fuente: Elaboración propia.

### Densidad energética superficial y potencial de producción de biomasa residual total procedente de los cultivos leñosos

Finalmente, una vez conocida, de manera individual, la distribución del potencial energético de los residuos de las distintas especies de cultivos leñosos, en el Mapa 8 se muestra el potencial energético que aglutina a todas ellas (media de las campañas de comercialización 2005-2006 y 2006-2007 en olivar y viñedo, y campaña de comercialización 2006-2007 en frutos secos, cítricos y frutales). Igualmente, en el Mapa 19 del **Anexo 6** se muestra el potencial de producción de biomasa residual producida.

En ambos mapas se puede observar la importancia del olivar y del viñedo.

**Mapa 8. Densidad energética superficial procedente de la biomasa residual de los cultivos leñosos (tep/ha y píxel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/07 para viñedo y olivar, y campaña de comercialización 2006/07 para los frutos secos, cítricos y frutales).**



Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.3. Potencial energético total del sector agrícola andaluz

En el Mapa 9 se representa el potencial energético total procedente del sector agrícola andaluz, en términos de densidad energética superficial, y en el Mapa 10 su potencial de producción de biomasa residual<sup>43</sup>.

Se observa cómo la biomasa residual se extiende por todo el valle del Guadalquivir con rendimientos superiores a 1 t/ha (más de 0,5 tep/ha), y aumenta a medida que nos acercamos a la vega y bajo Guadalquivir, con rendimientos que superan las 4 t/ha (más de 1 tep/ha), donde se concentra la mayor parte del regadío andaluz.

El gran potencial energético asociado a la vega, se debe, como se ha visto, a la contribución de la biomasa residual procedente de los principales cultivos herbáceos de regadío, como el maíz, el algodón, y en menor medida, la remolacha. También lo aportan los residuos de los cítricos.

En esta zona destacan, por su elevada concentración de píxeles con más de 4 t/ha, los municipios de Almodóvar del Río, sur de Hornachuelos y de Posadas y Palma del Río, en Córdoba; Peñaflor, Lora del Río, Alcolea del Río, sur de Villanueva del Río, Cantillana, Alcalá del Río y La Rinconada, en Sevilla.

Una de las zonas más interesantes desde el punto de vista de un aprovechamiento energético de biomasa residual se encuentra en el bajo Guadalquivir, concretamente en el noroeste de Lebrija y las zonas adyacentes de Cabezas de San Juan, oeste de Utrera, Los Palacios y Villafranca, La Puebla del Río, Aznalcázar e Isla Mayor, donde se obtienen rendimientos en biomasa entre 4 y 16 t/ha (Mapa 11). Esto se debe principalmente a la aportación de los cultivos de la remolacha, algodón, tomate y maíz, de regadío, así como por el arroz. La elevada productividad en biomasa residual de estos cultivos y la posibilidad de ser sustituidos parcialmente por especies de altos rendimientos en biomasa con menores requerimientos hídricos (sorgo papelero), hacen de estas zonas las más idóneas para la implantación de una instalación de aprovechamiento de biomasa.

Estos siete municipios producen en total 1.030.019 toneladas al año de biomasa residual (378.086 tep/año), la octava parte del total agrícola andaluz. Es decir, la energía necesaria para alimentar 25 plantas de generación eléctrica de 5 MW (un consumo 15.000 tep/año cada una), o las dos de co-combustión de 56 MW que se necesitarían para cumplir con los objetivos del PASENER y 9 plantas más de 5 MW<sup>44</sup>. La energía eléctrica producida equivaldría al consumo doméstico de una población de **614.661 habitantes**.

---

<sup>43</sup> Media de las campañas de comercialización 2005-2006 y 2006-2007, excepto en el caso de los frutos secos, cítricos y frutales en los que sólo se ha podido considerar la campaña de comercialización 2006-2007.

<sup>44</sup> La cantidad de biomasa anual requerida por una planta de generación eléctrica varía en función de su potencia instalada y del PCI de la biomasa que utilice, que viene dado en función del contenido en humedad de la misma. Por este motivo, aunque una planta tipo de 5 MW tendría el mismo consumo de 14.938 tep anuales, según los PCI y humedad considerados en este estudio, necesitaría en torno a 41.000 toneladas de biomasa al año en el caso de que se alimentara de los residuos generados en los cultivos herbáceos, exceptuando a los cultivos protegidos de los que necesitaría 70.000 t/año, 46.000 t/año en olivar y frutales y 50.000 t/año en frutos secos, cítricos y vid (47.000 t/año como media en los cultivos leñosos).

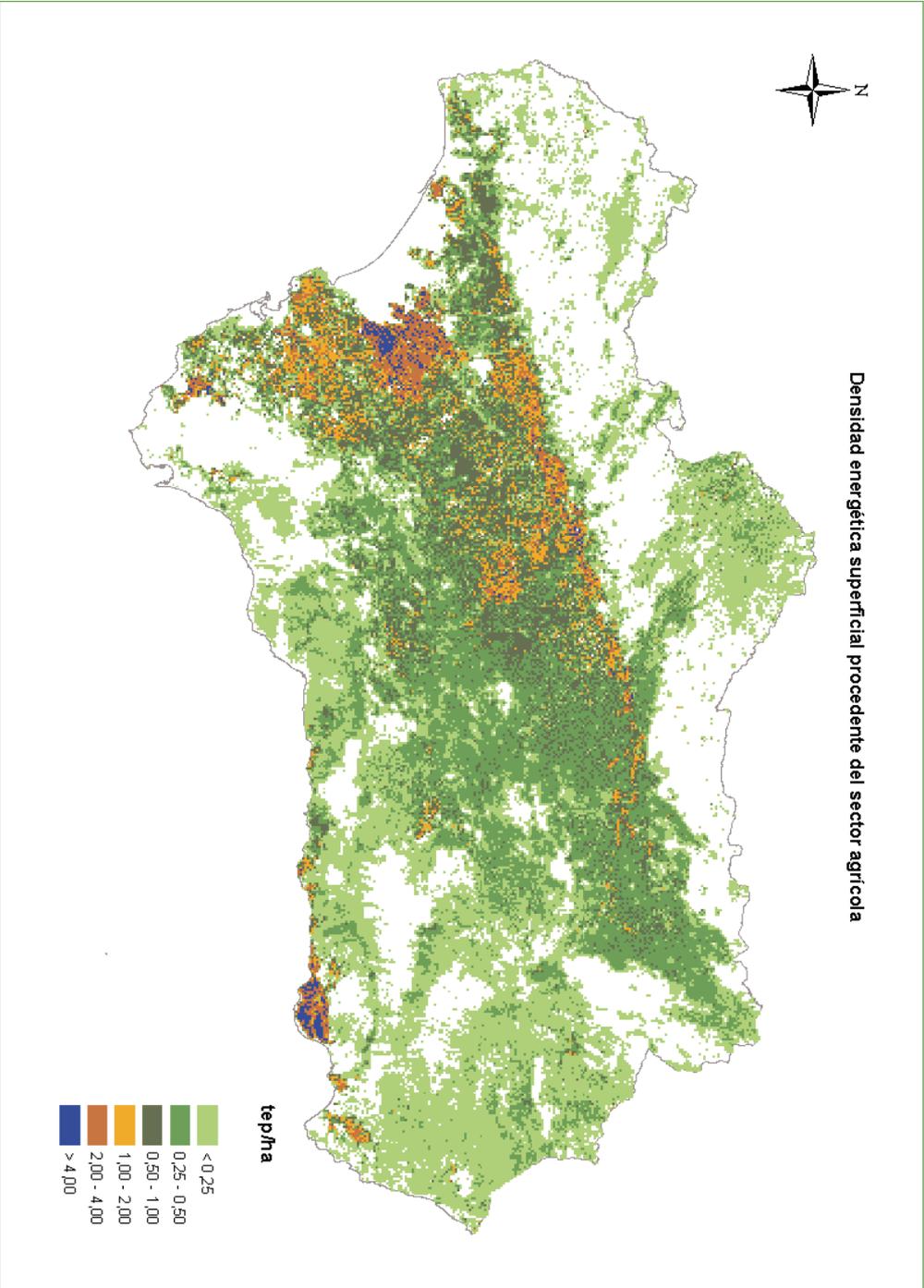
En dos municipios, Santaella y Écija, se obtienen 331.795 toneladas al año de biomasa (122.854 tep/año), una media en los píxeles de 2,7 t/ha. Esta es la cantidad que necesitarían 8 plantas de generación eléctrica de 5 MW para producir la energía eléctrica equivalente al consumo doméstico de una población de **199.726 habitantes**.

Hacia el oeste, destaca Paterna del Campo, Manzanilla y los municipios del Condado con productividades de residuos entre 2 y 4 t/ha. Cartaya y Lepe tienen rendimientos superiores aunque en menos superficie.

En el sureste andaluz se dan elevados potenciales energéticos de más de 4 tep/ha provenientes de los residuos de invernaderos. En el suroeste se da una elevada densidad energética superficial (> 2 tep/ha) en las zonas productoras de fresa en Huelva (Moguer, Palos de la Frontera, etc.). Se obtienen rendimientos por píxel a partir de 4 t/ha en los municipios de Palos de la Frontera y Lucena del Puerto, superando las 8 t/ha en Moguer.

