

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

**EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN MEDIANTE LOS SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PARCELAS DE SUMINISTRO DE
BIOMASA RESIDUAL HERBÁCEA PARA UNA PLANTA DE GENERACIÓN
ELÉCTRICA RENOVABLE EN SANGÜESA (NAVARRA)**

Presentado por

UNAI GÓMEZ IBÁÑEZ *(e)k*

aurkeztua

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL
GRADUA NEKAZARITZAKO ELIKAGAIEN ETA LANDA INGURUNEAREN
INGENIARITZAN**

Junio, 2015 / *2015eko, Ekaina*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis Directores Académicos, Eduardo Prieto Cobo y Rafael R. García Santos, por haber sido mis guías y facilitarme toda la ayuda necesaria en la elaboración de este estudio. Gracias por el apoyo, dedicación y por toda la asistencia académica que ha sido necesaria.

Especial mención merecen mis compañeros del departamento de Biomasa de Acciona, que me hicieron sentir como en casa durante mi estancia en Sarriguren, y no han dudado en ayudarme cada vez que les he pedido consejo; sin ellos no hubiera podido realizar este trabajo.

María González de Audicana Amenabar, Javier Faulín Fajardo, que me han prestado su ayuda siempre que me hecho falta.

A mis compañeros de estudios, principalmente aquellos con los que he estado en estos últimos tiempos, gracias por amenizar las muchas horas de trabajo compartidas.

Y por supuesto a toda mi familia, *aita, ama eta arreba*.

A todos vosotros, mila esker.

RESUMEN

La nueva regulación sobre retribución a las tecnologías renovables aprobada en España en el año 2014, obliga más si cabe a optimizar la eficiencia de los métodos empleados en la obtención de energía, a fin de reducir su coste.

Este trabajo se presenta como una herramienta de ayuda en la optimización de los recursos de una de las fases que más coste genera en la bioenergía: el suministro de biomasa. Para ello, se han analizado mediante herramientas SIG e información basada en la experiencia de Acciona Energía la idoneidad de las zonas de producción de los residuos herbáceos de la planta de biomasa de Sangüesa (Navarra).

El análisis ha consistido en el cálculo de los factores físicos que se consideran de mayor influencia en los costes logísticos (pendiente, superficie, distancia a planta y forma perimetral) para cada una de las 19.223 subparcelas suministradoras, y la clasificación orientativa de éstas, resultante de la calificación obtenida de la suma lineal ponderada de dichos factores. Con estos datos se ha generado un inventario que recoge las principales características de las explotaciones agrarias y un archivo vectorial que permite visualizar sobre el mapa todas y cada una de las parcelas con sus valores correspondientes, así como la clasificación de las mismas en función de cada uno de los parámetros analizados y de la puntuación final obtenida. Así se ha comprobado que existen diferencias significativas entre ellas, que permiten discriminar entre la mayor idoneidad de las mismas para abastecer materia prima a la planta de producción.

Palabras clave: Biomasa, SIG, Reforma energética, Planta biomasa de Sangüesa, Costes de suministro.

ABSTRACT

The new regulation about the incentives for renewable energies in Spain approved in 2014 makes even more necessary than before optimize the efficiency of the energy generation processes in order to reduce the cost of energy.

This study has been conceived as a tool to help optimize the resources used in one of the most costly phases in bioenergy processes: the biomass supply. The suitability of the areas that provide the Sangüesa Biomass Plant with raw herbaceous waste has been analyzed with GIS software tools and with information based on Acciona's experience. The analysis includes the calculation of the physical factors that have a deeper influence in the logistic costs (slope, area, distance to the plant and perimeter shape) of each of the 19,223 supplying plots as well as the classification of these plots according to those factors.

With these data an inventory has been made, which includes the main features of the rural exploitations as well as a vector file that allows to see on the map every plot with its values and also its final score. It has been checked that there are relevant differences among the plots. These differences allow to choose the most cost-effective plots to supply the biomass plant.

Keywords: Biomass, GIS, Energy regulation, Sangüesa Biomass Plant, Supply costs.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

- **CMUNICIPIO:** Código municipal.
- **CNMC:** Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.
- **EMC:** Evaluación Multicriterio.
- **GWh:** Gigavatios hora.
- **ha:** Hectárea.
- **IDAE:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- **IGN:** Instituto Geográfico Nacional.
- **IRENA:** International Renewable Energy Agency.
- **IT:** Instalación tipo.
- **MDT5:** Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 5m.
- **MW:** Megavatio.
- **PBS:** Planta de Biomasa de Sangüesa.
- **REE:** Red Eléctrica de España.
- **Rinv:** Retribución a la inversión.
- **Ro:** Retribución a la operación.
- **SIG:** Sistemas de Información Geográfica.
- **SIGPAC:** Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas.
- **SITNA:** Sistema de Información Territorial de Navarra.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
1.1.	Antecedentes	1
1.1.1.	Contexto	1
1.1.2.	Influencia de la nueva normativa de retribución a la PBS	2
1.1.3.	Factores que influyen en los costes logísticos de las instalaciones de biomasa... 4	
1.1.4.	Aplicación de Sistemas de Información Geográfica	5
1.2.	Justificación del trabajo.....	6
1.3.	Objetivos	6
1.4.	Nivel de resolución.....	7
2.	METODOLOGÍA.....	9
2.1.	Diseño experimental	9
2.1.1.	Caracterización de las subparcelas.....	9
2.1.2.	Clasificación de las subparcelas.....	10
2.2.	Medios materiales.....	11
2.2.1.	Parcelario Acciona Energía.....	11
2.2.2.	Software	11
2.2.3.	Datos cartográficos Navarra.....	12
2.3.	Métodos	13
2.3.1.	Procesado de datos de partida.....	13
2.3.2.	Modelización de los factores.....	15
2.3.3.	Elaboración del inventario	22
2.3.4.	Clasificación de los factores	22
2.3.5.	Asignación de importancia a los factores.....	24
2.3.6.	Puntuación de las subparcelas	24
2.3.7.	Clasificación de las subparcelas.....	24
2.3.8.	Agrupación por municipios	24

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
3.1.	Pendiente	26
3.2.	Superficie.....	27
3.3.	Distancia a planta	29
3.4.	Forma perimetral	30
3.5.	Puntuación	31
3.6.	Puntuación por Municipio.....	32
3.7.	Pendiente media por Municipio.....	35
3.8.	Superficie media por Municipio	36
3.9.	Distancia media por Municipio	37
4.	CONCLUSIONES	38
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
6.	ANEXOS	43
	Anexo 1. Información general de la Planta de Biomasa de Sangüesa	43
	Anexo 2. Escalas de valoración y puntuación de los factores.....	45
	Anexo 3. Ubicación subparcelas.....	46
	Anexo 4. Valor medio de pendiente, superficie y distancia a planta por municipios.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las parcelas y área de estudio _____	7
Figura 2. Capa vectorial SIGPAC2014 _____	14
Figura 3. Subparcelas caracterizar seleccionadas en la capa SIGPAC2014 _____	14
Figura 4. Capa vectorial subparcelas caracterizar _____	14
Figura 5. MDT5 de Navarra _____	15
Figura 6. MDT5 de las subparcelas caracterizar _____	16
Figura 7. Mapa de pendientes en la capa raster _____	16
Figura 8. Mapa de pendientes en la capa vectorial subparcelas caracterizar _____	16
Figura 9. Combinación de subparcelas en parcelas con el geoproceso disolver _____	17
Figura 10. Subparcelas contenidas en rectángulos de su misma extensión _____	18
Figura 11. Red de carreteras y pistas forestales de Navarra _____	19
Figura 12. Unión de la red de carreteras y pistas recortadas para la zona de estudio _____	19
Figura 13. En la izquierda las parcelas seleccionadas sin buffer. En la derecha las parcelas seleccionadas con el buffer de 2m _____	20
Figura 14. Tramo discontinuo en la Red Navarra corte _____	21
Figura 15. En verde las parcelas en las que se ha calculado la distancia. En rojo las parcelas que adoptan el valor de distancia de la parcela verde más próxima _____	22
Figura 16. Número de subparcelas por categorías de pendiente _____	26
Figura 17. Subparcelas clasificadas según su pendiente _____	27
Figura 18. Número de subparcelas por categorías de superficie _____	27
Figura 19. Subparcelas clasificadas según su superficie _____	28
Figura 20. Número de subparcelas por categorías de distancia a planta _____	29
Figura 21. Subparcelas clasificadas según su distancia a planta _____	30
Figura 22. Número de subparcelas por categorías de puntuación _____	31
Figura 23. Subparcelas clasificadas según su calificación final _____	32
Figura 24. Puntuación media por municipios _____	34
Figura 25. Pendiente media por municipios _____	35
Figura 26. Superficie media por municipios _____	36
Figura 27. Distancia media por municipios _____	37
Figura 28. Municipios en los que se encuentran las subparcelas. En rojo ubicación de la PBS _____	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de valoración pendiente media _____	23
Tabla 2. Escala de valoración superficie de la parcela _____	23
Tabla 3. Escala de valoración distancia a planta _____	23
Tabla 4. Escala de valoración puntuación de las subparcelas _____	24
Tabla 5. Municipios por categorías de puntuación _____	32
Tabla 6. Resultados medios de puntuación y cantidad de parcelas por municipio _____	33
Tabla 7. Municipios por categorías de pendientes _____	35
Tabla 8. Municipios por categorías de superficie _____	36
Tabla 9. Municipios por categorías de distancia _____	37

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Contexto

La biomasa es una de las fuentes de energía renovable utilizadas para la generación eléctrica en España. Al cierre de 2014, existían en el país unos 1.016 megavatios (MW) de potencia instalada en plantas térmicas a partir de biomasa y residuos (térmica renovable, según la terminología del operador del sistema, Red Eléctrica de España), que generaron 4.749 gigavatios hora (GWh), equivalentes al 1,78% de la generación eléctrica neta total. (CNMC, 2014; España. Red Eléctrica, 2011; España. Red Eléctrica, 2012; España. Red Eléctrica, 2013; España. Red Eléctrica, 2014; España. Red Eléctrica, 2015).

El año 2014 es el primero en que se registra un descenso de la generación térmica renovable por biomasa y residuos, concretamente del -6,4% en relación a 2013. Esta situación, contrasta con el incremento anual de la potencia instalada en esta tecnología, que fue del 3,6% para el mismo período. Ello implica que las instalaciones de generación eléctrica por biomasa y residuos registraron un descenso en su actividad en ese año.

El descenso de la generación por biomasa y residuos también supone un punto de inflexión en relación con la situación precedente, en la que la que venía registrando incrementos significativos, con un aumento del 55,7% entre 2010 y 2013, año en el que se registra el máximo histórico con 5.073 GWh. (España. Red Eléctrica, 2014).

La reducción de la generación eléctrica por biomasa coincide en el tiempo con la entrada en vigor de la nueva regulación de las energías renovables en España, cuya principal norma es el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

Esta reforma ha supuesto, entre otras medidas, un cambio en el sistema de retribución de la energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables, entre las que se encuentra la biomasa o tecnología basada en la valorización energética de residuos agrícolas o forestales, así como de otras formas de bioenergía.

Anteriormente, las tecnologías renovables, encuadradas en el llamado Régimen Especial (España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007), podían optar entre percibir una prima fija adicional al precio obtenido en el mercado mayorista o “pool”, o un precio fijo regulado. Este precio fijo, era diferente según la tecnología empleada, pero en todo caso se aplicaba a toda la energía vendida al mercado, es decir, no existían límites o restricciones de horas de funcionamiento para obtenerlo.

Por su parte, el nuevo sistema de retribución a las renovables (España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2014b), prevé una aportación adicional a los ingresos derivados de la venta de energía en el mercado eléctrico, basada esencialmente en dos conceptos a percibir durante toda la vida útil regulatoria de la instalación de que se trate:

1. **Una retribución a la inversión (Rinv):** orientada a cubrir los costes de inversión que no puedan recuperarse por la venta de energía en el mercado eléctrico mayorista o “pool”.
2. **Una retribución a la operación (Ro):** orientada a cubrir la diferencia entre los costes de explotación de la instalación y el precio obtenido en el mercado.

Este sistema de retribución pivota sobre el concepto de “Instalación Tipo” (IT). Las IT, se identifican mediante su correspondiente código, y se determinan en función de la potencia, tipo de tecnología, antigüedad y sistema eléctrico, entre otros parámetros. Éstos, pueden revisarse en períodos de 6 años (el primero hasta el 31/12/2019), con semiperíodos de 3 años, al cabo de los cuales sólo se pueden revisar la previsión de ingresos por venta de energía en el mercado y los valores de ajuste por desviación en el precio del mercado (CNMC, 2014).

Los parámetros retributivos de las IT y la clasificación de instalaciones tipo en función de los parámetros anteriormente mencionados se recogen en la Orden IET/1045/2014 de 16 de junio (España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2014a).

1.1.2. Influencia de la nueva normativa de retribución a la PBS

La Orden IET/1045/2014 de 16 de junio, anteriormente descrita, es de aplicación a la *Planta de Biomasa de Acciona Energía en Sangüesa (PBS)*, sobre la que se centra este Trabajo. Según esta Orden, la PBS queda encuadrada como una instalación tipo con el código IT-00834 y grupo b.6., en virtud de su potencia nominal (30,2 MW), el año de autorización de explotación definitiva (2005), su tecnología (generación eléctrica con biomasa de residuo herbáceo) y una vida útil regulatoria (25 años).

Otras características importantes de la PBS son su máxima capacidad de producción (200 GWh al año), sus horas de uso de diseño (8.000 horas), y su fecha de comienzo de pruebas en operación (2002). En el *Anexo 1. Información general de la PBS* se incluye una información más amplia de la planta.

Influencia en los ingresos

Como consecuencia práctica de la nueva regulación (España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2014b), el número de horas de funcionamiento efectivo de la PBS se ha visto reducido a 6.500 h/año frente a las 8.000 h de diseño previstas. Ello es debido a que en el nuevo marco legal la planta sólo percibe la *Ro* para un máximo de 6.500 horas de funcionamiento anual, por encima de la cuales no resulta rentable mantener operativa la instalación, a consecuencia de que el precio obtenido en el mercado eléctrico no es suficiente para compensar los costes variables de operación de la planta, sin el complemento de la retribución a la operación.

Según datos facilitados por la empresa, los ingresos derivados de la venta de energía generada en la Planta de Biomasa de Sangüesa se han visto reducidos aproximadamente en más de un 7% por la aplicación del nuevo marco retributivo en comparación con el sistema anterior, de retribución fija sin limitación de horas (España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007).

Influencia en el consumo de materia prima

La reducción de horas de operación a 6.500 horas/año supone para el caso concreto de esta instalación una menor necesidad de materia prima (residuo herbáceo), que se estima aproximadamente en un 20% inferior a la situación anterior al cambio regulatorio, cuando el consumo anual ascendía a unas 160.000 t (Acciona Energía, 2015b).

Acciona Energía suministra materia prima a la PBS mediante tres sistemas que implican tres modalidades diferentes de contratación de la biomasa residual herbácea (Acciona Energía, comunicación personal, 2015):

1. **Compra de paja en planta.** La compañía paga un precio previamente concertado por el suministro en planta de la materia prima. Este sistema afecta aproximadamente al 60% de la materia prima utilizada por la instalación.
2. **Compra de paja en pajera.** La compañía paga un precio previamente concertado por la materia prima acumulada en pajeras situadas en determinados emplazamientos y contrata, por otro lado, el transporte a planta. Este sistema corresponde al 10% del suministro total de paja.
3. **Compra de paja en campo.** La compañía paga un precio previamente concertado por la materia prima que queda en campo tras la cosecha de una explotación agraria y asume los costes de recogida, empaquetado y transporte a planta. Este sistema corresponde a un 30% aproximadamente del suministro total.

De estas tres modalidades de contratación, este Trabajo se ha centrado en **la compra de paja en campo**, por ser éste el único sistema en el que la empresa se ocupa directamente de la logística de recogida y transporte y, por consiguiente, donde puede aplicar fórmulas de optimización de esos costes, a partir de la caracterización y clasificación de las parcelas implicadas.

En los otros dos sistemas de contratación mencionados, el precio que la compañía paga por la materia prima responde a las condiciones previamente pactadas con los suministradores y no depende directamente de los parámetros analizados en este estudio.

1.1.3. Factores que influyen en los costes logísticos de las instalaciones de biomasa

La biomasa, y concretamente la biomasa objeto de este estudio, residual agrícola, es una fuente de energía que aparece dispersa en el territorio. Esta dispersión territorial, genera importantes costes de logística de aprovisionamiento y constituye uno de los principales obstáculos para su desarrollo (Dominguez & Marcos, 2000).

El suministro de materia prima es la principal componente de los gastos de operación y mantenimiento de cualquier planta de biomasa para generación eléctrica, independiente del tipo de biomasa que utilice. Considerando su incidencia en el coste de la energía producida, la recogida, empaçado, transporte y almacenamiento de biomasa a planta viene a suponer entre el 40% y el 50% del mismo, debido fundamentalmente a que la biomasa está disponible en formas con baja densidad y requiere para su almacenamiento y transporte más espacio que los combustibles fósiles equivalentes. (Hogan, Otterstedt, Morin, & Wilde, 2010; IDAE, 2007; IRENA, 2012).

Para el caso particular de la PBS, en torno al 80-85% del coste total de operación y mantenimiento corresponde al coste del residuo herbáceo (Acciona Energía, comunicación personal, 2015). Esto da idea de la importancia de minimizar el coste de la materia prima para optimizar el balance económico final de la instalación.

