

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL FORESTAL MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG EN MASAS PURAS DE *PINUS HALEPENSIS* Y *P. SYLVESTRIS*

A. García Martín¹, F. Pérez Cabello¹, J. de la Riva Fernández¹, J. Pascual Puigdevall², E. Alonso Herranz²
Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Zaragoza, C/Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza. E-mail: algarcia@unizar.es
CIRCE, Centro Politécnico Superior (Universidad de Zaragoza), C/ María de luna 3, 50.018 Zaragoza. E-mail: jpascual@unizar.es

Resumen

Diversos estudios han puesto de manifiesto la existencia de correlación estadística entre los registros de las imágenes de satélite –bandas originales y/o transformaciones de éstas– y la biomasa residual forestal. La aplicación de la teledetección para cuantificar esta biomasa presenta importantes ventajas con respecto a los inventarios tradicionales: mayor periodicidad, obtención de información espacial detallada en formato digital, menor coste, etc.; no obstante, esta metodología no está exenta de dificultades, sobre todo en bosques mediterráneos. El objetivo del presente trabajo es la determinación de las relaciones existentes entre la biomasa residual forestal de dos especies arbóreas –*Pinus sylvestris* y *P. halepensis*– y los datos de imágenes Landsat TM para la provincia de Teruel. La biomasa residual forestal se calcula, para las parcelas del IFN-2 que presentan una masa pura de alguna de las especies de pino citadas, mediante la introducción en la aplicación BASIFOR de las regresiones obtenidas a partir del muestreo de 89 pies. Tras la aplicación de los pretratamientos pertinentes a una imagen sincrónica a las labores de campo del IFN-2, se ensayan diferentes análisis estadísticos con SPSS para la obtención de regresiones estimativas entre los datos de campo referidos a las parcelas del IFN-2 y los procedentes de satélite.

Palabras Clave: restos de cortas, Landsat TM, IFN-2, modelos estadísticos, Teruel.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento energético de la biomasa residual forestal presenta múltiples beneficios: por un lado, su eliminación de los bosques evita los impactos medioambientales negativos que sobre éstos genera (incendios, plagas...); por otro, su utilización como fuente de energía renovable contribuye a alcanzar los compromisos internacionales adquiridos en materia de emisiones contaminantes, lucha contra el cambio climático y promoción del desarrollo sostenible (Cumbre de Río, Protocolo de Kyoto...). Tanto el comunicado de la Comisión Europea titulado *Energía para el Futuro: Fuentes de Energía Renovables. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios* (COMISIÓN..., 1997) como el *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España* (IDAE, 1999) contemplan el aprovechamiento de los residuos forestales como una de las principales fuentes de biomasa que contribuyan a cumplir los objetivos en producción de energía renovable. Así, el *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España* (IDAE, 1999) prevé que la contribución de la biomasa a la producción de energía en 2010 sea casi tres veces superior a la que presentaba en 1998 (10.295 ktep en 2010 frente a los 3.645 ktep en 1998). En el caso de los residuos forestales se estima que, en el período 1999-2010, y atendiendo a las particularidades de las masas forestales españolas, se podrán promover actuaciones que anualmente incidan sobre 150.000 ha, generando unos recursos energéticos que totalizarían 450.000 tep/año en 2010. Sin embargo, el despegue de la actividad industrial en este campo no está cumpliendo las expectativas y su progresión es más lenta que la de otras fuentes de energías renovables como la eólica (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2003).

Además de las enormes ventajas ambientales que presenta la utilización o reciclado de estos recursos, el aprovechamiento energético de los residuos forestales puede contribuir a la elevación de las rentas agrarias y a una diversificación de las actividades económicas del medio rural. Todo ello porque permite valorizar económicamente un subproducto que muchas veces no presenta valor de mercado alguno y contribuye a generar importantes cantidades de empleo que ayudan a fijar la población rural y a incrementar la muchas veces maltrecha renta agraria. El empleo generado por el uso energético de la biomasa se estima en 200 hombre-año/TWh generado (aproximadamente 425 hombre-año por cada millón de metros cúbicos aprovechados). La mayor parte de estos empleos están asociados a las labores forestales; si se tienen en cuenta los empleos indirectos que se podrían crear, dicha cifra asciende a 450 hombre-año/TWh generado (HAKKILA *et al.*, 1997). Este aspecto socioeconómico es de gran relevancia para territorios rurales desfavorecidos como son los de la provincia Teruel.