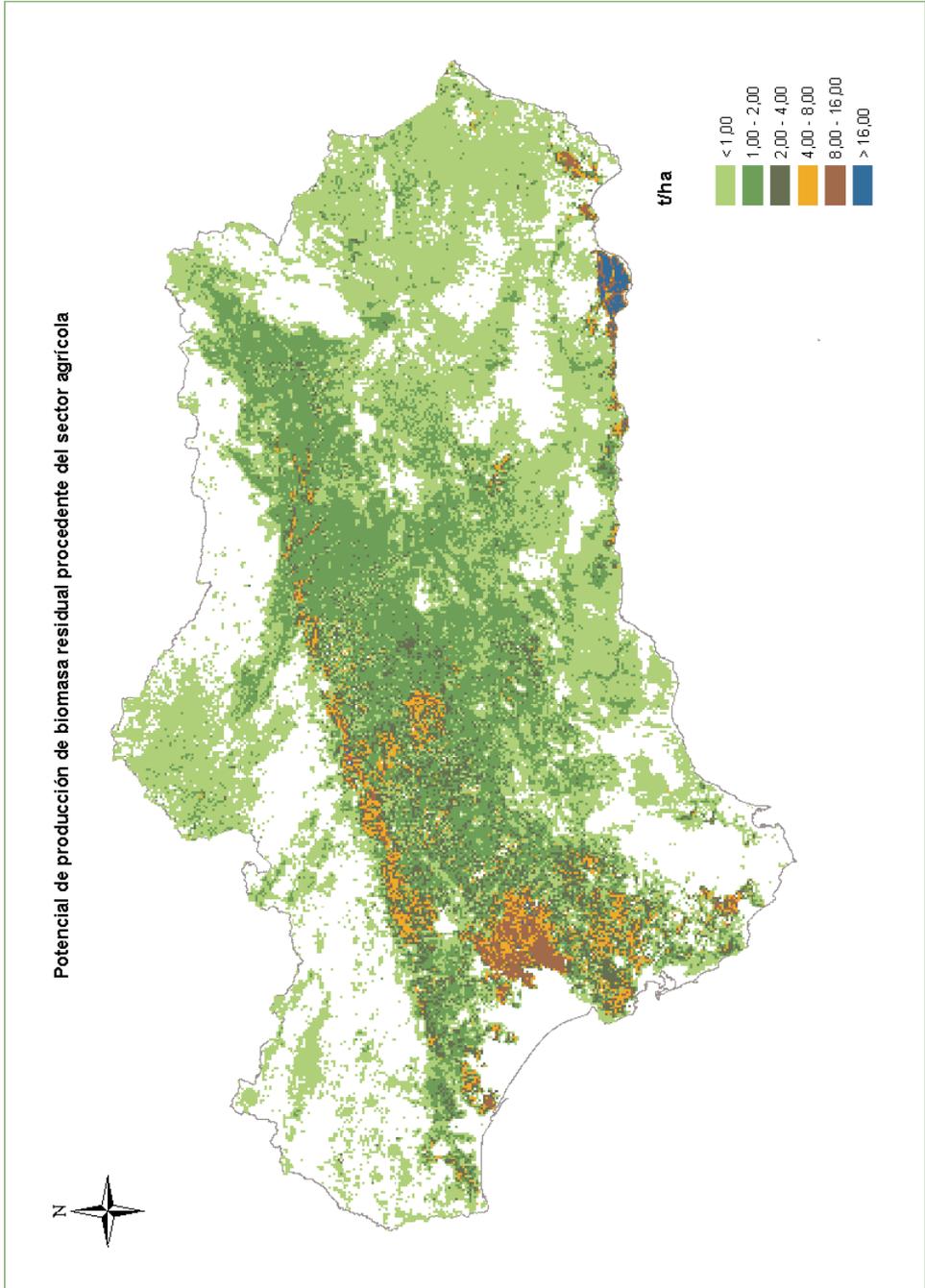
Hacia el nordeste, la principal fuente de energía procede del residuo del olivar (0,25-1 tep/ha), ocupando grandes extensiones en la provincia de Jaén.

Mapa 9. Densidad energética superficial procedente de la biomasa residual agrícola (tep/ha y píxel).



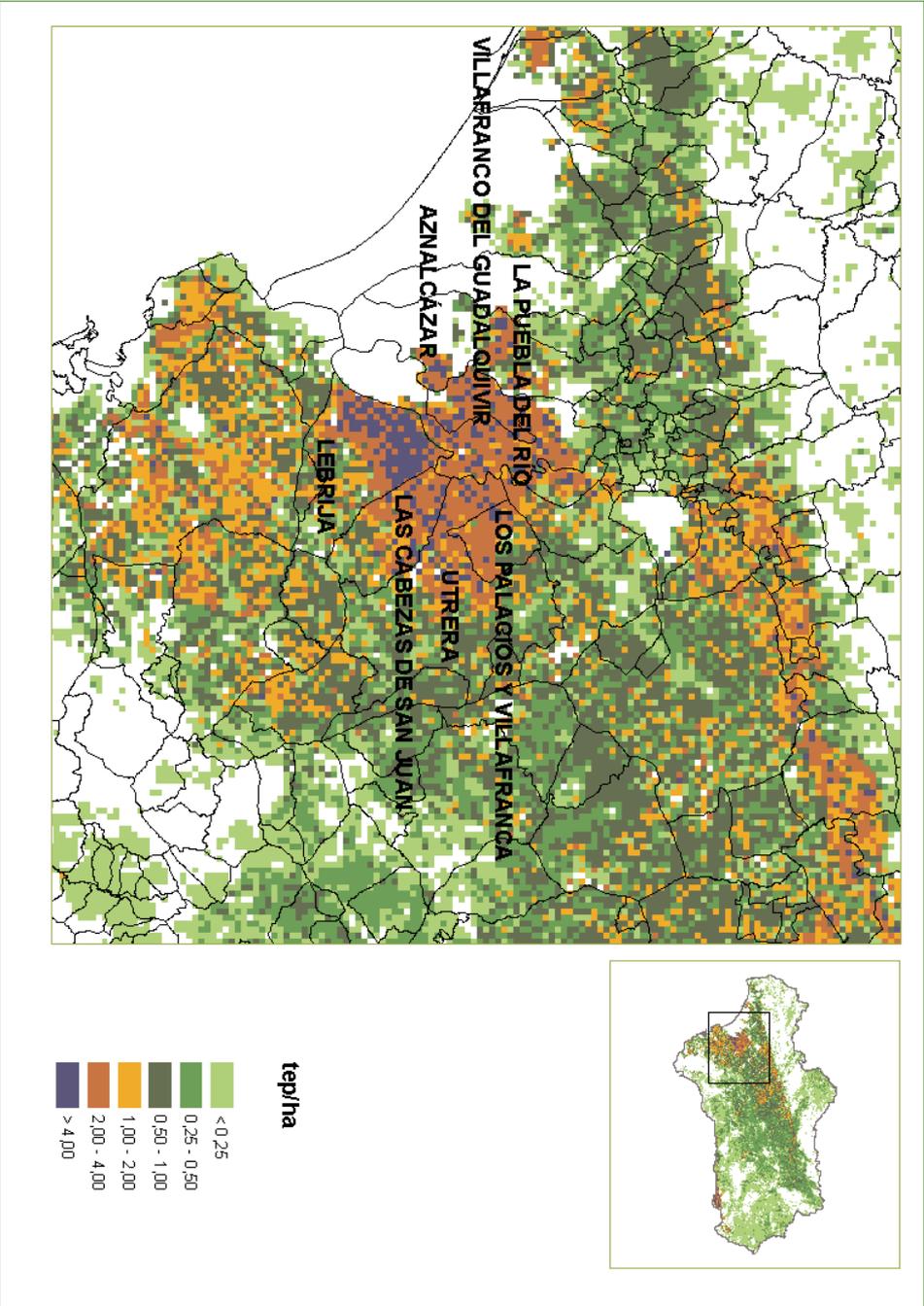
Fuente: Elaboración propia.

Mapa 10. Potencial de producción de biomasa residual procedente del sector agrícola (t/ha y píxel).



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 11. Densidad energética superficial procedente del sector agrícola en los municipios del bajo Guadalquivir (tep/ha y pixel).



Fuente: Elaboración propia.

## 7.2. Sector ganadero

La estimación del potencial energético de la biomasa residual procedente del sector ganadero arroja una cifra de 226.622 tep/año (Tabla 13). El aprovechamiento de este potencial energético estimado representaría el **1,1%** del consumo total de energía primaria de Andalucía del año 2006. Si se utilizara todo este potencial para la producción de energía eléctrica se generaría la electricidad equivalente al consumo doméstico anual de una población de **461.922 habitantes** (713,5 GWh anuales<sup>45</sup>) y se evitaría la emisión de **265.439 t de CO<sub>2</sub>-eq<sup>46</sup>**. El aprovechamiento del 4,7% de este potencial energético (9.700 tep) sería suficiente para cumplir los objetivos de incremento de energía primaria procedente de biogás para uso térmico y generación eléctrica propuesto en el PASENER entre 2007 y 2013.

**Tabla 13. Potencial energético del residuo procedente del sector ganadero.**

Especie ganadera		tep/año		
		2005	2006	Promedio
Bovino	Lechero	20.880	18.970	19.925
	Carne	7.552	6.887	7.220
Ovino		986	1.453	1.219
Caprino		15.060	14.808	14.934
Porcino		154.643	136.026	145.335
Avícola	Gallina ponedora		4.926	4.926
	Pollo		14.029	14.029
	Pavo		19.035	19.035
<b>TOTAL</b>			<b>216.134</b>	<b>226.622</b>

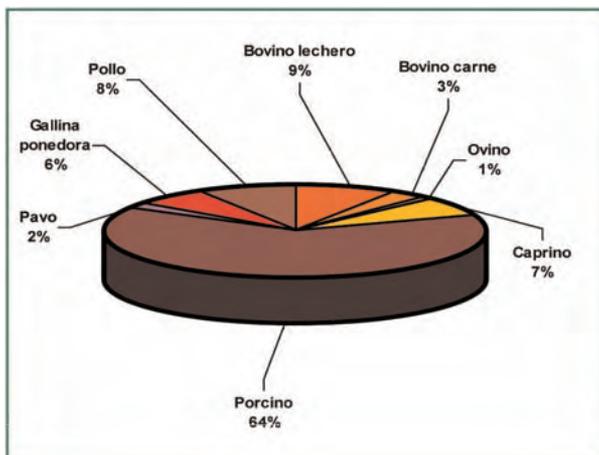
Fuente: Elaboración propia.

De las especies ganaderas seleccionadas, la mayor contribución energética pertenece al sector porcino con 145.335 tep, lo que representa el 64% del total del sector ganadero (como media de los años 2005 y 2006) (Gráfico 4 ). Le siguen, por orden de importancia, el bovino lechero con el 9%, el pollo (8%), el caprino (7%), la gallina ponedora (6%), el bovino de carne, el pavo (2%) y el ovino (1%).

<sup>45</sup> Calculado en base a un factor de conversión de 0,3176 tep/MWh correspondiente al biogás para generación eléctrica (IDAE ,2005).

<sup>46</sup> No se han tenido en cuenta las emisiones directas evitadas por la supresión del manejo convencional de los estiércoles.

**Gráfico 4. Contribución de las distintas especies ganaderas al potencial energético total procedente del sector ganadero.**



Fuente: Elaboración propia.

En los Mapa 12, Mapa 13 y Mapa 14 se muestra el potencial energético, en términos de densidad energética superficial, procedente del biogás que podrían generar las explotaciones ganaderas intensivas andaluzas (como media de los años 2005 y 2006), el cual se observa que se distribuye por toda su geografía.

Se encuentran determinadas zonas de concentración como es el caso de los municipios almerienses de Huércal-Overa, Vélez-Rubio, Vélez-Blanco y Pulpí, donde existe un potencial de 33.737 tep, el 15% del total procedente del sector ganadero andaluz, de las que 31.936 tep corresponde al sector del porcino.

Otra zona de concentración se encuentra en el municipio de Carmona, donde existe un potencial de 12.561 tep, de las que cerca del 85% corresponde al sector del porcino (10.643 tep). En los municipios de Almargen, Teba y Campillos, en la provincia de Málaga, se obtiene un potencial energético de 18.662 tep, siendo 17.918 tep procedente del sector del porcino.

Los municipios cordobeses de Alcaracejos, Dos Torres, Pozoblanco y Pedroche tienen un potencial procedente del sector ganadero de 6.265 tep, de las que 5.196 tep provienen del bovino de leche (Mapa 12).