Varios factores o parámetros físicos inciden en los que se han denominado como costes logísticos de suministro de materia prima a una planta de biomasa. Los que mayor incidencia tienen son los que se analizan en el presente estudio (García-Martín et al., 2011):

- **Distancia a planta.** Condiciona directamente el coste del transporte de la materia prima hasta la planta. Sobre este tema, Tena (2012) expone que diversos análisis de cadenas de suministro de biomasa demuestran que el transporte por carretera de biomasa abultada y sin tratar no es competitiva para distancias superiores a 50 km. Sin embargo, la distancia no es un factor por sí solo, que determine la rentabilidad de una explotación agrícola, ya que pueden existir parcelas más rentables a una distancia mayor que otras que se encuentren más cercanas a la planta. Aun así, para este tipo de estudios la distancia máxima estará situada sobre los 80 km (Acciona Energía, comunicación personal, 2015).
- **Superficie.** La cantidad de biomasa residual potencialmente aprovechable presenta una relación directa con la superficie de la explotación suministradora. A igualdad de condiciones del resto de los factores, a mayor cantidad de biomasa, el coste de extracción es menor (García-Martín et al., 2011). Una mayor superficie permite el empleo de maquinaria con mayor capacidad de trabajo (anchura de trabajo, potencia, etc.) cuyos rendimientos aumentan cuanto mayor es la superficie de la parcela. En relación a lo anterior, Vega & Ruiz (2013) expresan que se hace prioritario que las unidades de cultivo sean lo más extensas posible puesto que con la llegada de la mecanización, la subdivisión de parcelas, muchas veces demasiado numerosas y de tamaño reducido, deja de ser práctica por la cantidad de tiempos muertos que se generan.

- **Pendiente.** Incide directamente en la maquinaria necesaria, la eficiencia de la misma y la posibilidad de vuelco, circunstancias todas ellas que afectan a los costes logísticos. La pendiente es un factor restrictivo, debido a que limita la capacidad productiva del suelo y la maquinaria empleada, ya que éstas pueden operar únicamente hasta determinados valores de pendiente máximos. A pesar de que se trate de biomasa residual forestal, Álvarez (2004) considera que no se debe contabilizar la biomasa situada en zonas con pendientes superiores al 50%. En relación a lo anterior, Bermejo & de Mandojana (2005) establecen unos intervalos de eficiencia de extracción de la materia prima, que se sitúan en 80% de eficacia con pendientes de entre 0% y 10%, 70% de eficacia en el intervalo 10%-30%, un 20% de eficacia en el intervalo 30%-50 % y una eficacia de recogida nula en superficies con pendientes superiores al 50%.
El riesgo de vuelco de la maquinaria aumenta conforme aumenta la pendiente. Así, se estima que la maquinaria de recolección comienza a sufrir deslizamientos significativos cuando trabaja por curvas de nivel en pendientes superiores al 20%. Como medida preventiva se recomienda afrontar las tareas por la línea de máxima pendiente y en sentido ascendente (Junta de Extremadura. Consejería de Educación, 2010; Navarra, 2009). En la misma línea, el estudio de Arana et al. (2010), donde se analizan factores de riesgo en accidentes mortales por el vuelco de maquinaria agrícola en España, determinó que 1 de cada 10 vuelcos fue producido a causa de fuertes pendientes.
- **Perímetro.** La regularidad de la forma de una parcela facilita las labores de recogida de la materia prima, por lo que dichas labores tendrán un menor coste en una parcela de perímetro regular que en otra de perímetro irregular, donde resulte más difícil la operación de la maquinaria ralentizándose el tiempo de empaquetado. Este factor está ligado a la superficie de la parcela, donde tiene mayor influencia cuanto menor es la superficie del terreno.

1.1.4. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una herramienta muy importante y extendida para el análisis geográfico, debido principalmente a que son aplicables en un número muy amplio de disciplinas diferentes. Una de las más comunes es la utilización combinada de los SIG y las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) para su uso en los procesos de evaluación territorial, especialmente para la asignación y localización de actividades y gestión de recursos naturales (Ocaña & Galacho, 2002).

El propósito de la aplicación de las técnicas de EMC dentro del SIG es la de valorar la capacidad del territorio en relación con ciertas funciones o actividades, que se seleccionan como objetivos concretos de la evaluación (Barredo Cano, 1996).

En este sentido, diversos trabajos han utilizado esta combinación de SIG y EMC para el estudio previo de zonas de implantación idóneas en proyectos de instalación de plantas de biomasa. La mayor parte de ellos se centra en el estudio de la biomasa potencial a nivel comarcal, provincial o regional, al objeto de poder estimar la viabilidad económica del proyecto (Bravo, Ciria, Esteban, Sánchez, & Lasry, 2003; de la Paz Blanco, Carlos, 2012; Domenech, Artés, & Crespo, ; García-Martín et al., 2011; Perpiñá Castillo, 2012; Viana, Cohen, Lopes, & Aranha, 2010).

En el caso del presente estudio, tanto la ubicación de la planta como la zona de abastecimiento de materia prima existen previamente, centrándose el trabajo en el análisis pormenorizado de las explotaciones suministradoras. No se han encontrado referencias de estudios similares, por lo que podría concluirse que se trata de un estudio pionero en su género.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Como se ha dicho anteriormente, la empresa Acciona Energía debe reducir el suministro de materia prima a la PBS. La compañía considera que para optimizar el coste de la materia prima, le resulta de gran interés la posibilidad de seleccionar los contratos de compra de paja en campo que conlleven menores costes logísticos. Ello supone identificar la materia prima que entrañe menores costes de recogida, empaçado y transporte, por razón de factores tales como la distancia a la planta, la pendiente, la superficie o la mayor o menor dificultad de recogida y empaçado.

La caracterización y posterior clasificación de las explotaciones facilitará a la compañía la toma de decisiones sobre qué parcelas le resulta más conveniente mantener como fuente de suministro desde un punto de vista económico, dado que al disminuir la producción eléctrica, se han reducido sus necesidades de aprovisionamiento de combustible.

En resumen, este trabajo se justifica por el interés que entraña para la compañía el disponer de una información objetiva que le permita conocer qué explotaciones suponen menores costes logísticos de entre aquéllas con las que mantiene contratos de compra de paja en campo.

1.3. OBJETIVOS

Este trabajo consiste en caracterizar y clasificar todas las explotaciones agrícolas situadas en Navarra que actualmente suministran a la planta de biomasa de Acciona Energía en Sangüesa y en las que la compañía asume los costes de recogida, empaçado y transporte a planta. Dicha caracterización se consigue definiendo los parámetros de distancia a planta, superficie, grado de pendiente y forma perimetral, ya que son los que se considera que inciden en mayor medida, en el coste del suministro (Acciona Energía, 2015a; García-Martín et al., 2011).

Todos los parámetros anteriores tienen una incidencia directa en el coste logístico del aprovisionamiento a la planta. Por consiguiente, su asignación a cada una de las subparcelas contratadas facilitará a la empresa el posterior análisis económico de los diferentes puntos de aprovisionamiento, de cara a la toma de decisiones sobre la necesaria reducción de materia prima.

En función de lo expresado anteriormente, el presente trabajo tiene un triple objetivo:

- 1.** Efectuar un inventario de las subparcelas agrarias en las que Acciona Energía adquiere materia prima en campo para el aprovisionamiento de la PBS, con información sobre determinados parámetros relativos a cada una de ellas que afectan directamente a los costes logísticos de aprovisionamiento de la planta.

2. Clasificar las subparcelas de dicho inventario según la puntuación asignada a cada una en función de los cuatro parámetros indicados. Dicha puntuación es más elevada cuanto más se considere que sus características anteriormente parametrizadas se corresponden con menores costes logísticos de aprovisionamiento.
3. Facilitar a la empresa la toma de decisiones sobre la forma de acometer la necesaria reducción de la materia prima utilizada por la planta a partir de datos objetivos que permitan optimizar el coste de materia prima.

1.4. NIVEL DE RESOLUCIÓN

Las explotaciones estudiadas se consideran a nivel de subparcela o recinto y se limitan a las situadas en Navarra, con un total de 19.223 subparcelas. Estos recintos representan el 96% del parque total de suministro a dicha planta bajo el sistema de compra de paja en campo.

En la *figura 1* se muestra la localización de las parcelas en los diferentes municipios navarros, así como el área de estudio de este trabajo. Una descripción más detallada sobre la ubicación de las parcelas puede observarse en el *Anexo 3. Ubicación subparcelas*.

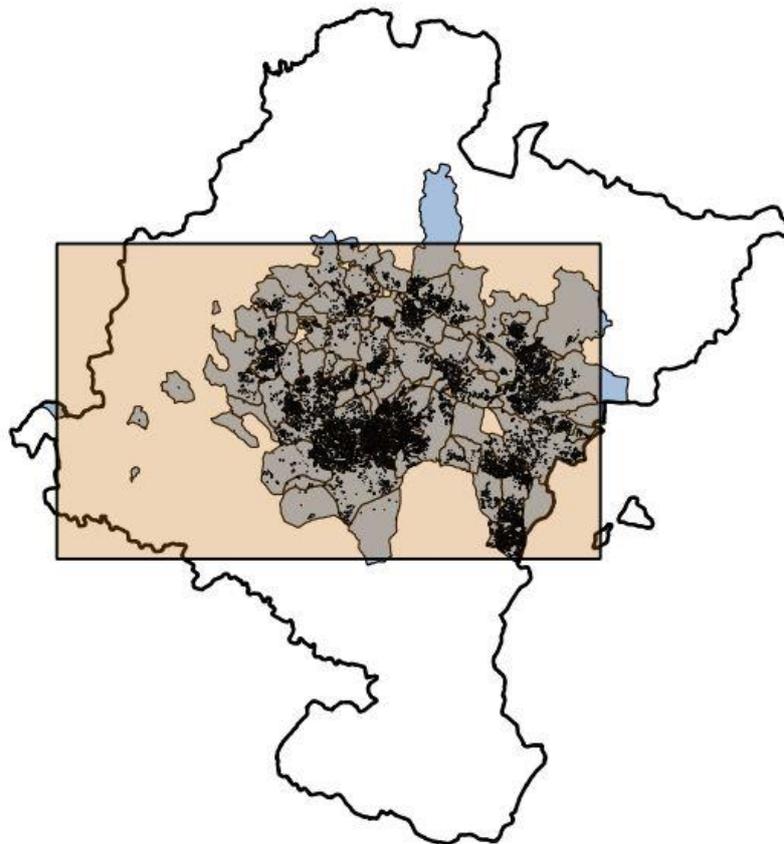


Figura 1. Ubicación de las parcelas y área de estudio.

El alcance del presente trabajo se centra en la descripción de los parámetros o factores físicos que inciden en los costes logísticos de cada subparcela. Los cuatro factores estudiados se resumen a continuación:

- Pendiente media.
- Superficie.
- Distancia a la PBS.
- Forma perimetral.

Se ha optado por analizar sólo parámetros físicos porque son invariables en el tiempo -salvo circunstancias extraordinarias- lo que aporta una mayor vigencia a los datos. No se consideran aquí otros parámetros no físicos tales como el rendimiento o producción de cada explotación.

La distancia a planta se considera a nivel de parcela y no de subparcela, puesto que la diferencia entre ambos niveles de análisis no resulta significativa.

La superficie se ha considerado tanto a nivel de subparcela como de parcela, debido a que resulta más real aplicar este parámetro a la parcela completa para puntuar las explotaciones estudiadas, si bien también es útil disponer de esa información a nivel de subparcela a efectos del inventario de explotaciones.

Además de caracterizar las parcelas y subparcelas estudiadas, el presente trabajo también aborda su clasificación orientativa de menores a mayores costes logísticos, en función de las características analizadas, aunque no entra a calcular expresamente dichos costes.

2. METODOLOGÍA

2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

La metodología empleada para la caracterización y clasificación orientativa del conjunto de las 19.223 subparcelas se ha dividido en dos etapas.

2.1.1. Caracterización de las subparcelas

La primera de ellas consiste en el análisis de los cuatro parámetros físicos que se han considerado que tienen incidencia directa en el coste logístico de suministro de biomasa (pendiente, superficie, distancia a PBS y forma perimetral) para cada subparcela. Los resultados se han empleado después para la elaboración de un inventario que recoge las principales características de las subparcelas. Estos son los pasos seguidos para la caracterización:

Procesado de los datos de partida

Consiste en el tratamiento y modificación de los datos de partida (*Parcelario Acciona Energía*) con el objetivo de lograr una capa vectorial con la que poder trabajar con los programas SIG.

Modelización de los factores

Consiste en el cálculo individual de los cuatro parámetros mediante los programas SIG con el objetivo de obtener su valor asociado a cada subparcela. Los factores de pendiente, superficie y forma perimetral se han calculado con el software QGIS 2.4.0. Para el cálculo de la distancia se ha empleado el complemento *Red* integrado en el programa gvSIG 1.11. Todos los datos han sido obtenidos utilizando como sistema de referencia de coordenadas el ETRS89/UTM Zona 30N.

Elaboración del inventario

Consiste en la realización de una tabla que recoge las principales características de las subparcelas. Este inventario contiene información de:

- Provincia.
- Municipio.
- Código de municipio.
- Polígono.
- Parcela.
- Subparcela o recinto.
- Uso.
- Tipo de explotación.
- Comarca.
- Pendiente media.
- Superficie parcela.
- Superficie subparcela.
- Distancia a planta.
- Forma perimetral
- Puntuación.

De esta manera, además de caracterizar cada una de las subparcelas, se consiguen los datos necesarios para la posterior clasificación.

2.1.2. Clasificación de las subparcelas

La segunda etapa consiste en la clasificación de las subparcelas a través de la puntuación resultante de la suma lineal ponderada de los cuatro factores estudiados. Los datos utilizados en la suma se han calculado en la primera etapa. A continuación se describen los pasos necesarios para la clasificación de las subparcelas.

Clasificación de los factores:

Consiste en elaborar escalas de valoración que clasifiquen y puntúen los resultados de los parámetros en diferentes intervalos. No se ha considerado elaborar una escala de valoración para el parámetro de forma perimetral por su poca relevancia en la suma lineal ponderada (véase el apartado 2.3.5. *Asignación de importancia a los factores*).

Las escalas de valoración empleadas se incluyen en el *Anexo 2. Escalas de valoración y puntuación de los factores*.

Asignación de importancia a los factores

Consiste en asignar un porcentaje de relevancia a cada uno de los cuatro factores. Es decir, se establecen las ponderaciones de los parámetros, de forma que obtengan un porcentaje más alto aquellos factores que se considera que tienen mayor importancia.

Puntuación de las subparcelas

Consiste en el sumatorio de las puntuaciones de los factores multiplicados por su correspondiente peso.

Clasificación de las subparcelas:

Consiste en elaborar una escala de valoración que clasifique las subparcelas según la puntuación resultante del punto anterior.

Agrupación por municipios

Consiste en agrupar las subparcelas por municipios y calcular los valores medios obtenidos en cada uno de los diferentes parámetros. De esta manera, se podrá analizar en su conjunto, el resultado final por municipio.

2.2. MEDIOS MATERIALES

En este apartado se presentan y describen los materiales empleados en el diseño experimental de este trabajo.

2.2.1. Parcelario Acciona Energía

Son el total de subparcelas agrícolas con las que la empresa Acciona Energía mantiene en la actualidad un contrato de tipo *Compra de Paja en Campo* en la provincia de Navarra (en adelante subparcelas caracterizar). Consta de 19.223 subparcelas diferentes repartidas a lo largo de 90 municipios y facerías. Éstos se pueden consultar en el *Anexo 3. Ubicación subparcelas*.

Los datos han sido facilitados por la compañía en un formato de hoja de cálculo y contiene información de la provincia, municipio, código de municipio, polígono, parcela y subparcela o recinto.

El listado completo de las subparcelas se recoge en la hoja de cálculo Excel *Inventario Resultado*. Además, su localización y el área de estudio pueden verse en la *figura 1. Ubicación de las parcelas y área de estudio*

2.2.2. Software

QGIS 2.4.0

Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto. Es un proyecto oficial de *Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*. Funciona en diferentes sistemas operativos como Linux, Unix, Mac OSX, Windows (el utilizado en este trabajo) y Android. Soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vectoriales (*shapefile en este trabajo*), ráster y bases de datos.

gvSIG 1.11

Es un programa informático de código abierto para el manejo de información geográfica con precisión cartográfica que se distribuye bajo licencia GNU GPL v3. Funciona con los sistemas operativos Linux, Mac OSX, Windows (el utilizado en este trabajo) y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vectoriales (*shapefile en este trabajo*), ráster y bases de datos.

ArcGIS 10

Es un SIG producido y comercializado por ESRI. Bajo el nombre genérico ArcGIS, se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

2.2.3. Datos cartográficos Navarra

Corresponden a las distintas capas de información georreferenciada ejecutables mediante los programas SIG descritos en el apartado 2.1.2 *Software informático*.

Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC 2014)

Capa vectorial poligonal con información cartográfica del parcelario navarro en el año 2014, en formato *shapefile*.

Red de carreteras

Capa vectorial lineal con información de las principales carreteras de Navarra, en formato *shapefile* (IDENA, 2015).

Pistas forestales:

Capa vectorial lineal con información de las principales pistas forestales de Navarra, en formato *shapefile* (IDENA, 2015).

Municipios con estudio de detalle 2015:

Capa vectorial poligonal con información de los distintos municipios y facerías de Navarra, en formato *shapefile* (IDENA, 2015).

Línea de contorno de Navarra:

Capa vectorial lineal con información de los límites de Navarra, en formato *shapefile* (IDENA, 2015).

Modelo digital terrestre (MDT5) Navarra:

Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio con un paso de malla de 5m en formato *ascii*. El MDT es un mosaico compuesto de todas las hojas que corresponden a la provincia de Navarra (IGN, 2015).

2.3. MÉTODOS

En el presente apartado se expone con más detalle la metodología empleada para la caracterización y clasificación de cada una de las subparcelas.

El proceso seguido para la obtención de los datos de las subparcelas ha consistido en analizar y calcular de manera independiente e individual cada uno de los cuatro parámetros o factores.

2.3.1. Procesado de datos de partida

Se han modificado los datos de partida (*Parcelario Acciona Energía*) con el objetivo de lograr una capa vectorial con la que poder trabajar con los programas informáticos SIG. En esta capa se muestran georreferenciadas únicamente las *subparcelas caracterizar* junto con la información o atributos escogida de la capa SIGPAC 2014 (provincia, municipio, código de municipio, polígono, parcela, subparcela, tipo de explotación, uso y comarca).

Los pasos realizados se resumen en los apartados siguientes:

Obtención del campo clave

Consiste en la creación de un campo (se le ha denominado IdRec) con los datos de código de municipio, polígono, parcela y subparcela de la hoja de cálculo de *Parcelario Acciona Energía* para poder referenciar cada una de las *subparcelas caracterizar* con un único valor o código.