Una de las principales barreras que existen para la utilización de este recurso es el desconocimiento de la capacidad real de producción de biomasa de una masa forestal. Este es un punto fundamental, ya que impide conocer la oferta constante de biomasa que asegure la producción en las centrales termoeléctricas que la pudieran utilizar (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2003). La inexistencia de una metodología específica que permita evaluar de forma suficientemente precisa la cantidad de residuos forestales producidos por las actividades selvícolas impide el aprovechamiento energético de estos productos.

Para la estimación de la biomasa forestal, la información capturada desde satélites artificiales, de carácter completo y continuo para un territorio, permite superar las limitaciones que impone el muestreo puntual de los inventarios, que –de otra forma– obliga a extrapolaciones con frecuencia poco consistentes. Por ello, la teledetección se erige como herramienta de análisis válida, aunque complementaria al trabajo de campo (HOWARD, 1991), pero en ningún caso exenta de dificultades y, desde luego, aún poco contrastada para medios mediterráneos. La extracción de información biofísica constituye una de las líneas más fructíferas en el ámbito de las aplicaciones forestales de la teledetección espacial (GOETZ, 2002), siendo muy numerosos los trabajos orientados a la estimación de LAI y biomasa, principalmente con imágenes Landsat (CURRAN *et al.*, 1992; LARSSON 1993; JAKUBAUSKAS, 1996; FAZAKAS *et al.* 1999; NOUVELLON *et al.*, 2001; MICKLER *et al.* 2002; FODDY *et al.* 2003; PHUA & SAITO, 2003). No obstante, los ámbitos de aplicación han sido, mayoritariamente, bosques boreales densos, homogéneos y de topografía poco compleja; las experiencias en nuestros medios mediterráneos –como señalan SALVADOR y PONS (1997)– son todavía insuficientes.

En este trabajo se pretende desarrollar una metodología eficaz y de aplicación a cualquier territorio que permita estimar esta biomasa residual de *Pinus sylvestris* y *P. halepensis* mediante ajustes de regresión logística entre los valores obtenidos mediante ecuaciones locales estimativas de la biomasa residual forestal (ALONSO *et al.*, 2005) y los registros de las imágenes de satélite Landsat 5 TM, variables topográficas y algunas forestales referidas a los tipos climáticos estructurales. Este procedimiento permitirá inventariar los montes respecto a una variable hasta ahora no utilizada, los residuos energéticamente aprovechables que se obtendrían si se realizan los tratamientos selvícolas adecuados.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la provincia de Teruel (Figura 1), que tiene una superficie catalogada como terreno forestal del 27% (DGA, 2004). Este porcentaje pone de manifiesto la importancia de la cubierta forestal de esta provincia. Sin embargo, su distribución no es uniforme: la Tierra Baja, al norte, es una llanura esteparia en la que escasea la cubierta forestal, siendo los matorrales ralos la formación vegetal predominante; el resto, la mayor parte del territorio, está caracterizado por la presencia de sierras ibéricas, parameras y depresiones situadas a gran altitud sobre el nivel del mar. Es en estas zonas, sobre todo en las serranías, donde se concentra la riqueza forestal de la provincia (MMA, 1996). La elección de *Pinus sylvestris* y *P. halepensis* como especies a estudiar es debido a que estas dos son las que ocupan una mayor superficie (de acuerdo al IFN2 el *Pinus sylvestris* aparece como dominante en 81.447 ha mientras que el *P. halepensis* lo hace en 77.169 ha).