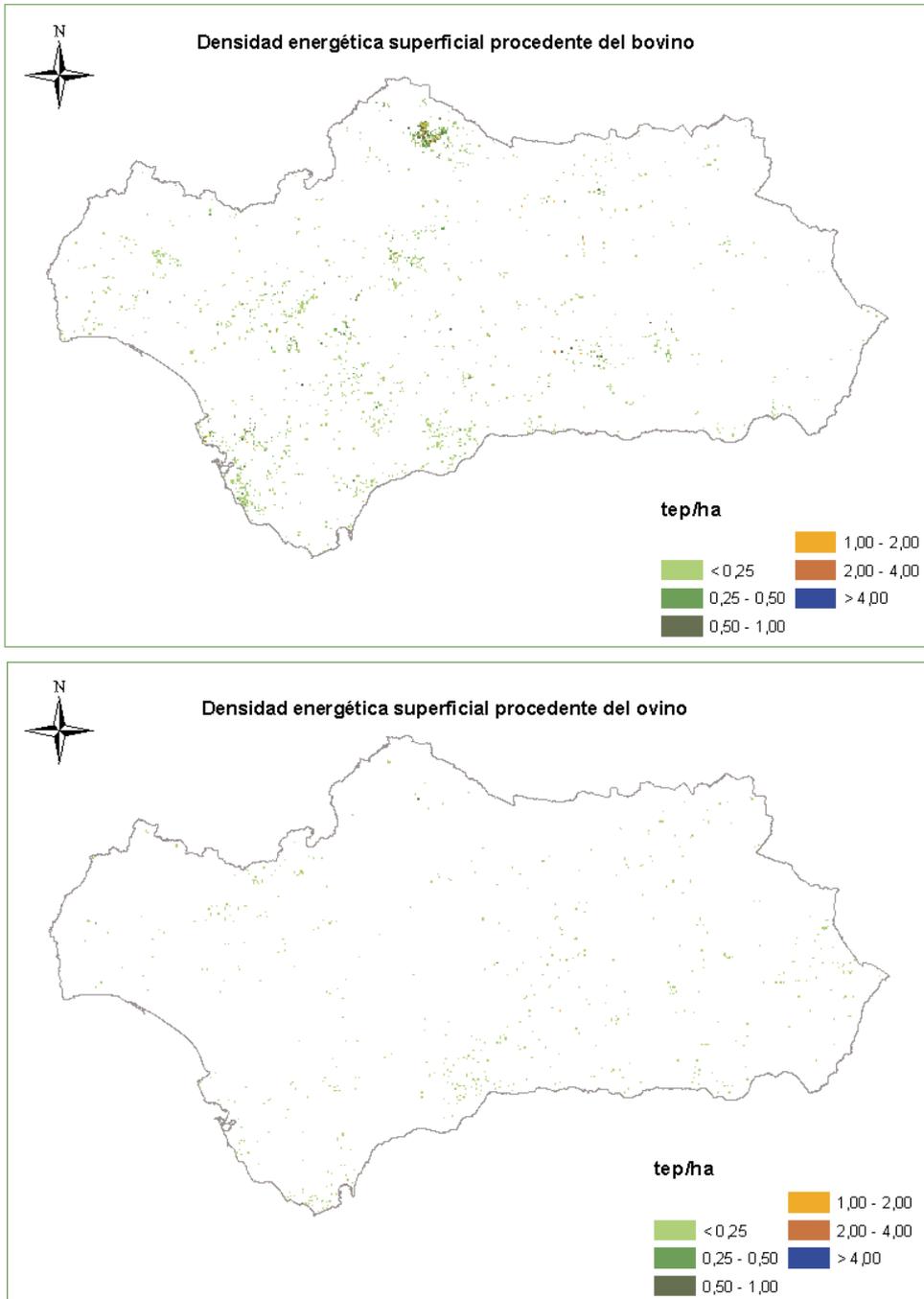
Según su distribución provincial (Tabla 14), destaca Sevilla, que representa el 24% del potencial energético total procedente del sector ganadero, seguida de Almería (19%), Málaga (16%) y Huelva (10%).

**Tabla 14. Potencial energético procedente del sector ganadero por provincias (tep).**

Provincia	Almería	Cádiz	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén	Málaga	Sevilla
<b>Potencial energético ganadero (tep)</b>	43.056	13.157	19.210	16.896	23.785	20.456	35.399	54.661
Porcentaje respecto al total	19%	6%	8%	7%	10%	9%	16%	24%

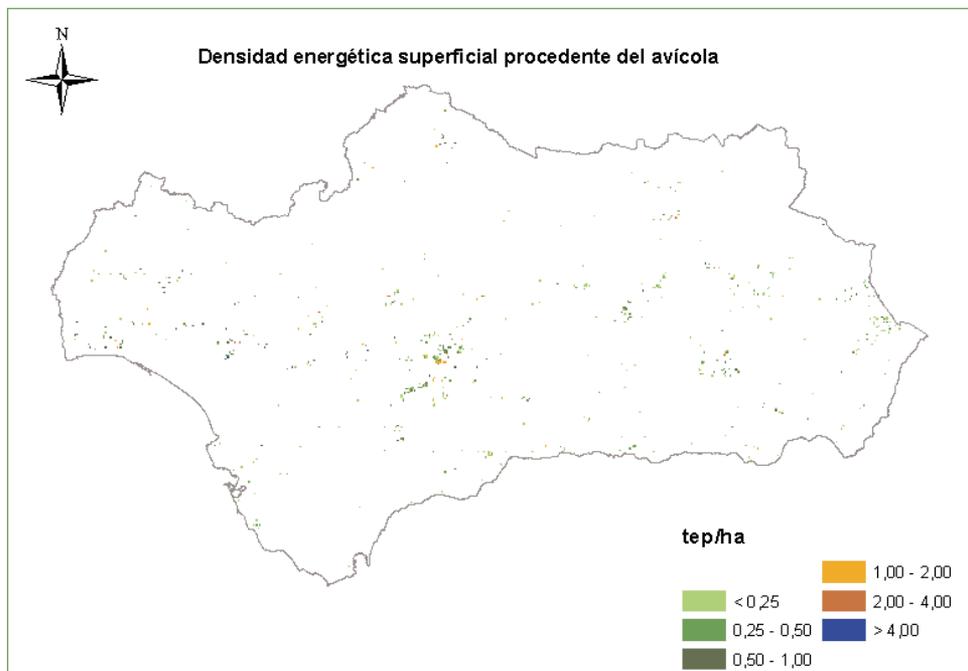
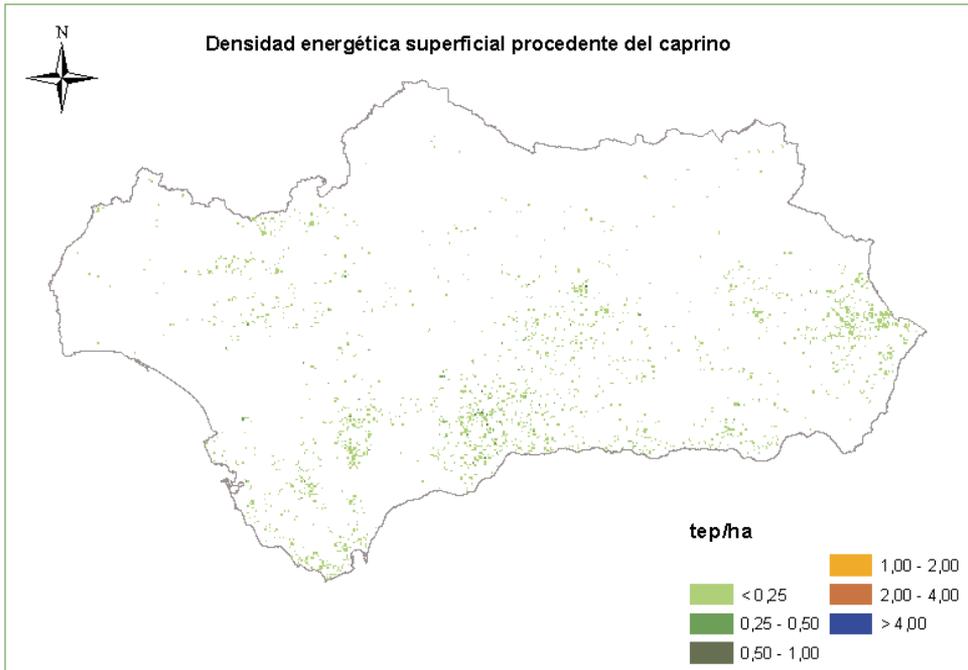
Fuente: Elaboración propia.

Mapa 12. Densidad energética superficial procedente de los residuos generados por el sector del bovino y ovino intensivos (tep/ha y píxel) (media de los años 2005 y 2006).



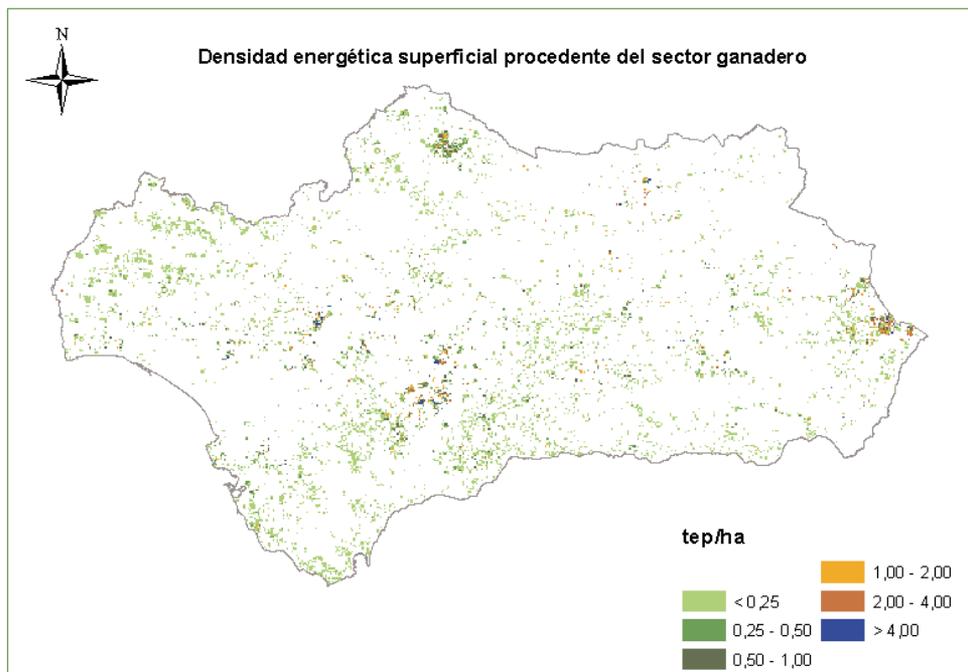
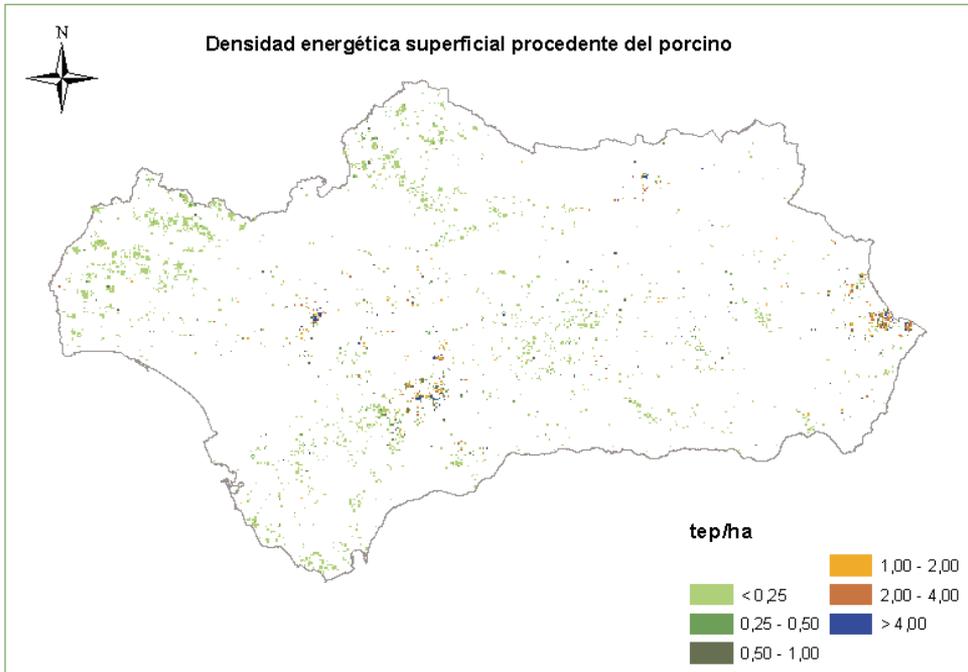
Fuente: Elaboración propia.

