

05-015

Geographic location of biomass accounting centers in the province of Badajoz (Spain) by GIS

Fernando Lopez Rodríguez; Justo García Sanz-Calcedo; Antonio Ruiz-Celma; Antonio M. Reyes Rodríguez; Juan P. Lopez Salazar

Universidad de Extremadura;

The province of Badajoz (Spain) has a forest biomass of 274,335 tonnes, with an energy potential of more than 112,000 toe. The objective of this study was to quantify, map and investigate the energy potential of the biomass of the residue from the most representative forestry species of the province of Badajoz. The actions of the present study focus on the value chain of biomass and focus on the production, transformation, commercialization and use of indigenous biomass for energy, heat and electricity.

The availability of biomass in amount, quality and costs is a common problem to the accomplishment of any project of power use of the same. It is realised, search optimal locations of plants for the valuation or use energetic of the biomass. This analysis has allowed to define a series of locations for these plants and an area of storing, for which the costs of harvesting and transport of the biomass to the plant, have been calculated. In the process, they have been used factors like the slope of the land and the distance to the transport networks.

Keywords: Biomass projects; GIS; bioenergy potential

Geolocalización de centros de acopio de biomasa en la provincia de Badajoz (España) mediante SIG

La provincia de Badajoz (España) dispone de una biomasa forestal de 274.335 toneladas, con un potencial energético de más de 112.000 toe. El objetivo de este trabajo fue cuantificar, cartografiar e investigar el potencial energético de la biomasa de las especies forestales más representativas de la provincia de Badajoz y determinar la mejor ubicación para construir centros de acopio de biomasa. Las acciones del presente estudio se centran en la cadena de valor de la biomasa y se enfoca en la producción, transformación, comercialización y utilización de la biomasa autóctona para usos energéticos, calor y electricidad.

La disponibilidad de biomasa en cantidad, calidad y coste es un problema común a la realización de cualquier proyecto de uso energético de la misma. Para ello se buscaron las ubicaciones óptimas de plantas para la valoración y para el uso energético de la biomasa. Este análisis ha permitido definir una serie de ubicaciones para estas plantas y un área de almacenamiento, para lo cual se han calculado los costos de recolección y transporte de la biomasa a la planta. En el proceso se han tenido en cuenta factores como la pendiente de la tierra y la distancia a las redes de transporte.

Palabras clave: Proyectos de biomasa; SIG; Potencial de bioenergía

Correspondencia: Fernando López Rodríguez. ferlopez@unex.es

Agradecimientos: Al Grupo de investigación de la Universidad de Extremadura DTERMA, por el apoyo prestado para la realización de la investigación fruto de la que surge el presente trabajo



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introducción

La aplicación de técnicas SIG al estudio del potencial de la biomasa ha sido relativamente reciente. La primera referencia bibliográfica se remonta a 1996. Se utilizó un SIG compuesto por varias capas y sustratos que representan la distribución espacial de la biomasa forestal en Tennessee (Estados Unidos), para establecer la posible ubicación de plantas térmicas (Noon and Daly 1996).

Con la introducción del SIG en el campo de la biomasa, se realizaron diversos estudios con el objetivo de cartografiar el potencial de producción de energía a partir de residuos agroforestales en diferentes áreas y regiones, tanto en nuestra región como fuera de ella. Uno de los primitivos usos buscados de estos mapas fue disponer de una herramienta para la definición de estrategias regionales para el uso de la biomasa (Schneider et al. 2001, Pérez Atanet et al. 2006, Batzias, Sidiras, and Spyrou 2005). En otros trabajos de la literatura se utiliza el SIG para determinar la distribución espacial de diferentes cultivos y especies forestales y luego aplicar un índice de residuos específico para cada uno de ellos con lo que es posible calcular la producción potencial de biomasa a partir de estos residuos.

La cantidad potencial de energía de cada cultivo o especie está asociada en el SIG con el código del municipio o de la mancomunidad en el mapa correspondiente. Sumando los valores de energía para cada cultivo se obtiene un valor único del potencial energético de la biomasa por municipio o mancomunidad (Perez Ortiz and Esteban Pascual 2004, Pérez Atanet., López-Rodríguez and Ruiz Celma 2005, Ranta 2005).

Uno de los principales retos de la biomasa es el costo de recolección y transporte, que puede ser la causa de su corto avance. Como se verá más adelante, las técnicas de SIG son de particular utilidad para evaluar los costos de la oferta de biomasa a nivel regional y, por lo tanto, como un apoyo para la toma de decisiones en esta área (Mitchell 2000, Graham, English and Noon 2000).