La fórmula utilizada para calcular dicha clave es la misma que el SIGPAC (REFSIGPAC) utiliza para identificar todas las subparcelas en la provincia de Navarra. De esta manera, al coincidir el IdRec con el REFSIGPAC, ha sido posible seleccionar y enlazar las *subparcelas caracterizar* dentro de la capa vectorial SIGPAC 2014.

La fórmula empleada es:

$$\bullet \quad IdRec = (\text{Código de municipio} * 10^{10}) + (\text{Polígono} * 10^8) + (\text{Parcela} * 10^3) + (\text{Recinto} * 1)$$

Así, por ejemplo, una subparcela identificada con un código IdRec de 50200438001, equivale a:

- Código de municipio: 5 (Aberin).
- Polígono: 2.
- Parcela: 438.
- Subparcela o recinto: 1.

A continuación se han revisado y eliminado la existencia de valores duplicados porque, a pesar de que el código IdRec sirva para identificar de manera unívoca cada una de las subparcelas, éstas pueden aparecer en el listado en más de una ocasión cuando su superficie está dividida entre varios propietarios.

Una vez referenciadas todas las *subparcelas caracterizar*, se han exportado los datos de IdRec a un nuevo libro Excel y guardado en un formato reconocible por los sistemas de información geográfica, en este caso un formato delimitado por comas o CSV.

Capa vectorial subparcelas caracterizar

Mediante el software QGIS 2.4.0, se ha realizado una unión o *join* entre la tabla que contiene el campo clave (véase el punto anterior) y la capa vectorial SIGPAC 2014 (ver *figura 2*). De este modo se seleccionan en la capa SIGPAC2014 las subparcelas cuyo código (REFSIGPAC) coincida con el código de la tabla IdRec (ver *figura 3*).

Se ha creado después un archivo en formato *shapefile* de las subparcelas que han sido seleccionadas (ver *figura 4*). De esta manera, se consigue una capa vectorial de las *subparcelas caracterizar* que contiene la información cartográfica recogida en el SIGPAC 2014. Esta capa es la que se utilizará para calcular los datos de los cuatro parámetros objeto de estudio.

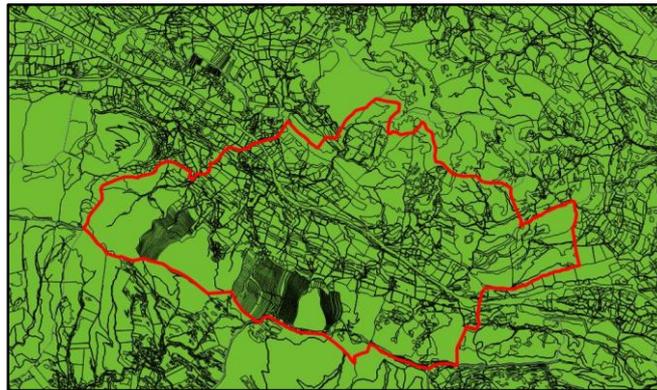


Figura 2. Capa vectorial SIGPAC2014 (en rojo municipio Ibargoiti).

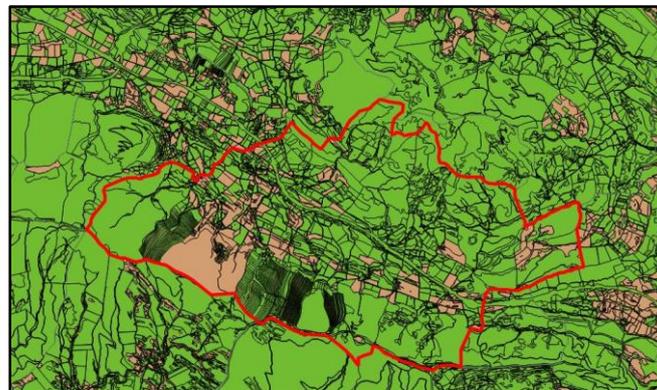


Figura 3. Subparcelas caracterizar seleccionadas en la capa SIGPAC2014 (en rojo municipio Ibargoiti).

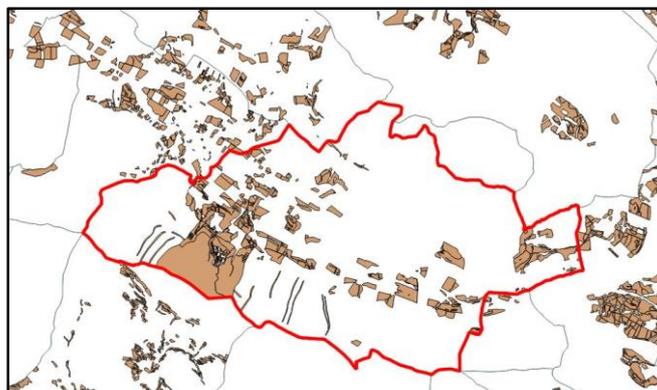


Figura 4. Capa vectorial subparcelas caracterizar (en rojo municipio Ibargoiti).

2.3.2. Modelización de los factores

Se han calculado de manera individual los cuatro factores con herramientas SIG. El sistema de referencia de coordenadas empleado para todos los casos ha sido el ETRS89/UTM Zona 30N.

Cálculo de la pendiente

El cálculo de la pendiente se ha realizado ejecutando la herramienta *pendientes* integrada en el complemento *SEXTANTE* del programa QGIS, a una capa raster de modelo digital terrestre (MDT5) de la Zona de Navarra (ver figuras 5 y 6).

Esta herramienta calcula el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical de cada una de las celdas en grados o en porcentaje (en este trabajo se calculará en porcentaje).

El método empleado para generar el mapa de pendientes en porcentaje ha sido el de *Ajuste a Polinomio de Grado 2* (Zevenbergen & Thorne 1987). Se ha escogido este método por ser el recomendado por la guía del complemento (Equipo SEXTANTE, 2008) y porque resultó el más apropiado según un estudio que comparaba 9 algoritmos matemáticos diferentes para la estimación de la pendiente mediante herramientas SIG (Rodríguez & Suárez, 2010).

Una vez generado el mapa de pendientes en la capa raster (ver figura 7), el siguiente paso consiste en añadir ese valor en un campo nuevo (Pendiente en este caso) de la tabla de atributos de la capa *subparcelas caracterizar*. Para ello se ha empleado la herramienta *Estadísticas de la zona* que permite el cálculo del valor medio de los píxeles que están dentro de un polígono, en este caso dentro de las subparcelas (ver figura 8).

De esta manera se consigue el valor de pendiente media de cada una de las *subparcelas caracterizar*.

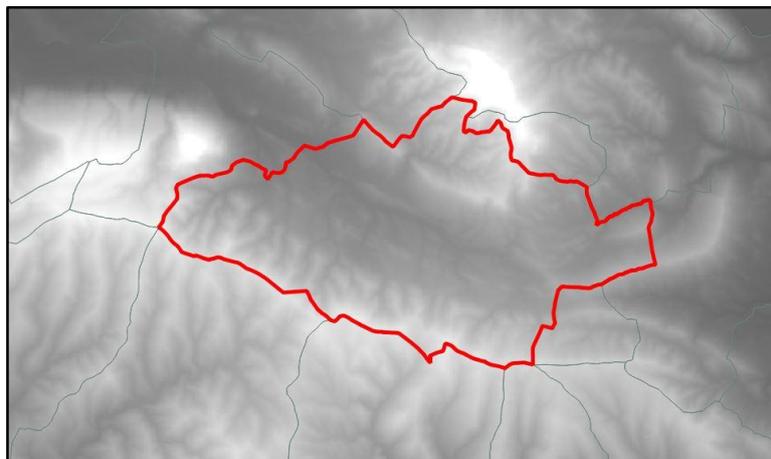


Figura 5. MDT5 de Navarra (en rojo el municipio de Ibañeta).

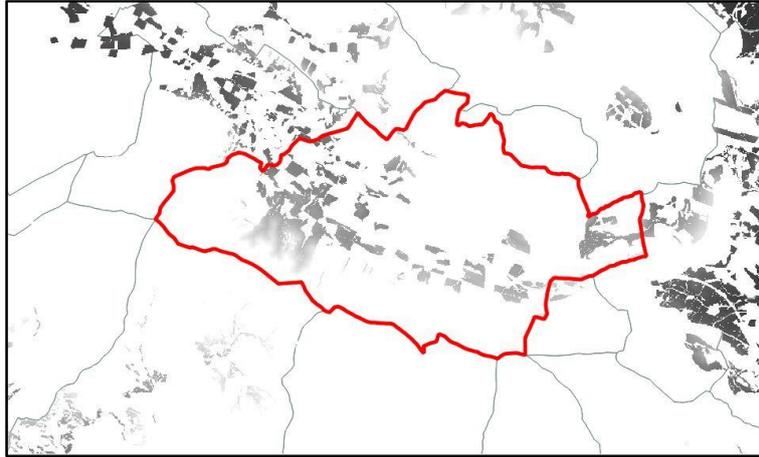


Figura 6. MDT5 de las subparcelas caracterizar (en rojo el municipio de Ibargoiti).

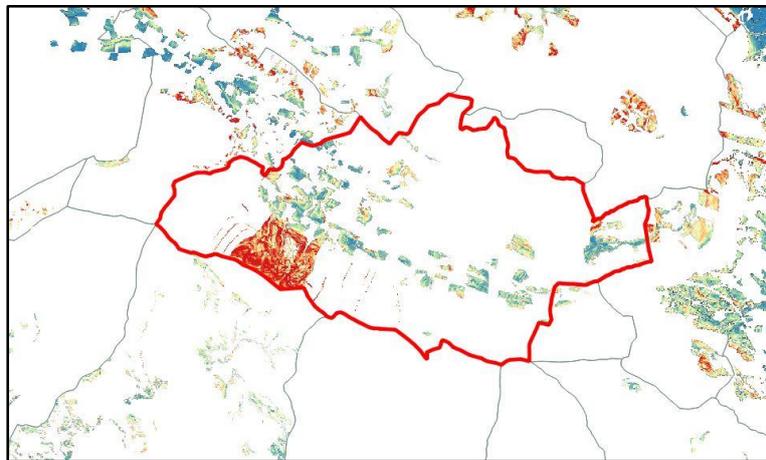


Figura 7. Mapa de pendientes en la capa raster (en rojo el municipio de Ibargoiti).

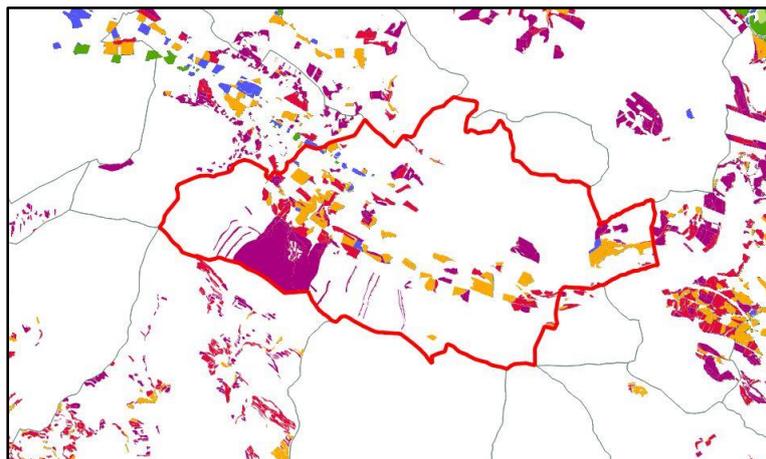


Figura 8. Mapa de pendientes en la capa vectorial subparcelas caracterizar (en rojo el municipio de Ibargoiti).

Calculo de la superficie

El cálculo de la superficie se ha realizado tanto a nivel de subparcela como de parcela mediante el programa QGIS 2.4.0. El primer caso se ha utilizado únicamente para completar el inventario. Sin embargo, a la hora de valorar la superficie de la subparcela se ha tenido en cuenta el área de la parcela completa (en el caso de estar dividida en subparcelas) por ser más representativo.

1. Superficie subparcela

El cálculo de la superficie de las *subparcelas caracterizar* se ha realizado mediante la función geométrica *Área* de la *Calculadora de campos* del programa.

Dado que el sistema de coordenadas empleado es ETRS 89 UTM zona 30 N, los valores calculados se dan en metros. Se han transformado a ha.

2. Superficie parcela

Previo al cálculo de la superficie, es necesario agrupar las subparcelas en parcelas. Para ello se ha utilizado el geoproceso *Disolver* que combina entidades basadas en un campo de entrada. Es decir, todos los rasgos con valores de entrada idénticos se combinan para formar un sólo rasgo, en este caso las subparcelas (ver *figura 9*).

Así, se ha creado en la tabla de atributos un campo nuevo con un código que identifique las parcelas (REFPARCELAS). El código es el resultante de la resta del campo *Recinto* al campo del código *REFSIGPAC*. Este código es único para las parcelas que no están divididas en más de una subparcela (no les afectará el geoproceso) pero se repite para las parcelas divididas en subparcelas, tantas veces como número de recintos la formen (el geoproceso los combinará en una sola). La capa generada se ha guardado con el nombre de *Parcelas Caracterizar* y contiene 13.926 parcelas.

En la *figura 9* se observa a modo de ejemplo la combinación de 3 recintos en una sola superficie de la parcela 806 del polígono 2 situada en Puente la Reina.

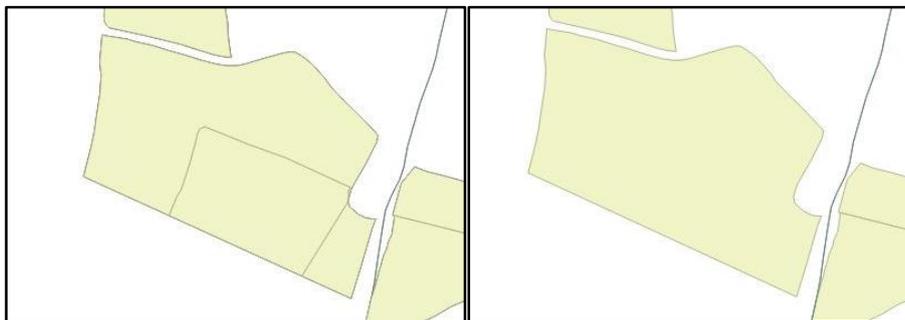


Figura 9. Combinación de subparcelas en parcelas con el geoproceso *disolver*.

El cálculo de la superficie de las parcelas se ha realizado de la misma manera que en el caso de las subparcelas (véase punto anterior).

Cálculo de la forma perimetral

Mediante el cálculo de este parámetro se pretende analizar la regularidad de las subparcelas. La metodología empleada ha consistido en la comparación individual de las superficies de las subparcelas con las superficies de rectángulos sencillos de su misma extensión (ver *figura 10*).

Considerando que el rectángulo es la forma más regular que puede tener la subparcela, se ha dividido la superficie de la subparcela con la superficie del rectángulo de su extensión y se ha multiplicado después el resultado por 100, para conseguir el dato de semejanza o regularidad en porcentaje de las subparcelas.

El cálculo de las superficies de los rectángulos se ha realizado con la herramienta *Polígono a partir de extensión de la capa* del programa QGIS.

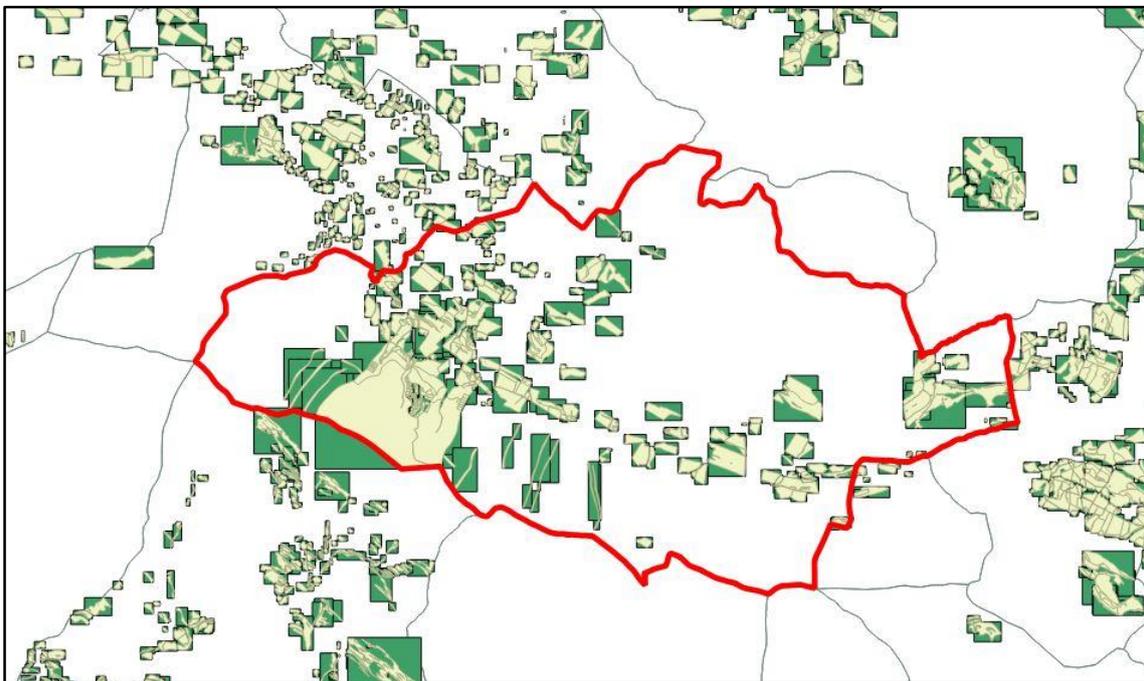


Figura 10. Subparcelas contenidas en rectángulos de su misma extensión (en rojo el municipio de Ibargoiti).

Cálculo de la distancia a planta

Mediante el cálculo de este parámetro se pretende analizar la distancia más corta en kilómetros entre las *Parcelas Caracterizar* y la PBS a través de los diferentes viales recogidos en las capas vectoriales *Red de carreteras* y *Pistas forestales* (carreteras principales, secundarias y pistas forestales) (ver *figura 11*).