Mapa 13. Densidad energética superficial procedente de los residuos generados por el sector del caprino y avícola intensivos (tep/ha y píxel) (media de los años 2005 y 2006).



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 14. Densidad energética superficial procedente del sector del porcino y del total ganadero (tep/ha y píxel) (media de los años 2005 y 2006).



Fuente: Elaboración propia.

### 7.3. Potencial energético conjunto de la biomasa residual de los sectores agrícola y ganadero

Una vez determinado, en apartados anteriores, como se distribuye el potencial energético de la biomasa residual proveniente de los sectores agrícola y ganadero respectivamente, en el Mapa 15 se muestran los resultados que se obtienen al considerar los dos sectores de manera conjunta.

Aunque se trata de dos tipos de biomasa con características y tecnologías de aprovechamiento energético muy diferentes, interesa conocer su distribución conjunta ya que en la actualidad está adquiriendo cada vez mayor importancia la producción y aprovechamiento de biogás generado mediante co-digestión<sup>47</sup> de biomasa de distintos orígenes. Por tanto, las zonas con una elevada densidad energética superficial conjunta (identificadas en el mapa) resultarían de interés para ubicar una planta que realizase este aprovechamiento a gran escala.

Según los cálculos realizados, el potencial energético total estimado procedente de ambos sectores asciende a 2.844 ktep, de las que el 92 % corresponde al sector agrícola (2.617 ktep). Su distribución en la geografía andaluza refleja la contribución de los distintos cultivos y especies ganaderas al global energético, especialmente del primero.

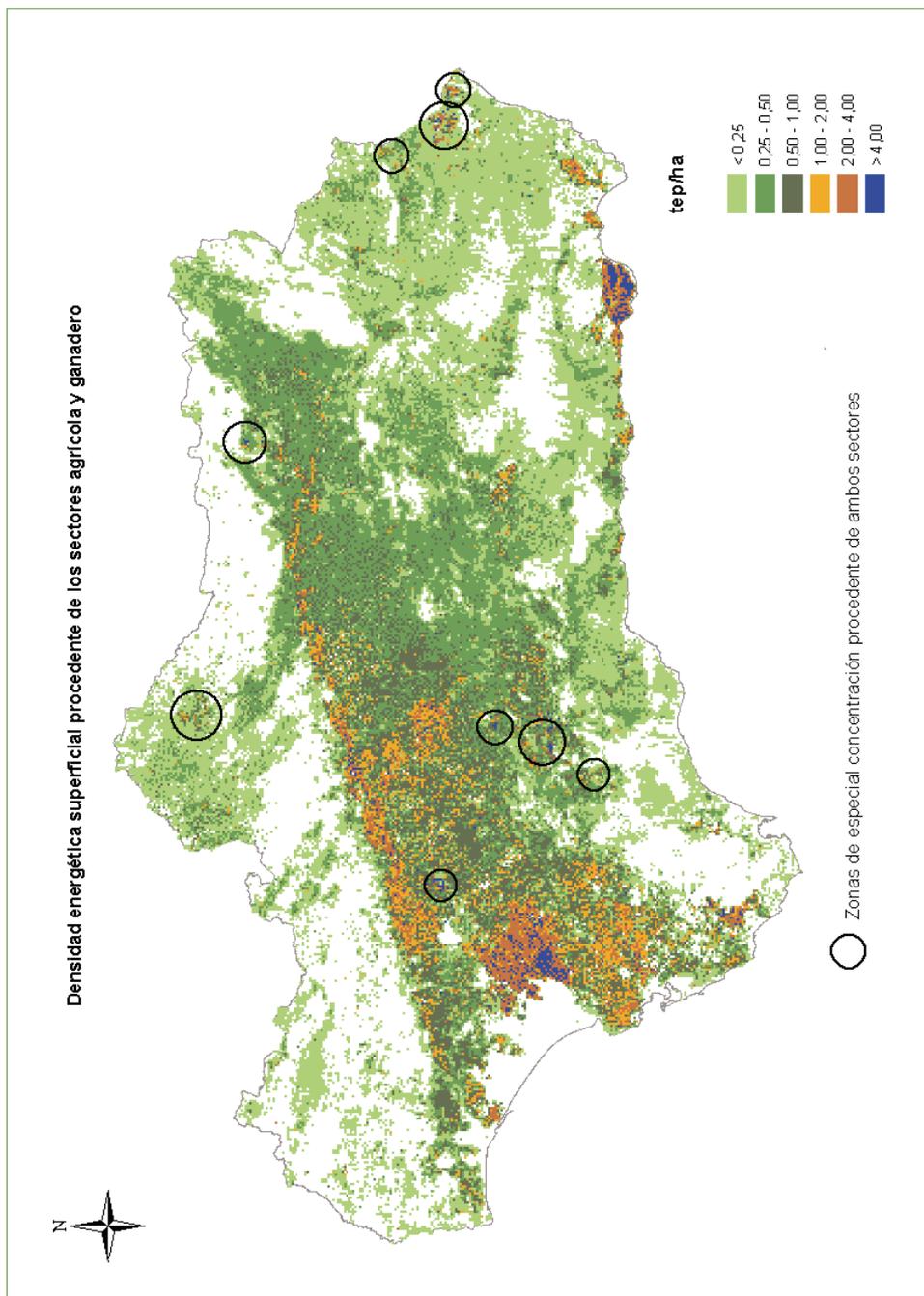
Como ya se ha descrito anteriormente, este potencial se extiende principalmente por el valle del Guadalquivir, alcanzando valores por encima de 0,25 tep/ha en toda la zona. Los valores aumentan a medida que nos acercamos a la vega y al bajo Guadalquivir, donde se concentra el regadío andaluz, con cifras de densidad energética superficial superiores a 1 tep/ha; se obtienen valores similares en determinadas zonas de las campiñas de Córdoba, Sevilla y Cádiz.

En el bajo Guadalquivir el potencial energético supera las 2 tep/ha, e incluso las 4 tep/ha en muchas zonas. Igualmente se dan densidades mayores de 2 tep/ha en las zonas productoras de fresa en Huelva y de 4 tep/ha en las de cultivos protegidos de Almería.

---

<sup>47</sup> Producción de biogás mediante la digestión anaerobia de sustratos compuestos por varios tipos de residuos, entre los que se incluyen los ganaderos, agroindustriales y agrícolas.

Mapa 15. Densidad energética superficial procedente del sector agrícola y ganadero (tep/ha y pixel) (media de los años 2005 y 2006).



## 8. Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones que se extraen del análisis territorial realizado, agrupadas en función del ámbito al que hacen referencia.

### Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía

- El potencial energético total estimado procedente de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía alcanza **2.844 ktep**, de las que el 92% (2.617 ktep) corresponden al sector agrícola, y el resto, es decir el 8% (226,6 ktep), al ganadero. El aprovechamiento de dicho potencial, que equivaldría al **14,25%** del **consumo de energía primaria** registrado en Andalucía en el año 2006, supondría sustituir el 14,9% del consumo de energía primaria procedente de fuentes de energía convencionales en dicho año, aunque se debe tener en cuenta, como se ha mencionado anteriormente, que solo una parte de dicho potencial sería aprovechable desde un punto de vista técnico, económico y medioambiental. Si se aprovechara todo el potencial estimado para la producción de energía eléctrica se generarían **7.287 GWh** anuales, lo que equivaldría al consumo doméstico de electricidad de una población de **4.717.717 habitantes**.
- **El cumplimiento de los objetivos de incremento de consumo de energía primaria procedente de la biomasa y el biogás entre los años 2007 y 2013 propuestos en el PASENER 2007-2013 requerirían el aprovechamiento del 22,3% y del 4,7%<sup>48</sup> respectivamente del potencial agrícola y ganadero estimado.**
- Del potencial energético procedente de la biomasa residual agrícola andaluza (obtenido de cerca de 8 millones de toneladas de biomasa), el 67% proviene de los cultivos herbáceos. Los cultivos COP exceptuando el arroz (más de 1 millón de tep/año), representan el 39% del potencial energético total procedente del sector agrícola. Le siguen por orden de importancia el resto de herbáceos (arroz, remolacha, algodón, fresa, tomate y cultivos de invernadero) con un 28%, el olivar con el 26% y el resto de cultivos leñosos con un 7%.
- En el caso del sector ganadero, la mayor contribución energética corresponde al sector porcino, con 145.335 tep/año, lo que representa el 64% del potencial estimado a partir de los residuos ganaderos (como media de los años 2005 y 2006).

### Zonas de concentración de la biomasa residual agrícola

- Existen numerosas zonas de concentración de interés para un aprovechamiento energético de la biomasa residual agrícola. Una de las más importantes se encuentra en el bajo Guadalquivir, donde siete municipios producen más de un millón de toneladas al año de biomasa residual, 378.000 tep/año, la octava parte del potencial energético total agrícola. Esto equivale a 25 plantas de generación eléctrica de

---

<sup>48</sup> Estas cifras ponen de manifiesto la disponibilidad de biomasa que existiría para ser transformada en biocarburantes de 2ª generación.

5 MW, o las dos de co-combustión de 56 MW que se necesitarían para cumplir con los objetivos del PASENER y 9 plantas más de 5 MW. La energía eléctrica producida equivaldría al consumo doméstico de una población de **614.661 habitantes**. La vega del Guadalquivir es otra de las zonas a destacar ya que registra rendimientos en biomasa residual superiores a 4 t/ha (más de 1 tep/ha).

- Otras zonas de elevada densidad energética superficial se encuentran en distintos lugares de las campiñas de Córdoba, Sevilla y Cádiz. En Santaella y Écija se obtienen en conjunto 331.795 toneladas al año de biomasa residual, 122.854 tep/año, el suministro requerido por 8 plantas de 5 MW para producir la energía eléctrica equivalente al consumo doméstico de una población de **199.726 habitantes**. Igualmente, Jerez de la Frontera y su entorno tiene una elevada densidad energética superficial, y muy extendida por todo su territorio.
- Las zonas productoras de fresa en Huelva y de cultivos de invernadero en Almería presentan potenciales energéticos superiores a 2 tep/ha y 4 tep/ha, respectivamente.
- En el olivar de Jaén, Córdoba y Sevilla se obtienen densidades energéticas superficiales superiores a 0,25 tep/ha que se extienden por gran parte del territorio andaluz. En muchas localizaciones superan las 0,5 tep/ha.

