

ANEXO IV. ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD DE BIOMASA.



Escuela Politécnica
de Mieres
Universidad de Oviedo

10-12-2020

MEMORIA FINAL CONTRATO DE INVESTIGACIÓN- FUO-20-337

Disponibilidad potencial de biomasa forestal con destino energético para suministro de la central de la Pereda (radio de 200 km)

HULLERAS DEL NORTE, S.A. (HUNOSA)



ÍNDICE

1. EQUIPO INVESTIGADOR DEL ESTUDIO.....	4
2. RESUMEN.....	5
3. INTRODUCCIÓN.....	6
4. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	9
5. CONCEPTOS IMPORTANTES EN LA ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL	10
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
6.1 Área de estudio y escala territorial/administrativa de las estimaciones	12
6.2 Especies y masas forestales objeto de la estimación	13
6.3 Metodología empleada para una estimación de la biomasa forestal de máxima actualidad	13
6.4 Valores de crecimiento corriente medios para las especies forestales en la zona de estudio	14
6.5 Estimación de biomasa seca y biomasa a una determinada humedad en base húmeda	15
7. RESULTADOS.....	17
7.1 Biomasa forestal disponible en un radio de 200 km de la central de la Pereda.....	17
7.2 Biomasa forestal disponible en el Principado de Asturias.....	18
7.2.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales	18
7.3 Biomasa forestal disponible en Cantabria.....	19
7.3.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales	19
7.4 Biomasa forestal disponible en la provincia de Lugo (Galicia).....	19
7.4.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales	19
7.5 Biomasa forestal en la provincia de León (Castilla y León)	20
7.5.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales	20
7.6 Biomasa forestal en parte de la provincia de Burgos (Castilla y León).....	20
7.6.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales	21
7.7 Biomasa forestal en parte de la provincia de Palencia (Castilla y León)	21
7.7.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales	21
8. DISCUSIÓN DE LA BIOMASA MADERABLE DISPONIBLE SEGÚN PORCENTAJES DE CORTA.....	22
9. BIBLIOGRAFÍA	23
ANEXO 1: TABLAS	25
ANEXO 2: MAPAS.....	32



1. EQUIPO INVESTIGADOR DEL ESTUDIO

En la elaboración del presente contrato de investigación han participado los siguientes investigadores del Área de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Oviedo:

D. Carlos A. López Sánchez. Dr. Ingeniero de Montes

D. Marcos Barrio Anta. Dr. Ingeniero de Montes

D^a. Asunción Cámara Obregón. Dra. Ingeniera de Montes

D^a. María Fernanda Ledo Leiro. Ingeniera de Montes. Máster en Restauración Ambiental

D^a. Alís Novo Fernández. Ingeniera Técnica Forestal. Máster en Geomática Forestal

D^a María Castaño Díaz. Ingeniera Forestal y del Medio Natural. Dr. por la Universidad de Oviedo

2. RESUMEN

A petición de la empresa pública Hulleras del Norte S.A. (HUNOSA), se ha llevado a cabo una estimación de máxima actualidad de la biomasa forestal disponible en el área que comprende un radio de 200 km a la redonda desde la central termoeléctrica de La Pereda (Mieres, Asturias). Dicha estimación se ha llevado a cabo mediante el desarrollo de modelos matemáticos *machine learning* obtenidos por combinación de la base de datos del cuarto inventario forestal nacional (IFN4 para Castilla y León e IFN4.5 para la Cornisa Cantábrica y Galicia) y datos radiométricos, índices espectrales y variables de textura obtenidos de imágenes del satélite Sentinel-2 de la ESA junto con variables topográficas obtenidas del modelo digital del terreno (MDT) de la cobertura del PNOA-Lidar. La estimación se ha llevado a cabo para las principales masas forestales que son sometidas a aprovechamiento maderero en la zona de estudio: pinares (pino silvestre, pino pinaster y pino radiata), eucaliptares (eucalipto blanco y eucalipto nitens) y masas de frondosa autóctona (rebollo y castaño). Según el tipo de biomasa forestal primaria, se ha diferenciado la biomasa disponible anualmente en dos fracciones: i) **biomasa maderable** (troncos hasta 7 cm de diámetro en punta delgada) y ramas gruesas (> 7 cm den punta delgada) y **biomasa de restos** (ramas < 7cm de diámetro con ramillos y hojas); obteniéndose la biomasa total por agregación de ambos. Según el grado de humedad, los valores se han presentado como **biomasa seca** y como biomasa a una **humedad en base húmeda del 30%** ya que es la humedad habitual que alcanzan las astillas por secado natural en el norte de España.

La **biomasa total disponible anualmente** a un 30% de humedad en base húmeda asciende a **7.633.738 toneladas** (6.140.035 toneladas de biomasa maderable y 1.304.289 toneladas de biomasa residual). En cuanto la distribución espacial de dicha biomasa, el mayor porcentaje se concentra en **la provincia de Lugo (Galicia) con 44% de la biomasa total disponible**, seguido por **Asturias con 23%** y **Cantabria y León con un 13% cada una**. De la provincia de **Palencia y Burgos** sólo entran en el área de estudio cinco comarcas forestales por lo que el aporte de estas provincias sería bajo, de **un 3% y 4%**, respectivamente. En cuanto al reparto por grupos de especies, el **50% corresponde a biomasa de eucaliptos**, el **34% a biomasa de pinos** y el **16% restante a biomasa de frondosas autóctonas**.

3. INTRODUCCIÓN

La importancia de los bosques para afrontar muchos de los grandes retos de nuestro tiempo es cada día más reconocida debido a que estos proporcionan muchos de los bienes y servicios que nuestra sociedad demanda (Freer-Smith et al., 2019). Aunque, la superficie forestal total del planeta parece haberse reducido en un 5% durante el período 1990-2015, la superficie de las plantaciones forestales se ha incrementado en un 50% en ese mismo período (FAO, 2015). Dicho aumento está sustentado principalmente por plantaciones forestales con especies de crecimiento rápido como eucaliptos, pinos, chopos, etc.; y responde a la necesidad de satisfacer la incesante demanda de recursos forestales por parte del ser humano. Estas plantaciones juegan también un doble papel en la mitigación del actual cambio climático (Freer-Smith et al., 2019): i) actúan como sumideros eficientes de CO₂; y ii) proporcionan materia prima para la producción de energía eléctrica y/o térmica a partir de biomasa forestal. Las plantaciones forestales con especies de crecimiento rápido serán necesarias mientras el ser humano demande sus bienes y servicios y tendrán también un papel relevante en la inevitable transición de las economías actuales basadas en los combustibles fósiles a las nuevas economías basadas en energías limpias o de baja huella de carbono.

La biomasa forestal se puede clasificar en (Ledo-Leiro, 2012a): i) biomasa forestal primaria y ii) biomasa forestal secundaria (residuos de uso industrial como serrines, cantos de vigas, recortes, etc.). La primera es la que procede directamente de las masas forestales y se puede subdividir a su vez en biomasa maderable (troncos y ramas gruesas) y biomasa residual (ramas finas y ramillos con hojas). Por tanto, en los trabajos de estimación de biomasa forestal es muy importante diferenciar de qué tipo de biomasa se está hablando. Por otro lado, cuando se habla de la biomasa como combustible es muy importante conocer con qué cantidad de humedad se dan las estimaciones, y el tipo de humedad de la que se está hablando (humedad en base húmeda o humedad en base seca). La humedad es muy importante desde el punto de vista del aprovechamiento energético, pues es la propiedad que más influye en el poder calorífico de los biocombustibles. El motivo de esta influencia es doble: i) cuanto más humedad tiene la biomasa menos materia seca hay por unidad de masa y menor es el calor suministrado; y ii) mayor es la cantidad de agua que hay que evaporar y, como la evaporación consume calor, el calor utilizable es menor.

En cuanto a las metodologías de estimación de la biomasa forestal, actualmente se puede llevar a acabo utilizando dos grandes tipos de métodos: i) métodos directos, que requieren mediciones en campo en parcelas de muestreo; y ii) métodos indirectos, que no requieren de toma de datos en campo. El primer método, aunque es preciso, es muy caro, consume mucho tiempo y presenta problemas operacionales ya que sólo se puede aplicar a áreas pequeñas y no a escala regional o suprarregional (López-Serrano et al., 2015). Sin embargo, los datos que se miden a nivel parcela, también se pueden usar como base de datos de "entrenamiento" para desarrollar modelos forestales basados en variables obtenidas a partir de sensores remotos (McRoberts & Westfall, 2014) (métodos indirectos). Así, en las últimas décadas, la combinación de bases de datos públicas de parcelas de inventario (e.g., inventarios forestales nacionales) con la captura semiautomática de variables de