La metodología empleada para su cálculo ha consistido en generar una matriz de distancia Origen-Destino. Esta matriz calcula las distancias entre un conjunto de puntos de origen (en este caso un único punto, la PBS) y un conjunto de puntos de destino (cada una de las parcelas).

Ello se ha llevado a cabo con la *Matriz Origen-Destino* del complemento *Red* del programa gvSIG 1.11. Esta matriz calcula las distancias midiendo la longitud de los tramos que forman la red de carreteras. A continuación se describen los pasos realizados.

1. Generar topología de red

Consiste en crear a partir de la combinación de las capas *Red de carreteras* y *Pistas forestales*, una única capa lineal que permita el cálculo las distancias Origen-Destino. Para ello, primero se han unido las dos capas mediante la herramienta *Unión* y después, con el fin de agilizar los cálculos, se ha recortado dicha unión respecto al área de estudio (ver *figura 12*). Esta capa se ha guardado como *Red Navarra corte*.

Por último, se ha generado la topología con la herramienta *Generar topología de red* sobre esta nueva capa y, para corregir errores topológicos, se ha aplicado una tolerancia *Fuzzy* de 5m (una nodos cuya distancia sea inferior a dicha tolerancia).

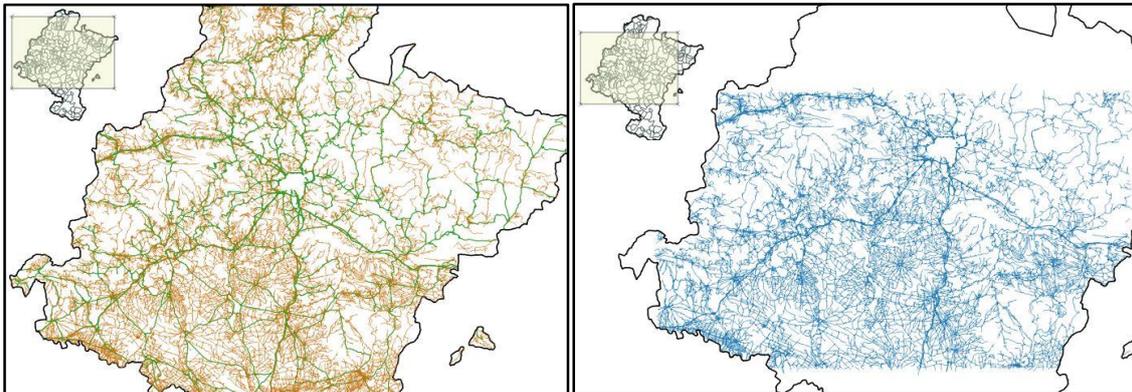


Figura 11. Red de carreteras (verde) y pistas forestales (marrón) de Navarras.

Figura 12. Unión de la red de carreteras y pistas recortadas para la zona de estudio.

2. Minimizar errores de tolerancia en las Matrices Origen-Destino

Para ejecutar la herramienta *Matriz Origen-Destino* el programa solicita que se defina una tolerancia en metros. Esta tolerancia representa la distancia máxima que se considera desde el eje viario hasta el punto de cálculo y sirve para calcular distancias de puntos que no estén sobre la red de ejes.

Algunas *Parcelas Caracterizar* están muy alejadas de los ejes de *Red Navarra corte*, así que para generar una única *Matriz Origen-Destino* que calcule todas las distancias al mismo tiempo se requiere de un valor de tolerancia mayor de 1500m. Como al aplicar esta tolerancia se han calculado unas distancias poco representativas en las parcelas más cercanas a la red, se ha decidido generar más de una *Matriz Origen-Destino* que agrupe las parcelas por rangos de proximidad a los ejes de *Red Navarra corte*.

El proceso de agrupamiento de parcelas se ha conseguido aplicando una zona de influencia lineal o *buffer* sobre la *Red Navarra corte* y seleccionando después las parcelas que intersecten con él utilizando la herramienta *Selección por localización* del programa ArcGIS 10 (ver *figura 13*). A continuación se ha generado una nueva capa vectorial con las parcelas seleccionadas y se han eliminado de la capa que contenía todas ellas (*Parcelas Caracterizar*). Seguidamente se ha creado una capa de puntos resultante de la intersección entre las parcelas y el *buffer*. De esta manera se obtienen los puntos *Destino* de la matriz con una misma tolerancia máxima.

Se ha repetido este proceso hasta agrupar todas las parcelas (13926), aplicando al *buffer* las siguientes distancias lineales: 0m (635 parcelas seleccionadas), 2m (1683 parcelas seleccionadas), 5m (2787 parcelas seleccionadas), 10m (1406 parcelas seleccionadas), 25m (1034 parcelas seleccionadas), 50m (872 parcelas seleccionadas), 100m (1315 parcelas seleccionadas), 200m (1767 parcelas seleccionadas), 300m (994 parcelas seleccionadas), 500m (884 parcelas seleccionadas), 1000m (514 parcelas seleccionadas) y 1500m (35 parcelas seleccionadas).

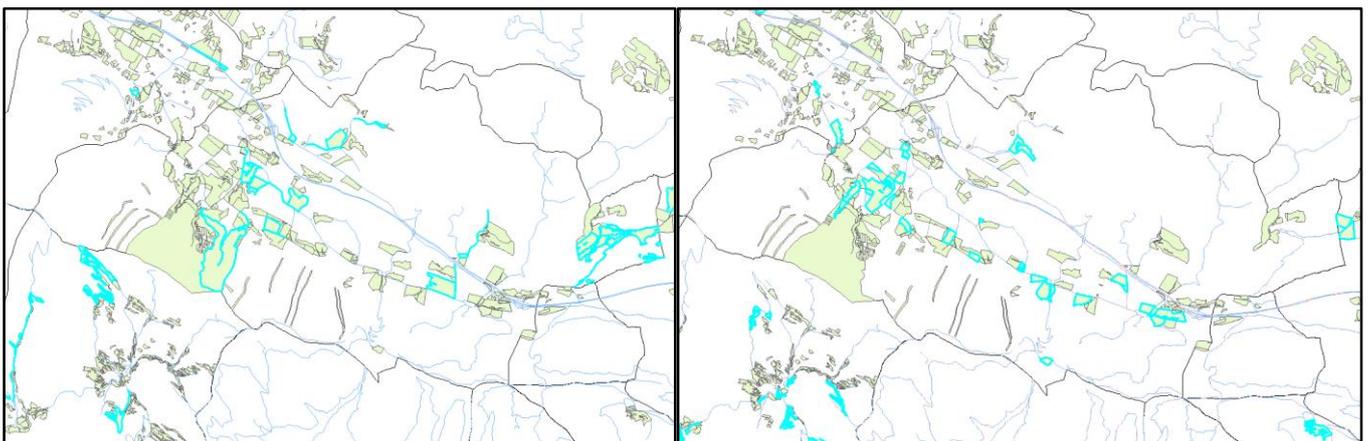


Figura 13. En la izquierda las parcelas seleccionadas sin *buffer*. En la derecha las parcelas seleccionadas con el *buffer* de 2m (sin las parcelas que intersectan sin *buffer*).

3. Calcular las distancias de las parcelas a la PBS

Se han calculado las distancias utilizando como Origen el punto de la PBS (coordenadas obtenidas desde el SITNA) y las diferentes capas de puntos generadas en el proceso anterior, seleccionando diferentes tolerancias para generar cada matriz. Debido a que existen casos en los que la red de carreteras intersecta en más de una ocasión una parcela, se han generado varios puntos destino para una misma parcela (estos puntos se identifican con el mismo código REFPARCELA). Por lo tanto se han obtenido inicialmente distancias duplicadas para una misma parcela. Estas duplicidades se han eliminado posteriormente, de tal manera que se ha obtenido una única distancia a la PBS para cada parcela. Una vez eliminados los duplicados se han vuelto a agrupar con la herramienta *Juntar* todas las parcelas en una misma capa.

4. Corregir distancias no calculadas

Debido a que la *Red Navarra corte* no es continua en todos sus tramos -no todos los tramos están conectados entre sí- (ver *figura 14*) no ha sido posible el cálculo de distancias a todas las parcelas, siendo 4400, el 31.5% del total, las que se encuentran en este supuesto.

En estos casos se ha decidido que asuman el valor de distancia de la parcela más próxima en la que sí se ha podido calcular dicho parámetro. Esto se ha llevado a cabo con la herramienta *Enlace espacial* de gvSIG1.11, que permite asignar a un elemento de la capa origen (parcelas en las que no se ha calculado la distancia) los atributos del elemento más cercano (parcelas en las que sí se ha calculado).

Previo a este paso ha sido necesario separar las parcelas en dos capas, dependiendo si se habían calculado las distancias o no (ver *figura 15*). Por último se han agrupado con la herramienta *Juntar* todas las parcelas en una misma capa.

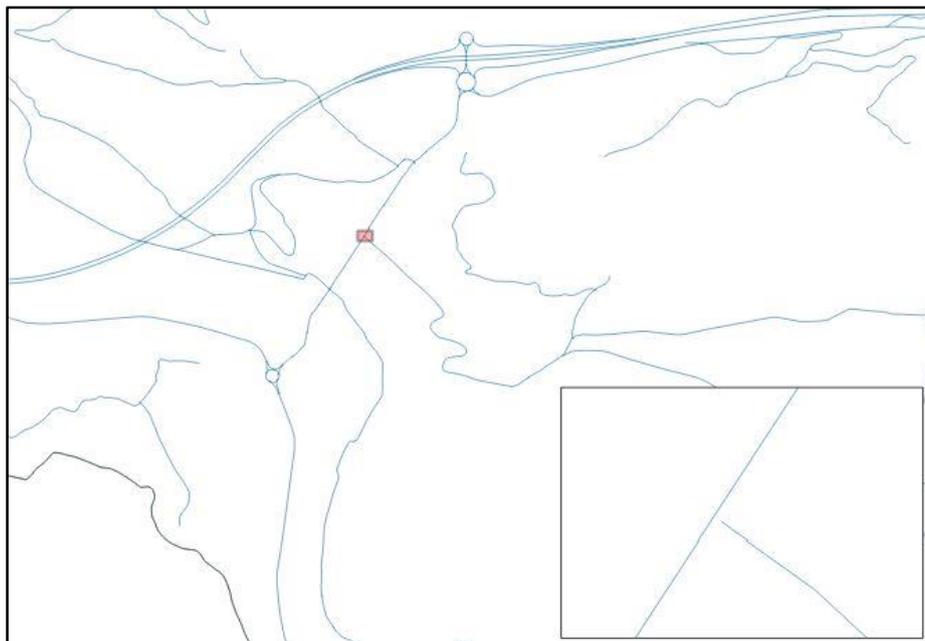


Figura 14. Tramo discontinuo en la Red Navarra corte

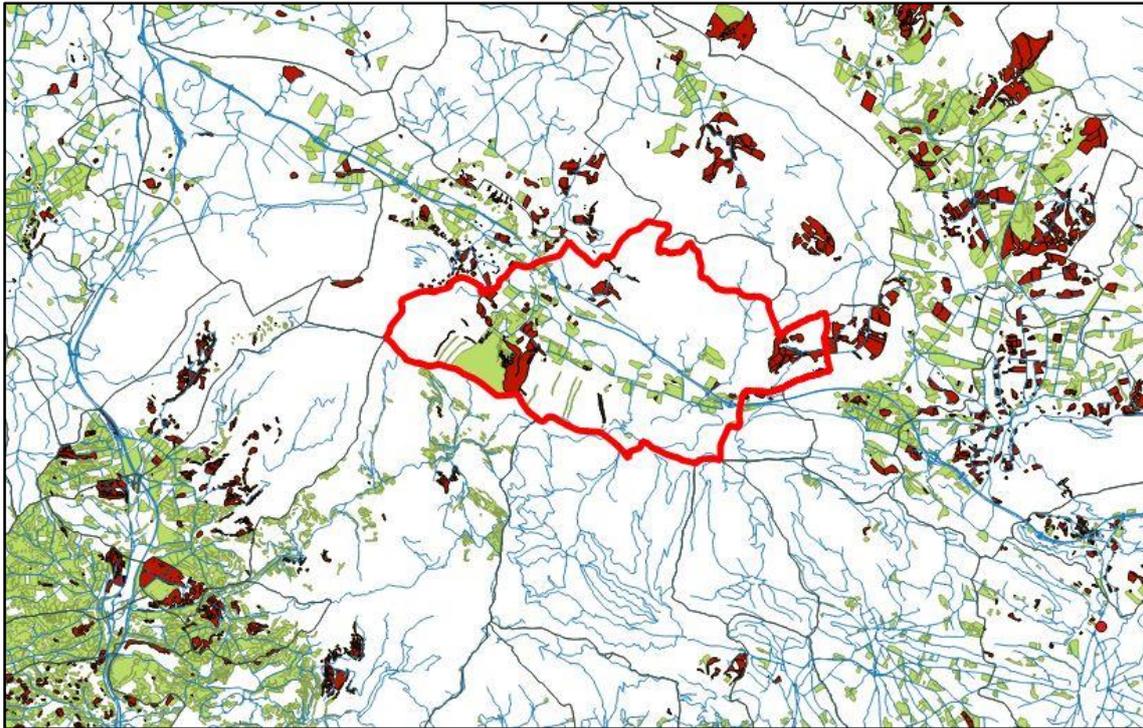


Figura 15. En verde las parcelas en las que se ha calculado la distancia. En rojo las parcelas que adoptan el valor de distancia de la parcela verde más próxima.

2.3.3. Elaboración del inventario

Una vez calculados los datos referidos a cada una de las subparcelas, se han inventariado e integrado en un documento único, cuyos datos (véase el punto 3. *Elaboración del inventario* del apartado 2.2.1. *Caracterización de las subparcelas*) se presentan en varios formatos:

- 1) **Una capa de información georreferenciada**, en formato *shapefile*, que permite observar sobre el mapa la situación de cada una de las subparcelas y los parámetros asociados a cada una.
- 2) **Una hoja de cálculo Excel** (*Inventario Resultados*), con el inventario completo de subparcelas y parámetros asociados.

2.3.4. Clasificación de los factores

Para determinar los intervalos en los que dividir cada factor y asignar una puntuación a cada intervalo, se ha realizado una encuesta al personal de la sección de Biomasa de la compañía Acciona Energía. Entre los encuestados, figuran técnicos, empaquadores y transportistas. En la encuesta se ha preguntado acerca de:

- Importancia relativa de cada parámetro.
- Intervalos en que dividir cada parámetro.
- Puntuación a asignar a cada intervalo de 0 (peor) a 10 (mejor).

Con el resultado de la encuesta, se han realizado las siguientes escalas de valoración:

- **Pendiente media:** se ha clasificado en 6 intervalos diferentes (*tabla 1*).

Tabla 1. Escala de valoración pendiente media.

PENDIENTE (%)	PUNTUACIÓN
Llano (0-1%]	10
Suave (1-3%]	9
Moderada (3-6%]	7
Fuerte (6-12%]	3
Muy Fuerte (12-18%]	1
Escarpadas (>18%)	0

- **Superficie de la parcela:** se ha clasificado en 6 intervalos diferentes (*tabla 2*).

Tabla 2. Escala de valoración superficie de la parcela.

SUPERFICIE (ha)	PUNTUACIÓN
Muy Pequeña (<= 0,5 ha)	0
Pequeña (0,5-1ha]	1
Medianamente pequeña (1-1,5 ha]	4
Mediana (1,5-4 ha]	6,5
Grande (4-15 ha]	9
Muy Grande (>15ha)	10

- **Distancia a planta:** se ha dividido en 5 intervalos diferentes (*tabla 3*).

Tabla 3. Escala de valoración distancia a planta.

DISTANCIA (km)	PUNTUACIÓN
Muy cerca (0-20 km]	10
Cerca (20-40 km]	9
Medianamente cerca (40-60 km]	7,5
Media (60-80 km]	6,5
Lejos (>80 km)	2,5

2.3.5. Asignación de importancia a los factores

Para determinar el peso de cada parámetro o factor en la puntuación total, se han utilizado los resultados obtenidos en la encuesta realizada al personal de la sección de Biomasa de Acciona Energía (véase apartado 2.3.4. *Clasificación de los factores*).

- Pendiente media: 30%.
- Superficie de parcela: 40%.
- Distancia a la PBS: 25%.
- Forma perimetral: 5%.

2.3.6. Puntuación de las subparcelas

La calificación de las subparcelas se ha realizado sumando la puntuación obtenida en cada factor multiplicada por su importancia relativa. De esta forma, cada subparcela ha obtenido una puntuación de 0 a 10, siendo 0 la puntuación mínima posible en la suma lineal ponderada de los cuatro parámetros considerados y 10 la máxima.

2.3.7. Clasificación de las subparcelas

La puntuación obtenida por cada una de las subparcelas -indicada en el punto anterior- se ha clasificado en las cuatro categorías incluidas en la *tabla 4*, a efectos de simplificar los resultados:

Tabla 4. Escala de valoración puntuación de las subparcelas

CLASIFICACIÓN	PUNTUACIÓN
<i>Mala</i>	(0-3.5]
<i>Regular</i>	(3.5-5]
<i>Buena</i>	(5-7.5]
<i>Muy Buena</i>	(>7.5)

2.3.8. Agrupación por municipios

Se ha realizado la media de los valores calculados de los cuatro parámetros de las subparcelas agrupadas en los diferentes municipios en los que se ubican. De esta manera se ha obtenido una puntuación final asociada a cada uno de los municipios.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se describen los resultados obtenidos a partir del cálculo de los datos de pendiente, superficie, forma perimetral, distancia a planta y puntuación de cada una de las subparcelas estudiadas en este trabajo.

Al tratarse de un volumen de datos muy extenso, el detalle de todos los resultados de los datos calculados se recogen en el documento Excel *Inventario Resultados*. Dicho archivo incluye la totalidad de las parcelas estudiadas, los valores correspondientes a cada uno de los parámetros analizados y la clasificación resultante de aplicar los criterios de evaluación descritos en la metodología. En este capítulo se indican el número de subparcelas existentes en cada uno de los intervalos en los que se han dividido los parámetros y la puntuación final.