## Zonas de concentración del potencial energético procedente del sector ganadero

- El potencial energético procedente del sector ganadero se distribuye por toda la geografía andaluza. En los municipios almerienses de Huércal-Overa, Vélez-Rubio, Vélez-Blanco y Pulpí, existe un potencial de 33.737 tep, el 15% del total procedente del sector ganadero andaluz.
- Otras zonas de concentración se encuentran en el municipio de Carmona, donde existe un potencial de 12.561 tep, y en los municipios de Almargen, Teba y Campillos, en la provincia de Málaga, donde se obtiene un potencial energético de 18.662 tep.
- Los municipios cordobeses de Alcaracejos, Dos Torres, Pozoblanco y Pedroche tienen un potencial procedente del sector ganadero de 6.265 tep, de las que 5.196 tep provienen del bovino de leche.

## Análisis territorial mediante Sistemas de Información Geográfica

- El uso de las herramientas que proporcionan los SIG para el análisis y evaluación de la biomasa residual ha permitido cumplir los objetivos de este estudio. Por un lado, ha posibilitado la representación geográfica en detalle de la distribución espacial del potencial de producción de biomasa residual de los sectores agrícola y ganadero, así como de su potencial energético, ya sea de forma individual para cada cultivo o especie ganadera, o de forma agregada en función de una serie de características.

- La asignación de índices de producción de residuos específicos para cada cultivo en función del rendimiento productivo o de la superficie, y de producción de sólidos volátiles en el caso de las especies ganaderas, y su fácil integración en el SIG, ha proporcionado una mayor precisión a los cálculos. En el caso de los índices basados en el rendimiento, su utilización ha permitido tener en cuenta los sistemas de cultivo específicos en las distintas zonas, así como las características agroclimáticas de cada campaña productiva. En el caso de las especies ganaderas se ha podido distinguir no sólo entre especies, sino incluso entre distintos estratos de edad.
- La integración del uso de distintas fuentes de información geográfica y alfanumérica (SIGPAC, bases de datos de declaraciones de cultivo del FAGA, SIG- Citrícola, SIG-GAN y Modelo AGER), ha permitido un análisis territorial del potencial energético total procedente de los residuos agrícolas y ganaderos de notable precisión.
- El uso de un modelo ráster con píxeles de 100 ha de resolución espacial ofrece la ventaja de que cada unidad de información geográfica mantiene una superficie constante en el tiempo evitando los problemas que acarrearían los cambios que se producen en los usos de los recintos o parcelas agrícolas. Esta unidad de representación permite el análisis y cartografía de las variables estudiadas de forma individual o agregada, comparar los cambios producidos en las mismas a lo largo del tiempo y conocer sus valores medios en un período de tiempo. La asignación de un código municipal a cada píxel ha facilitado el análisis a niveles de agregación territorial superiores, como el municipal, comarcal y provincial.

El estudio que aquí concluye estima el **potencial energético total**, es decir, la energía generada por la biomasa susceptible de aprovechamiento energético sin considerar su posibilidad real de explotación o los aprovechamientos que de ella se hagan actualmente. Se trata, por tanto, del punto de partida necesario para emprender sucesivos análisis que tengan en cuenta el **potencial real**, es decir, la energía generada por toda la biomasa que puede utilizarse con las tecnologías existentes, que no posee otro valor que el energético, y cuyo aprovechamiento es técnica, económica y medioambientalmente viable.

Dado el interés que despierta conocer las posibilidades con las cuenta Andalucía para la implantación de plantas de aprovechamiento energético de la biomasa residual, la Consejería de Agricultura y Pesca tiene previsto poner en marcha estudios pormenorizados de viabilidad de implantar este tipo de instalaciones, tanto de generación eléctrica, como de co-combustión, en las zonas identificadas como de elevada densidad energética superficial (bajo Guadalquivir y campiñas de Córdoba, Sevilla y Cádiz, principalmente).

## Bibliografía

Alonso Mateos, J.J. (2004). "Las posibilidades energéticas de la biomasa en la Comunidad Autónoma de Madrid". Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Comisión Europea (1999). "El impacto de las renovables en el empleo y en el crecimiento económico". Dirección General de Energía. Comisión Europea.

Comisión Europea (2005). "Biomass: Green energy for Europe". Directorate - General for Research Sustainable Energy Systems. European Comisión.

Di Blasi, C., V. Tanzi, M. Lanzetta, (1997) "A study on the production of agricultural residues in Italy" Biomass & Bioenergy 12 (5) pp. 321-331.

Domínguez, J., M. J. Marcos (2000). "GIS applied to evaluate biomass power in Andalucía (Spain)". Cybergeog. European Journal of Geography. N°142. 14. p. ISSN. 1278-3366.

Domínguez, J., Ciria, P., Esteban, L. S., Sánchez, D., Lasry, P. (2003): "Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España)", GeoFocus (Informes y Comentarios), n° 3, p.1-10.

EUBIONET (2003). "Biomass survey in Europe. Country report of Greece". European Bioenergy Network. European Energy Exchange.

Fernández, J. (2003). "Energía de la biomasa". En De Juana, J.M. "Energías renovables para el desarrollo". Edición Thomson-Paraninfo.

Hill, D.T. (1982). "Design of digestion systems for maximum methane production". Transactions of the ASAE.

IDAE (2005). "Plan de Energías Renovables, 2005-2010". Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

IPCC. (1997). "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". IPPC/OECD/IEA. Paris.

Koopmans, A., Koppejan, J. (1998). "Agricultural and forest residues generation, utilization and availability". FAO. EEMTRC / ASSN-NRSE conference "Renewable Energy for Project Developers, Users, Suppliers & Bankers". 22-26 May 1998. Bangkok.

Manzano, F. (2007). "Gasificación de residuos de invernadero para la obtención de energía eléctrica en el sur de España: ubicación mediante SIG". INCI, feb. 2007, vol.32, no.2, p.131-136. ISSN 0378-1844.

Ministerio de Medio Ambiente. "Metodología para la estimación de las emisiones a la atmósfera del sector agrario para el inventario nacional de emisiones". Universidad Politécnica de Valencia.

Pascual Puigdevall, J., García Galindo, D., “Localización de zonas óptimas para el aprovechamiento de la biomasa residual agrícola en la provincia de Teruel”. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE).

PASENER 2007-2013. “Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013”. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.

PLEAN 2003-2006. “Plan Energético de Andalucía 2003-2006”. Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico. Junta de Andalucía. Abril de 2003.

## Anexo 1: Usos del suelo de SIGPAC para las campañas 2005 y 2006

USO SIGPAC	DESCRIPCIÓN
AG	Corrientes y superficies de agua
CA	Viales
CI	Cítricos
CO	Contorno de olivar
ED	Edificaciones
FO	Forestal
FS	Frutal de cáscara (algarrobo, pistacho, nogal, avellano y almendro)
FY	Frutal
IM	Improductivo
IS	Isla de olivar
IV	Invernaderos y cultivos bajo plástico
KO	Frutal de cáscara/olivar
KV	Frutal de cáscara/viña
OF	Asociación olivar-frutal
OV	Olivar
PA	Pasto arbolado
PR	Pasto arbustivo
PS	Pastizal
TA	Tierra arable
TH	Huerta
VF	Asociación frutal-viñedo
VI	Viñedo
VO	Asociación olivar-viñedo
ZC	Zona concentrada no reflejada en la ortofoto
ZU	Zona urbana
ZV	Zona censurada



## Anexo 2: Estimación de las superficies de cultivo

La estimación de la superficie dedicada a cada uno de los cultivos incluidos en el estudio que se ha asignado a cada píxel (suma de las superficies de los recintos cuyo centroide se sitúa en el píxel) se ha realizado utilizando metodologías diferentes en función de la información de partida disponible.

### **Superficie dedicada a cultivos COP, remolacha y algodón**

Tanto los cultivos COP (trigo, cebada, avena, centeno, arroz, maíz y girasol) como la remolacha azucarera y el algodón, se encuentran subvencionados por la PAC, por lo que se ha podido disponer de la información incluida en las bases de datos de las declaraciones de cultivo que utiliza el FAGA para el pago y control de ayudas. Señalar que siempre que ha sido posible se ha priorizado el uso de esta fuente de información frente a otras, dada la fiabilidad y detalle de los datos que contiene, que se encuentran a nivel de recinto.

Por tanto, para los cultivos COP, la remolacha y el algodón se ha considerado la superficie declarada por cultivo que consta en las bases de datos del FAGA para las campañas objeto de estudio, utilizándose SIGPAC 2005 y 2006 para ubicar los recintos en el territorio relacionando ambas fuentes de información (alfanumérica la primera y geográfica la segunda) a nivel de recinto<sup>49</sup>.

### **Superficie de tomate al aire libre**

La superficie correspondiente a este cultivo para las dos campañas estudiadas ha sido proporcionada por el Modelo AGER, ya mencionado en el capítulo 3 sobre metodología.

### **Superficie dedicada a cultivos protegidos (excepto fresa), viñedo, olivar, frutales y frutos secos**

La superficie considerada en el caso de los cultivos protegidos (excepto fresa), viñedo, olivar, frutales y frutos secos en las campañas objeto de estudio ha sido la que proporciona SIGPAC. En el caso de los cultivos protegidos (excepto fresa) y el viñedo se trata de la única fuente disponible con información sobre superficies a nivel de recinto ya que las declaraciones de cultivo del FAGA sólo recogen la superficie de estos cultivos de aquellos agricultores que declaren otros cultivos con ayudas PAC. Tanto para cultivos protegidos, como para viñedo, existe un uso de suelo específico en SIGPAC (uso IV para cultivos protegidos, y VI para viñedo).

En el caso del olivar, el utilizar la superficie incluida en SIGPAC en lugar de la procedente de las declaraciones de cultivo se especifica a continuación. Antes de la entra-

---

<sup>49</sup> Cuando se cruzan ambas bases de datos se detecta cierto número de recintos de las declaraciones que no encuentran correspondencia con los de SIGPAC (no enlazan), por lo que no resulta posible su representación en el territorio. En estos casos se ha procedido a distribuir su superficie entre los recintos que sí enlazaban, de manera proporcional a la superficie de éstos.

da en vigor del RPU en 2006, la superficie de olivar se declaraba mediante el SIG Oleícola. Este sistema de información, actualmente integrado en SIGPAC, se estructuraba a nivel de parcela oleícola<sup>50</sup>, a diferencia de SIGPAC que utiliza las parcelas catastrales. La ausencia de resultados coherentes al realizar el traslado de las superficies de olivar de las declaraciones (parcela oleícola) a SIGPAC (parcela catastral) para lograr su georreferenciación, ha obligado a descartar las declaraciones y utilizar la superficie catalogada como olivar en SIGPAC (uso de suelo OV).