estado de los bosques a través de sensores remotos ha incrementado de manera sustancial la cantidad de datos disponibles para desarrollar modelos predictivos a escala rodal (Álvarez-González et al., 2014). De hecho, actualmente la cuantificación de existencias es una de las aplicaciones más comunes de los sensores remotos en el apoyo a la gestión sostenible de los ecosistemas forestales ya que proporcionan datos que han demostrado ser una opción efectiva para superar las dos limitaciones citadas de los métodos tradicionales (carestía y problemas operacionales), incluso en áreas no muestreadas previamente (Moser et al., 2017). Entre los sistemas disponibles actualmente, destacan dos: i) empleo de sensores remotos activos montados en aeronaves (e.g., LiDAR aéreo); y ii) uso de sensores remotos pasivos montados en satélites o aeronaves. El escaneo con LiDAR aéreo, se considera un método preciso, eficiente y con un coste adecuado para predecir variables forestales de producción (Teobaldelli et al., 2017; Jiménez et al., 2017; Novo-Fernández, et al., 2019). Así, en España, el proyecto PNOA-LiDAR cubre todo el territorio nacional en ciclos de 6 años. Sin embargo, el mayor inconveniente radica en que dicha periodicidad (ciclos de 6 años) hace que los modelos desarrollados a partir de dicha metodología (e.g. Novo-Fernández et al., 2019) no se adecuen plenamente a la realidad cambiante de las masas productivas del norte de España, en donde algunas plantaciones (como las de eucalipto) tienen una edad de corta de 10-12 años. Estas dificultades se resuelven con el empleo de imágenes de satélites (sensor remoto pasivo) que permiten la captura de numerosas imágenes a lo largo de un año y, por lo tanto, permite una actualización continua de los parámetros de la vegetación. La aplicación de metodologías estadísticas avanzadas "machine learning" y el uso de estos sensores instalados en satélites permiten la estimación de las variables de producción de las masas forestales de forma rápida y a bajo coste (2015; 2016a, 2016b, 2016c; López-Sánchez et al., 2017; López-Serrano et al. 2020). Sin embargo, la elaboración de este tipo de modelos requiere que: i) se disponga de una geolocalización muy precisa y correlación temporal entre las parcelas de campo necesarias y los datos radiométricos del satélite; en caso contrario, las métricas derivadas de las imágenes de satélite estarían sujetas a errores (Gobakken et al., 2010); y ii) se lleve a cabo un preprocesado previo de las imágenes de satélite. Un correcto preprocesado constituye un punto crítico de cara a poder mejorar la calidad e interpretación de los datos debido a que las condiciones atmosféricas en el instante de la captura de la imagen satélite junto al hecho de que el emplazamiento de las masas forestales están normalmente asociados a terrenos de compleja orografía, en donde las condiciones topográficas dan lugar a zonas con proyección de sombras y, por consiguiente, a cambios en los valores de reflectancia en superficie debido a la diferente posición relativa del sensor respecto al sol en el instante de la captura de la imagen (Richter 2013; Richter & Schlöpfer 2011). En este sentido, para tener en cuenta dichos efectos, es necesario llevar a cabo correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas previas y posteriormente también correcciones topográficas a partir de parámetros obtenidos del modelo digital del terreno (MDT), tales como la pendiente, orientación, proyecciones de sombras y la vista aérea (Balthazar et al. 2012, Richter 2013). Estos parámetros primarios (bandas espectrales), se combinan habitualmente con parámetros biofísicos como los índices de espectrales/vegetación (Gilabert et al. 1997) e índices derivados del análisis de la textura de la imagen (Botero & Restrepo 2010) para



modelizar cualquier característica de la vegetación como el volumen de madera, la biomasa o el carbono acumulado (Díaz-Varela et al. 2011; López-Serrano et al. 2016a, 2016b, 2020). Esta última metodología (empleo de datos capturados por satélite), junto con el empleo de bases de datos y mapas del inventario forestal nacional y técnicas de procesado y ajuste de modelos *machine learning* será la empleada en este estudio, permitiendo obtener estimaciones de biomasa precisas y actuales.

4. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El presente estudio se inicia por encargo de la empresa pública Hulleras del Norte S.A. (HUNOSA) y tiene por objetivo obtener una estimación de la biomasa forestal maderable y residual existente para las principales formaciones forestales de Asturias, Cantabria, Lugo, León, Palencia y Burgos dentro de un radio de 200 km de la central y que son objeto de aprovechamiento forestal de forma ordinaria. La estimación de biomasa forestal será de máxima actualidad ya que se generará a partir de modelos matemáticos “machine learning” propios que se generarán a partir de imágenes de 2018 del satélite Sentinel-2 del programa *Copernicus* de la Agencia Espacial Europea (ESA) y que cuentan con una resolución espacial de 10 metros/pixel. Además de proporcionar la biomasa forestal existente, se estimará aquella que puede estar disponible anualmente y se discutirá estos valores en base a los porcentajes de cortas anuales que se están llenando a cabo en cada región.

5. CONCEPTOS IMPORTANTES EN LA ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL

Como ya se ha explicado en la introducción, hay varias cuestiones y terminología relativa a la estimación de biomasa forestal, que es importante conocer (Ledo-Leiro, 2012a): i) la fracción de biomasa forestal que se estima; ii) porcentaje de humedad con que se dan las estimaciones; iii) tipo de estimación de biomasa desde el punto de vista operativo.

1. **Fracción de biomasa forestal que se estima:** la biomasa forestal de los árboles se clasifica según los componentes del árbol que la conforman. Así, aunque se pueden hacer clasificaciones más detalladas, la clasificación más sencilla diferencia la biomasa forestal del árbol en biomasa maderable y biomasa residual.
 - **Biomasa forestal maderable:** es aquella que valora la biomasa de madera (madera + corteza) en los troncos de los árboles hasta un diámetro en punta delgada de 7 cm y las ramas gruesas con diámetros mayores de 7 cm.
 - **Biomasa forestal residual:** es la biomasa forestal de ramas menores de 7 cm de diámetro, ramillas y hojas.
2. **Porcentaje de humedad de las estimaciones de biomasa:** las estimaciones de biomasa se pueden dar como biomasa seca o biomasa húmeda.
 - **Biomasa seca:** se proporciona la estimación de alguno de los tipos de biomasa vistos en el punto anterior al 0% de humedad.
 - **Biomasa húmeda:** se proporciona la estimación de alguno de los tipos de biomasa vistos en el punto anterior a un porcentaje determinado de humedad de la madera. La humedad en la madera puede medirse en base seca o en base húmeda. Normalmente, los valores de humedad se dan en base húmeda, pero la mayor parte de las veces este hecho no se especifica, lo cual es un error importante porque a veces se dan valores en base seca dando lugar a malas interpretaciones. Si denominamos h_s a la humedad en base seca y h_h a la humedad en base húmeda, las expresiones para obtener h_s (%) y la h_h (%) son:
 - $\text{Humedad en base seca, } h_s (\%) = 100 ((P_h - P_s) / P_s)$
 - $\text{Humedad en base húmeda, } h_h (\%) = 100 ((P_h - P_s) / P_h)$
- Siendo, P_h es el peso húmedo de la biomasa, es decir el peso a la humedad h y P_s es el peso seco o peso de la biomasa después de haber sido secada en estufa hasta haber perdido toda su humedad.
3. **Tipo de estimación de biomasa:** desde el punto de vista operativo es muy importante conocer si esas estimaciones se tratan de biomasa forestal existente, disponible o movilizable.
 - **Biomasa forestal existente:** es la cantidad total (o de una determinada fracción) de biomasa forestal, bien sea seca o húmeda, que existe en un área forestal determinada.

- **Biomasa forestal disponible:** es la parte o el porcentaje de la biomasa forestal total que habitualmente es cortada o se puede cortar en los aprovechamientos forestales ordinarios cada año (cortas intermedias de mejora como clareos o claras o cortas finales a hecho). Es muy importante recalcar, por tanto, que sólo un porcentaje de la biomasa forestal existente (entre el 2-30%, dependiendo de las especies forestales) estaría disponible comercialmente. Esta estimación se lleva a cabo utilizando el principio ampliamente usado en economía de no extraer más dinero de una cuenta (capital) que el interés que proporciona, para de esta forma no menguar el capital. En nuestro caso el capital es la biomasa y el interés es el crecimiento corriente anual en biomasa o volumen, que es necesario conocer para determinar la biomasa disponible anualmente.
- **Biomasa forestal movilizable:** es el porcentaje de la biomasa forestal disponible que es posible y/o rentable de comprar o adquirir. Aquí entran en juego multitud de factores, algunos de ellos bastante complejos; como el conocimiento/desconocimiento de la propiedad forestal, tipología de la misma, tipo de gestión del monte (pública o privada), existencia o no de planes de gestión aprobados, rentabilidad del aprovechamiento de la biomasa y su transporte, accesibilidad al monte, etc.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio y escala territorial/administrativa de las estimaciones

El área de estudio del presente informe abarca aquellas Comunidades Autónomas y provincias que están dentro del radio de acción de 200 km a la redonda de la central termoeléctrica de la Pereda, propiedad de la empresa pública HUNOSA. En concreto, esta área de estudio abarca las provincias de las cuatro Comunidades Autónomas siguientes (Figura 1):

- Comunidad Autónoma del Principado de Asturias (Provincia de Asturias)
- Comunidad Autónoma de Cantabria (Provincia de Cantabria)
- Comunidad Autónoma de Galicia (Provincia de Lugo)
- Comunidad Autónoma de Castilla y León (parte de las provincias de León, Palencia, y Burgos)

Además, y para facilitar a la empresa solicitante del estudio la búsqueda/tramitación del acceso a la biomasa forestal, se proporcionan las estimaciones por unidad administrativa de gestión planificación y forestal, unidades conocidas como "Comarcas Forestales" o "Distritos Forestales", según las distintas comunidades autónomas.



Figura 1. Mapa del área de estudio, con delimitación de comunidades autónomas, provincias y comarcas/distritos forestales afectados, dentro de un radio de 200 km de la central termoeléctrica de la Pereda.

6.2 Especies y masas forestales objeto de la estimación

Dentro del territorio incluido en el radio de 200 km existen números espacios/especies que no son objetos de aprovechamiento forestal y que por tanto no son objeto de estimación en el presente trabajo. Dichas formaciones forestales son:

- Hayedos: formaciones forestales existentes en Asturias, Cantabria y norte de Castilla y León y que en su mayoría están incluidas dentro de Parques Naturales y Parques Nacionales. No son objeto de aprovechamiento forestal comercial por parte de las administraciones forestales y la propiedad de estas formaciones arboladas es pública, correspondiendo principalmente a ayuntamientos.
- Masas forestales de frondosas autóctonas (robledales de roble albar, roble común, abedulares, bosque mixto de frondosa, etc.): se trata de masas forestales en bastantes casos también incluidas en espacios naturales protegidos para las cuales no se autoriza aprovechamiento comercial. En caso de autorizarse las restricciones a las cortas son altas y no se autorizan cortas a hecho.