Los resultados se presentan también en formato *shapefile*, que permite visualizar sobre el mapa todas y cada una de las parcelas con sus valores correspondientes, así como la clasificación de las mismas en función de cada uno de los parámetros analizados y de la puntuación final obtenida. A modo de ejemplo de este formato, se presenta en cada uno de los siguientes apartados un conjunto de parcelas –ubicadas en el municipio de Iza- con su posición en el mapa, el valor correspondiente a cada factor y su clasificación expresada en un código de colores.

Con objeto de facilitar el manejo de los resultados obtenidos y valorar las subparcelas en su conjunto, además de presentarlos a nivel de subparcela, se han agrupado éstas por municipios, calculando la media de los cuatro parámetros, con el fin de obtener la puntuación final para cada municipio en las que están ubicadas. Estos datos agrupados por municipio se adjuntan también en formatos *Excel* y *shapefile*.

En este capítulo se presenta como síntesis del estudio, la calificación final obtenida por cada municipio afectado, así como el número de subparcelas ubicadas en ellos. También se incluye la cantidad de municipios existentes en cada uno de los intervalos en los que se han dividido los parámetros y la puntuación final. Además se recogen los mapas generados a partir de la calificación media, la pendiente media, la superficie media y la distancia a planta media de cada municipio. El resultado de asociado a cada municipio se recoge en el *Anexo 4. Valor medio de pendiente, superficie y distancia a planta por municipios*.

Los apartados 3.1 a 3.5 estudian el caso a nivel de subparcela. El 3.6 a 3.9 analizan en caso a nivel de municipio.

3.1. PENDIENTE

En la *figura 16* se presenta el resultado del análisis del parámetro PENDIENTE, mostrando el número de subparcelas existentes en cada uno de los seis intervalos en que se ha dividido este factor, ordenados de menor a mayor porcentaje de inclinación sobre el plano horizontal. El resultado asociado a cada subparcela concreta se puede consultar en el archivo Excel *Inventario Resultados*.

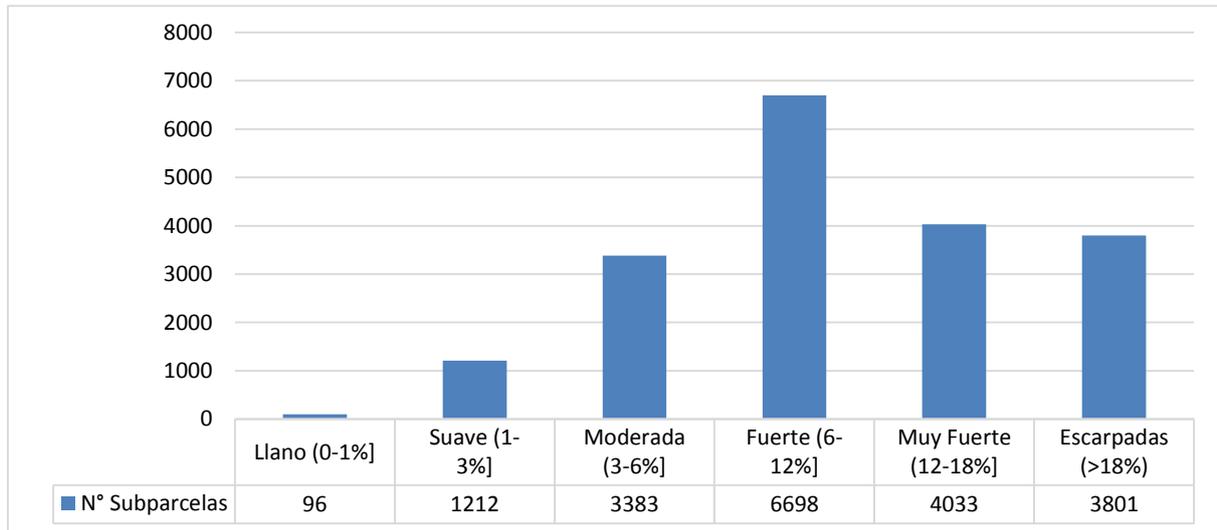


Figura 16. Número de subparcelas por categorías de pendiente.

Como se observa, la mayoría de subparcelas se encuentran clasificadas dentro del intervalo *Fuerte*, con un 34,8% del total de las subparcelas. Seguidamente, con un 21%, un 19,8% y un 17,6% respectivamente, las subparcelas con pendiente *Muy Fuerte*, *Escarpadas* y *Moderadas*. Por último y con unos porcentajes menores al resto se encuentran las subparcelas con *pendiente suave* (6,3%) y *llanas* (0,5%).

Las parcelas que no superan el 6% de pendiente media suponen el 24,4% del total. En ellas, prácticamente no existe pérdida de eficiencia en la labor de recogida. En el extremo opuesto se sitúa un 19,8% de las parcelas, con una pendiente superior al 18%, porcentaje a partir del cual la recogida resulta particularmente problemática, debido principalmente al riesgo de vuelco de la maquinaria. (Junta de Extremadura, 2010; Navarra, 2009)

El escaso peso relativo de la parcelas con pendiente llana y suave (6,8% en total) puede deberse a que se atribuye un valor medio a cada parcela y es muy reducido el número de parcelas en las que la topología del terreno sea totalmente plana.

La pendiente media del conjunto de parcelas analizadas es del 12,3%, muy próxima a la pendiente media de la Zona Media de Navarra –del 15%– donde se ubican la totalidad de las parcelas. (Navarra, 2014).

En la *figura 17*, se muestra un ejemplo del grupo de parcelas de la zona de Iza, con sus respectivas pendientes y su clasificación en código de colores, tal y como se pueden visualizar todas las subparcelas analizadas en el archivo *shapefile*.

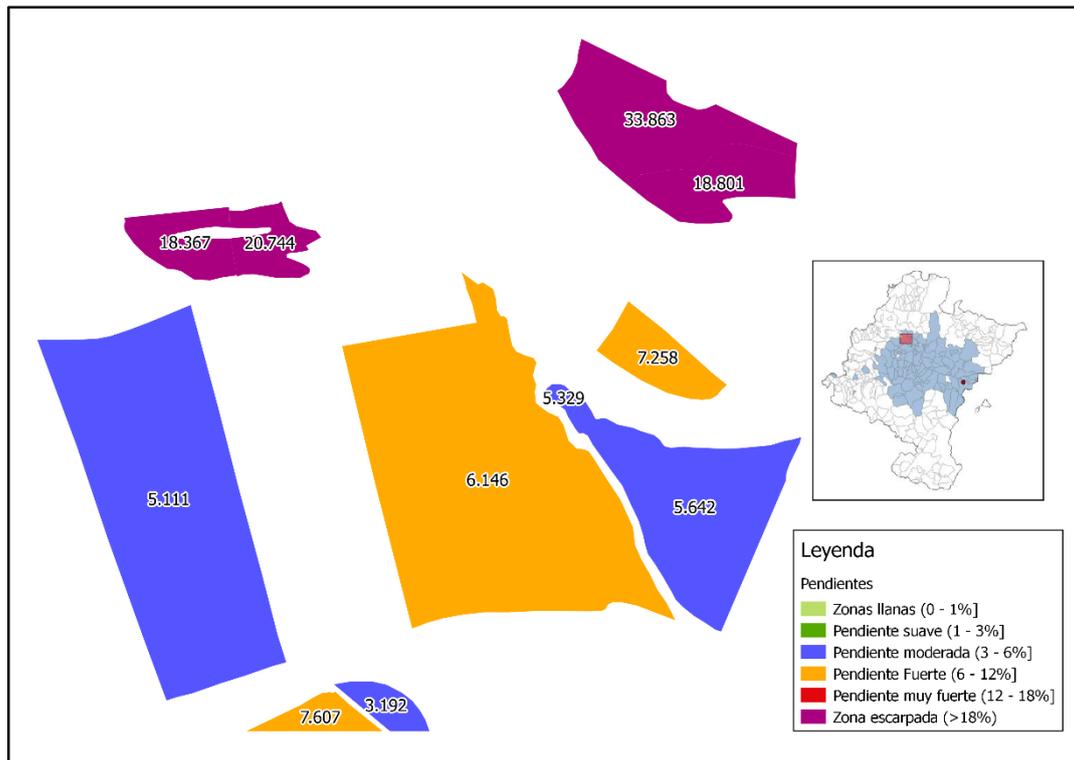


Figura 17. Subparcelas clasificadas según su pendiente, el número corresponde con la puntuación obtenida en este parámetro.

3.2. SUPERFICIE

La figura 18 muestra el resultado del análisis del parámetro SUPERFICIE, presentando el número de subparcelas existentes en cada uno de los seis intervalos en que se ha dividido este factor, ordenados de menor a mayor superficie. El resultado asociado a cada subparcela concreta se puede consultar en el archivo Excel *Inventario Resultados*.

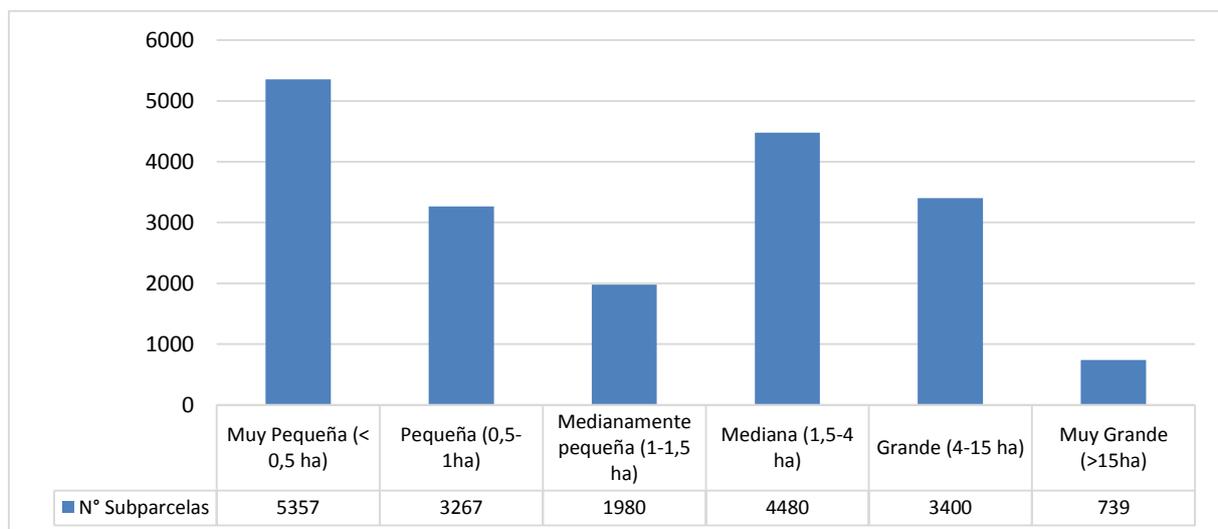


Figura 18. Número de subparcelas por categorías de superficie.

Como se observa, la mayoría de parcelas se encuentran clasificadas dentro del intervalo *Muy pequeña*, con un 27,9% del total. Le siguen, las parcelas *Medianas* (23,3%), *Grandes* (17,7%), *Pequeñas* (17,0%) y *Medianamente pequeñas* (10,3%). Las menos abundantes son las *Muy grandes*, con un 3,8% del total.

La mayoría de las parcelas no superan la hectárea de superficie (44,9%). Esto puede ser debido a las características orográficas de esta zona de Navarra y porque existen municipios en los que no se ha llevado a cabo un proceso de concentración parcelaria. Por encima de esa superficie, no se considera que una mayor o menor extensión afecta significativamente a la dificultad del proceso de recogida, empacado y carga de la paja, aunque sí lógicamente es relevante para obtener una mayor o menor producción. Asimismo, una mayor superficie hace más eficiente el proceso de carga en camión y transporte de la materia prima.

La superficie media del conjunto de las parcelas estudiadas es 2,0 ha, si bien la variabilidad de las mismas oscila entre 181,42 ha la parcela más extensa y 0,005 ha la más pequeña. La superficie media de una subparcela es de 1,45 ha, oscilando los valores extremos entre 167,63 ha y 0,005 ha.

En la *figura 19*, se muestra un ejemplo del grupo de parcelas de la zona de Iza, con sus respectivas superficies y su clasificación en código de colores, tal y como se pueden visualizar todas las subparcelas analizadas en el archivo *shapefile*. Cabe destacar que la leyenda corresponde a la superficie de las parcelas, por lo que a la hora de clasificarlas se ha sumado el área de las subparcelas.

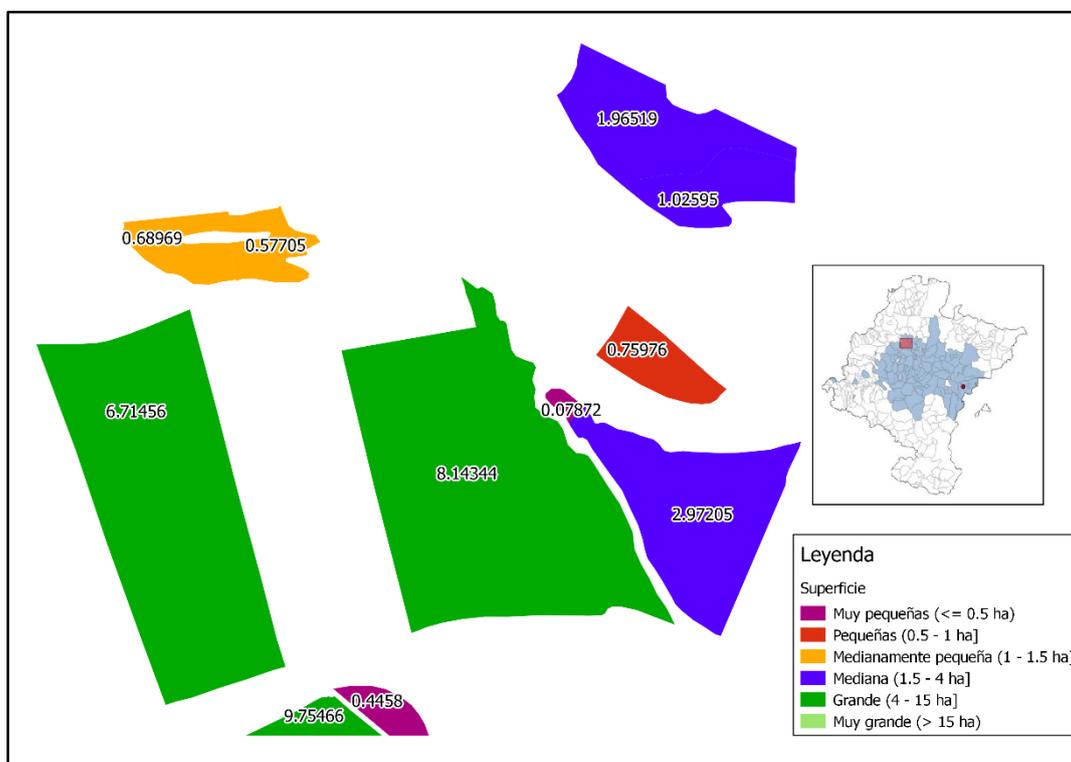


Figura 19. Subparcelas clasificadas según su superficie, el número corresponde con la puntuación obtenida en este parámetro.

3.3. DISTANCIA A PLANTA

En la *figura 20* puede apreciarse el resultado del análisis del parámetro DISTANCIA A PLANTA, presentando el número de subparcelas existentes en cada uno de los cinco intervalos en que se ha dividido este factor, ordenados de menor a mayor distancia.

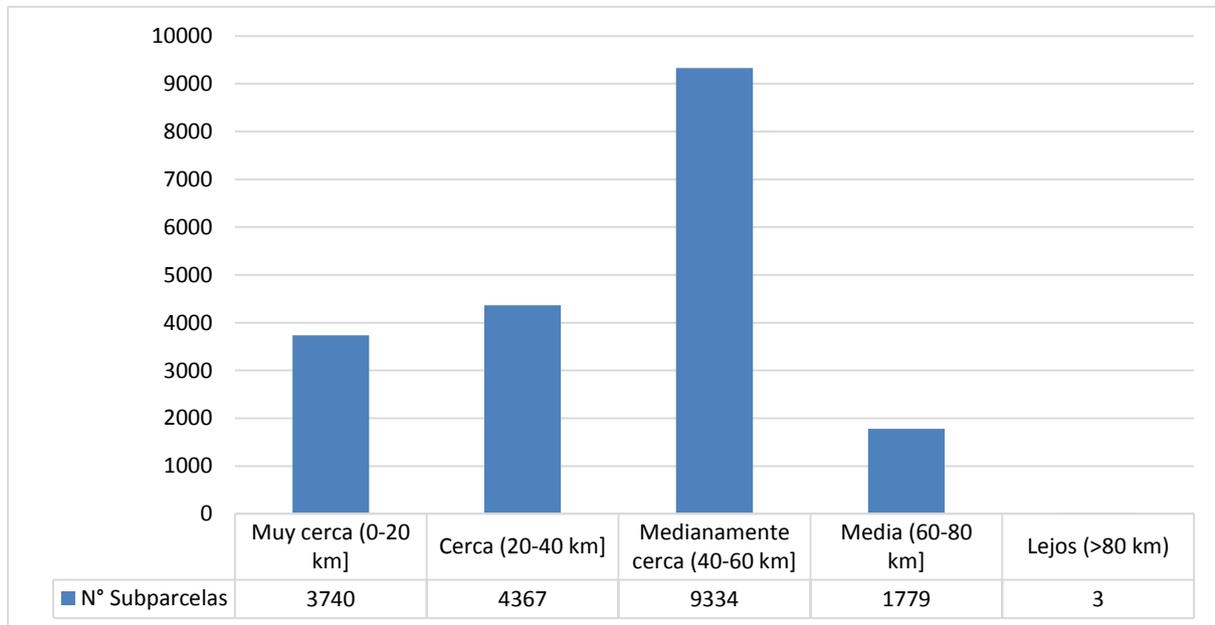


Figura 20. Número de subparcelas por categorías de distancia a planta.