METODOLOGÍA

La metodología que se aplica en este trabajo se sitúa en el contexto de las nuevas tecnologías de la información geográfica (Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, SIG) como fuentes de información y herramientas para la gestión forestal. La escala de trabajo elegida es 1:50.000, adecuada para el trabajo con imágenes Landsat. Los programas informáticos utilizados son: Erdas Imagine 8.7 para el tratamiento digital de la imagen de satélite, ArcGis-ArcInfo 8.3 para el tratamiento de la información auxiliar y la edición de la cartografía y SPSS 12.0 para el tratamiento estadístico.

Materiales y datos utilizados

Imagen de satélite

Para la realización de este trabajo fue utilizada una imagen de satélite Landsat TM5 adquirida el 28 de julio de 1993, sincrónica de los trabajos de campo del IFN-2. Sobre ésta se aplicaron pretratamientos de corrección geométrica y radiométrica al objeto de eliminar cualquier cambio en los niveles digitales (ND) que no esté relacionado con cambios reales (CHUVIECO, 2002). Ésta es una tarea larga, compleja y crítica para la bondad de los resultados. Para la corrección geométrica se utilizó un mosaico con ortoimágenes de resolución espacial de un metro, obteniéndose un error inferior al píxel (30 m). El método de corrección radiométrica aplicado fue el *C-Correction* (RIANO *et al.*, 2003; VINCINI & FRAZZI, 2003) para lo cual fue necesario utilizar un modelo digital de elevaciones (MDE) generado a partir de las hojas de la Base Cartográfica Nacional (BCN) 1:25.000. Por último, se delimitó el área de estudio.

El resultado fue una imagen con seis bandas en la que la información está expresada en valores de reflectividad (tantos por cien): TM1 (azul visible, 0,45-1,52 μm), TM2 (verde visible, 0,52-0,60 μm), TM3 (rojo visible, 0,63-0,69 μm), TM4 (infrarrojo próximo, 0,76-0,90 μm), TM5 (infrarrojo medio, 1,55-1,75 μm) y TM7 (infrarrojo medio, 2,08-2,35 μm). Sobre ella se aplican una serie de transformaciones dirigidas a la obtención de neocanales que aumenten la capacidad explicativa de la información espectral: Análisis de Componentes Principales, Transformación *Tasseled-Cap* y diversos índices, como *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Optimize Soil Adjusted Vegetation Index* (OSAVI), *Generalize Soil Adjusted Vegetation Index* (GESAVI), *Green Index* (GI) y *Moisture Stress Index* (MSI).

Variables topográficas

Mediante herramientas SIG, se derivaron del MDE las siguientes coberturas topográficas (Figura 2): altura, pendiente en grados, orientación, iluminación potencial anual, iluminación potencial en los equinoccios de primavera y otoño, iluminación potencial en los solsticios de invierno y verano y curvatura de la superficie.

Variables forestales

Para conocer la participación de la fisionomía de las masas forestales en la estimación de la biomasa residual forestal se introdujo la cartografía sobre el *nivel evolutivo* y el *tipo bioclimático* a partir del Mapa Forestal de Aragón 1:50.000 en formato digital.

Datos de biomasa residual

Los datos de biomasa residual forestal (kg/ha) de *Pinus sylvestris* y *P. halepensis* fueron calculados para las parcelas del Segundo Inventario forestal Nacional (IFN-2) de la provincia de Teruel. Se seleccionaron las parcelas en las que todos los pies eran de una de estas especies mediante la introducción, en la aplicación BASIFOR, de las regresiones aportadas en la comunicación presentada a este congreso "Biomasa residual forestal: regresiones para las especies del genero *pinus* existentes en la provincia de Teruel" (ALONSO *et al.*, 2005) (Tabla 1), utilizando como base de datos el archivo del IFN2, *Piesma44.dbf*.

Una vez obtenida la información de biomasa residual para cada una de las parcelas de las dos especies de coníferas seleccionadas, ésta se añadió a una tabla junto a todas las variables recogidas en el IFN-2, incluyéndose la localización en coordenadas UTM de cada parcela. Para asegurar la pureza de la parcela respecto a su composición, se eliminaron todas aquellas que tuvieran más de una especie representativa. Con esta información se generó una cartografía de tipo puntual que fue empleada para extraer las variables radiométricas, topográficas y forestales utilizadas en el modelo de regresión logística (Figura 3).