Por tanto, las formaciones forestales que son objeto de aprovechamiento forestal ordinarios, se concretan en Asturias, Galicia y Cantabria en plantaciones forestales con especies de crecimiento medio o rápido como *Pinus pinaster*, *Pinus radiata*, *Pinus sylvestris*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens* y *Castanea sativa* (en Asturias, principalmente). Globalmente estas especies suponen el 94% del volumen promedio de madera cortado anualmente en el período 2005-2016 (8.432.324 m³/año) en estas regiones según datos del Anuario de Estadística Forestal del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Adicionalmente, en la provincia de León se añadirán masas de rebollo (*Quercus pyrenaica*) ya que la Junta de Castilla y León lleva a cabo claras periódicas en muchos de estos montes de titularidad pública con tres objetivos: i) mejorar el estado selvícola del monte, ii) disminuir el riesgo estructural de incendio forestal; y iii) obtener rentas para los propietarios o en su defecto autofinanciar las cortas de mejora.

6.3 Metodología empleada para una estimación de la biomasa forestal de máxima actualidad

La metodología de estimación utilizada se basada en tres pilares básicos: i) empleo de imágenes procedentes del sensor remoto óptico instalado en el satélite Sentinel-2 del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA), ii) empleo de los datos y mapas de coberturas forestales de la reciente actualización del cuarto inventario forestal nacional (IFN4.5); y iii) empleo de metodologías “machine learning” para el ajuste de modelos matemáticos con datos masivos (big data). El proceso de análisis y cálculo seguido se puede sintetizar en los siguientes 9 puntos:

1. Preparación de las bases de datos del cuarto inventario forestal nacional actualizado en 2018 para el norte de España (IFN4.5).

2. Recopilación y aplicación de ecuaciones para determinar en cada parcela del IFN4.5, su biomasa maderable y residual.
3. Recopilación y procesamiento de las imágenes satélite (correcciones radiométricas, atmosféricas y topográficas) para la generación de base de datos espacialmente continuas basadas en datos del sensor remoto de Sentinel-2.
4. Preparación de la base de datos auxiliares obtenidas del modelo digital del terreno (MDT).
5. Creación, análisis y depuración de la base de datos a nivel parcela IFN4.5 con datos de biomasa forestal y valores de radiometría, índices espectrales y variables de textura del satélite.
6. Ajustes de los modelos matemáticos con técnicas *machine learning* y creación de mapas temáticos ráster con un tamaño de pixel de 10x10 m.
7. Generación de resultados de biomasa forestal existente en formato tabla y mapa a nivel provincia y comarca o distrito forestal.
8. Determinación de los crecimientos corrientes medios por especie en la zona de estudio para determinar la biomasa forestal disponible.
9. Obtención de los valores de biomasa total disponible a distintos porcentajes de humedad de la madera en base húmeda.

6.4 Valores de crecimiento corriente medios para las especies forestales en la zona de estudio

El crecimiento corriente de la producción en biomasa para cada especie forestal es fundamental para determinar la biomasa forestal disponible a escala regional o suprarregional. Este crecimiento depende de multitud de factores, entre los que destacan la calidad de la estación forestal, la densidad de las masas forestales o la edad de estas. Puesto que algunas de estas variables como la calidad de estación y la edad no se conocen para cada masa (aunque si los rangos de valores la región), para su determinación es necesario acudir a los modelos de crecimiento y producción elaborados para las especies forestales de interés en la zona de estudio. En concreto, se han utilizado los modelos dinámicos de Diéguez-Aranda et al. (2009) para *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* y *Pinus sylvestris*. Para *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, se han usado los modelos dinámicos de García-Villabrille (2016) y Diéguez-Aranda et al. (2012), respectivamente. Para *Castanea sativa* y *Quercus pyrenaica*, los modelos estáticos de Menéndez-Miguélez (2015) y Torre Antón (1992). Los valores crecimiento corriente medios, expresados como porcentaje del volumen total de la masa (Cc%), que se han obtenido a partir de dichos modelos son los siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Valores medios de crecimientos corrientes en volumen por especies

Especie	Cc%	Fuente del modelo
<i>Pinus sylvestris</i>	2,8	Diéguez-Aranda et al. (2009)
<i>Pinus pinaster</i>	5,7	Diéguez-Aranda et al. (2009)
<i>Pinus radiata</i>	6,7	Diéguez-Aranda et al. (2009)
<i>Quercus pyrenaica</i>	2,2	Torre Antón (1992)
<i>Eucalyptus globulus</i>	15,3	García-Villabril (2016)
<i>Eucalyptus nitens</i>	18,3	Diéguez-Aranda et al. (2012)
<i>Castanea sativa</i>	3,8	Menéndez-Miguélez (2015)

6.5 Estimación de biomasa seca y biomasa a una determinada humedad en base húmeda

Es importante señalar que, salvo casos especiales, la mayoría de las ecuaciones que se emplean a nivel parcela de inventario, para la estimación de la biomasa forestal proporcionan pesos secos. Ello es debido a que la humedad de la biomasa es muy variable y depende de multitud de factores y, por lo tanto, es más recomendable trabajar con peso seco. Además, es el peso o biomasa seca la variable directamente correlacionada con el poder energético y con la acumulación de carbono y/o nutrientes de ésta. Por tanto, para la estimación de la biomasa forestal con fines energéticos se pueden usar las ecuaciones publicadas directamente, ya que lo que interesa es el peso seco; o bien determinar a partir de ellas la biomasa forestal a cualquier humedad en base seca o húmeda de interés. En este sentido, es la humedad en base húmeda la que se usa habitualmente en estudios de inventariación forestal y de aprovechamientos madereros. Aunque el contenido en humedad es bastante variable, una humedad en base húmeda del 50-60 % es frecuente en la mayoría de las especies forestales recién cortadas. Posteriormente, la madera pierde humedad hasta equilibrarse con el ambiente que le rodea, alcanzándose por secado natural un porcentaje de humedad en base húmeda de hasta un 30% en el caso de astilla almacenada bajo cubierta en condiciones del norte de España. Los resultados de este estudio se presentarán, por tanto, para biomasa seca y biomasa al 30% de humedad en base húmeda. No obstante, el solicitante puede determinar la biomasa para cualquier otra humedad en base húmeda sabiendo que el porcentaje de humedad en base seca se determina como (Ledo-Leiro, 2012b):

$$h_s(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \cdot 100, \text{ siendo } h_s(\%), \text{ la humedad en base seca en porcentaje, } P_h \text{ el peso de la madera en}$$

verde y P_s el peso seco.

Por tanto, conociendo el porcentaje de humedad en base seca $h_s(\%)$, el peso verde P_h se determina como:

$$P_h = P_s \cdot \left(\frac{h_s(\%)}{100} + 1 \right)$$

Por otro lado, el porcentaje de humedad en base húmeda se determina como:

$$h_h(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_h} \cdot 100, \text{ siendo } P_h \text{ el peso de la madera en verde y } P_s \text{ el peso seco}$$

Por tanto, para determinar el **peso verde** P_h , conocido $h_h(\%)$, se despeja P_h , obteniendo la siguiente expresión:



$$P_h = \frac{P_s}{1 - \frac{h_h(\%)}{100}}$$

Por tanto, con estas expresiones se puede estimar la biomasa húmeda al porcentaje de humedad que se requiera, una vez conocido en peso seco de la biomasa (valores suministrados en este estudio).

7. RESULTADOS

Los resultados de estimación de biomasa forestal se van a proporcionar diferenciando por comunidad autónoma, provincia y comarca o distrito forestal. Dichos resultados se refieren a **biomasa forestal disponible** (ver punto 5), tanto para la fracción maderable como residual. Además, se proporcionarán los valores de **biomasa seca** y también **biomasa al 30% de humedad en base húmeda**, ya que es el valor habitual de las astillas secadas al aire en el norte de España. A continuación, se presentan los resultados de la estimación de biomasa forestal para cada "Comunidad Autónoma", "Provincia" y "Comarca/Distrito Forestal". Los resultados incluyen las estimaciones de biomasa disponible de masas puras de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, *Pinus pinaster*, *Pinus radiata*, *Pinus sylvestris* y *Castanea sativa*. Además, se incluye también la estimación de masas mixtas de dichas especies. En el Anexo I, se puede ver una valoración detallada por comarca forestal.

7.1 Biomasa forestal disponible en un radio de 200 km de la central de la Pereda

La biomasa total disponible al 30% de humedad en base húmeda (h_h) ($W30_{total}$) asciende dentro del radio de 200 km de la central de La Pereda a **7.633.738 toneladas**, de las cuales **6.140.035 toneladas son de biomasa maderable ($W30_{maderable}$)** y **1.304.289 toneladas son de residuos de ramas y hojas ($W30_{residual}$)**. En la figura 2 se presenta el desglose por provincias, tanto en valores absolutos, como en porcentaje. Los mayores porcentajes de biomasa disponible se encuentran en la provincia de Lugo, seguido por Asturias, Cantabria y León.

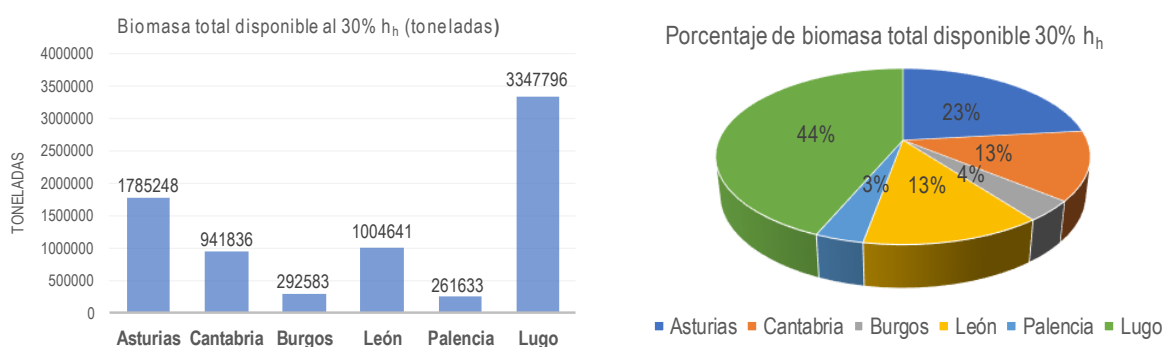


Figura 2.- Biomasa total al 30% h_h disponible anualmente por provincia (izq. valor absoluto y dcho. porcentaje)

En cuanto a la distribución por grandes grupos de especies, el 50% de la biomasa disponible al 30% de h_h corresponde a eucaliptos (*E. globulus* y *E. nitens*), el 34% a pinos (*P. pinaster*, *P. radiata* y *P. sylvestris*) y el 16% a frondosa autóctona (*C. sativa* y *Q. pyrenaica*). Sin embargo, estos porcentajes globales, son bastante variables según las provincias (Figura 3). Así en las provincias costeras cantábricas (Cantabria, Asturias y Lugo) domina la biomasa de eucalipto, en cambio en las provincias interiores castellanas domina la biomasa de pino y frondosa autóctona (rebollo).