La mayoría de parcelas se encuentran clasificadas dentro del intervalo *Medianamente cerca*, con un 48,5% del total de las parcelas. Le siguen las *Cercanas* (22,7%), *Muy cercanas* (19,5%), y las situadas a una *Distancia media* (9,3%). Sólo 3 parcelas están a más de 80 km de la planta (*Lejos*).

La gran mayoría de las parcelas están situadas a menos de 60 km (90,7%), lo que revela la existencia de una cantidad significativa de materia prima a una distancia relativamente corta de la PBS. La práctica totalidad de las parcelas suministradoras se encuentran a menos de 80 kilómetros de distancia viaria.

En la *figura 21*, se muestra un ejemplo del grupo de parcelas de la zona de Iza, con sus respectivas distancias a la PBS en km y su clasificación en código de colores, tal y como se pueden visualizar todas las subparcelas analizadas en el archivo *shapefile*.

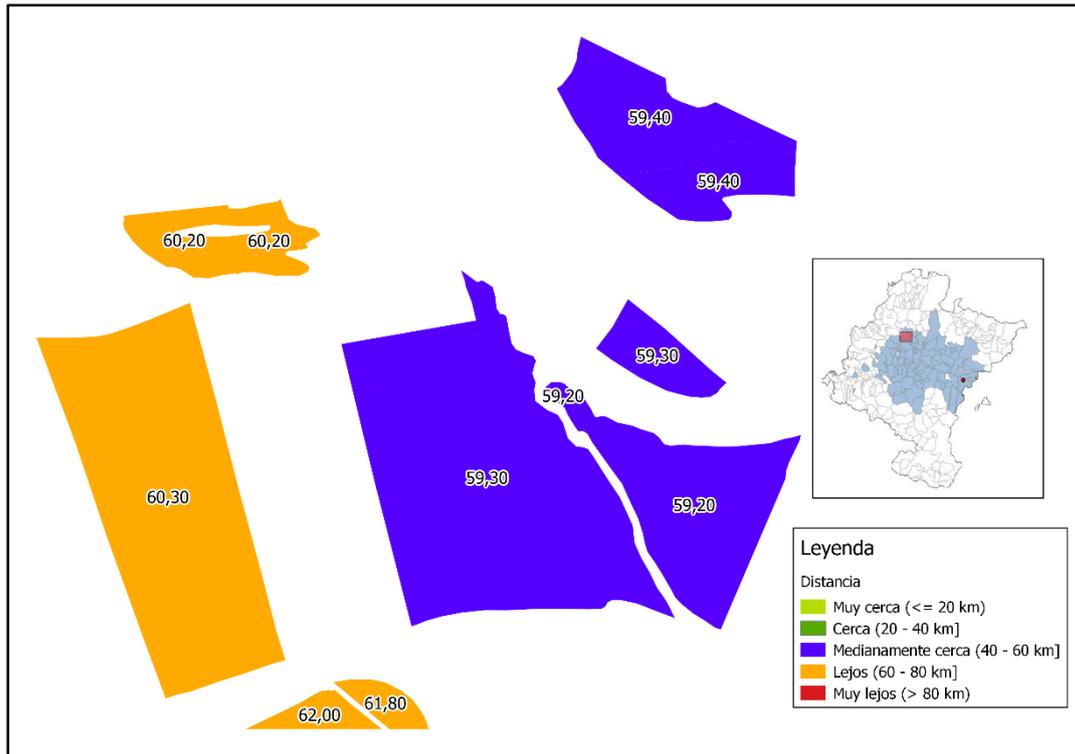


Figura 21. Subparcelas clasificadas según su distancia a planta, el número corresponde con la puntuación obtenida en este parámetro.

3.4. FORMA PERIMETRAL

Por lo que respecta al parámetro FORMA PERIMETRAL se ha decidido no clasificar los resultados en escalas de evaluación dada su reducida ponderación en el resultado final. No obstante, su inclusión en este estudio enriquece la información correspondiente a cada parcela del inventario. El resultado asociado a cada subparcela concreta se puede consultar en el archivo Excel Inventario Resultados.

Considerando que 100 es el valor que define el perímetro más regular (rectángulo) y 0 el menor, la regularidad media de las parcelas consideradas se cifra en 45,5, lo que puede entenderse como una regularidad media y reafirma la consideración de que no se trata de un parámetro particularmente significativo en su conjunto.

3.5. PUNTUACIÓN

La *figura 22* presenta el resultado de la PUNTUACIÓN FINAL, clasificado en los cuatro intervalos que se indican entre *Mala*, entendiendo por tal la parcela con peores características físicas desde el punto de vista de los costes logísticos de suministro de biomasa a PBS, y por *Muy Buena* aquélla con mejores características.

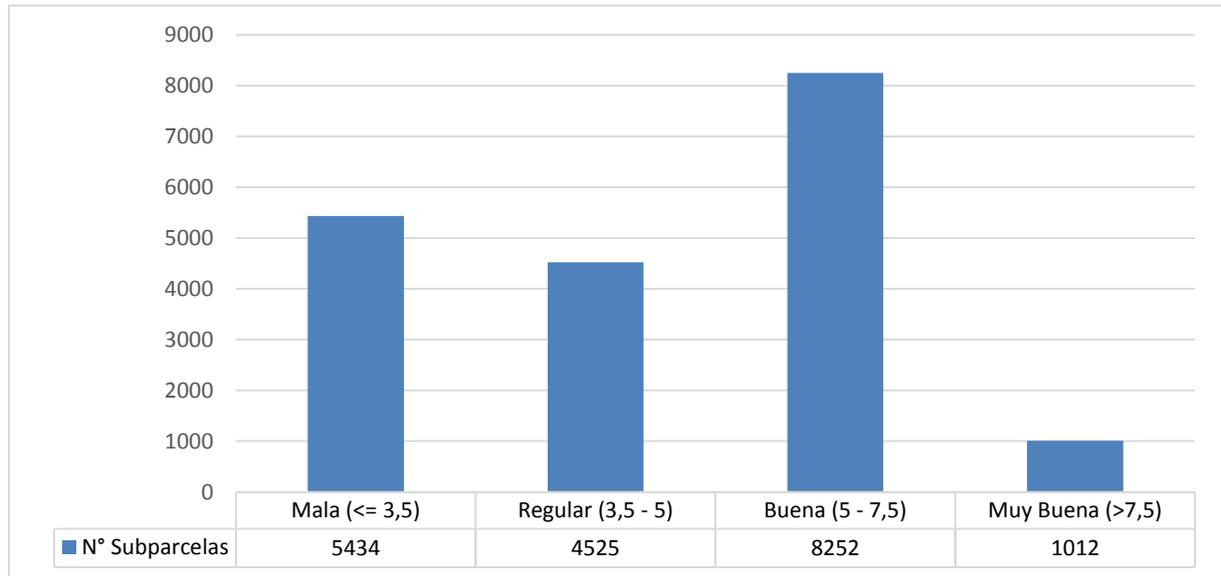


Figura 22. Número de subparcelas por categorías de puntuación.

La mayoría de parcelas (42,9%) se encuentran clasificadas dentro del intervalo *Buena*, seguidas de *Malas* (28,3%), *Regulares* (23,5%) y *Muy buenas* (5,3%).

La existencia de más de un 28% de parcelas consideradas como *Malas* se debe principalmente al factor que más pondera en la calificación final, la superficie. Cabe recordar que el 44,9% de las parcelas no superan la hectárea de superficie, lo que penaliza su calificación final.

A ello cabe agregar que el 75,6% de las parcelas superan el 6% de pendiente media, lo que también penaliza el resultado final de las mismas.

En todo caso, pese a ello, resulta significativo que casi la mitad de las parcelas (48,2%) de las parcelas obtienen una calificación *Buena* o *Muy buena*.

En la *figura 23*, se muestra un ejemplo del grupo de parcelas de la zona de Iza, con sus respectivas puntuaciones y su clasificación en código de colores, tal y como se pueden visualizar todas las subparcelas analizadas en el archivo *shapefile*.

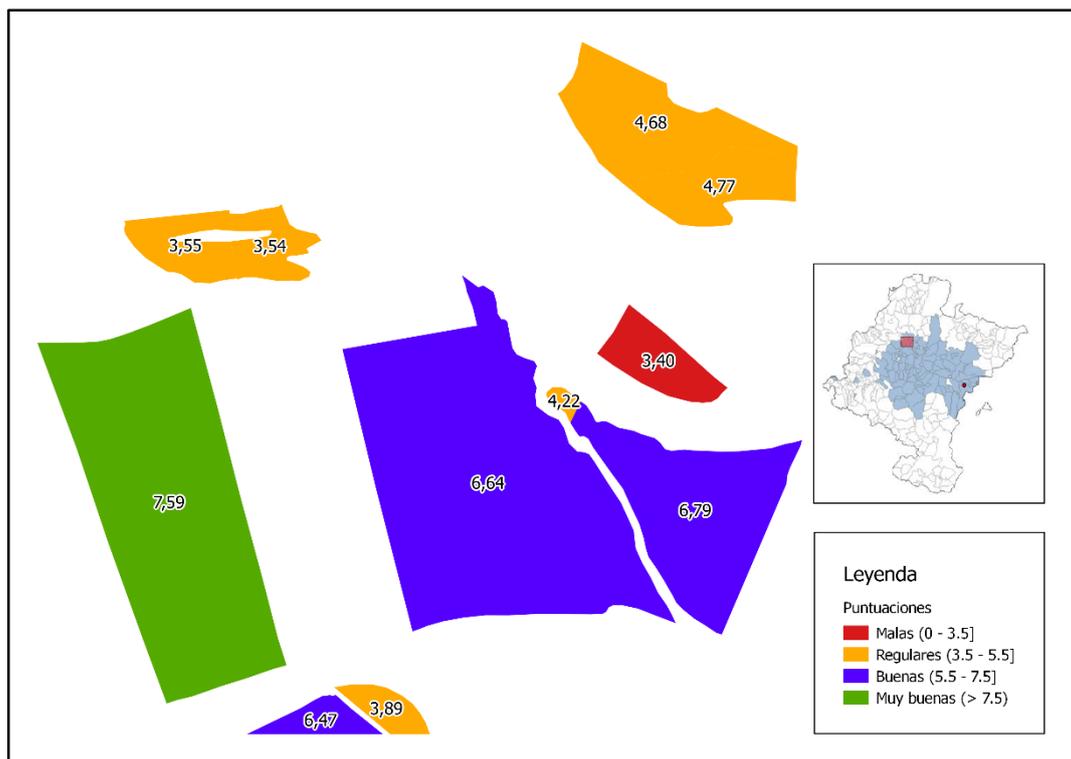


Figura 23. Subparcelas clasificadas según su calificación final, el número corresponde con la puntuación obtenida.

3.6. PUNTUACIÓN POR MUNICIPIO

En la *tabla 5* puede apreciarse el resultado del análisis de la PUNTUACIÓN FINAL agrupada en municipios. En ella se recoge el número de municipios existentes en cada uno de los cuatro intervalos en que se ha dividido esta puntuación.

Además la *tabla 6* presenta la puntuación media obtenida en cada municipio y el número de subparcelas existentes en cada uno de ellos. Este último dato es importante porque refleja con cuantas subparcelas se ha realizado la media de la puntuación en el municipio.

Tabla 5. Municipios por categorías de puntuación

PUNTUACION	Municipios
Mala ($\leq 3,5$)	5
Regular (3,5 - 5)	44
Buena (5 - 7,5)	41
Muy Buena ($>7,5$)	0

La mayoría de municipios se encuentran clasificados dentro de los intervalos *Regular* (48,9%) y *Buena* (45,6%), seguidos de *Malos* (5,6%). No existen municipios que se cataloguen con *Muy Buena*.

Tabla 6. Resultados medios de puntuación y cantidad de parcelas por municipio.

MUNICIPIO	Nº PARCELAS	PUNTUACION	MUNICIPIO	Nº PARCELAS	PUNTUACION
Echauri	16	7,12	Liédena	363	4,85
Metauten	1	6,50	Tafalla	471	4,84
Javier	59	6,49	Zizur Mayor	6	4,81
Villatuerta	1	6,38	Obanos	257	4,70
Aibar	229	6,34	Gallipienzo	614	4,67
Ciriza	33	6,29	Berrioplano	37	4,67
Sada	31	6,28	Burlada	4	4,61
Elorz	56	6,17	Egüés	821	4,61
Urroz	10	6,15	Puente La Reina	158	4,55
Larraga	94	6,10	Olo	15	4,53
Echarri	8	5,87	Uterga	8	4,46
Sangüesa	307	5,81	Mañeru	324	4,43
Iza	76	5,79	Orísoain	266	4,40
Urraúl Bajo	808	5,78	Legarda	13	4,39
Romanzado	146	5,74	Piedramillera	1	4,38
Izagaondoa	143	5,71	Aberin	1	4,34
Urraúl Alto	96	5,71	Unzué	312	4,31
Muruzabal	65	5,67	Eslava	26	4,30
Lizoain	153	5,66	Yerri	128	4,29
Aranguren	64	5,66	Galar	293	4,15
Olite	9	5,58	Artazu	135	4,15
Berbinzana	23	5,54	Añorbe	210	4,13
Miranda de Arga	3	5,52	Barañain	3	4,10
Ezprogui	94	5,51	Guirguillano	46	4,09
Mendigorría	294	5,43	Goñi	134	4,07
Lumbier	604	5,40	Tirapu	14	4,05
Artajona	1822	5,39	Berriozar	35	4,05
Barasoain	311	5,33	Eneriz	29	4,02
Orcoyen	81	5,28	Ucar	69	3,96
Olza	194	5,27	Biurrun-Olcoz	29	3,89
Leoz	820	5,25	Pueyo	960	3,89
Tiebas-Muruarte de Reta	16	5,24	Monreal	336	3,86
Facería 44	11	5,24	Pamplona	171	3,80
Cáseda	2385	5,23	Juslapeña	40	3,73
Beriain	24	5,22	Huarte	92	3,73
Cizur	65	5,17	Yesa	2	3,65
Garínoain	235	5,11	Ezcabarte	100	3,64
Unciti	85	5,04	Guesalaz	821	3,55
Aoiz	17	5,04	Genevilla	1	3,51
Zabalza	13	5,04	Cirauqui	224	3,51
Lónguida	582	5,02	Villava	3	3,43
Adiós	134	4,92	Facería 50	1	3,00
Ibargoiti	401	4,88	Esteribar	536	2,84
Lerga	81	4,88	Salinas de Oro	1	2,67
Oloriz	406	4,86	Belascoain	7	2,60

En la *figura 24*, se muestra un mapa temático en el que figuran los municipios estudiados, con sus respectivas puntuaciones y su clasificación en código de colores, tal y como se pueden visualizar en el archivo *shapefile*.

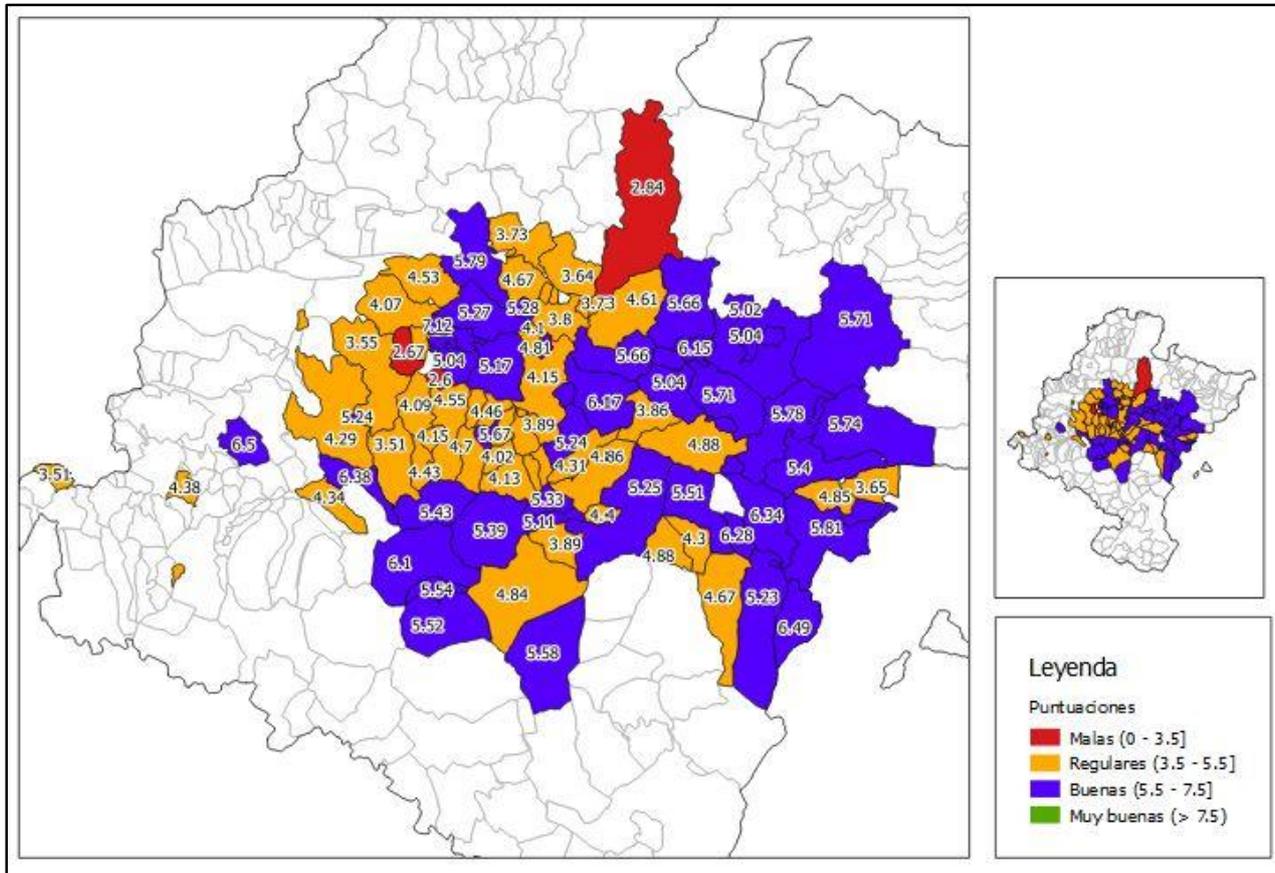


Figura 24. Puntuación media por municipios.