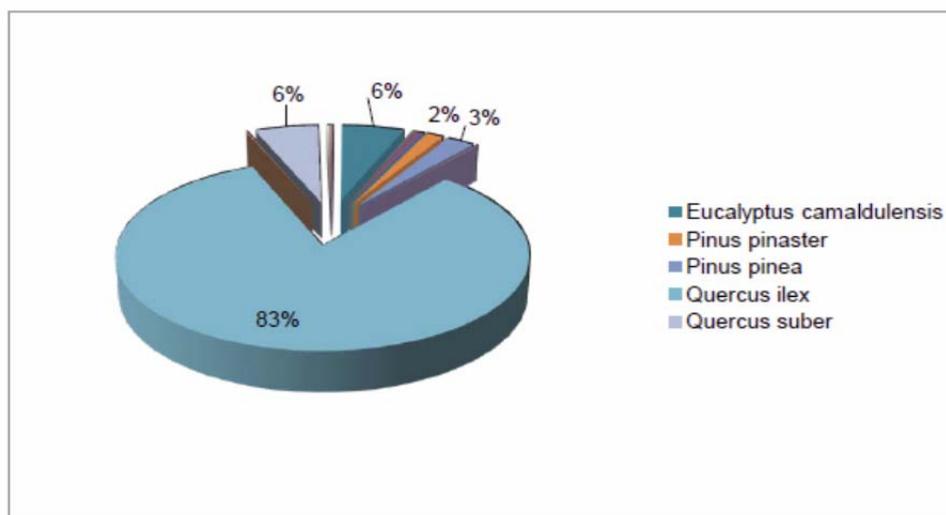
La herramienta SIG ha permitido utilizar y combinar diferentes fuentes de datos necesarias para realizar la cuantificación de la biomasa y de su potencial energético en la zona de estudio de una manera fiable y actualizable. Se ha trabajado con diversas bases de datos georreferenciadas que han permitido, por un lado manejar un gran volumen de datos y realizar cálculos numéricos con ellos, y por otro, cartografiar los resultados obteniendo mapas de distribución de las distintas variables estudiadas.

Estas han sido principalmente la **cantidad de biomasa** disponible para uso energético por una parte y su **potencial energético** por otra. Se ha introducido una tercera variable muy significativa para determinados análisis que es la **densidad energética**. El proceso de cálculo consta de tres etapas fundamentales: En primer lugar, se determina la superficie disponible en función de diversos condicionantes de tipo técnico y ambiental. En segundo lugar se calculan las cantidades anuales generadas de biomasa, y posteriormente, habiendo procedido a su caracterización energética, se determina su potencial.

2. Materiales y métodos.

En la aplicación de la metodología, descrita en esta sección, se han considerado las especies y grupos de especies forestales consideradas en el Inventario Forestal Nacional (IFN) (2017) para la provincia de Badajoz, siendo las más representativas las siguientes: i) *Quercus ilex*, ii) *Quercus suber*;;iii) *Eucalyptus camaldulensis*. iv) *Pinus pinea*. v) *Pinus pinaster*. En la figura 1, se muestra la distribución porcentual de las especies forestales consideradas.

Figura .1. Reparto de especies forestales en la provincia de Badajoz



2.1 Determinación de las superficies susceptibles de aprovechamiento.

Como se ha establecido anteriormente, la metodología para determinar la cantidad anual de biomasa residual o residuo que producen las masas forestales, y por tanto la cantidad de combustible potencial para la generación de energía, implica determinar, en primer lugar los siguientes datos:

- Superficie (ha) ocupada por el estrato que va a generar dicho residuo.
- Superficie susceptible de aprovechamiento en función de condicionantes técnicos.

Para determinar estas dos superficies con el apoyo del SIG ha sido necesario el empleo de la información contenida en el IFN (ficheros en formato e00) correspondiente a la provincia de Badajoz y la Revisión del Plan Forestal de Extremadura (2016).

La superficie ocupada por estrato se obtiene de IFN, eliminándose el estrato 0, por no ser de origen forestal (ríos, pueblos, carreteras, etc.)

Como ya se ha mencionado anteriormente, se pretenden integrar en el estudio consideraciones de tipo medioambiental y económicas que a día de hoy limitan el aprovechamiento de la biomasa residual derivada de las superficies forestales. En este sentido, no se debe proceder a la extracción de la biomasa residual en zonas de elevadas pendientes ni en zonas con dificultades de acceso o alejadas de la red de carreteras.