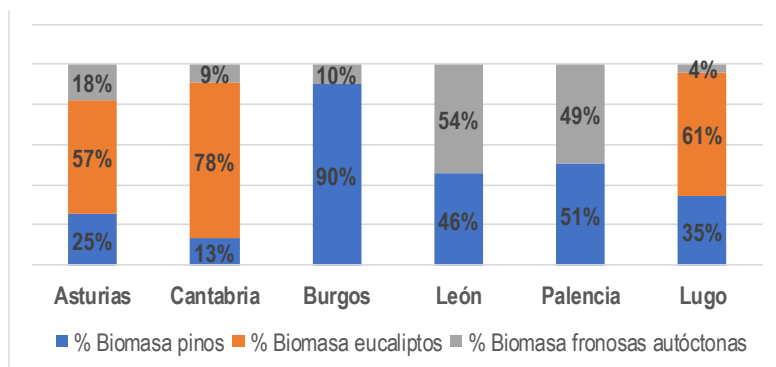


Figura 3.- Porcentajes de la biomasa total al 30% h_h disponible anualmente por provincia y grupo de especies.

A continuación, se presentan los resultados por provincias y comarca o distritos forestales (unidades de planificación y gestión forestal desde el punto de vista de las administraciones regionales).

7.2 Biomasa forestal disponible en el Principado de Asturias

La biomasa total disponible al 30% de humedad en base húmeda (h_h) ($W_{30\text{total}}$) asciende en el Principado de Asturias a 1.785.248 toneladas, de las cuales 1.415.328 toneladas son de biomasa maderable ($W_{30\text{maderable}}$) y 300.558 toneladas de residuos de ramas y hojas ($W_{30\text{residual}}$). Estas cantidades supone el 23,3% de la biomasa total al 30% h_h disponible en el radio de 200 km desde la central de La Pereda. En cuanto a la distribución por grupos de especies, el 57% de la biomasa forestal disponible corresponde a eucaliptos, el 25% a pinos y el 18% a frondosas autóctonas.

7.2.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales

A continuación, se presenta el desglose de biomasa forestal disponible en Asturias por comarcas forestales. Como se aprecia, la biomasa forestal disponible se concentra básicamente en cuatro comarcas forestales que aglutinan el 74% de la biomasa forestal disponible: Lluarca (19%), Pola de Siero (19%), Pravia (19%) y Vegadeo (15%) (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de biomasa forestal disponible por comarcas forestales en la provincia de Asturias

Comarca Forestal	Biomasa seca (t)			Biomasa al 30% humedad (t)		
	W_{total}	$W_{\text{maderable}}$	W_{residual}	$W_{30\text{total}}$	$W_{30\text{maderable}}$	$W_{30\text{residual}}$
Cangas de Onís	21.413	14.791	6.622	30.591	21.130	9.460
Cangas del Narcea	69.190	49.936	16.589	98.843	71.337	23.698
Grado	29.318	18.675	7.945	41.883	26.679	11.351
Lluarca	241.320	193.379	38.147	344.742	276.256	54.495
Pola de Allende	58.468	43.140	12.658	83.525	61.629	18.082
Pola de Laviana	37.769	22.290	12.864	53.955	31.843	18.376
Pola de Siero	243.186	194.323	40.485	347.408	277.604	57.836
Pravia	242.576	199.861	30.705	346.537	285.516	43.865
Ribadesella	113.610	94.136	16.284	162.300	134.480	23.263
Vegadeo	192.824	160.198	28.091	275.463	228.854	40.131
TOTAL	1.249.674	990.730	210.390	1.785.248	1.415.328	300.558

7.3 Biomasa forestal disponible en Cantabria

La biomasa total disponible al 30% de humedad en base húmeda (h_h) ($W_{30\text{total}}$) asciende en Cantabria 41.836 toneladas, de las cuales 788.222 toneladas son de biomasa maderable ($W_{30\text{maderable}}$) y 151.620 toneladas de residuos de ramas y hojas ($W_{30\text{residual}}$). Estas cantidades supone el 12,7% de la biomasa total al 30% h_h disponible en el radio de 200 km. En cuanto a la distribución por grupos de especies, el 78% de la biomasa forestal disponible corresponde a eucaliptos, el 13% a pinos y el 9% a frondosas autóctonas.

7.3.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales

A continuación, se presenta el desglose de biomasa forestal disponible en Cantabria por comarcas forestales. Como se aprecia, la biomasa forestal disponible se concentra básicamente en las tres comarcas costeras (occidental, central y oriental) que aglutinan el 66% de la biomasa forestal disponible: Costera central (25%), Costera occidental (18%) y Costera oriental (23%) (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de biomasa forestal disponible por comarcas forestales en la provincia de Cantabria

Comarca Forestal	Biomasa seca (t)			Biomasa al 30% humedad (t)		
	W_{total}	$W_{\text{maderable}}$	W_{residual}	$W_{30\text{total}}$	$W_{30\text{maderable}}$	$W_{30\text{residual}}$
Besaya	26.225	21.107	4.816	37.464	30.153	6.879
Cabuérniga	11.608	9.237	2.383	16.583	13.195	3.404
Campoo	9.463	7.099	2.382	13.518	10.141	3.402
Costera Central	171.650	147.232	24.155	245.214	210.331	34.507
Costera Occidental	121.458	103.643	17.407	173.512	148.061	24.867
Costera Oriental	157.462	134.720	22.400	224.945	192.457	32.000
Liébana	26.171	19.644	6.747	37.388	28.063	9.639
Los Valles	43.209	32.347	11.194	61.728	46.211	15.991
Nansa	5.992	4.657	1.335	8.560	6.653	1.908
Pas	26.350	21.698	4.523	37.642	30.998	6.462
Pisueña	47.626	40.358	6.976	68.037	57.654	9.965
Soba	12.072	10.013	1.817	17.245	14.304	2.595
TOTAL	659.285	551.756	106.134	941.836	788.222	151.620

7.4 Biomasa forestal disponible en la provincia de Lugo (Galicia)

La biomasa total disponible al 30% de humedad en base húmeda (h_h) ($W_{30\text{total}}$) en la provincia de Lugo alcanza 3.347.796 toneladas, de las cuales 2.768.263 toneladas son de biomasa maderable ($W_{30\text{maderable}}$) y 474.317 toneladas de residuos de ramas y hojas ($W_{30\text{residual}}$). Estas cantidades supone el 43,6% de la biomasa total al 30% h_h disponible en el radio de 200 km desde la central de La Pereda. En cuanto a la distribución por grupos de especies, el 61% de la biomasa forestal disponible corresponde a eucaliptos, el 35% a pinos y el 4% a frondosas autóctonas.

7.4.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales

A continuación, se presenta la biomasa forestal disponible por distritos forestales. Como se aprecia, la biomasa forestal disponible se concentra básicamente en tres distritos forestales que aglutinan el 81% de la biomasa forestal disponible: Mariña Lucense (40%), Terra Chá (23%) y Lugo-Sarria (18%) (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de biomasa forestal disponible por distritos forestales en la provincia de Lugo

Distrito Forestal	Biomasa seca (t)			Biomasa al 30% humedad (t)		
	W_{total}	$W_{maderable}$	$W_{residual}$	$W30_{total}$	$W30_{maderable}$	$W30_{residual}$
Mariña Lucense	930.195	794.540	104.200	1.328850	1135057	148857
Fonsagrada-Os Ancares	241.480	185.788	49.900	344.971	265.411	71.286
Terra de Lemos	204.755	155.856	43.355	292.507	222.651	61.935
Lugo-Sarria	417.874	342.449	62.739	596.963	489.214	89.627
Terra Chá	549.153	459.151	71.828	784.504	655.931	102.612
TOTAL	2.343.457	1.937.784	332.022	3.347.796	2.768.263	474.317

7.5 Biomasa forestal en la provincia de León (Castilla y León)

La biomasa total disponible al 30% h_h ($W30_{total}$) en la provincia de León es de 1.004.641 toneladas, de las cuales 748.287 toneladas son de biomasa maderable ($W30_{maderable}$) y 247.946 toneladas de residuos ($W30_{residual}$). Esta cantidad de biomasa total supone el 13,1% de la biomasa total al 30% h_h disponible en el radio de 200 km. En cuanto a la distribución por grupos de especies, el 46% de la biomasa forestal disponible corresponde a pinos y el 54% a frondosas autóctonas.