Método de estimación: el modelo de regresión logística

Las distintas variables radiométricas, topográficas y forestales derivadas de la imagen Landsat 5 TM, del MDE y del Mapa Forestal de Aragón, respectivamente, fueron integradas en un sólo archivo multibanda garantizándose la misma georreferenciación de todas las capas. Sobre este multibanda se superpuso la cartografía puntual de biomasa residual forestal y se extrajo la información. Se obtiene así un archivo de datos para cada especie en el cual aparece información sobre la biomasa residual forestal de cada parcela, que fue utilizada como variable dependiente en el modelo de regresión logística y el resto de variables creadas, que fueron consideradas como independientes.

Se obtuvieron un total de 135 puntos para *Pinus sylvestris* y 208 para *P. halepensis*. Éstos fueron superpuestos al mosaico de ortoimágenes de resolución espacial de un metro para asegurar que su localización fuera sobre un bosque denso y se estudió si su signatura espectral coincidía con la típica de los bosques de coníferas. Los puntos que no cumplieron estos dos requisitos fueron eliminados, quedando finalmente 120 y 136 puntos para *Pinus sylvestris* y *P. halepensis*, respectivamente.

La regresión logística es un tipo especial de regresión que se utiliza para predecir y explicar una variable dependiente categórica binaria (dos grupos, 0/1) en lugar de una variable dependiente métrica, permitiendo la entrada de variables independientes explicativas continuas y/o categóricas, sin que tengan que cumplir el supuesto de normalidad. El valor teórico de la regresión logística representa una única relación multivariante con coeficientes como los de la regresión lineal múltiple, que indican la influencia relativa de las variables predictoras (HAIR *et al.*, 1999). La regresión logística se expresa mediante la siguiente función:

$$Y = \text{logit}(p) = \ln(p/(1-p)) \\ = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Donde p es la probabilidad de que la variable dependiente Y sea 1, $p/(1-p)$ es la ratio de probabilidad, C_0 es la constante y C_1, C_2, \dots, C_n son coeficientes, que miden la contribución de las variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_n) a la variación en Y .

Utilizando este tipo de regresión, la precisión puede ser evaluada cuantitativamente en términos de porcentaje de varianza explicada, lo que permite una mejor comprensión de la magnitud y el sentido interpretativos de cada variable.

En el presente trabajo se aplicó la regresión logística por “pasos hacia delante” (*Forward stepwise approach*), más exigente que la de “pasos hacia atrás”, incluyéndose –una a una– las variables que presentaban significación estadística ($P\text{-Value} < 0,05$). Ello exigió la categorización de la variable dependiente biomasa residual forestal (kg/ha). Para ello se procedió de la manera habitual: división de la muestra en tres grupos iguales, asignándole al grupo más bajo el valor 0 y al grupo más alto el valor 1. Así, cuanto más alto sea el valor del píxel de la cartografía obtenida tras aplicar la función, mayor será la cantidad de biomasa residual de ese punto. Para validar los modelos finalmente obtenidos se replicó el proceso de obtención del modelo hasta 10 veces, utilizando en cada una de ellas un 70 % de las parcelas al azar. La estabilidad en las variables seleccionadas, en sus coeficientes y en el porcentaje de aciertos de la tabla de clasificación, indican la robustez del modelo.

RESULTADOS

Tanto para el *Pinus sylvestris* como para *P. halepensis* los modelos obtenidos son significativos al nivel de $p < 0,05$. El test de *Hosmer-Lemeshow* indica que ambos modelos ajustan adecuadamente los datos utilizados ($p=0,719$ para *Pinus sylvestris* y $p=0,659$ para *P. halepensis*). Los porcentajes de acierto en la tabla de clasificación proporcionada por SPSS son del 73,5 % y 70 %, respectivamente.