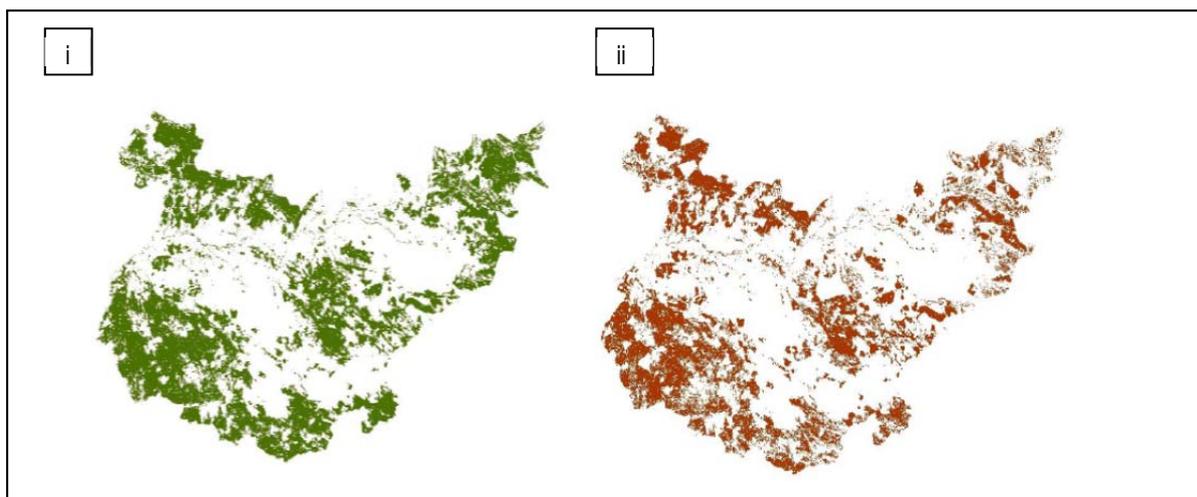
Por estas razones se ha desestimado la extracción de biomasa residual en pendientes superiores al 20 % puesto que, además de no ser económicamente viable, se evitan los problemas de erosión y pérdida de suelo. Para determinar la superficie de la provincia de Badajoz con pendiente inferior al 20 % se ha procedido de la siguiente forma:

- i. Partiendo de la capa de pendientes de la zona, se realiza una reclasificación de la misma. Se asigna el valor de 1 a las zonas con pendiente inferior a 20 % y de 0 a las zonas de pendiente superior.
- ii. Se unen todas las capas de pendientes inferiores al 20% que se han obtenido con el molde de la zona por medio del SIG.
- iii. Mediante el empleo de estos campos identificadores, que aparecerán en la capa final, se seleccionan aquellos polígonos que cumplen todos los criterios establecidos y se genera una nueva capa donde aparecen todas las áreas disponibles.
- iv. Se “recorta” la capa con toda la superficie forestal susceptible de producir biomasa forestal, es decir la procedente del IFN, con la capa de superficies disponibles en toda la zona.

Para utilizar únicamente la biomasa residual procedente de zonas cercanas a las vías de comunicación, se ha procedido a determinar una capa de aptitud donde aparezcan las zonas preferentes en función de su cercanía a carreteras y caminos. El criterio de proximidad utilizado ha sido seleccionar las zonas a menos de 4 km de vías de comunicación, para lo que se ha dispuesto del Mapa de Comunicaciones de la provincia de Badajoz (2016).

El resultado de estos procesos se muestra en la figura 2, resaltándose la superficie forestal (mapa i) y la que realmente puede ser utilizada teniendo en cuenta los criterios anteriormente expuestos (mapa ii).

Figura 4. i) Superficie forestal. ii) Superficie real disponible



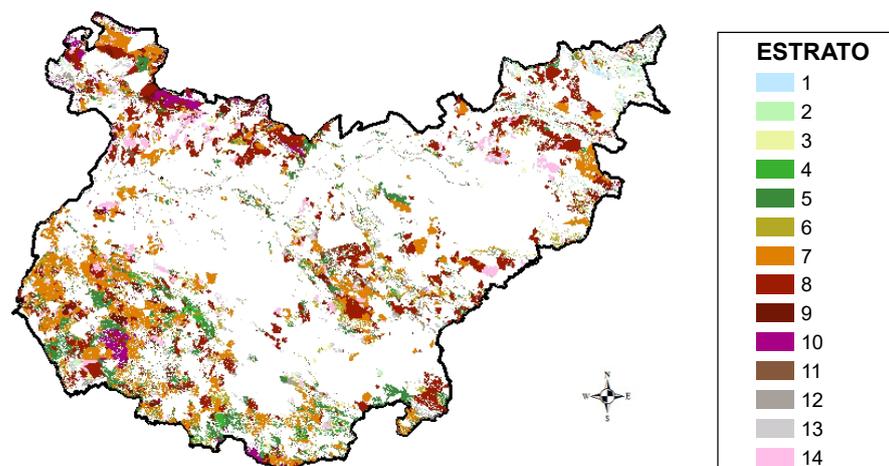
2.2. Determinación de las cantidades de biomasa forestal disponibles

Entenderemos el término biomasa forestal en su sentido más amplio, como la totalidad de la masa forestal en un momento determinado. Se divide en existencias e incrementos anuales. Las existencias son las cantidades de biomasa que hay en el momento en que se realiza el inventario forestal. No son consideradas para el cálculo del potencial, por cuestiones de sostenibilidad ambiental, de forma que sólo se considerarán los crecimientos anuales. El destino de estos crecimientos se ha dividido en tres tipos: madera de uso industrial y doméstico, teniendo en cuenta el destino tradicional de la biomasa forestal, producción energética, y restitución ecológica teniendo en cuenta la función de los montes como sumideros de CO₂ y la contribución de las hojas a la restitución del suelo.