7.5.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales

A continuación, se presenta el desglose de la biomasa disponible en la Provincia de León por comarcas forestales. Dentro de esta distribución, destacan como comarcas con más biomasa total disponible, Ponferrada con un 11%, Bembibre con un 10% y Astorga, Cistierna y León con un 9% cada una de ellas (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de biomasa forestal disponible por comarcas forestales en la provincia de León

Comarca Forestal	Biomasa seca (t)			Biomasa al 30% humedad (t)		
	W_{total}	$W_{maderable}$	$W_{residual}$	$W30_{total}$	$W30_{maderable}$	$W30_{residual}$
Astorga	61.860	46.618	15.075	88.371	66.597	21.536
Bembibre	72.090	53.520	17.586	102.986	76.457	25.123
Benavides de Órbigo	37.036	27.969	8.845	52.909	39.955	12.636
Boñar	29.454	22.054	7.480	42.077	31.506	10.686
Cistierna	60.339	45.195	15.320	86.199	64.565	21.886
Gradefes	52.473	39.362	13.017	74.961	56.232	18.596
La Magdalena	45.592	34.090	11.593	65.132	48.700	16.562
La Robla	49.811	37.293	12.631	71.158	53.275	18.045
León	63.344	46.393	15.312	90.491	66.276	21.875
Ponferrada	77.902	59.184	16.550	111.288	84.549	23.644
Riaño	8.183	6.131	2.103	11.690	8.759	3.004
Sahagún	24.291	18.215	6.112	34.701	26.021	8.731
Vega de Espinareda	49.129	36.293	12.359	70.184	51.846	17.656
Villablino	25.143	18.767	6.604	35.919	26.810	9.434
Villafranca	46.602	32.718	12.973	66.574	46.740	18.532
TOTAL	703.249	523.801	173.562	1.004.641	748.287	247.946

7.6 Biomasa forestal en parte de la provincia de Burgos (Castilla y León)

De la provincia de Burgos entran únicamente cinco comarcas forestales dentro del radio de 200 km. La biomasa forestal total disponible al 30% de humedad en base húmeda (h_h) ($W30_{total}$) en dichas comarcas alcanza las 292.583 toneladas, de las cuales 223.500 toneladas son de biomasa forestal maderable ($W30_{maderable}$) y 64.575 toneladas de biomasa forestal de residuos de ramas y hojas ($W30_{residual}$). Esta cantidad de biomasa total supone

el 3,8% de la biomasa forestal total al 30% h_h disponible en el radio de acción de 200 km de la central de La Pereda. En cuanto a la distribución por grupos de especies, el 90% de la biomasa forestal disponible corresponde a pinos y el 10% a frondosas autóctonas (rebollo).

7.6.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales

En la tabla siguiente se presenta el desglose de la biomasa forestal disponible, para cada una de las cinco comarcas forestales de interés. De entre ellas, destacan sobre todo Oña y Medina de Pomar, con un 34% y 28%, respectivamente, de la biomasa forestal total disponible (Tabla 6).

Tabla 6. Valores de biomasa forestal disponible por comarcas forestales en la provincia de Burgos

Comarca Forestal	Biomasa seca (t)			Biomasa al 30% humedad (t)		
	W_{total}	$W_{maderable}$	$W_{residual}$	$W30_{total}$	$W30_{maderable}$	$W30_{residual}$
Espinosa de los Monteros	35.491	27.480	7.879	50.701	39.258	11.255
Medina de Pomar	58.253	43.954	13.710	83.218	62.791	19.586
Oña	70.043	54.245	13.236	100.062	77.493	18.908
Sedano	20.975	15.750	5.228	29.965	22.501	7.468
Villarcayo	20.047	15.020	5.150	28.638	21.458	7.357
TOTAL	204.808	156.450	45.202	292.583	223.500	64.575

7.7 Biomasa forestal en parte de la provincia de Palencia (Castilla y León)

De la provincia de Palencia entran sólo cinco comarcas forestales dentro del radio de acción de 200 km. La biomasa forestal total disponible al 30% de humedad en base húmeda (h_h) ($W30_{total}$) en dichas comarcas es de 261.633 toneladas, de las cuales 196.434 toneladas son de biomasa forestal maderable ($W30_{maderable}$) y 62.273 toneladas de biomasa forestal de residuos de ramas y hojas ($W30_{residual}$). Esta cantidad de biomasa total supone el 3,4% de la biomasa forestal total al 30% h_h disponible en la zona de estudio. En cuanto a la distribución por grupos de especies, el 51% de la biomasa forestal disponible corresponde a pinos y el 49% a frondosas (rebollo).

7.7.1 Biomasa forestal total disponible por comarcas forestales

En la tabla siguiente se presenta el desglose de la biomasa forestal disponible, para cada una de las cinco comarcas forestales de interés. De entre ellas, destacan sobre todo Oña y Medina de Pomar, con un 34% y 28%, respectivamente, de la biomasa forestal total disponible (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de biomasa forestal disponible por comarcas forestales en la provincia de Palencia

Comarca Forestal	Biomasa seca (t)			Biomasa al 30% humedad (t)		
	W_{total}	$W_{maderable}$	$W_{residual}$	$W30_{total}$	$W30_{maderable}$	$W30_{residual}$
Alto Carrión	52.309	39.182	13.233	74.727	55.974	18.905
Alto Pisuerga	32.898	24.673	8.328	46.997	35.248	11.898
Boedo - Ojeda	29.647	22.467	6.890	42.352	32.096	9.842
Campoo	23.881	17.862	6.168	34.115	25.517	8.811
Páramos - Valdavia	44.409	33.320	11.072	63.441	47.600	15.817
TOTAL	183.143	137.504	45.691	261.633	196.434	65.273

8. DISCUSIÓN DE LA BIOMASA MADERABLE DISPONIBLE SEGÚN PORCENTAJES ACTUALES DE CORTA

Un análisis rápido de los volúmenes de cortas en los dos últimos años en la cornisa cantábrica (Cantabria, Asturias y Lugo) permite poner en contexto los valores que se presentan en este trabajo. En toda la zona la tendencia de los últimos años es de un incremento significativo de las cortas. Así, las cortas en Asturias en 2018 y 2019 alcanzaron en promedio 1.300.000 m³/año, que se encuentra por debajo de la biomasa maderable disponible estimada a un 55% de h_h (humedad de árbol recién cortado y equivalente a estos efectos a aproximadamente a 1 m³) que ascendería a 2.200.000 t. Igualmente las cortas en Lugo en el año 2017 y 2018 alcanzaron en promedio 3.900.000 m³/año que está por debajo de 4.300.000 t de biomasa maderable disponible a un 55% de humedad estimada en este trabajo. Las cortas en promedio en Cantabria en 2015 y 2016 (últimos datos disponible) alcanzaron 455.000 m³/año y las estimaciones de biomasa maderable disponible a un 55% h_h arroja un valor de 1.226.000 t.

Todos estos datos indican que las cortas actualmente estarían por debajo del crecimiento corriente anual en volumen, por lo que hay margen para un mayor porcentaje de corta anual (como se está observando) para abastecer la creciente demanda de madera y residuo forestal.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-González, J.G., Cañellas, I., Alberdi, I., Gadow, K.V., Ruiz-González, A.D. (2014). National Forest Inventory and forest observational studies in Spain: Applications to forest modelling. *For. Ecol. Manag.* 316: 54–64.
- Balthazar, V., Veerle, V., Eric, F.L. (2012). Evaluation and parameterization of ATCOR3 topographic correction method for forest cover mapping in mountain areas. *International.*
- Diéguez-Aranda, U., Rojo Alboreca, A., Castedo-Dorado, F., Álvarez González, J.G., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., González González, J.M., Pérez-Cruzado, C., Rodríguez Soalleiro, R., López-Sánchez, C.A., Balboa-Murias, M.A., Gorgoso Varela, J.J., Sánchez Rodríguez, F. (2009). Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Xunta de Galicia.
- Diéguez-Aranda, U., Rojo Alboreca, A., Castedo-Dorado, F., Álvarez González, J.G., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., González González, J.M., Pérez-Cruzado, C., Rodríguez Soalleiro, R., López-Sánchez, C.A., Balboa-Murias, M.A., Gorgoso Varela, J.J., Sánchez Rodríguez, F. (2012). Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Adenda A. Actualización de modelos disponibles a fecha de 29/10/2012. Xunta de Galicia.
- FAO (2015). Global Forest Resources Assessment 2015. How are the world's forests changing?.
- Freer-Smith, P., Muys, B., Bozzano, M., Drössler, L., Farrelly, N., Jactel, H., Korhonen, J., Minotta, G., Nijnik, M. and Orazio, C. (2019). Plantation forests in Europe: challenges and opportunities. From Science to Policy 9. European Forest Institute.
- García-Villabrille, J.D. (2015). Modelización del crecimiento y la producción de plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. en el noroeste de España. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Gilabert, M.A., Piqueros, J.G., Haro, J.G. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección* 8: 1–0.
- Gobakken, T., Næsset, E. (2009). Assessing effects of positioning errors and sample plot size on biophysical stand properties derived from airborne laser scanning data. *Can. J. For. Res.*, 39: 1036–1052.
- Ledo-Leiro, M.F. (2012a). La biomasa como fuente de energía renovable. En “curso de especialización en estimación y gestión de biomasa forestal”, E-Tecma Learning (sin publicar).
- Ledo-Leiro, M.F. (2012b). Herramientas para la estimación de la biomasa forestal. En “curso de especialización en estimación y gestión de biomasa forestal”, E-Tecma Learning (sin publicar).
- Lopez-Sánchez, C.A.; García-Ramírez, P.; Resl, R.; Hernández-Díaz, J.C.; López-Serrano, P.M.; Wehenkel, C. (2017). Modelling dasometric attributes of mixed and uneven-aged forests using Landsat-8 OLI spectral data in the Sierra Madre Occidental, Mexico. *iForest*. 10, pp. 288-295.
- López-Serrano, P.M., López-Sánchez, C.A., Díaz-Varela, R.A., Corral-Rivas, J.J., Solís-Moreno, R., Vargas-Larreta, B., Álvarez-González, J.G. (2015). Estimating biomass of mixed and uneven-aged forests using spectral data and a hybrid model combining regression trees and linear models. *iForest* 9: 226–234.
- López-Serrano, P.M., López-Sánchez, C.A., Álvarez-González, J.G., García-Gutiérrez, J.A. (2016a). Comparison of Machine Learning Techniques Applied to Landsat-5 TM Spectral Data for Biomass Estimation. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42 (6), 690-705.
- López-Serrano, P.M., Corral-Rivas, J.J., Díaz-Varela, R.A., Álvarez-González, J.G., López-Sánchez, C.A. (2016b). Evaluation of radiometric and atmospheric correction algorithms for aboveground forest biomass estimation using Landsat 5 TM data. *Remote Sensing*, 8, 369.