3.7. PENDIENTE MEDIA POR MUNICIPIO

La *tabla 7* presenta el resultado del análisis de la PENDIENTE agrupada en municipios. En ella se recoge el número de municipios existentes en cada uno de los seis intervalos en que se ha dividido este factor.

En la *figura 25*, se muestra el mapa temático de las pendientes medias de las subparcelas agrupadas por municipios, con su respectiva clasificación en código de colores y valor asociado, tal y como se puede visualizar en el archivo *shapefile*.

Tabla 7. Municipios por categorías de pendientes

PENDIENTE	Municipios
Llano (0-1%)	0
Suave (1-3%)	2
Moderada (3-6%)	7
Fuerte (6-12%)	40
Muy Fuerte (12-18%)	32
Escarpadas (>18%)	9

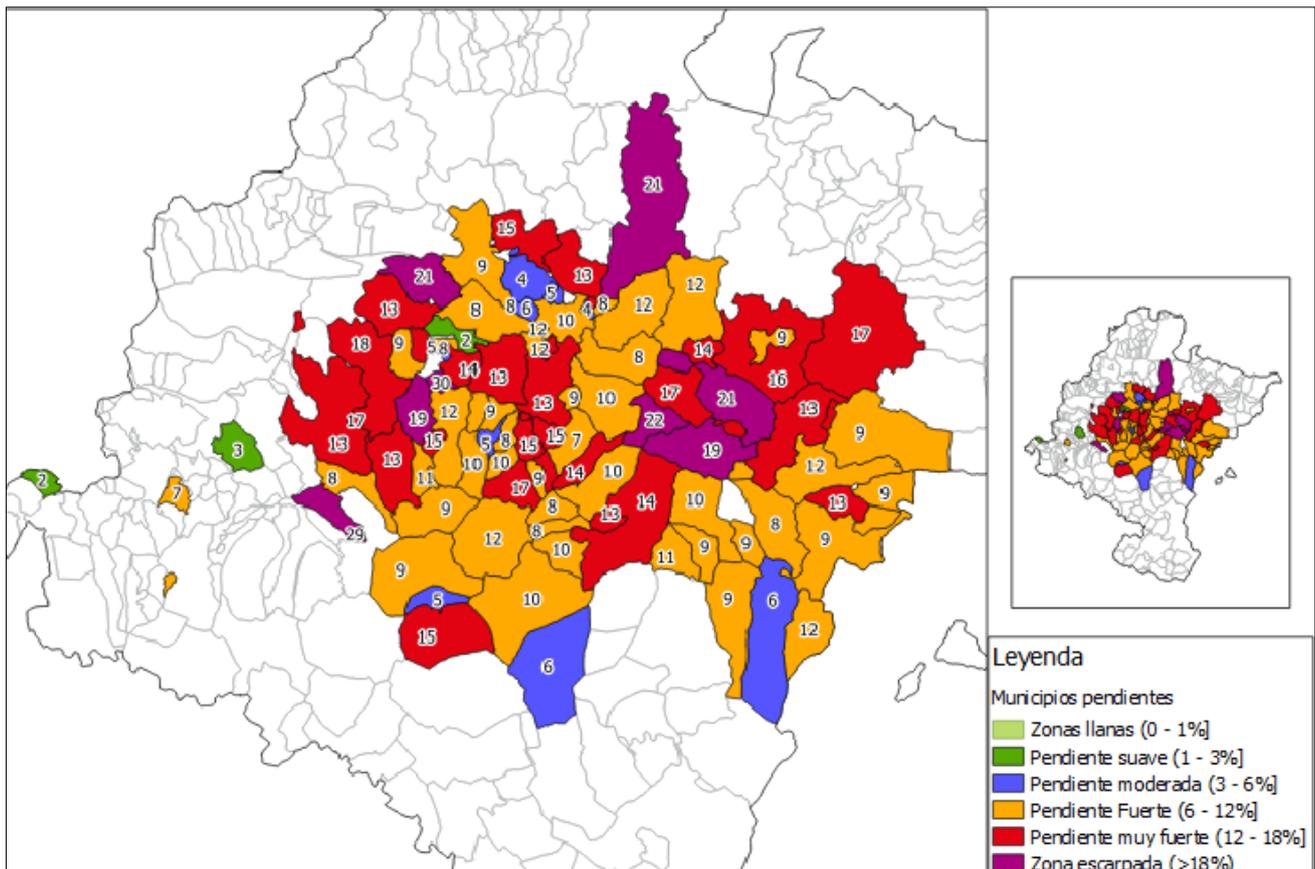


Figura 25. Pendiente media por municipios.

3.8. SUPERFICIE MEDIA POR MUNICIPIO

La *tabla 8* recoge el resultado del análisis de la SUPERFICIE agrupada en municipios. En ella se observa el número de municipios existentes en cada uno de los seis intervalos en que se ha dividido este parámetro.

En la *figura 26*, se muestra el mapa temático de las superficies medias de las parcelas agrupadas por municipios, con su respectiva clasificación en código de colores y valor asociado, tal y como se puede visualizar en el archivo *shapefile*.

Tabla 8. Municipios por categorías de superficie

<i>SUPERFICIE</i>	<i>Municipios</i>
<i>Muy Pequeña (< 0,5 ha)</i>	6
<i>Pequeña (0,5-1ha)</i>	7
<i>Medianamente pequeña (1-1,5 ha)</i>	9
<i>Mediana (1,5-4 ha)</i>	44
<i>Grande (4-15 ha)</i>	21
<i>Muy Grande (>15ha)</i>	3

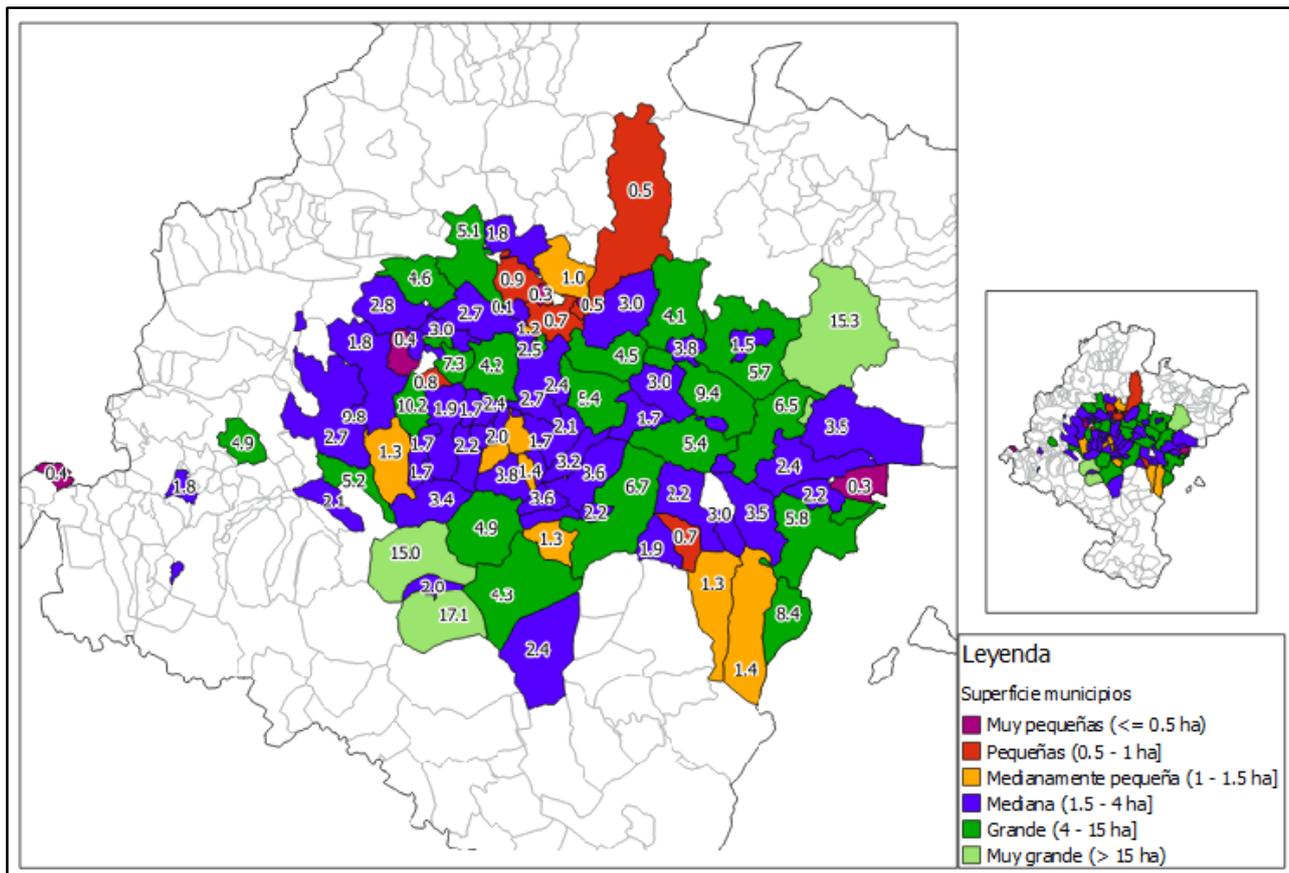


Figura 26. Superficie media por municipios.

3.9. DISTANCIA MEDIA POR MUNICIPIO

La *tabla 9* recoge el resultado del análisis de la DISTANCIA agrupada en municipios. En ella se presenta el número de municipios existentes en cada uno de los cinco intervalos en que se ha dividido este factor.

En la *figura 27*, se muestra el mapa temático de las superficies medias de las parcelas agrupadas por municipios, con su respectiva clasificación en código de colores y valor asociado, tal y como se puede visualizar en el archivo *shapefile*.

Tabla 9. Municipios por categorías de distancia

<i>DISTANCIA</i>	<i>Municipios</i>
<i>Muy cerca (0-20 km]</i>	11
<i>Cerca (20-40 km]</i>	15
<i>Medianamente cerca (40-60 km]</i>	49
<i>Media (60-80 km]</i>	12
<i>Lejos (>80 km)</i>	3

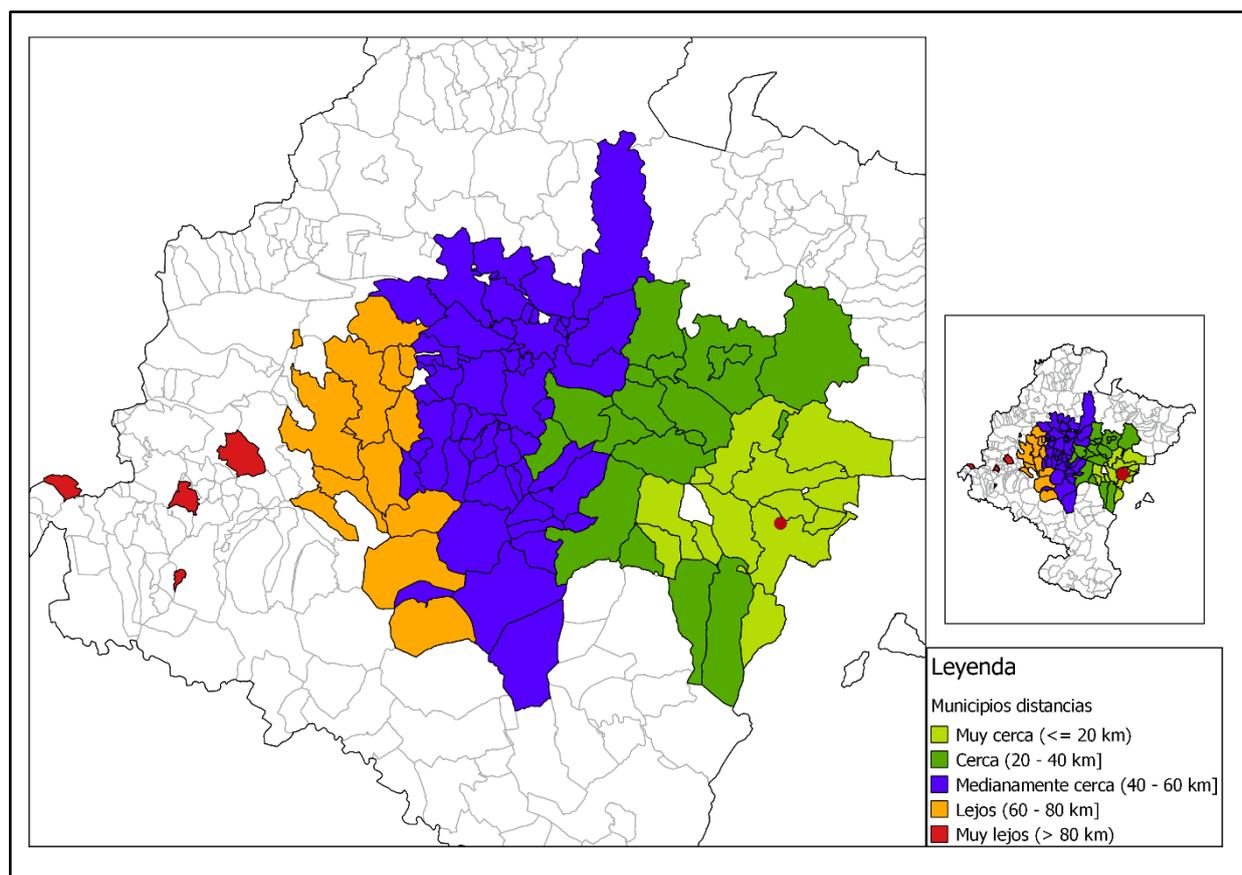


Figura 27. Distancia media por municipios. El punto rojo ubica la PBS.

4. CONCLUSIONES

- El análisis de las características físicas de las 19.223 subparcelas utilizadas en Navarra para el abastecimiento de materia prima a la PBS revela diferencias significativas entre ellas, y estas diferencias permiten discriminar entre la mayor idoneidad de las mismas para abastecer de materia prima a la planta de producción.
- La caracterización de cada una de las subparcelas suministradoras y su posterior clasificación realizadas en el presente estudio puede servir de base para conocer qué explotaciones implican mayores o menores costes logísticos, con base en datos objetivos de carácter físico, como son la pendiente media, la superficie, la distancia viaria a la planta y la regularidad perimetral.
- Este estudio es una herramienta útil para la eventual toma de decisiones referidas a la elección de las parcelas concretas de las que se abastece.
- Más de una cuarta parte de las parcelas existentes (28,3%) no superan los 3,5 puntos en la calificación final que indica la idoneidad de cada subparcela (sobre 10 puntos del caso ideal).
- Las parcelas que abastecen de materia prima a la Planta de Biomasa de Sangüesa se encuentran a una distancia viaria media de 39,3 km, tienen una superficie media de 2 ha, una pendiente media del 12,3% y una regularidad perimetral del 45,5%.
- Existe una gran variabilidad en los registros correspondientes a los cuatro parámetros analizados. Así, la distancia a planta oscila entre 0,4 km y 97,2 km; la superficie, entre 0,005 ha y 162,85 ha; la pendiente media, entre 0,01% y 64% y, finalmente, la regularidad perimetral, entre 1,59% y 93,81%.
- Si bien el estudio individualizado de cada subparcela resulta coherente desde un punto de vista metodológico, éste debe combinarse con fórmulas que permitan agrupar las parcelas por proximidad entre ellas (aquí se ha hecho a nivel municipal). De esta forma se obtendrán resultados más útiles desde un punto de vista práctico, que permitan considerar actuaciones sobre zonas más amplias que las correspondientes al nivel de subparcela o parcela.
- Las herramientas SIG han demostrado ser idóneas para el análisis de grandes volúmenes de datos como el realizado en este trabajo, combinando de forma eficiente los datos cartográficos con los valores numéricos asociados a cada unidad territorial considerada (subparcelas, parcelas y municipios).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acciona Energía. (2015). Planta de biomasa de sangüesa. Obtenido de: [http://www.acciona-energia.es/areas_actividad/biomasa/instalaciones/plantasanguesa/planta-de-biomasa-de-sangüesa-\(25-mw\).aspx](http://www.acciona-energia.es/areas_actividad/biomasa/instalaciones/plantasanguesa/planta-de-biomasa-de-sangüesa-(25-mw).aspx).
- Álvarez, A. (2004). Estudio sobre la utilización de la biomasa con fines energéticos: Análisis metodológico sobre abastecimiento y costes. *Consejería De Medio Ambiente De La Junta De Castilla y León, Valladolid*.
- Arana, I., Mangado, J., Arnal, P., Arazuri, S., Alfaro, R., & Jarén, C. (2010). Evaluación de los riesgos de accidente mortal en agricultura. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3), 592-598.
- Barredo Cano, J. I. (1996). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. *Madrid: RA-MA Editorial*.
- Bermejo, R. G., & de Mandojana, JL Bengoa Martínez. (2005). Estudio de disponibilidad de biomasa en seis zonas de castilla y león. *Congresos-CARGA FINAL*.
- Bravo, J. D., Esteban, L. S., Sánchez, D., Ciria, P., & Lasry, P. (2003). Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España). *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (3), 14.
- CNMC, Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2014). Informe sobre la propuesta de orden por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos y se establece la metodología de actualización de la retribución a la operación. Obtenido de: <http://www.cnmc.es/es-es/energ%C3%ADa/informes.aspx>.
- de la Paz Blanco, Carlos. (2012). Metodologías para la localización óptima de centrales de biomasa y minihidráulica como recursos energéticos renovables en la comarca de el Bierzo. *Universidad Complutense de Madrid*.
- Domenech, I. E. (2012). Balance energético y económico para el aprovechamiento de biomasa forestal en el término municipal de Enguera. *Universidad Politécnica de Valencia*.

Dominguez, J., & Marcos, M. J. (2000). Análisis de la producción potencial de energía con biomasa en la región de Andalucía (España) utilizando sistemas de información geográfica. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

Equipo SEXTANTE. (2008). *Manual práctico de SEXTANTE en gvSIG*. Obtenido de: www.sextantegis.com.

España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2007). Real decreto 661/2007 por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, 22846. Obtenido de: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-10556>.