### Superficie de fresa

La superficie de fresa cultivada en Huelva para las campañas 2005/06 y 2006/07 no se encuentra bien representada en SIGPAC<sup>51</sup>, ya que refleja menos superficie de la que aparece en los Anuarios de la CAP.

Por esta razón se ha hecho uso de la información de que dispone la Consejería de Agricultura y Pesca, para la elaboración de los Boletines SIMANCTEL, que recogen los resultados del inventario anual de la superficie bajo plástico en la provincia de Huelva a través de imágenes de satélite (teledetección).

### Frutales

**Cítricos:** se ha utilizado la información disponible en el SIG-Citrícola 2006 (de diciembre de 2006) para agrupar los distintos recintos de cítricos a nivel de píxel, excepto en el caso de la provincia de Huelva dada la deficiente georreferenciación de los centroides de sus recintos. En este caso, se han agrupado los recintos del SIG-Citrícola y del SIGPAC por parcelas catastrales, con el objetivo de relacionar las parcelas y obtener un ratio de distribución que se ha utilizado para asignar la superficie procedente de SIG-Citrícola de forma proporcional a la que aparece en SIGPAC, entre los diferentes recintos. Aplicando esta metodología se detecta la existencia de parcelas catastrales del SIG-Citrícola que no enlazan con parcelas de SIGPAC. En estos casos se ha procedido a agrupar las parcelas que no enlazan de cada uno de los sistemas de información geográfica por polígonos<sup>52</sup> con el fin de relacionarlos y obtener un ratio de distribución que se utiliza, como en el caso de los recintos, para distribuir la superficie de los recintos de dichas parcelas del SIG-Citrícola entre los recintos SIGPAC de la parcela con la que enlaza. Igualmente, en el caso de existir polígonos del SIG-Citrícola que no enlazan con su homólogo de SIGPAC, se ha utilizado el municipio para agruparlos repartiendo la superficie de los recintos afectados de la misma manera que en los casos anteriores.

En la Tabla 15 se presentan los resultados del enlace de las superficies de cítricos en Huelva entre el SIG-Citrícola y SIGPAC.

---

<sup>50</sup> Se define como una superficie homogénea y continuada de cultivo de olivar, bajo una misma linde, de la misma variedad, al mismo marco de plantación y en el mismo régimen de cultivo (secano o regadío).

<sup>51</sup> Recintos con uso de suelo "IV" situados en la provincia de Huelva.

<sup>52</sup> El polígono es la subdivisión territorial que se encuentra por encima de la parcela, pudiendo agrupar a varias de ellas.

**Tabla 15. Resultados del enlace de las superficies de cítricos en Huelva entre el SIG-Citrícola y SIGPAC.**

Superficie que enlaza (ha)			
Nivel de parcela	Nivel de polígono	Nivel de municipio	Total
12.140	1.237	425	13.802

Fuente: Elaboración propia.

**Otros frutales:** para estimar la superficie dedicada a frutales distintos de los cítricos no ha sido posible utilizar directamente la información suministrada por SIGPAC (uso 'FY') al no diferenciar la superficie correspondiente a frutales de cáscara de la del resto de frutales.

Por tanto para la estimación de la densidad energética superficial de la biomasa residual procedente de los frutales en las campañas estudiadas se ha utilizado la información que sobre "Superficie ocupada por los cultivos agrícolas por término municipal"<sup>53</sup> elabora la Consejería de Agricultura y Pesca. Se ha considerado superficie dedicada a frutales la de los recintos con uso FY situados en municipios en los que más del 50% de su superficie dedicada a leñosos<sup>54</sup> fuese de frutales. En estos casos, la superficie municipal de frutales de los 1T se ha distribuido entre los recintos SIGPAC con uso frutal de forma proporcional a su superficie.

**Frutales de cáscara:** para la estimación de la superficie asociada a frutales de cáscara se ha utilizado idéntica metodología que para la de frutales distintos de los cítricos, una vez comprobado que la superficie de los recintos con uso de suelo "FS" que contiene SIGPAC no es correcta (no se corresponde con la publicada en los Anuarios de la Consejería). Se han considerado dedicados al cultivo de frutales de cáscara aquellos recintos con uso FY situados en municipios con más de un 50% de su superficie de leñosos dedicada al cultivo de frutales de cáscara. Posteriormente se ha distribuido dicha superficie municipal entre estos recintos, de manera proporcional a su superficie.

<sup>53</sup> Recogida en los cuestionarios conocidos como 1T.

<sup>54</sup> Exceptuando la superficie de cítricos, olivar y viñedo.



## Anexo 3: Índices de residuo de cultivo

El índice de residuo es una relación que proporciona la producción de biomasa residual en función de la producción o de la superficie del cultivo:

$$\begin{aligned} \text{Índice de residuo} &= \text{kg de residuo} / \text{kg producto.} \\ \text{Índice de residuo} &= \text{kg de residuo} / \text{ha de cultivo.} \end{aligned}$$

### Cultivos COP

En la Tabla 16 se presenta una relación de índices de residuo para distintos cultivos en función de la producción que se encuentran referenciados en la bibliografía. Como se puede observar existen valores muy heterogéneos dependiendo de la fuente consultada.

**Tabla 16. Índices de residuos (kg/kg).para distintos cultivos referenciados en la bibliografía.**

Referencia bibliográfica	Índice de residuo (kg/kg)							
	Trigo	Girasol	Cebada	Maíz	Arroz	Sorgo	Avena	Centeno
<b>CENER-CIEMAT<sup>55</sup></b>	1,20	1,50	1,30	2,00	-	-	1,30	-
<b>Alonso, J.J. ETSIA-UPM<sup>56</sup></b>	1,20	-	1,35	2,73	-	-	1,35	2,50
<b>Fernández, J.<sup>57</sup> ETSIA-UPM</b>	1,20	2,00	1,30	1,35/1,45	1,50	1,70	1,40	1,40
<b>IPCC<sup>58</sup></b>	1,30	1,20	1,00	1,40	1,40	1,30	1,60	1,40
<b>FAO<sup>59</sup></b>	0,57	-	0,57	0,43	0,58	-	0,57	-
<b>EUBIOMET<sup>60</sup></b>	1,00	1,41	0,81	0,57	-	-	0,79	-
<b>Di Blasi et al.<sup>61</sup></b>	0,7	1,41	0,80	0,88	0,62	-	0,70	-
<b>Domínguez et al.<sup>62</sup></b>	1,20	1,50	1,30	2,00	-	-	1,30	-

<sup>55</sup> CENER: Centro Nacional de Energías Renovables. CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Ministerio de Educación y Ciencia.

<sup>56</sup> Alonso Mateos, J.J. (2004). "Las posibilidades energéticas de la biomasa en la Comunidad Autónoma de Madrid". Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>57</sup> Fernández, J. (2003). "Energía de la biomasa". En De Juana, J.M. (2003). "Energías renovables para el desarrollo". Edición Thomson-Paraninfo.

<sup>58</sup> IPCC: "Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero". Capítulo 4: Agricultura.

<sup>59</sup> Koopmans, A., Koppejan, J. (1998). "Agricultural and forest residues generation, utilization and availability". FAO. EEMTRC / ASSN-NRSE conference "Renewable Energy for Project Developers, Users, Suppliers & Bankers". 22-26 May 1998. Bangkok.

<sup>60</sup> EUBIONET (2003). "Biomass survey in Europe. Country report of Greece". European Bioenergy Network. European Energy Exchange.

<sup>61</sup> Di Blasi, C., V. Tanzi, M. Lanzetta, (1997) "A study on the production of agricultural residues in Italy" Biomass & Bioenergy 12 (5) pp. 321-331.

<sup>62</sup> Domínguez, J., M.J. Marcos (2000). "GIS applied to evaluate biomass power in Andalucía (Spain)". Cybergeo. European Journal of Geography. N°142. 14. p. ISSN. 1278-3366.

Referencia bibliográfica	Índice de residuo (kg/kg)							
	Trigo	Girasol	Cebada	Maíz	Arroz	Sorgo	Avena	Centeno
<b>CIRCE<sup>63</sup></b>	1,57	4,53	2,67	3,77	1,89	-	2,44	-

Fuente: Elaboración propia.

De todos los valores reseñados, en el estudio se han tenido en cuenta los aportados por el CENER-CIEMAT por ser el organismo de referencia a nivel nacional en investigaciones energéticas.

Para aquellos cultivos de los que esta institución no disponía de datos, se han considerado los índices propuestos por Jesús Fernández González, Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, experto en agroenergía.

---

<sup>63</sup> Pascual Puigdevall, J., García Galindo, D., “Localización de zonas óptimas para el aprovechamiento de la biomasa residual agrícola en la provincia de Teruel”. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE).

## Anexo 4: Equivalencias a UGM

Para el cálculo de la correspondencia en Unidad de Ganado Mayor (UGM) del bovino mayor de 24 meses, el bovino comprendido entre 6 y 12 meses, y del ovino y caprino macho – hembra, se ha recurrido a los factores de conversión que se establecen en el Reglamento (CE) 1782/2003. El resto de categorías, excepto ovino y caprino de cebo, han sido tomadas del “Manual de condiciones y exigencias mínimas medioambientales y en materia de bienestar animal para las explotaciones bovinas de las Islas Baleares”.

En el caso de ovino y caprino de cebo se ha calculado la equivalencia en UGM atendiendo a la edad media de sacrificio, que se ha estimado según la siguiente metodología<sup>64</sup> (ver Tabla 17 y Tabla 18).

1. Cada peso medio de la canal se corresponde con un peso vivo a sacrificio en función del rendimiento propio de la canal.
2. Una vez conocido el peso vivo a sacrificio se estima la edad de sacrificio del animal.
3. A cada tipo de animal se le asocia su equivalencia en UGM<sup>65</sup> en función de su edad de sacrificio.
4. Se calcula la media ponderada de todos los animales obteniendo los valores medios de las UGM según el número de animales de cada tipo para 2005 y 2006.
5. Finalmente se calcula la media de ambos períodos obteniendo su UGM equivalente.

**Tabla 17. Equivalencia a UGM en ovino de cebo.**

Año	2005		2006	
	<= 10 kg	> 10 kg	<= 10 kg	> 10 kg
<b>Número de animales</b>	55.598	401.449	54.724	595.025
<b>Peso medio canal (kg)</b>	7,2	13,47	7,38	13,52
<b>Peso vivo sacrificio (kg)</b>	9 a 18	22 a 30	9 a 18	22 a 30
<b>Edad de sacrificio (días)</b>	20 a 40	100	20 a 40	100
<b>UGM/animal</b>	0,02	0,05	0,02	0,05
<b>UGM media/año</b>	0,046		0,047	
<b>UGM media</b>	0,047			

Fuente: Elaboración propia.

<sup>64</sup> El número de animales y el peso medio de la canal se ha obtenido de las Encuestas de sacrificio de ganado del MAPA.

<sup>65</sup> “Manual de condiciones y exigencias mínimas medioambientales y en materia de bienestar animal para las explotaciones bovinas de las Islas Baleares”.

Tabla 18. Equivalencia UGM en caprino de cebo.