Hay que destacar que en este tipo de regiones el 50 % de la superficie dominante es la dehesa, con vegetación arbolada de densidad media de superficie cubierta en torno al 39 %, y con subpiso compuesto en buena medida por especies herbáceas pastables (San Miguel Ayanz 1994, Montoya Oliver 1993). El resto del suelo está constituido por bosques, el 11.27 %, fundamentalmente de *pinus pinaster* y matorrales arbustivos (Montoya Oliver 1993).

La metodología seguida se basa en el cálculo de los incrementos anuales de biomasa forestal correspondiente a las ramas inferiores a 7 cm (sólo poda o caída natural), lo que en este trabajo se ha definido como estimadores de biomasa forestal. Los cálculos y los resultados se agrupan por estrato. Un estrato es un caracterizador del tipo de vegetación arbórea de una superficie, según las especies presentes, sus estados de masa y fracción de cabida cubierta arbórea. Por tanto, se trata de un grupo estadísticamente homogéneo en cuanto a la variable principal a estimar en este trabajo, que es la cantidad de biomasa generada anualmente. La información cartográfica en la que aparece la superficie forestal clasificada por estratos, ha sido fundamental para determinar la superficie ocupada por cada especie, permitiendo distinguir el estado en que se encuentran las distintas masas de cada especie, y por tanto calcular la biomasa que generaría. Cada estrato se identifica con un número, mostrándose en la figura 3 la distribución geográfica de los estratos en la provincia de Badajoz.

Figura 3. Distribución de estratos en la provincia de Badajoz



El método se basa en el desarrollo de un modelo logarítmico que relaciona el diámetro normal del árbol con la biomasa seca total o de alguna de sus fracciones, propuesto por en por Montero et al (2005). Este modelo tiene la forma:

$$\text{Ln } B = a + b \text{ Ln}(D_n) \quad (1)$$

Donde, B es la biomasa de cada fracción, en kilogramos de materia seca, D_n el diámetro normal ¹, en centímetros, y a, b = parámetros de la regresión.

El modelo logarítmico simplifica los cálculos y suele incrementar la bondad del análisis estadístico. Sin embargo la transformación logarítmica introduce un sesgo. Para la eliminación de este sesgo el resultado final debe multiplicarse por un factor de corrección, calculado a partir del error estándar de la estimación.

Los parámetros a y b, y el factor de corrección del sesgo toman distintos valores en función de la especie considerada.

Siendo IB el Incremento anual de biomasa en kg de materia seca, D_n el diámetro normal en cm, e ID_n el Incremento anual del diámetro en cm.

$$IB = f(D_n + ID_n) - f(D_n) \quad (2)$$

Los incrementos de las diferentes fracciones de biomasa anuales en kg de materia seca por árbol, para cada especie y clase diamétrica, se han obtenido a través de una aplicación propia en Excel, partiendo de las ecuaciones expuestas anteriormente.

Aplicando estos valores a las cantidades de árboles por hectárea (árbol/ha) recogidas en el IFN de la provincia de Badajoz, se obtienen los estimadores de biomasa forestal residual (y) para cada estrato, que representan el incremento anual de biomasa para uso energético y que se recogen en la tabla 1 (t/ha ms). Estos estimadores son anuales puesto que se han obtenido a partir de los incrementos anuales de biomasa por especie y clase diamétrica.

Los estimadores calculados se utilizan para calcular, y posteriormente cartografiar los resultados con el sistema de información geográfica, mediante la asignación de los mismos a un área de influencia (tesela²).

Para contabilizar únicamente la biomasa forestal disponible, se ha utilizado el área de cada tesela en donde se han descontado las zonas con pendiente superior al 20 % o situadas a más de 4 Km de carreteras y pistas.

¹ La medida utilizada para determinar el diámetro de los árboles en pie, es el diámetro normal medido a 1,30 metros sobre el nivel medio del suelo, sobre la corteza, llamado diámetro normal.

²Tesela: recinto unitario en cuyo interior hay un cierto tipo de cubierta vegetal, diferente al que le rodea. El tamaño de las teselas es variable, siendo el valor mínimo de 2,5 ha

Tabla 1. Estimadores de biomasa residual forestal seca (t/ha) en función del estrato y la especie dominante

ESTRATO	ESPECIE DOMINANTE	(y) (t/ha)
01	<i>Pino pinea y Pinus pinaster</i>	1.035
02	<i>Pino pinea y Pinus pinaster</i>	0.462
03	<i>Quercus ilex y Quercus suber</i>	0.172
04	<i>Quercus ilex con otras frondosas</i>	0.443
05	<i>Quercus ilex</i>	0.235
06	<i>Quercus ilex</i>	0.833
07	<i>Quercus ilex</i>	0.398
08	<i>Quercus ilex</i>	0.165
09	<i>Quercus suber y Quercus ilex</i>	0.517
10	<i>Quercus suber</i>	0.258
11	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7.453
12	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4.893
13	Matorral	0.115
14	<i>Quercus ilex</i>	0.202

Una vez calculados los estimadores, las cantidades anuales disponibles pueden ser obtenidas mediante la expresión 3.

$$Q_{av} = \sum_n A_n y_n \quad (3)$$

donde:

Q_{av} Cantidades anuales de biomasa seca disponibles en la tesela n. (t)

A_n Superficie susceptible de aprovechamiento en la tesela n (ha)

y_n Estimador anual de residuo, indicador de la cantidad anual de biomasa que puede ser utilizada para producción de energía en t/ha, en función de la especie dominante en la tesela (Tabla 2).