- López-Serrano, P.M.; López-Sánchez, C.A.; Díaz-Varela, R.A.; Corral-Rivas, J.J.; Solis-Moreno, R.; Vargas-Larreta, B.; Alvarez-Gonzalez, J.G. (2016c). Estimating biomass of mixed and uneven-aged forests using spectral data and a hybrid model combining regression trees and linear models. *iForest*. 9-2, pp.226-234.
- McRoberts, R.E., Westfall, J.A. (2014). Effects of uncertainty in model predictions of individual tree volume on large area volume estimates. *For. Sci.* 60: 34–42.
- Menéndez-Miguélez, M. (2015). Growth and yield modelling for *Castanea sativa* Mill. coppices stands in northwestern Spain. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo.
- Moser, P., Vibrans, A.C., McRoberts, R.E., Næsset, E., Gobakken, T., Chirici, G., Mura, M., Marchetti, M. (2017). Methods for variable selection in Lidar-assisted forest inventories. *Forestr*, 90: 112–124.
- Richter, R. (2013). User manual ATCOR2 and ATCOR3, ATCOR for IMAGINE 2013: haze reduction, atmospheric and topographic correction. DLR Oberpfaffenhofen, Institute of Ptoelectronics, D-82234, Version 15.01.2013, Wessling, Germany, pp. 240.
- Richter, R., Schläpfer, D. (2011). Atmospheric/topographic correction for satellite imagery. ATCOR 2/3 User Guide, Version 8.0.2, ReSe, Wil, Switzerland, pp. 252.
- Teobaldelli, M., Cona, F., Saulino, L., Migliozi, A., Dürso, G., Langella, G., Manna, P., Saracino, A. (2017). Detection of diversity and stand parameters in Mediterranean forests using leaf-off discrete return LiDAR data. *Remote Sens. Environ.*, 192, 126–138.
- Torre Antón, M. (1995). Degradación inducida por algunas prácticas agrarias tradicionales. El caso de los Rebollares (*Quercus pyrenaica* willd) de la provincia de León. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid
- Jiménez, E., Vega, J.A., Fernández-Alonso, J.M., Vega-Nieva, D., Ortiz, L., López-Serrano, P.M., López-Sánchez, C.A. (2017). Estimation of aboveground forest biomass in Galicia (NW Spain) by the combined use of LiDAR, LANDSAT ETM+ and National Forest Inventory data. *IFOREST* 10: 590–596.
- Novo-Fernández, Barrio-Anta, M., Recondo, C., Cámara-Obregón, A., López-Sánchez, C.A. (2019). Integration of National Forest Inventory and Nationwide Airborne Laser Scanning Data to Improve Forest Yield Predictions in North-western Spain. *Remote Sensing*, 11(14): pp.: 1-25.

Anexo 1: TABLAS

Tabla I. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de ASTURIAS

Tabla II. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de CANTABRIA

Tabla III. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de LUGO

Tabla IV. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de LEÓN

Tabla V. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de BURGOS

Tabla VI. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de PALENCIA

Tabla I. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de ASTURIAS

Comarca Forestal	EUCALIPTOS			FRONDOSA AUTÓCTONA			PINOS		
	BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h		
	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}
Cangas de Onís	7.665	6.581	1.084	18.426	10.948	7.478	4.500	3.601	899
Cangas del Narcea	438	376	62	45.366	29.261	16.105	53.040	41.700	11.340
Grado	4.880	4.191	690	32.656	19.014	13.642	4.346	3.474	872
Luarca	169.814	145.900	23.914	32.162	18.218	13.944	142.766	112.138	30.628
Pola de Allende	3.330	2.861	469	20.490	11.969	8.521	59.705	46.798	12.907
Pola de Laviana	72	62	10	53.087	31.155	21.932	796	626	170
Pola de Siero	258.248	221.775	36.473	64.448	36.163	28.286	24.712	19.666	5.046
Pravia	264.608	227.368	37.241	29.127	16.351	12.776	52.802	41.798	11.005
Ribadesella	130.946	112.448	18.498	12.660	7.154	5.506	18.694	14.879	3.815
Vegadeo	181.079	155.531	25.548	4.975	2.803	2.172	89.410	70.520	18.890
TOTAL	1.021.081	877.093	143.988	313.397	183.035	130.362	450.771	355.200	95.571

Tabla II. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de CANTABRIA

Comarca Forestal	EUCALIPTOS			FRONDOSA AUTÓCTONA			PINOS		
	BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h		
	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}
Besaya	17.744	15.235	2.508	4.474	3.017	1.457	15.246	11.901	3.345
Cabuérniga	5.090	4.371	720	4.260	3.108	1.153	7.232	5.717	1.515
Campoo	0	0	0	3.196	2.390	806	10.323	7.751	2.572
Costera Central	242.370	208.102	34.267	98	60	38	2.746	2.168	578
Costera Occidental	160.424	137.746	22.678	658	369	289	12.429	9.946	2.483
Costera Oriental	214.365	184.057	30.307	320	185	135	10.260	8.215	2.046
Liébana	0	0	0	32.330	24.025	8.305	5.058	4.037	1.020
Los Valles	0	0	0	34.589	25.867	8.722	27.139	20.344	6.795
Nansa	1.718	1.476	243	4.616	3.395	1.221	2.226	1.783	444
Pas	17.803	15.286	2.517	580	325	255	19.260	15.387	3.873
Pisueña	57.699	49.544	8.156	342	195	147	9.996	7.916	2.080
Soba	13.349	11.463	1.886	1.235	735	500	2.662	2.107	554
TOTAL	730.561	627.279	103.281	86.698	63.671	23.027	124.577	97.272	27.305



Tabla III. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de LUGO

Comarca Forestal	EUCALIPTOS			FRONDOSA AUTÓCTONA			PINOS		
	BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h		
	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}
Mariña Lucense	1.241.613	1.066.663	17.4950	1.825	1.023	802	85.412	67.371	18.041
Fonsagrada-Os Ancares	41.514	35.655	5.859	70.069	46.523	23546	233.389	183.234	50.155
Terra de Lemos	4.989	4.285	704	45.703	29.148	16555	241.815	189.218	52.597
Lugo-Sarria	250.379	215.061	35.318	14.017	9.037	4980	332.567	265.116	67.452
Terra Chá	514.605	442.070	72.535	2.139	1.236	902	267.761	212.624	55.136
TOTAL	2.053.100	1.763.733	289.367	133.753	86.968	46785	1.160.944	917.562	243.381

Tabla IV. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de LEÓN

Comarca Forestal	EUCALIPTOS			FRONDOSA AUTÓCTONA			PINOS		
	BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h		
	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}
Astorga	0	0	0	31.554	23.575	7.979	56.817	43.022	13.795
Bembibre	0	0	0	50.494	36.053	14.441	52.492	40.404	12.088
Benavides de Orbigo	0	0	0	19.980	14.870	5.110	32.929	25.086	7.844
Boñar	0	0	0	19.908	14.882	5.026	22.169	16.624	5.546
Cistierna	0	0	0	58.842	43.989	14.853	27.358	20.576	6.782
Gradefes	0	0	0	37.116	27.741	9.375	37.846	28.491	9.355
La Magdalena	0	0	0	55.860	41.749	14.111	9.271	6.951	2.321
La Robla	0	0	0	52.031	388.93	13.138	19.127	14.382	4.745
León	0	0	0	58.564	42.102	16.462	31.927	24.174	7.753
Ponferrada	51	44	7	35.483	24.540	10.944	75.754	59.966	15.789
Riaño	0	0	0	3.200	2.394	806	8.490	6.365	2.126
Sahagún	0	0	0	15.429	11.536	3.893	19.272	14.485	4.786
Vega de Espinareda	0	0	0	30.055	21.321	8.734	40.129	30.526	9.604
Villablino	0	0	0	31.820	23.734	8.086	4.099	3.076	10.24
Villafranca	0	0	0	46.890	31.314	15.576	19.684	15.426	4.259
TOTAL	51	44	7	547.225	398.692	148.533	457.366	349.552	107.814

Tabla V. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de BURGOS

Comarca Forestal	EUCALIPTOS			FRONDOSA AUTÓCTONA			PINOS		
	BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h		
	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}
Espinosa de los Monteros	0	0	0	8.996	6.722	2.273	41.705	32.535	9.170
Medina de Pomar	0	0	0	544	407	136	82.674	62.384	20.291
Oña	0	0	0	401	300	101	99.661	77.193	22.468
Sedano	0	0	0	9.402	7.030	2.372	20.563	15.470	5.092
Villarcayo	0	0	0	9.985	7.469	2.516	18.653	13.989	4.664
TOTAL	0	0	0	29.327	21.929	7.398	263.256	201.571	61.685

Tabla VI. Toneladas de biomasa forestal disponible por grupos de especies en las comarcas forestales de la provincia de PALENCIA

Comarca Forestal	EUCALIPTOS			FRONDOSA AUTÓCTONA			PINOS		
	BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h			BIOMASA DISPONIBLE 30%h _h		
	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}	W30 _{total}	W30 _{maderable}	W30 _{residual}
Alto Carrión	0	0	0	27.308	20.413	6.895	47.419	35.561	11.858
Alto Pisuerga	0	0	0	35.858	26.808	9.050	11.139	8.440	2.699
Boedo - Ojeda	0	0	0	18.246	13.640	4.606	24.106	18.456	5.650
Campoo	0	0	0	28.089	20.999	7.090	6.026	4.518	1.509
Páramos - Valdavia	0	0	0	19.904	14.876	5.027	43.538	32.724	10.814
TOTAL	0	0	0	129.404	96.736	32.668	132.228	99.698	32.531