Las variables seleccionadas para la construcción de ambos modelos son diferentes (Tabla 2). En el caso del *Pinus sylvestris* las variables explicativas son la banda TM 7 y la insolación potencial en verano. El comportamiento reflectivo de la banda TM 7 (que registra en la región del infrarrojo medio del espectro electromagnético) está relacionado con el contenido de humedad de la superficie estudiada: cuanto menor es la humedad de la superficie captada por el sensor, mayor es la reflectividad en la banda TM 7. En cubiertas forestales, esta banda presenta reflectividades bajas, ya que las masas forestales tienen un alto contenido en humedad. Así, el signo negativo del coeficiente β muestra que a contenidos más altos de humedad (menor reflectividad en TM 7) más biomasa residual. El coeficiente β obtenido para la variable insolación potencial en verano (0,986) indica que a mayor insolación recibida, mayor cantidad de biomasa residual producida.

La banda TM 5 y la pendiente son las variables explicativas seleccionadas por el modelo en el caso del *Pinus halepensis*. La banda TM 5 registra energía electromagnética en la misma región del espectro que TM 7, aunque en una longitud de onda algo menor, por lo que la explicación de su comportamiento es la misma que en el caso del *Pinus sylvestris*, ya que el coeficiente B obtenido también es negativo. La variable pendiente también tiene un coeficiente negativo, lo que se traduce en un descenso en la biomasa residual de este pino a medida que se incrementa la pendiente del terreno sobre el cual está situado.

La utilización de cada uno de estos modelos en una aplicación SIG permite la espacialización de la biomasa residual de cada especie (Figuras 4 y 5). Las zonas con mayor cantidad de biomasa residual aparecen en tonos claros y las de menos en oscuros.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha contrastado el potencial de las imágenes de satélite Landsat TM y de cartografía de variables topográficas y forestales para desarrollar una metodología de carácter continuo y completo para un territorio que permita evaluar la cantidad de residuos forestales generados por dos especies de coníferas –*Pinus sylvestris* y *P. halepensis*–, superándose así las limitaciones que presentan los muestreos puntuales de los inventarios.

El método estadístico utilizado, la regresión logística, se ha mostrado como una técnica adecuada para detectar las zonas donde existe una alta probabilidad de encontrar mayor cantidad de biomasa residual a partir de la utilización de variables fáciles de obtener mediante la utilización de técnicas de teledetección y SIG: la banda TM 7 y la insolación potencial en verano para el caso del *Pinus sylvestris* y la banda TM 5 y la pendiente para el *P. halepensis*.

La aplicación de los modelos, utilizando las funciones implementadas en un SIG, permite la obtención de cartografía de la variable biomasa residual, facilitando la localización y delimitación precisa de las zonas más ricas en este recurso. Esta cartografía puede ser utilizada a la hora de estudiar emplazamientos de plantas de aprovechamiento energético. En todo caso, estos métodos de ajuste presentan el inconveniente de su carácter local, que impide su aplicación en áreas de estudio distintas a aquellas para las que se han generado.

Sin embargo, es necesario destacar la necesidad de encontrar modelos con más sólida carga predictiva que permitan cuantificar con mayor exactitud la cantidad de biomasa residual. Para ello será necesario explorar la capacidad explicativa de las imágenes de satélite en modelos de regresión multivariantes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto LIGNOSTRUM (AGL2002-03917-AGR-FOR) financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, E.; ASÍN, J. y PASCUAL, J.; 2005. Biomasa Residual Forestal: Regresiones para las especies del género *Pinus* existentes en la provincia de Teruel. *Actas del 4º Congreso Forestal Español* (Aceptada su publicación).

CHUVIECO, E.; 2002. *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel. Barcelona.