Año	2004			2005		
	Cabritos	Chivos	Caprino	Cabritos	Chivos	Caprino
<b>Número de animales</b>	111.317	88.816	4.946	113.030	68.601	28.119
<b>Peso medio canal</b>	5,5	14,7	18,0	5,6	12,9	16,7
<b>Peso vivo sacrificio</b>	8 a 10 kg	25 a 30 kg	36 kg	8 a 10 kg	25 a 30 kg	36 kg
<b>Días a sacrificio</b>	30 a 40 días	4 a 5 meses	> 5 meses	30 a 40 días	4 a 5 meses	> 5 meses
<b>UGM/animal</b>	0,02	0,05	0,15	0,02	0,05	0,15
<b>UGM media/año</b>	0,036			0,047		
<b>UGM media</b>	0,042					

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las equivalencias a UGM de las distintas categorías recogidas en los censos de SIGGAN que se han utilizado en este estudio.

Tabla 19: Equivalencias a UGM de las distintas categorías recogidas en los censos ganaderos SIGGAN.

Especie	UGM
<b>Bovino (0-6 meses)</b>	0,40
<b>Bovino (6-24 meses)</b>	0,60
<b>Bovino (+ 24 meses)</b>	1,00
<b>Ovino no reproductor (0-4 meses)</b>	0,05
<b>Ovino no reproductor (4-12 meses)</b>	0,10
<b>Ovino cebo</b>	0,047
<b>Ovino (Macho-Hembra)</b>	0,15
<b>Caprino no reproductor (0-4 meses)</b>	0,05
<b>Caprino no reproductor (4-12 meses)</b>	0,10
<b>Caprino cebo</b>	0,042
<b>Caprino (Macho-Hembra)</b>	0,15

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 5: Cálculo del Índice de producción de metano para las especies ganaderas

El cálculo del Índice de Producción de Metano de las distintas especies ganaderas se realiza utilizando la siguiente expresión:

$$IPM_i = SV_i \cdot 365 \cdot B_{0_i} \cdot 0,67$$

Donde:

**IPM<sub>i</sub>** = Índice de Producción de Metano (kg de metano/ cabeza \*año).

**SV<sub>i</sub>** = Excreción diaria de sólidos volátiles de un animal dentro de la población definida *i* (kg SV/ día).

**B<sub>0<sub>i</sub></sub>** = potencial de producción de metano del estiércol (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> /kg SV).

**365** = días del año (día/año).

**0,67** = densidad del metano (kg/m<sup>3</sup>).

Los valores de SV, B<sub>0</sub> e IPM utilizados en el estudio se muestran en la Tabla 20:

**Tabla 20. Valores de SV, B<sub>0</sub> y IPM.**

Especie		SV (kg SV/cabeza día)	B <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / kg SV)	IPM (kg CH <sub>4</sub> / cabeza o UGM año)
<b>Bovino<sup>66</sup></b>	<b>Lechero</b>	3,53	0,24	207,18
	<b>carne</b>	2,77	0,17	115,16
<b>Porcino<sup>67</sup></b>	<b>Lechones</b>	0,0793	0,45	8,73
	<b>Recría</b>	0,2104	0,45	23,15
	<b>Cebo</b>	0,68445	0,45	75,32
	<b>Reposición</b>	0,4878	0,45	53,68

<sup>66</sup> Para bovino lechero se toma el valor SV de la raza frisona porque representa el 98% del censo lechero andaluz con edad superior a 24 meses, lo que se corresponde a 1 UGM; y para el bovino de carne se ha tomado la media del resto de vacuno mayor de 24 meses (correspondiente a la UGM calculada) extraída de la "Metodología para la estimación de las emisiones a la atmósfera del sector agrario para el inventario nacional de emisiones" del Ministerio de Medio Ambiente. B<sub>0</sub> se toma en ambos casos del IPCC (1997).

<sup>67</sup> Para el caso de los lechones se toma la clase 26 (lechones); en recría la clase 27 (cerdos de 20 a 49 kg); en cebo la media de las clases 29 y 30 (cerdos > 80 kg); en reposición la clase 31 (cerdas reproductoras sin parto no cubiertas); en reproductora la clase 33 (cerdas reproductoras con partos no cubiertas); en verracos la clase 35 (verracos), extraídos de la "Metodología para la estimación de las emisiones a la atmósfera del sector agrario para el inventario nacional de emisiones" del Ministerio de Medio Ambiente. B<sub>0</sub> se toma de IPCC (1997).

Especie		SV (kg SV/cabeza día)	B <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / kg SV)	IPM (kg CH <sub>4</sub> / cabeza o UGM año)
	<b>Reproductora</b>	1,0366	0,45	114,08
	<b>Verracos</b>	1,0797	0,45	118,82
<b>Ovino / caprino<sup>68</sup></b>		0,4128	0,25	25,24
<b>Avícola<sup>69</sup></b>	<b>Gallina ponedora</b>	0,0223	0,39	2,12
	<b>Pollo</b>	0,0154	0,39	1,47
	<b>Pavo</b>	0,0776	0,39	7,40

Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes.

Una vez calculados los distintos índices, para estimar la cantidad de metano producido se multiplica el IPM por el número de cabezas de ganado, o en su caso, por las UGM.

En el sector avícola se han considerado únicamente las gallinas, pollos y pavos<sup>65</sup> por ser los más importantes en número y porque se dispone de una información más precisa. Debido a que SIGGAN proporciona el número anual de aves que llegan a la explotación, se ha considerado una permanencia en la misma de 2 meses para los pollos de carne, de 6 meses para los pavos y de 12 para las gallinas ponedoras.

<sup>68</sup> En ovino/caprino se toman los valores de SV del ovino, extraídos de MWPS-18 "Livestock Waste Facilities Handbook". 1993. B<sub>o</sub> de una concentración de metano del 55% en 0,45 m<sup>3</sup> de biogás/kg SV obtenido de Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Institut für Tier und Technik. (Centro agronómico regional de Bayer. Departamento animal y técnico).

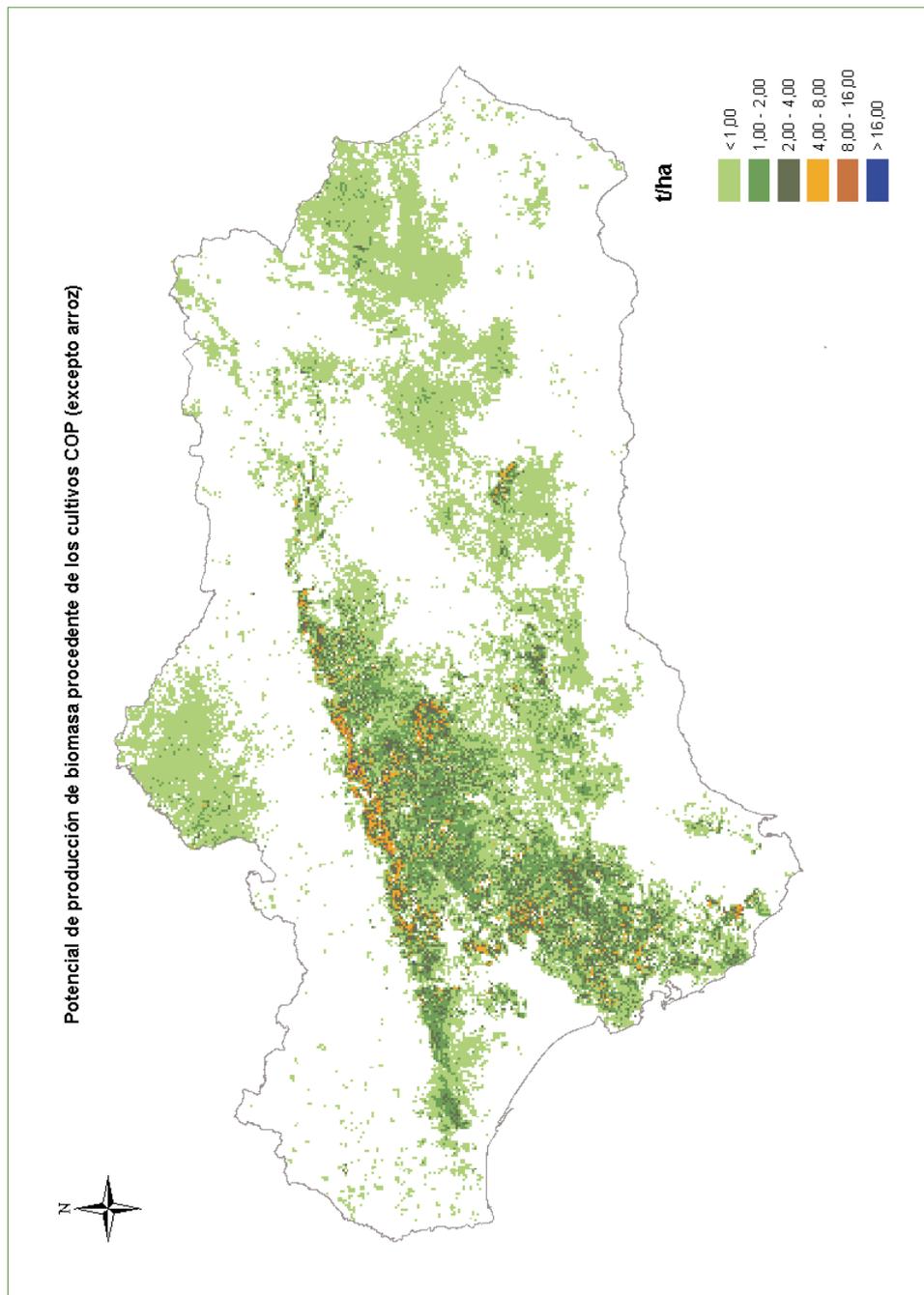
<sup>69</sup> En el sector avícola se toman los valores de SV de MWPS-18 "Livestock Waste Facilities Handbook". 1993; y de B<sub>o</sub> de Hill, 1982.

<sup>70</sup> Otras especies incluidas en SIGGAN son: oca, pato, perdiz, codorniz, faisán, paloma y pintada.