Para obtener la cantidad total de biomasa disponible en la provincia de Badajoz, basta con sumar las cantidades disponibles en cada tesela, utilizando para ello la base de datos del SIG.

Finalmente, para determinar las cantidades de biomasa disponibles, mediante el SIG, los pasos a seguir son los siguientes:

(1) Importación a la tabla de atributos de la capa de superficie susceptible de aprovechamiento de los datos de la tabla que contiene la información de estimadores (tabla 1). (2) Cálculo de las cantidades, operando en la base de datos del sistema de información geográfica. (3) Representación gráfica de los datos

2.3. Cálculo del potencial energético

Para la determinación del potencial de biomasa disponible se ha utilizado la expresión 4.

$$P_{dis} = Q_{dis} * PCI \quad (4)$$

donde:

P_{dis} Potencial disponible de biomasa forestal (tep)

Q_{dis} Cantidades anuales de materia seca disponibles.

PCI Poder calorífico inferior (tep/t)

En la tabla 2 se muestran los poderes caloríficos utilizados para determinar el potencial energético de las distintas biomásas estudiadas (Poderes caloríficos, comunicación privada 2016). De acuerdo con el poder calorífico en base seca, se calcula el potencial disponible.

Tabla 2. Poderes caloríficos de los residuos en estudio

<i>RESIDUOS BIOMÁSICOS</i>	<i>PCI bh MJ/kg</i>	<i>PCI bs MJ/kg</i>
<i>Restos de eucalipto</i>	14,96	15,97
<i>Restos de pino</i>	9,09	18,6
<i>Tarama de alcornoque</i>	13,6	16,9
<i>Tarama de encina</i>	14,33	17,58
<i>Tarama de roble</i>	13,1	16,6

3. Resultados

La proximidad entre los puntos de generación y utilización de un residuo es uno de los factores fundamentales que van a determinar la viabilidad del posible aprovechamiento energético. Numerosos autores estiman que el recorrido límite que pueden realizar los residuos, entre el punto en el que se producen hasta el lugar en el que se eliminan no debe superar los 30 km, con objeto de asegurar la viabilidad de la propuesta.

El uso del SIG, permite la representación grafica de los datos y la realización de posteriores análisis espaciales de modo que es posible determinar la repartición regional de los residuos, la superficie en la que se concentran o de qué forma es posible concentrarlos.

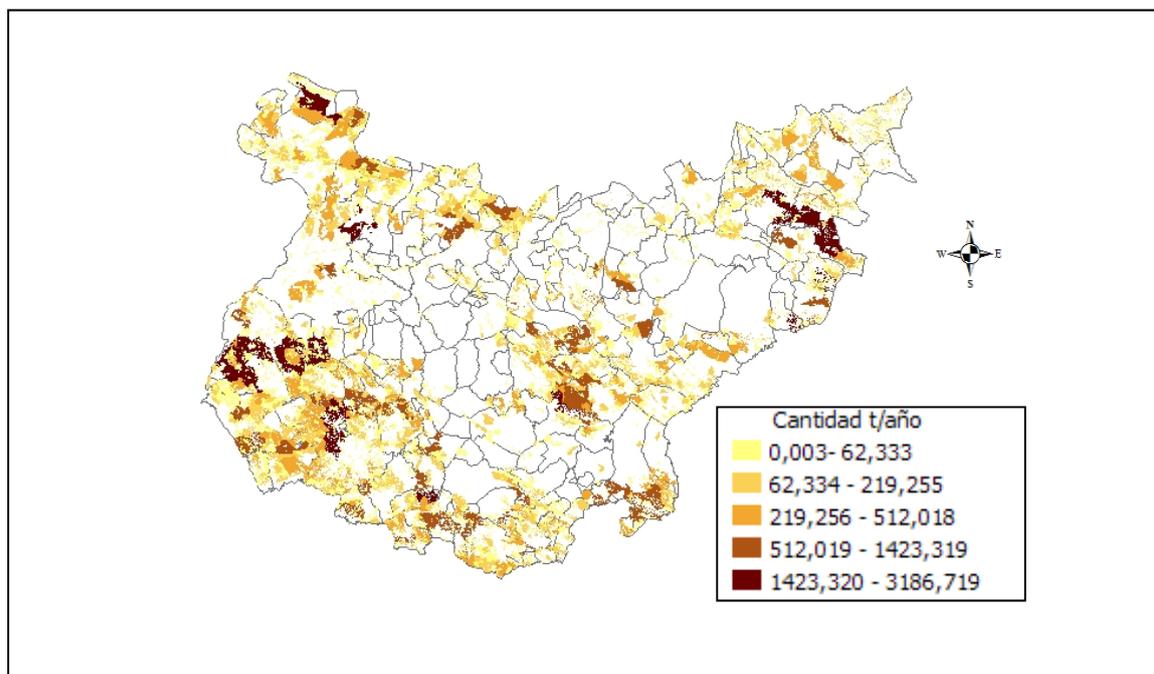
Además de obtener la distribución geográfica de las variables estudiadas, se han obtenido los datos de cantidades de biomasa y potencial energético agrupados por municipios. Las variables disponibles a nivel municipal son:

1. Cantidad t/ms año por municipio.
2. Potencial energético tep/año por municipio.
3. Densidad energética municipal (tep/ha año).