- COMISIÓN...; 1997. *Energía para el Futuro: Fuentes de Energía Renovables. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios*. COM(97) 599 Final. Comisión de las Comunidades Europeas.
- CURRAN, P.J.; DUNGAN, J.L. & GHOLZ, H.L. 1992. Seasonal LAI in Slash Pine Estimated with Landsat TM. *Remote Sensing of Environment*, 35: 279-298.
- DGA; 2004. *Anuario estadístico agrario de Aragón* [en línea]. Departamento de Agricultura y Alimentación, Zaragoza. Disponible en: <<http://www.aragob.es>>.
- DOMÍNGUEZ, J.; CIRIA, P.; ESTEBAN L.S.; SÁNCHEZ, D y LASRY, P.; 2003. Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España). *GeoFocus (Informes y Comentarios)*, Vol. 3: 1-10.
- FAZAKAS, Z.; NILSSON, M. & OLSSON, H.; 1999. Regional forest biomass and wood volume estimation using satellite data and ancillary data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98/99: 417-425.
- FODDY, G.M.; BOYD, D.S. & CUTLER, M.; 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment*, 85: 463-474.
- GOETZ, S.; 2002. Recent advances in remote sensing of biophysical variables. An overview of the special issue. *Remote Sensing of Environment*, 79: 145-146.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. y BLACK, W.C.; 1999. *Análisis multivariante. (5ª edición)*. Prentice Hall Iberia. Madrid.
- HAKKILA, P.; HEINO, M. y PURANEN, E.; 1997. Forest management for bioenergy. *Research Papers 640*. Proceedings of a Joint Meeting of Activities 1.1, 1.2 and 4.2 of Task XII in Jyväskylä. Finnish Forest Research Institute. Finland.
- HOWARD, J.A.; 1991. *Remote Sensing of Forest Resources*. Chapman & Hall. London.
- IDAE; 1999. *Plan de fomento de las energías renovables en España*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Madrid.
- JAKUBAUSKAS, M.E.; 1996. Thematic Mapper Characterization on Lodgepole Pine Seral Stages in Yellowstone National Park, USA. *Remote Sensing of Environment*, 56: 118-132.
- LARSSON, H.; 1993. Linear regression for canopy cover estimation in Acacia woodlands using Landsat TM, MSS and SPOT HRV XS data. *International Journal of Remote Sensing*, 14: 2129-2136.
- MICKLER, R.A.; EARNHARDT, T.S. & MOORE, J.A.; 2002. Regional estimation of current and future biomass. *Environmental Pollution*, 116: S7-S16.
- MMA; 1996. *Segundo Inventario Forestal Nacional (1986-1995): Aragón, Teruel*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- NOUVELLON, Y.; MORAN, M.S.; SEEN, D.L.; BRYANT, R.; RAMBAL, S.; NI, W.; BÉGUÉ, A.; CHEHBOUNI, A.; EMMERICH, W.E.; HEILMAN, P. & QI, J. 2001. Coupling a grassland ecosystem model with Landsat imagery for a 10-year simulation of carbon and water budgets. *Remote Sensing of Environment*, 78: 131-149.
- PHUA, M. & SAITO, H.; 2003. Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat TM data. *Can. J. Remote Sensing*, 29 (4): 429-440.
- RIAÑO, D.; CHUVIECO, E.; SALAS, J. & AGUADO, I.; 2003. Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41 (5): 1056-1061.
- SALVADOR, R. y PONS, X.; 1997. Análisis de la aplicación de imágenes Landsat-TM en inventarios forestales en una zona mediterránea. En Casanova, J.L. y Sanz, J. (Eds.) *Teledetección. Usos y Aplicaciones*. Secretaría de Publicaciones e Intercambio Científico. Serie Ciencias 14. Universidad de Valladolid.
- VINCINI, M. & FRAZZI, E.; 2003. Multitemporal evaluation of topographic normalization methods on deciduous forest TM data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41 (11): 2586-2590.

Tabla 1: Ecuaciones introducidas en BASIFOR para obtener el valor medio de BT(kg).