## **Anexo 6: Mapas de potencial de producción de biomasa residual procedente de los cultivos agrícolas**

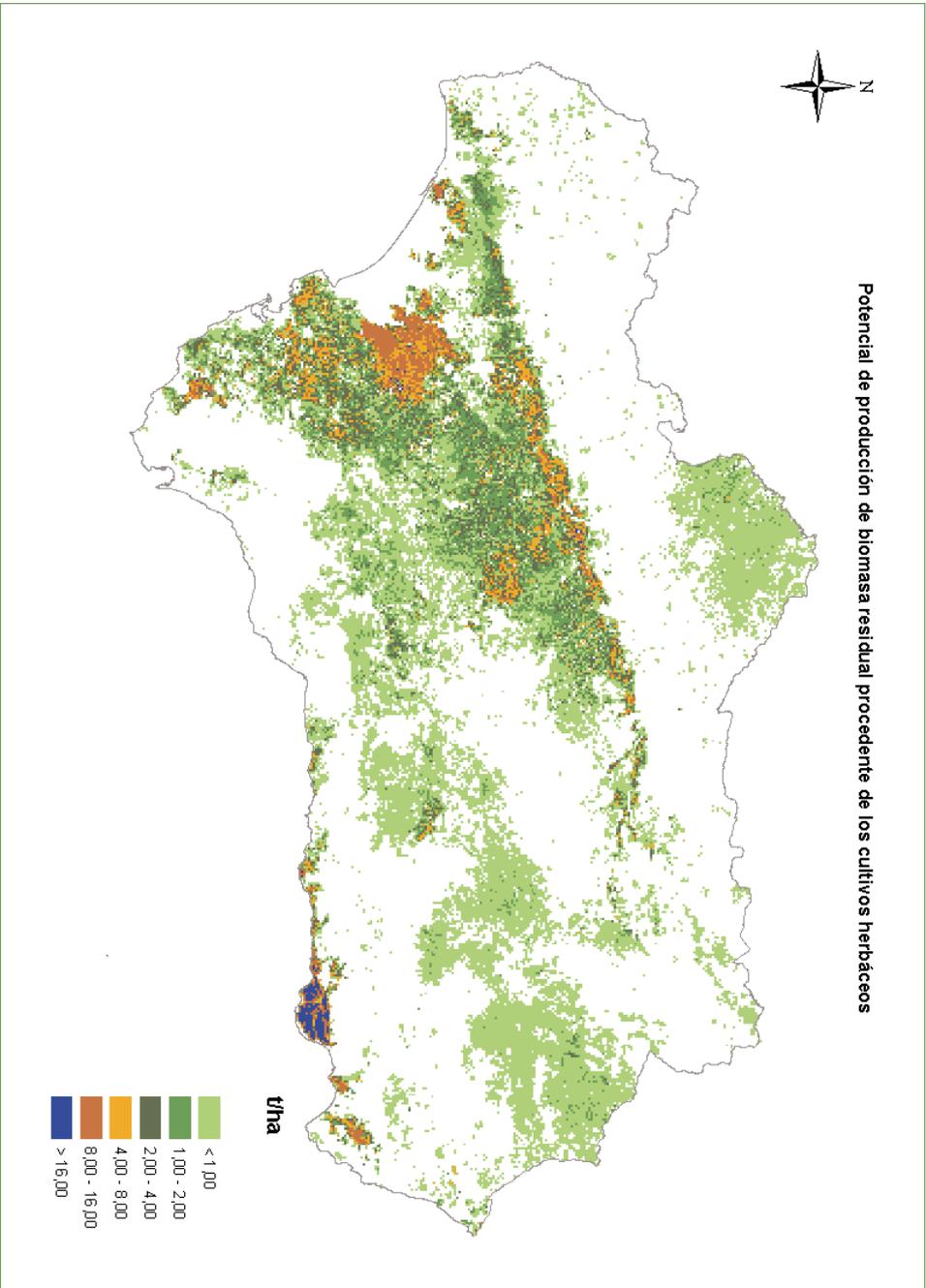


Mapa 16. Potencial de producción de biomasa residual procedente de los cultivos COP (excepto el arroz) (t/ha y píxel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/07).



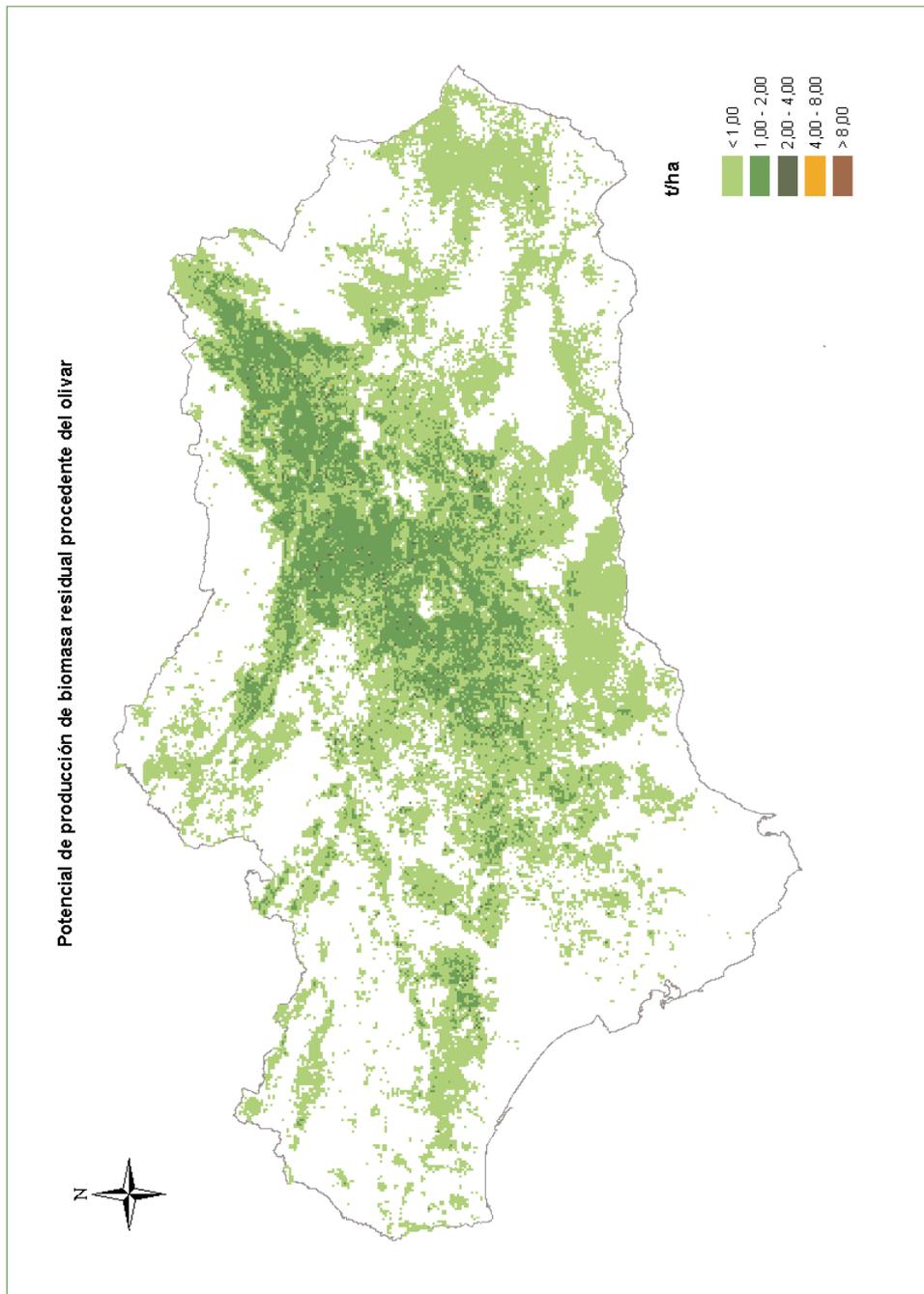
Fuente: Elaboración propia.

Mapa 17. Potencial de producción de biomasa residual proveniente de los cultivos herbáceos (t/ha y pixel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/07).



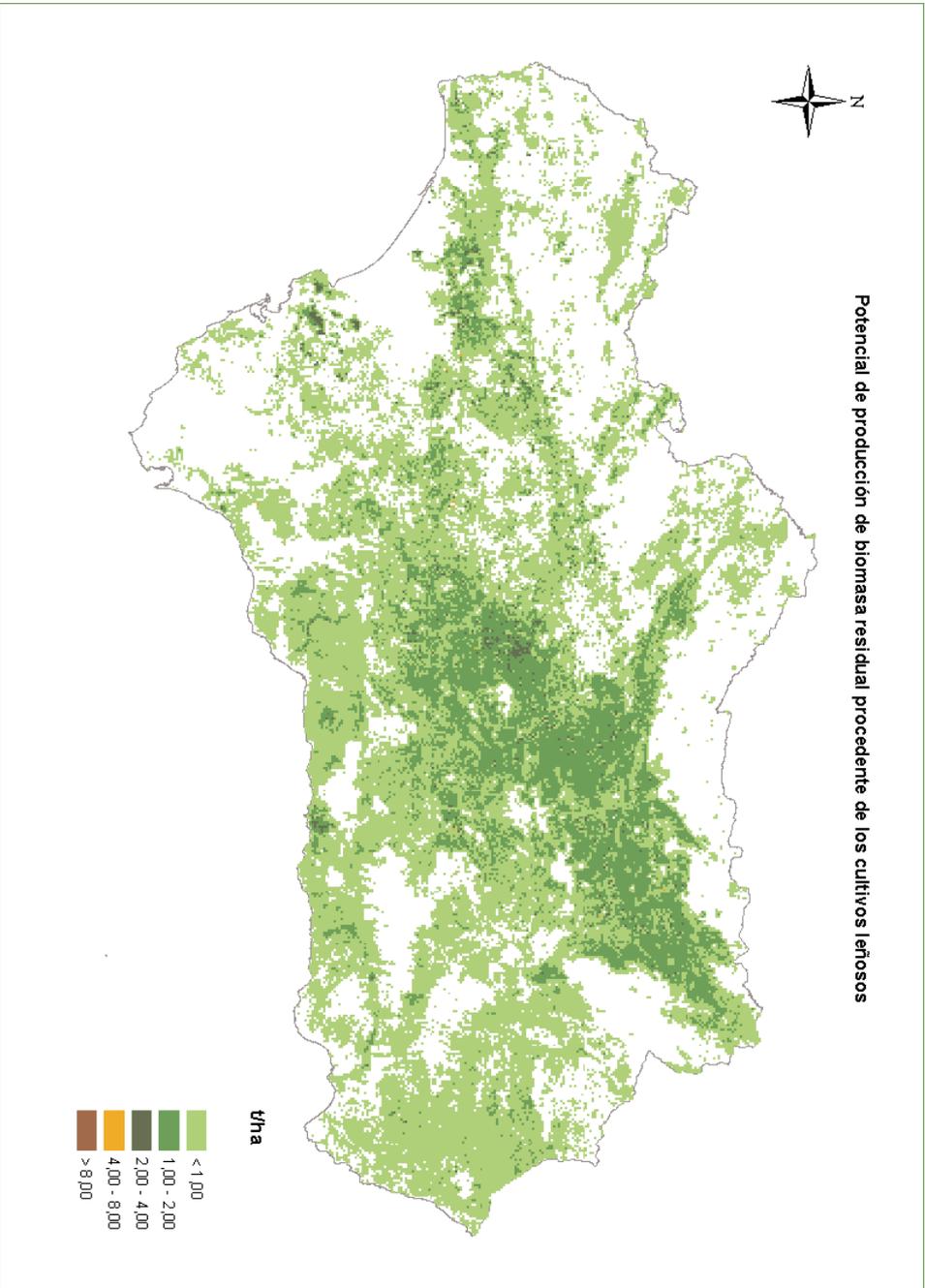
Fuente: Elaboración propia.

Mapa 18. Potencial de producción de biomasa residual procedente del olivar (t/ha y pixel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/07).



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 19. Potencial de producción de biomasa residual procedente de los cultivos leñosos (t/ha y píxel) (media de las campañas de comercialización 2005/06 y 2006/07 en el olivar y viñedo, y campaña de comercialización 2006/07 en los frutos secos, cítricos y frutales).



Fuente: Elaboración propia.