La última de estas variables, la densidad energética, se define como la energía existente por unidad de superficie. Aporta una información muy significativa, y complementaria al potencial energético ya que permite conocer qué municipios concentran mayor potencial energético independientemente de la superficie que tengan.

3.1 Distribución geográfica de las variables estudiadas.

Figura 4. Distribución geográfica de cantidades biomasa forestal para uso energético”.



Con la superficie aprovechable y la información contenida en el IFN se elabora el “**mapa de distribución geográfica de las especies forestales en la provincia de Badajoz**” 2. Tomando la variable “cantidades” de la tabla de atributos obtendremos el “**mapa de distribución geográfica de biomasa forestal para uso energético en la provincia de Badajoz**”, que se muestra en la figura 4. De igual modo se obtiene el mapa de distribución geográfica del potencial energético en la provincia de Badajoz, mostrado en la figura 5.

Figura 5. “Distribución geográfica del potencial energético en la provincia de Badajoz”,

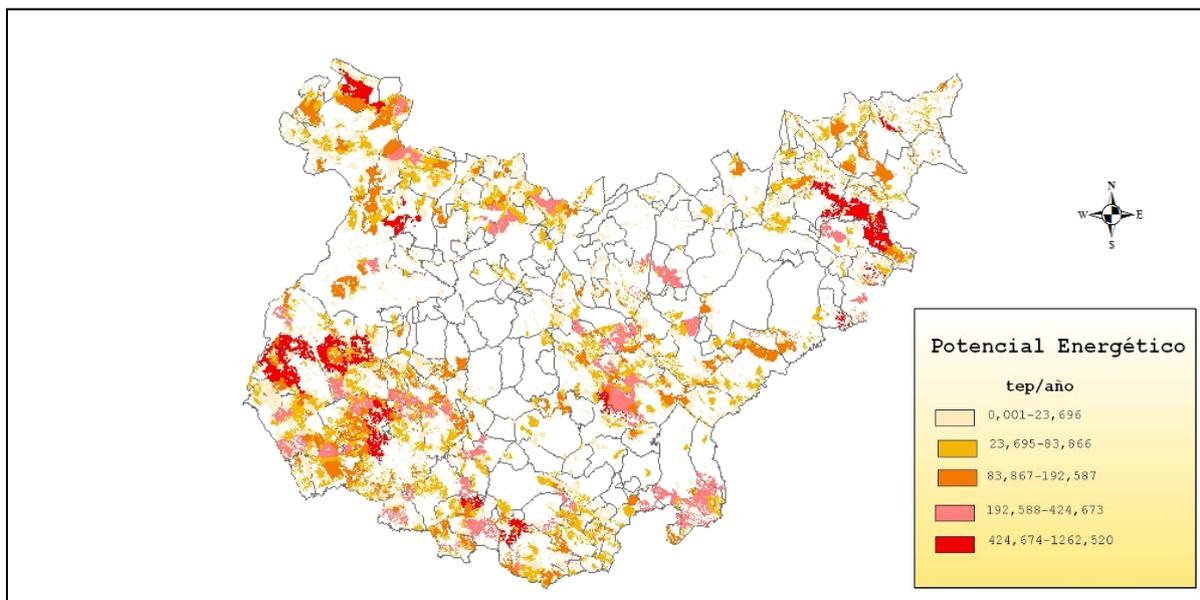
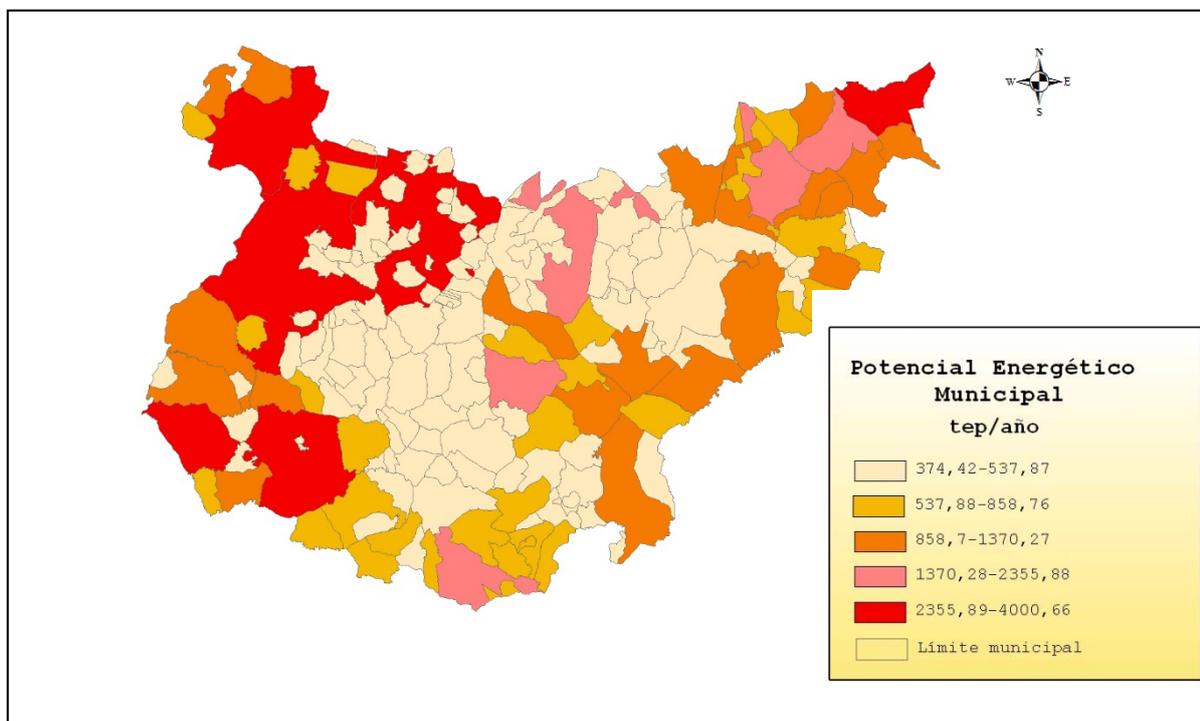