Anexo 2: MAPAS

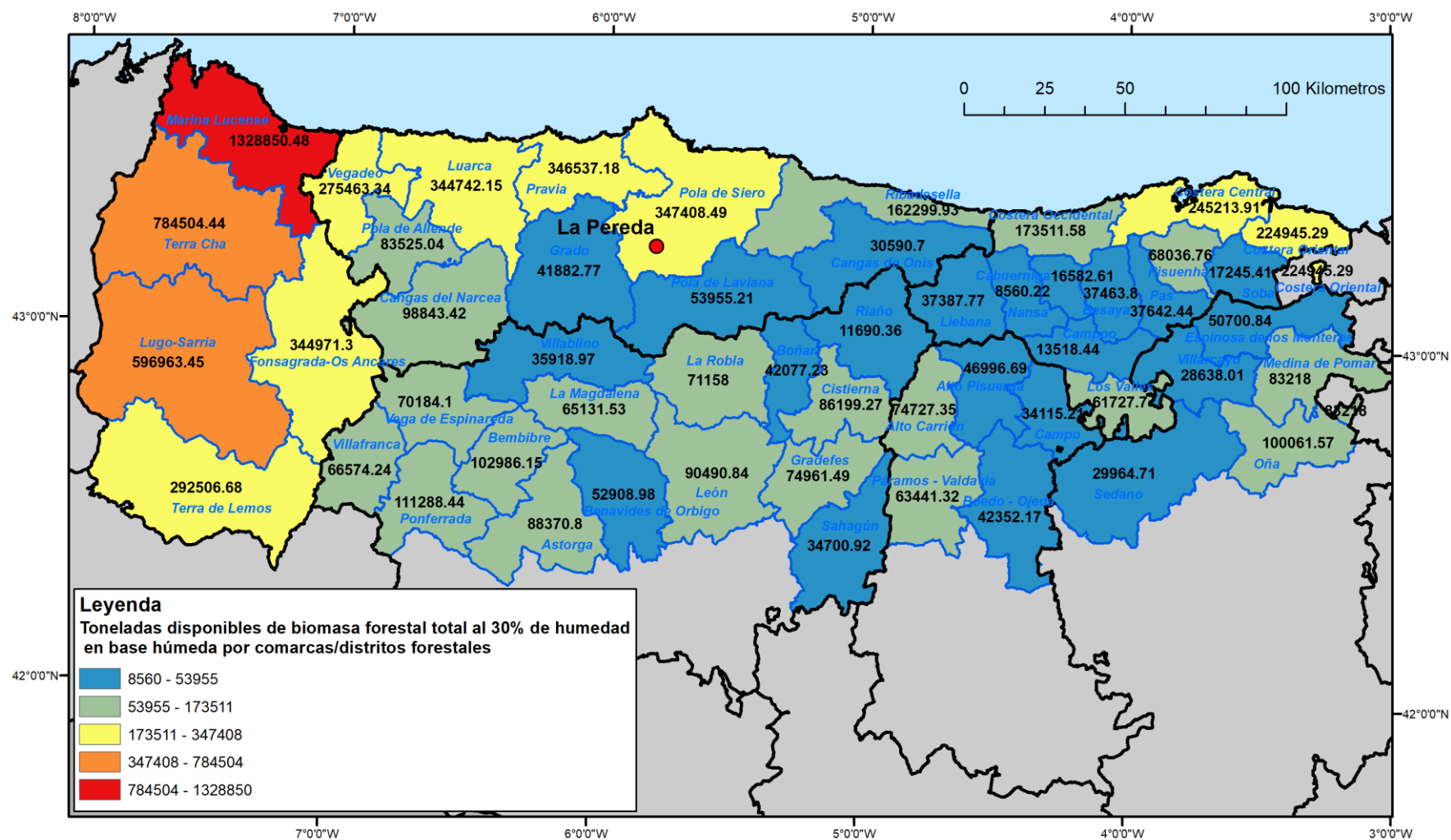
Mapa I. Toneladas disponibles de biomasa forestal total al 30% de humedad en base húmeda por Comarcas/Distritos Forestales

Mapa II. Toneladas disponibles de biomasa forestal de eucaliptos al 30% de humedad en base húmeda por Comarcas/Distritos Forestales

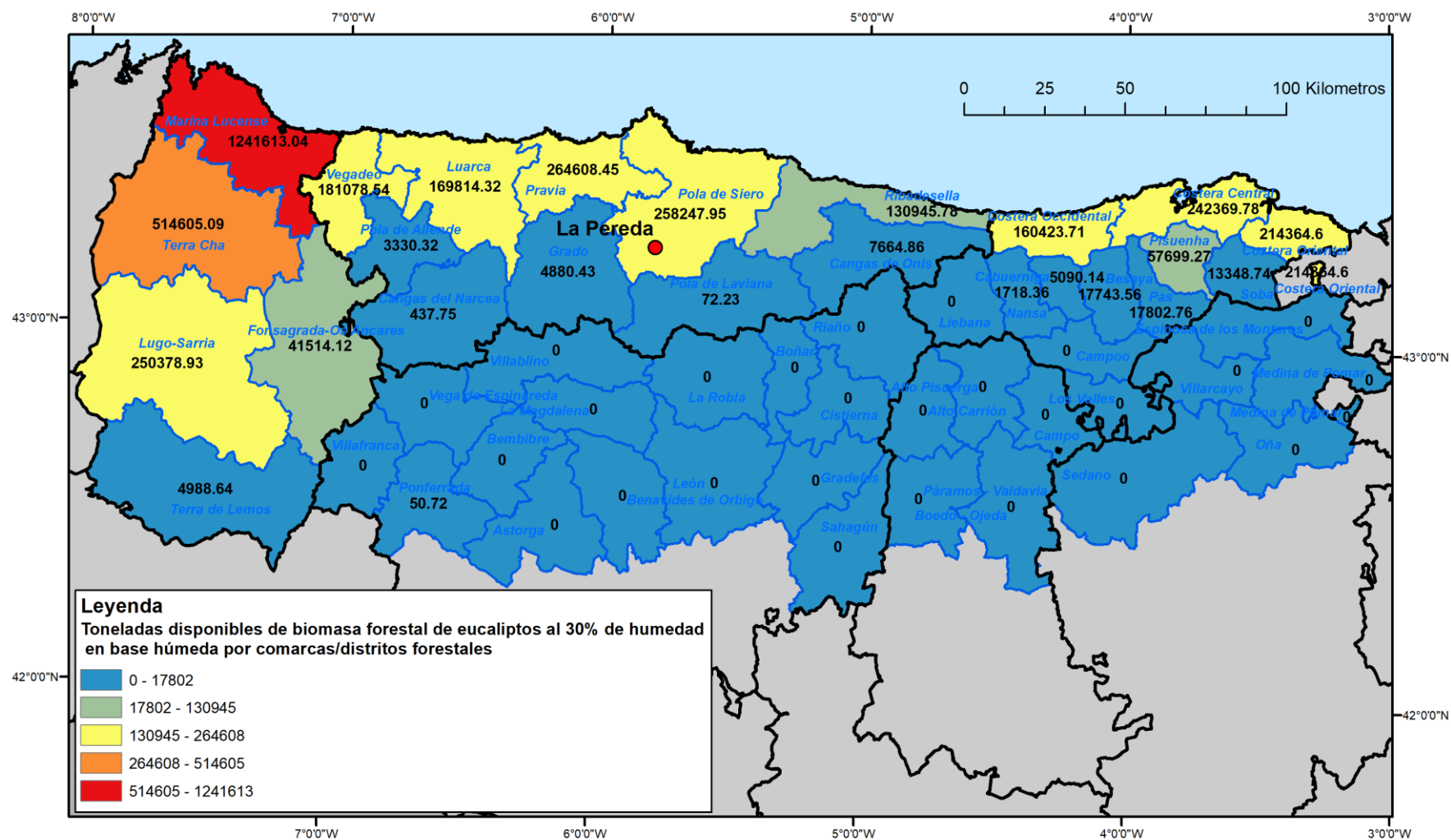
Mapa III. Toneladas disponibles de biomasa forestal de frondosas autóctonas al 30% de humedad en base húmeda por Comarcas/Distritos Forestales

Mapa IV. Toneladas disponibles de biomasa forestal de pinos al 30% de humedad en base húmeda por Comarcas/Distritos Forestales

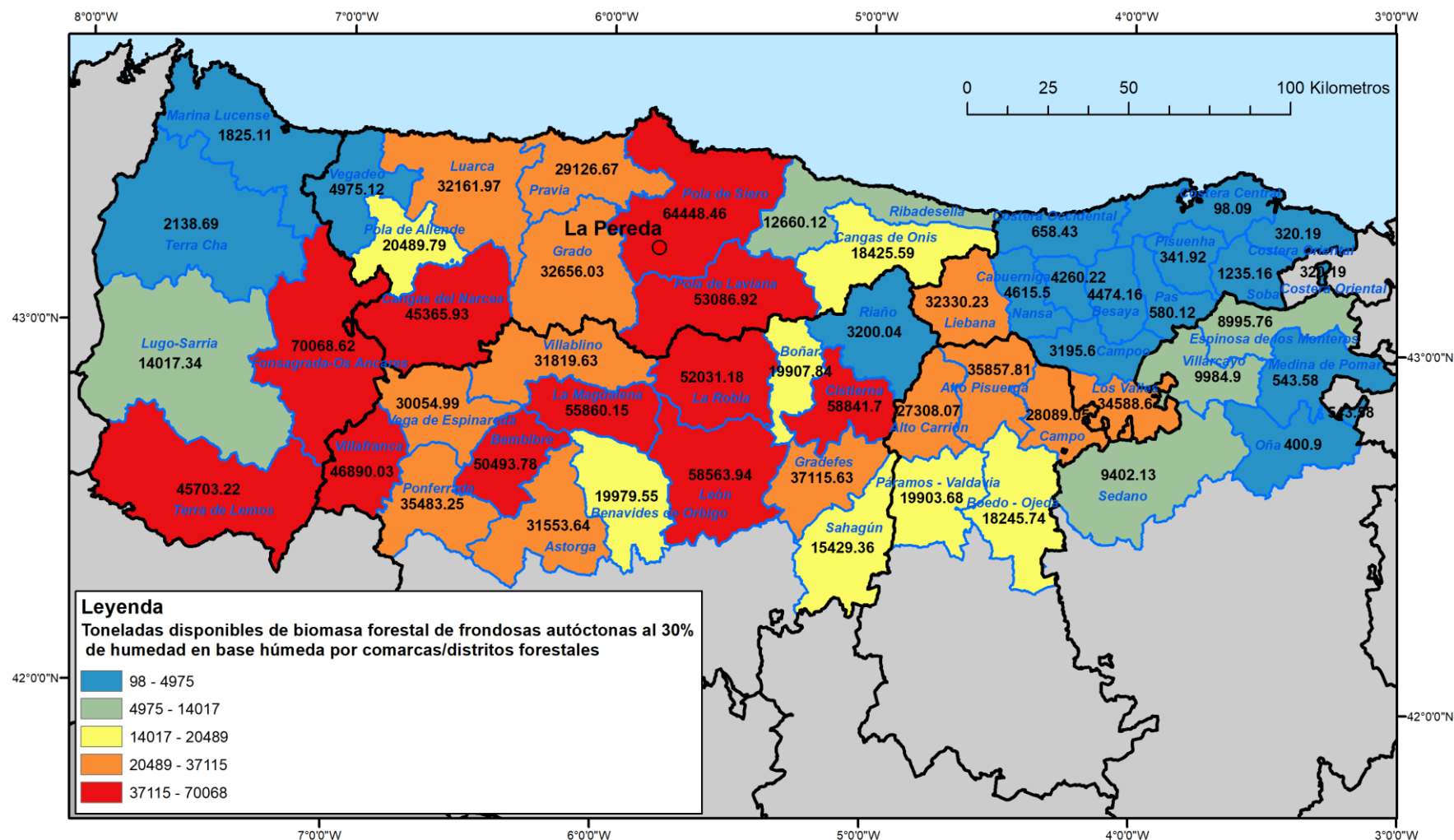
Mapa I. Toneladas disponibles de biomasa forestal total al 30% de humedad en base húmeda ($W_{30\%total}$) por Comarcas/Distritos Forestales