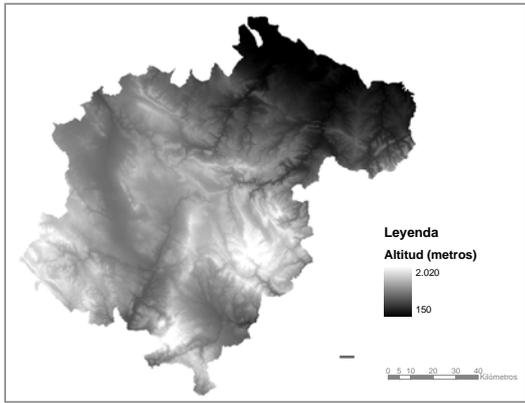
Cod	Especie	Forma	Calidad	Ecuación
21	<i>P. sylvestris</i>	1	todas	$VLE=0,064 \cdot DN^{3,3} / ALT^{1,5}$
21	<i>P. sylvestris</i>	2	todas	$VLE=181 \cdot *$ *=valor máximo predicho
24	<i>P. halepensis</i>	1	todas	$VLE=0,067 \cdot DN^3 / ALT$
24	<i>P. halepensis</i>	2	todas	$VLE=272 \cdot *$

Tabla 2: Variables incluidas en el modelo y significación estadística.

Especie	Variables	β	ET	Wald	σ	Exp(β)
<i>Pinus sylvestris</i>	Landsat TM 7	-0,768	0,250	9,408	0,002	0,464
	Insolación verano	0,986	0,379	6,779	0,009	2,680
<i>Pinus halepensis</i>	Landsat TM 5	-1,108	0,289	14,722	0,000	0,330
	Pendiente	-0,636	0,281	5,112	0,024	0,529

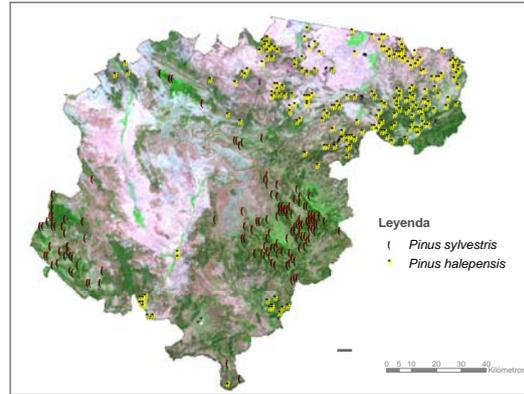


Figura 1. Localización del área de estudio.



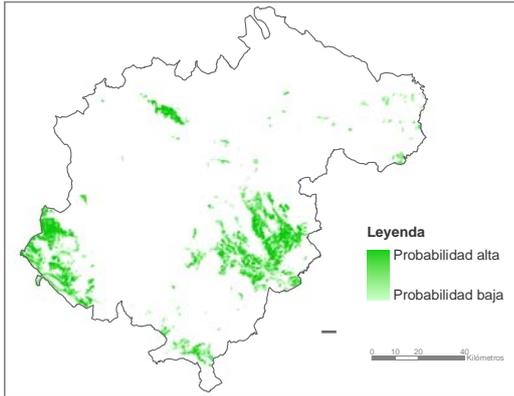
Modelo digital de elevaciones.

Figura 2.



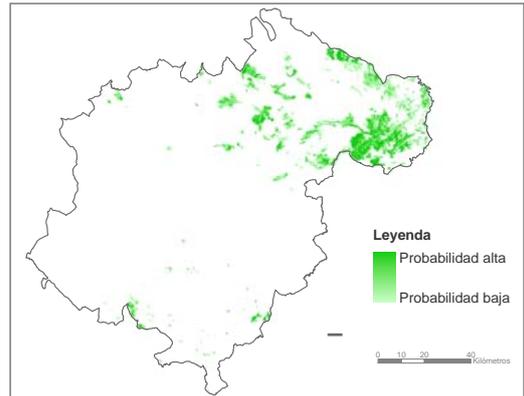
Localización de las parcelas del IFN2 utilizadas.

Figura 3.



Probabilidad de biomasa: *Pinus sylvestris*.

Figura 4.



Probabilidad de biomasa: *Pinus halepensis*.

Figura 5.