Figura 6. Mapa de potencial energético por municipio



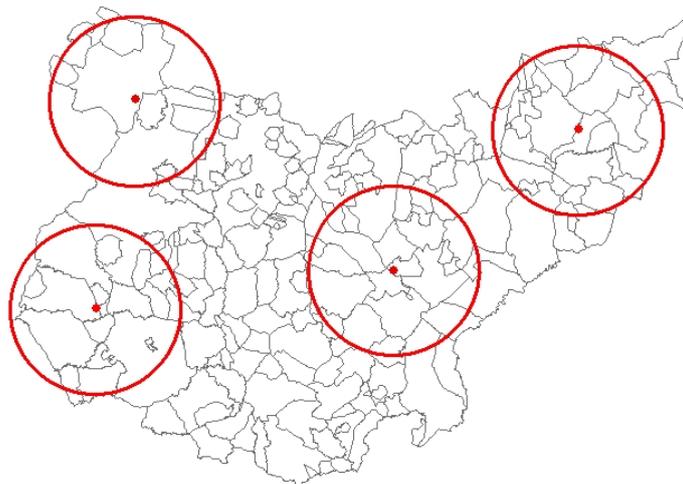
3.2. Datos a nivel municipal

Utilizando las herramientas de gestión de datos del SIG y la información contenida en el Mapa de Municipios (2016), las cantidades de biomasa en la provincia de Badajoz y su potencial energético se han agrupado en función del término municipal donde se generan. Así se obtienen los mapas que se muestran en la figura 6

Teniendo en cuenta lo expuesto en puntos anteriores, se ha utilizado el SIG para analizar la situación más idónea de centros de acopio de biomasa. Con ellos será posible ubicar centros logísticos de distribución de biocombustibles. Un análisis de los mencionados emplazamientos, en donde no se han considerado áreas en donde el potencial energético es bajo o existe falta de idoneidad de los terrenos por la orografía, pertenencia a espacios naturales protegidos, lejanía con vías de comunicación o ausencia de cauces de agua, ha permitido definir la ubicación óptima para dichos centros, según se muestra en la fig. 7, que es imagen de la figura 6 que establece el potencial energético.

Para definir estas ubicaciones se ha procedido a seleccionar los puntos alrededor de los cuales, se da la máxima concentración de biomasa. Para ello se ha realizado un análisis de vecindad usando el SIG, con el que se efectúa la suma de las producciones de los píxeles que hay en la vecindad de un punto con un radio fijo alrededor del mismo teniendo en cuenta que, por motivos de costes las zonas de abastecimiento de biomasa deben establecerse en un radio no superior a los 30 km de la central (Pérez Atanet 2010), según se ha indicado anteriormente.

Figura 7. Localizaciones óptimas para los centros de acopio de biomasa forestal.



Se ha utilizado una malla cuyo píxel es de 100 m de lado (superficie de una hectárea) evaluándose las cantidades de materia seca al año alrededor de los puntos de malla.

Se han tenido en cuenta las zonas pertenecientes a Red Natura 2000, comprobando, mediante superposición de capas, que ninguna de las ubicaciones estuviese situada dentro de estas zonas. Las posibles ubicaciones de las plantas junto con la cantidad de biomasa disponible se representan en la tabla 3.

Se trata de las localidades de Alconchel, Higuera de la Serena, Alburquerque y Puebla de Alcocer.