España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2014a). Orden IET/1045/2014, de 16 de junio, por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, 46430. Obtenido de: <http://www.boe.es/boe/dias/2014/06/20/pdfs/BOE-A-2014-6495.pdf>.

España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2014b). Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. 43876. Obtenido de: http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123.

España. Red Eléctrica. (2011). El sistema eléctrico español en 2010. Obtenido de: <http://www.ree.es/es/publicaciones/2013/07/informe-del-sistema-electrico-espanol-2010>.

España. Red Eléctrica. (2012). El sistema eléctrico español en 2011. Obtenido de: <http://www.ree.es/es/publicaciones/2013/07/informe-del-sistema-electrico-espanol-2011>.

España. Red Eléctrica. (2013). El sistema eléctrico español en 2012. Obtenido de: http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/inf_sis_elec_ree_2012_elsectorelectrico00_v2.pdf.

España. Red Eléctrica. (2014). El sistema eléctrico español en 2013. Obtenido de: <http://www.ree.es/es/publicaciones/sistema-electrico-espanol/informe-anual/informe-del-sistema-electrico-espanol-2013>.

- España. Red Eléctrica. (2015). Avance del informe el sistema eléctrico español en 2014.
Obtenido de: <http://www.ree.es/es/publicaciones/sistema-electrico-espanol/informe-anual/avance-del-informe-del-sistema-electrico-espanol-2014>Red.
- García-Martín, A., Galindo, D. G., Pascual, J., De la Riva, J., Pérez-Cabello, F., & Montorio, R. (2011). Determinación de zonas adecuadas para la extracción de biomasa residual forestal en la provincia de Teruel mediante SIG y teledetección. *Revista Internacional De Ciencia y Tecnología De La Información Geográfica*, (11), 19-50.
- Hogan, M., Otterstedt, J., Morin, R., & Wilde, J. (2010). Biomass for heat and power. Opportunity and economics. *J. Wilde.*—Brussels: *European Climate Foundation*, 2010.—72 p.
- IDAE. (2007). Energía de la biomasa., 33. Obtenido de:
http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Biomasa.pdf.
- IDENA. (2015). Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra. Obtenido de:
<http://idena.navarra.es/busquedas/catalog/descargas/descargas.page>
- IRENA, International Renewable Energy Agency. (2012). Renewable energy technologies: cost analysis series, biomass for power generation. Obtenido de:
https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analyses-BIOMASS.pdf.
- Junta de Extremadura. (2010). Consejería de Educación. Ficha de prevención: máquinas de recolección. Obtenido de:
http://profex.educarex.es/profex/Ficheros/RiesgosLaborales/FORMACION/Carpeta_7/MAQ_RECOL.PDF.
- Navarra. (2009). Riesgos en la cosechadora de cereales ficha nº 27. Obtenido de:
<http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/14A8C868-B9FA-491D-A39E-BFC776DC6877/0/27.PDF>.
- Navarra. (2014). Informe de estado del medio ambiente. Obtenido de:
http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/271FCCC8-3FD8-4317-8E77-3D0E3CFD679B/0/situacion_fisica.pdf.

- Ocaña, C. & Galacho, F. (2002). Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio, al análisis de la capacidad del territorio en relación a funciones turísticas. *Departamento De Geografía. Universidad De Málaga*.
- Perpiñá Castillo, C. (2012). Metodologías para la ubicación de plantas de biomasa mediante modelos de localización basados en programación lineal y evaluación multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Rodríguez, J. L. G., & Suárez, M. C. G. (2010). Comparison of mathematical algorithms for determining the slope angle in GIS environment.
- Tena, E. C. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos De ICE, (83)*, 117-140.
- Vega, J. A., & Ruiz, M. P. (2013). Agricultura de precisión: Hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. *Ambienta: La Revista Del Ministerio De Medio Ambiente, (105)*, 16-27.
- Viana, H., Cohen, W. B., Lopes, D., & Aranha, J. (2010). Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in portugal. *Applied Energy, 87(8)*, 2551-2560.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D., & Koukios, E. (2001). Assessment of biomass potential for power production: A GIS based method. *Biomass and Bioenergy, 20(2)*, 101-112.

6. ANEXOS

ANEXO 1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE BIOMASA DE SANGÜESA

Según informa la página web de Acciona Energía, estas son las características principales de la planta

Ubicación

La planta se ubica en el polígono industrial Rocaforte de la localidad de Sangüesa (Navarra), sobre un solar de 105.000 metros cuadrados.



Planta de Biomasa de Sangüesa (Navarra). Página web Acciona Energía.

Está localizada junto a un canal de riego que utiliza para sus procesos de refrigeración y una subestación eléctrica, lo que permite una línea de conexión eléctrica de longitud reducida, que va enterrada.

Características de la planta

Es una instalación de 25 MW de potencia instalada que utiliza como combustible paja de cereal para producir electricidad.

La planta produce unos 200 GWh de electricidad anual, equivalentes al consumo de más de 60.000 hogares.

Utiliza para la combustión, alrededor de 160.000 toneladas de paja de residuo herbáceo, en su mayoría paja de cereal y evita la emisión a la atmósfera de unas 192.000 toneladas de CO₂ en centrales de carbón.

Funcionamiento

A continuación se describe el proceso que permite obtener electricidad a partir de quemar paja:

La paja es transportada hasta la planta en pacas, que se depositan en un almacén. Estas pacas se conducen hasta la caldera mediante una cinta transportadora.

Un sistema de corte desmenuza la paja antes de caer a un extremo de la parrilla, ubicada en la caldera, donde es quemada.

La combustión calienta el agua que circula por las paredes de la caldera, hasta convertirla en vapor.

A partir de este momento se produce un triple proceso concatenado:

El vapor, tras pasar por un sobrecalentado, mueve una turbina que, conectada a un generador, propicia la producción de electricidad.

El vapor de agua que ha pasado por la turbina, ya a menor presión y temperatura, se lleva hasta un condensador, refrigerado por el agua tomada de un canal que recorre el polígono industrial. Merced a ese descenso térmico, el vapor se convierte de nuevo en agua, y este líquido se trasladará en circuito cerrado hasta las paredes de la caldera iniciándose de nuevo el proceso.

La combustión de la paja produce inquemados, que se depositan en el fondo de la caldera, y cenizas, resultado de filtrar y depurar los gases que finalmente se emiten por la chimenea de la planta. Los residuos son aprovechados para la producción de fertilizantes.

La planta dispone de un dispositivo de control de emisiones que proporciona todos los datos en tiempo real a los responsables de su operación y a las autoridades ambientales. Se conocen asimismo las inmisiones generales en los alrededores. Estas emisiones son inferiores a los límites marcados por las normativas europea y española aplicables a este tipo de instalaciones.

ANEXO 2. ESCALAS DE VALORACIÓN Y PUNTUACIÓN DE LOS FACTORES

Escalas de Valoración		
Superficie	Muy Pequeña (< = 0,5 ha)	0
	Pequeña (0,5-1ha]	1
	Medianamente pequeña (1-1,5ha]	4
	Mediana (1,5-4 ha]	6,5
	Grande (4-15 ha]	9
	Muy Grande (>15ha)	10
Pendiente	Llano (0-1%]	10
	Suave (1-3%]	9
	Moderada (3-6%]	7
	Fuerte (6-12%]	3
	Muy Fuerte (12-18%]	1
	Escarpadas (>18%)	0
Dsitancia	Muy cerca (0-20 km]	10
	Cerca (20-40 km]	9
	Medianamente cerca (40-60 km]	7,5
	Media (60-80 km]	6,5
	Lejos (>80 km)	2,5
Puntuacion	Mala	(0-3,5]
	Regular	(3,5-5]
	Buena	(5-7.5]
	Muy Buena	(>7,5)

ANEXO 3. UBICACIÓN SUBPARCELAS

A continuación se presentan los municipios navarros en los que se ubican las subparcelas analizadas en este trabajo y su código municipal.

MUNICIPIO	CMUNICIPIO	MUNICIPIO	CMUNICIPIO
Aberin	5	Larraga	142
Adiós	7	Legarda	147
Aibar	9	Leoz	150
Añorbe	18	Lerga	151
Aoiz	19	Liédena	155
Aranguren	23	Lizoain	156
Artajona	38	Lónguida	158
Artazu	39	Lumbier	159
Barañain	901	Mañeru	161
Barasoain	45	Mendigorría	167
Belascoain	52	Metauten	168
Berbinzana	53	Miranda de Arga	171
Beriain	905	Monreal	172
Berrioplano	902	Muruzabal	180
Berriozar	903	Obanos	183
Biurrun-Olcoz	56	Olite	191
Burlada	60	Olo	194
Cáseda	69	Oloriz	192
Cirauqui	74	Olza	193
Ciriza	75	Orcoyen	906
Cizur	76	Orísoain	197
Echarri	83	Pamplona	201
Echauri	85	Piedramillera	204
Egüés	86	Puente La Reina	206
Elorz	88	Pueyo	207
Eneriz	89	Romanzado	209
Eslava	94	Sada	212
Esteribar	98	Salinas de Oro	214
Ezcabarte	101	Sangüesa	216
Ezprogui	103	Tafalla	227
Facería 44	544	Tiebas-Muruarte de Reta	228
Facería 50	550	Tirapu	229
Galar	109	Ucar	234
Gallipienzo	110	Unciti	237
Garínoain	114	Unzué	238
Genevilla	116	Urraúl Alto	241
Goñi	118	Urraúl Bajo	242
Guesalaz	120	Urroz	243
Guirguillano	121	Uterga	246
Huarte	122	Villatuerta	257
Ibargoiti	124	Villava	258
Iza	131	Yerri	260
Izagaondoa	132	Yesa	261
Javier	135	Zabalza	262
Juslapeña	136	Zizur Mayor	907

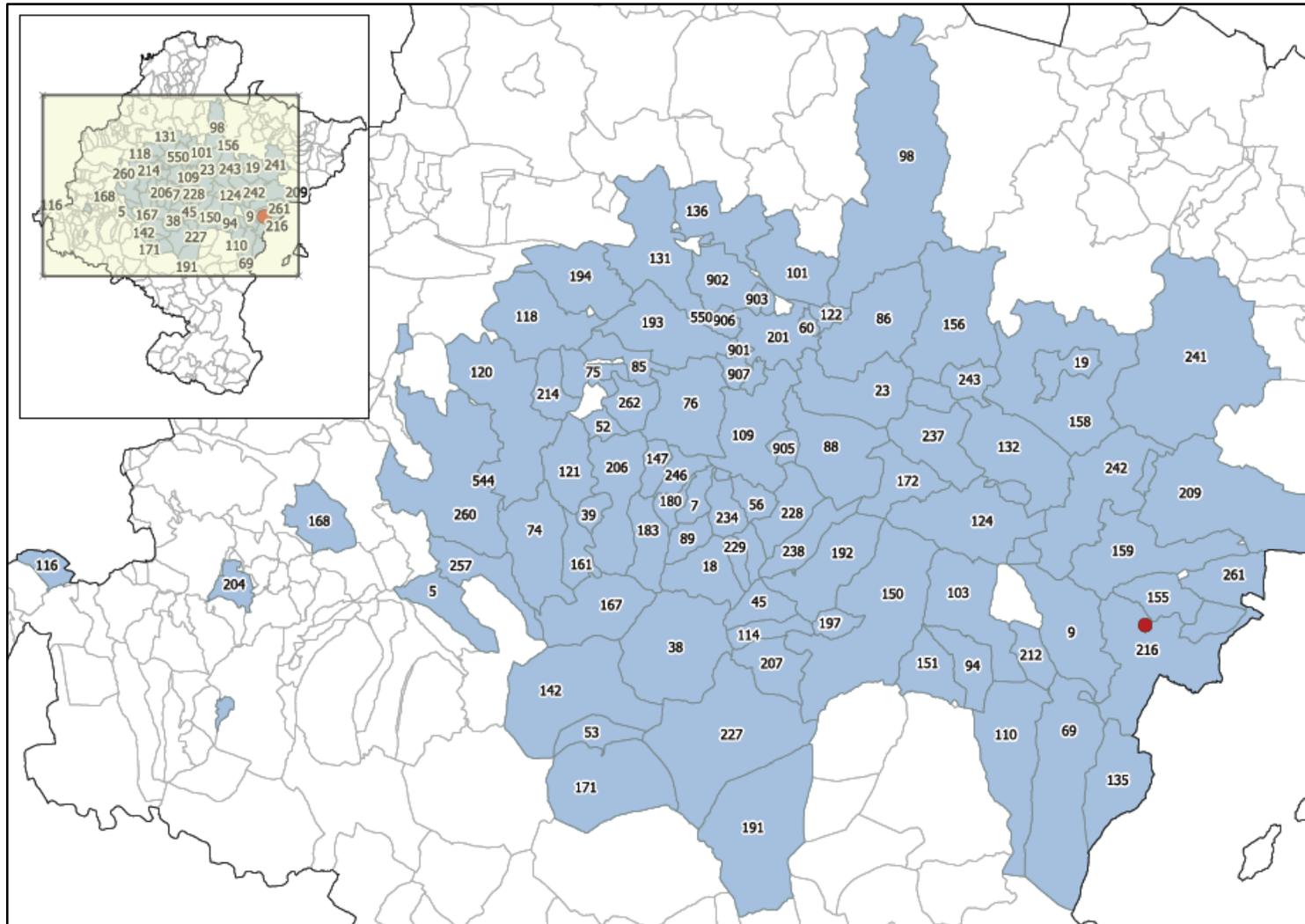


Figura 28. Municipios en los que se encuentran las subparcelas (el nº corresponde al código de municipio). En rojo ubicación de la PBS.

ANEXO 4. VALOR MEDIO DE PENDIENTE, SUPERFICIE Y DISTANCIA A PLANTA POR MUNICIPIOS

Municipio	Nº subparcelas	Pendiente (%)	Superficie (ha)	Distancia a planta (km)
Aberin	1	29,51	2,14	73,00
Adiós	134	8,82	2,01	49,26
Aibar	229	8,09	3,55	9,29
Añorbe	210	17,07	3,77	50,82
Aoiz	17	9,41	1,55	29,68
Aranguren	64	8,92	4,51	43,84
Artajona	1822	12,02	4,89	54,80
Artazu	135	15,08	1,74	56,85
Barañain	3	12,19	1,22	48,00
Barasoain	311	8,53	3,64	54,53
Belascoain	7	30,97	0,82	59,24
Berbinzana	23	5,14	2,03	58,78
Beriain	24	9,19	2,39	41,61
Berrioplano	37	4,84	0,86	54,29
Berriozar	35	5,33	0,29	51,60
Biurrun-Olcoz	29	15,68	1,72	42,94
Burlada	4	4,76	0,60	49,23
Cáseda	2385	6,78	1,39	24,21
Cirauqui	224	13,85	1,34	62,41
Ciriza	33	8,92	4,50	57,79
Cizur	65	13,89	4,19	50,84
Echarri	8	5,34	3,27	58,88
Echauri	16	2,13	2,98	55,15
Egüés	821	12,31	3,05	43,56
Elorz	56	10,79	5,36	33,11
Eneriz	29	10,31	1,07	53,59
Eslava	26	9,53	0,69	19,84
Esteribar	536	21,57	0,51	48,58
Ezcabarte	100	13,28	1,05	54,23
Ezprogui	94	10,02	2,23	16,59
Facería 44	11	17,65	9,75	69,82
Facería 50	1	8,39	0,09	49,20
Galar	293	13,75	2,75	43,54
Gallipienzo	614	9,34	1,32	20,50
Garínoain	235	8,33	3,50	50,93

Genevilla	1	2,60	0,39	97,20
Goñi	134	13,65	2,79	73,83
Guesalaz	821	18,77	1,77	69,54
Guirguillano	46	19,89	10,20	62,92
Huarte	92	8,97	0,52	45,02
Ibargoiti	401	19,44	5,39	21,53
Iza	76	9,42	5,08	59,85
Izagaondua	143	21,47	9,38	25,50
Javier	59	12,60	8,45	12,06
Juslapeña	40	15,16	1,77	58,89
Larraga	94	9,56	15,04	61,14
Legarda	13	11,83	1,74	54,12
Leoz	820	14,80	6,74	39,40
Lerga	81	11,75	1,85	25,45
Liédena	363	13,41	2,16	4,72
Lizoain	153	12,90	4,05	38,57
Lónguida	582	16,00	5,69	25,93
Lumbier	604	12,58	2,40	10,54
Mañeru	324	11,86	1,65	59,76
Mendigorría	294	9,02	3,42	60,65
Metauten	1	3,92	4,86	83,90
Miranda de Arga	3	15,95	17,12	60,83
Monreal	336	22,12	1,65	25,10
Muruzabal	65	6,00	2,12	50,81
Obanos	257	10,80	2,24	53,96
Olite	9	6,64	2,43	44,59
Olo	15	21,52	4,63	58,31
Oloriz	406	10,60	3,62	46,07
Olza	194	8,38	2,66	49,86
Orcoyen	81	6,14	1,82	56,46
Orísoain	266	13,69	2,15	42,20
Pamplona	171	10,39	0,68	45,37
Piedramillera	1	7,28	1,85	97,20
Puente La Reina	158	12,08	1,94	56,09
Pueyo	960	10,61	1,25	47,86
Romanzado	146	9,23	3,53	18,79
Sada	31	9,18	3,02	13,61
Salinas de Oro	1	9,55	0,39	73,20
Sangüesa	307	9,30	5,80	6,85
Tafalla	471	10,19	4,31	46,85
Tiebas-Muruarte de Reta	16	7,37	2,10	40,00

Tirapu	14	9,35	1,36	47,63
Ucar	69	15,76	1,24	47,81
Unciti	85	17,08	3,03	33,68
Unzué	312	14,48	3,19	45,06
Urraúl Alto	96	17,58	15,30	26,52
Urraúl Bajo	808	13,70	6,54	17,09
Urroz	10	14,91	3,78	33,68
Uterga	8	9,38	2,38	52,00
Villatuerta	1	8,84	5,24	68,00
Villava	3	13,80	0,40	49,90
Yerri	128	13,76	2,70	69,54
Yesa	2	9,86	0,32	7,95
Zabalza	13	14,17	7,33	52,71
Zizur Mayor	6	12,14	2,52	45,78