Tabla 3. Ubicaciones de las plantas de producción de biocombustibles

Termino municipal	Cantidad de biomasa disponible t/año (radio de 30 km)
Alconchel	36.030
Higuera de la Serena	22.169
Alburquerque	29.436
Puebla de Alcocer	36.262

4. Conclusiones

Como conclusiones principales se pueden establecer las siguientes:

Existe en la provincia de Badajoz un importante potencial biomásico, 274.335,36 toneladas de residuos forestales disponibles anualmente, lo que puede superar un potencial energético de 112.548 tep.

Las cifras anteriores son cantidades potenciales, las cantidades reales dependerán de la frecuencia de realización de los tratamientos selvícolas que las generan. Corresponde a las Administraciones Públicas competentes realizar un plan forestal que permita intensificar en la medida de lo posible las labores de desmonte y selvicultura que actualmente viene realizando la Junta de Extremadura y la empresa o entidad que lo haga deberá contar con todos los permisos y autorizaciones para realizar la extracción.

La sustitución del eucaliptos por especies autóctonas, tal y como considera la Junta de Extremadura que debe hacerse, puede ser otra fuente importante de biomasa para estas plantas objeto de estudio.

Por último, se debe mencionar, que en función del desarrollo de las técnicas de aprovechamiento forestal y de la garantía de aprovisionamiento continuado y asegurado en términos de calidad, los residuos forestales contemplados en este trabajo podrían llegar a sustituir, al menos en parte, a los combustibles que hoy en día se utilizan.

En la provincia de Badajoz se pueden encontrar hasta 4 localizaciones para centros de acopio de biomasa forestal. Serán otras circunstancias y condiciones marcadas por los promotores tales como coste de los terrenos, disponibilidad de la mano de obra, etc, las que determinen el emplazamiento definitivo de los centros logísticos.

5.Referencias

- Batzias, F.A, Sidiras, D.K and Spyrou E.K. (2005). Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy*. 30(8), 1161-1176
- España. Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía. 1ª Revisión del Plan Forestal de Extremadura. 2012
- España. Diputación de Badajoz. Mapa de comunicaciones de la provincia de Badajoz 2016.
- España. Diputación de Badajoz. Mapa de municipios de la provincia de Badajoz 2016.

- España. Ministerio de Agricultura, Pesca. Alimentación y Medio Ambiente) MAPAMA. Inventario Forestal nacional (IFN). 2017.
- Graham, R. L., English, B. C. and Noon, CH. E. (2000). A geographic information system-based modelling system for evaluating the cost delivered energy crop feedstock. *Biomass and Bioenergy*. 18, 309-329.
- López Rodríguez, F., Pérez Atanet, C., Cuadros Blázquez, F., and Ruiz Celma, A. (2009). Spatial assessment of the bioenergy potential of forest residues in the western province of Spain, Caceres. *Biomass and Bioenergy*, 33, 1358-1366.
- Mitchell, C. P. (2000). Development of decision support systems for bioenergy applications. *Biomass and Bioenergy*. 18, 265-278.
- Montero, G. (2005). Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Montoya Oliver, J.M. (1993): Encinas y encinares. *Ed. Mundi-Prensa*. Madrid.
- Noon, C.H. and Daly, M. J. (1996). GIS-based biomass resource assessment with BRAVO. *Biomass and Bioenergy*. 10 (2-3). 101-109.
- Pérez Atanet. C., López-Rodríguez F., and Ruiz Celma A. (2005). Potencial de la Biomasa Forestal en Extremadura y su aprovechamiento energético. *CONEERR 2005. Congreso Nacional sobre la Energías Renovables. ARGEM*. Murcia.
- Pérez Atanet, C (2010). Modelización mediante sistemas de información geográfica para la evaluación de la biomasa forestal. Determinación del potencial energético para la generación de biocombustibles. Tesis Doctoral no publicada. Universidad de Extremadura. Badajoz. España.
- Pérez Atanet. C., López Rodríguez. F., Moral García F..J., Ruiz Celma, A. (2006) Análisis del potencial de biomasa forestal en Extremadura (España) mediante Sistemas de Información Geográfica. *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. AEIPRO*. Valencia.
- Perez Ortiz, P. and Esteban Pascual, L.S. (2004). Cuantificación de los recursos de biomasa forestal en la provincia de Soria y evaluación de alternativas para su aprovechamiento energético. *MONTES: Revista de ámbito forestal*. 75, 17-25.
- Poderes caloríficos de especies forestales. (2006) .Universidad de Extremadura. Comunicación privada
- Ranta, T. (2005). Logging residues from regeneration fellings for biofuel production — A GIS-based availability analysis in Finland. *Biomass and Bioenergy*. 28 (2),171-182.
- San Miguel Ayanz, A. (1994): La dehesa española. Origen, tipología, características y gestión. *Fundación Conde del Valle de Salazar*, Madrid.
- Schneider, L..C., Kinzig, A. P, Larson, E.D, and Solórzano, L..A. (2001). Method for spatially explicit calculations of potential biomass yields and assessment of land availability for biomass energy production in Northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84,. 207–226