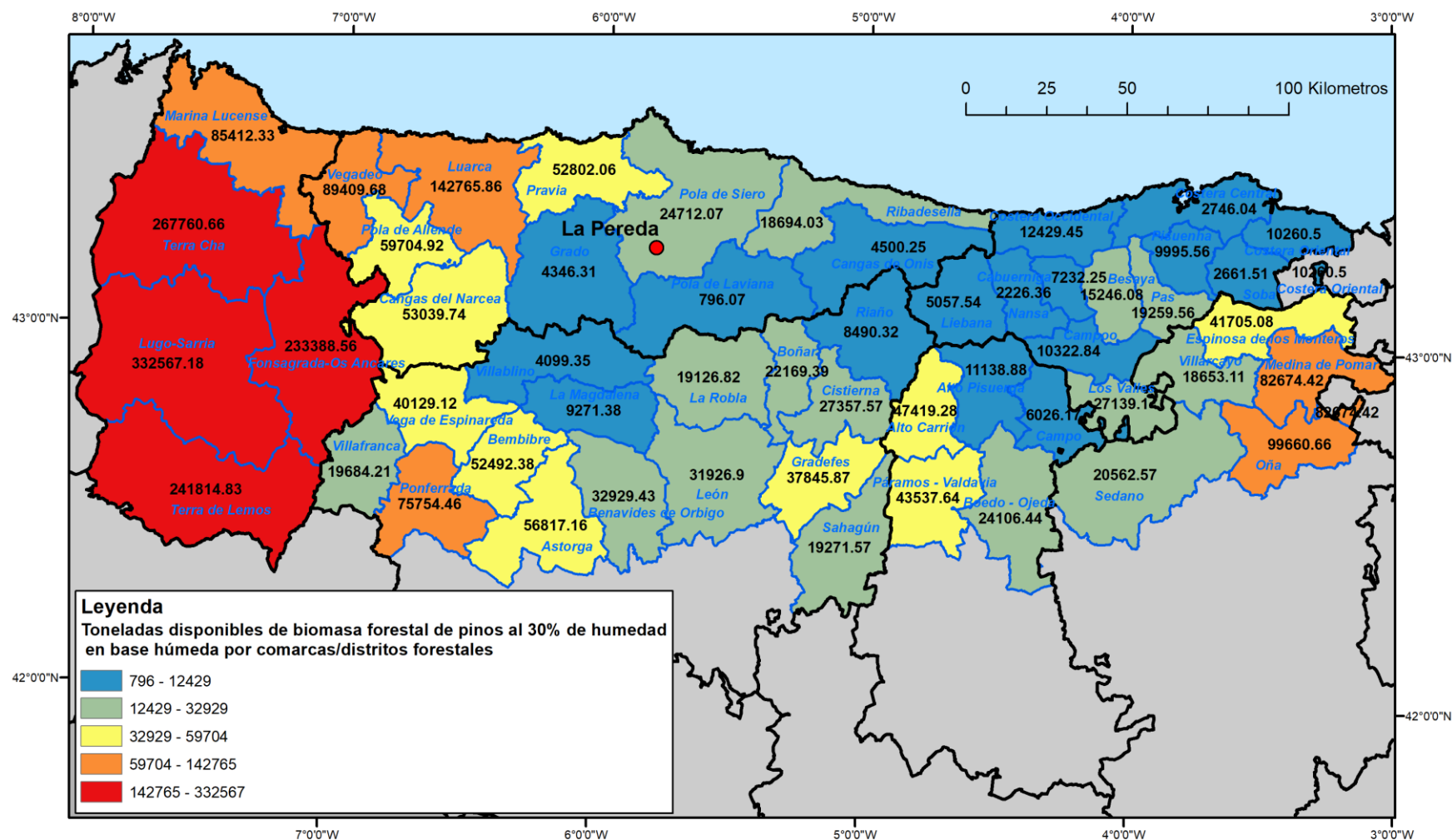
Mapa II. Toneladas disponibles de **biomasa forestal de eucaliptos** al 30% de humedad en base húmeda ($W30_{total \text{ eucalipto}}$) por Comarcas/Distritos Forestales



Mapa III. Toneladas disponibles de **biomasa forestal de frondosas autóctonas** al 30% de humedad en base húmeda ($W30_{total_frondosas_autoctonas}$) por Comarcas/Distritos Forestales



Mapa IV. Toneladas disponibles de biomasa forestal de pinos al 30% de humedad en base húmeda ($W_{30\text{total pinos}}$) por Comarcas/Distritos Forestales





INFORME DE ENSAYO/ESTUDIO: Disponibilidad de biomasa forestal potencial y accesible procedente de las principales especies productivas del Principado de Asturias: identificación y cuantificación a escala regional.

CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN ID: IN.05.20



CETEMAS
CENTRO TECNOLÓGICO FORESTAL Y DE LA MADERA

CENTRO TECNOLÓGICO FORESTAL Y DE LA MADERA
B.º Pumarabule , S/N. Carbayín Bajo C.P. 33936. Siero. Asturias.
Tfno. 984 500 000

www.cetemas.es

CLIENTE :	HUNOSA
DIRECCIÓN:	Térmica La Pereda - Cardeo s/n 33682 Mieres Asturias
A LA ATENCIÓN:	María Lorenzo Conto
E-MAIL:	MariaLorenzo@hunosa.es
TFNO:	985446055 Ext.50213
FECHA DE SOLICITUD DE ENSAYO/ESTUDIO:	4-11-2020
CÓDIGO DE OFERTA EMITIDA:	OF.05.20.080

LABORATORIO DE ENSAYO:	Geomática
DIRECCIÓN:	PUMARABULE S/N. CARBAYÍN BAJO. SIERO
CONTACTO:	Sandra Sánchez García
E-MAIL:	ssanchez@cetemas.es
TFNO:	984 500 000 – EXT 204
EQUIPO TÉCNICO:	Juan Majada, Elena Canga, Sandra Sánchez
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	19-01-2021

ELABORADO POR:



Sandra Sánchez García

SANCHEZ GARCIA
SANDRA
Firmado digitalmente por SANCHEZ GARCIA SANDRA - 76947172M
Fecha: 2021.01.19 14:36:40 +01'00'

CETEMAS

En Carbayín, a 19/01/2021

1 ANTECEDENTES

Desde sus usos con tecnologías tradicionales a sus futuros desarrollos económicos, empresariales, de investigación, de tecnología y de implementación, todos los sistemas bioenergéticos deben ser sostenibles social y ambientalmente y contribuir al desarrollo de las economías regionales. Para ello, el primer paso a tener en cuenta, es conocer su distribución geográfica así como cuantificación y potencial disponible de biocombustibles en un territorio concreto para un horizonte determinado. Este es un punto fundamental, ya que para plantearse un futuro bioenergético viable, se requiere conocer la oferta constante de biomasa que asegure la demanda de los puntos consumidores.

En los últimos años, caracterizados por un gran impulso del uso de la biomasa con fines energéticos, se ha extendido notablemente el uso como herramientas, de diferentes aplicaciones y metodologías que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen para este tipo de estimaciones. Una de las metodologías de análisis SIG más utilizada y reconocida a nivel mundial, para evaluar el potencial de biomasa forestal disponible y accesible y el consumo de biomasa en un área concreta, es la denominada WISDOM (Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping). Esta metodología fue diseñada por Drigo et al., (2002) como colaboración entre el departamento de biocombustibles de la FAO (Forest Product Service; FOIP) y el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional de México (UNAM). A lo largo de los últimos años se ha puesto en práctica para diferentes escalas de análisis; por ejemplo a nivel nacional en países como Senegal (Drigo, 2004), Italia (Drigo et al., 2007), Méjico (Ghilardi et al., 2007), Croacia (Segon et al., 2009), Argentina (Drigo et al., 2009a) Slovenia (Drigo, 2011), Rwanda (Drigo y Nzabanita, 2010; Drigo et al., 2013) y Nepal (Drigo et al., 2014b), a nivel supranacional en países de África (Drigo, 2006), a nivel regional en Castilla y León (España) (Drigo et al., 2009b) y en el estado de Karnataka (India) (Drigo et al., 2014a) y para ciudades (Drigo y Salbitano, 2008).

En el año 2010 CETEMAS, por encargo de la Consejería de Medio Rural y Pesca, llevó a cabo el primer balance de biocombustibles (oferta/demanda) en el Principado de Asturias siguiendo la metodología WISDOM. Para ello desarrolló la arquitectura y procesamiento de distintas fuentes de datos generando una herramienta que permite la incorporación de nuevas fuentes de datos, la actualización de las ya existentes y lo que resulta más interesante realizar proyectos de detalle de variables de interés y con los condicionantes previos exigidos por un proyecto concreto.

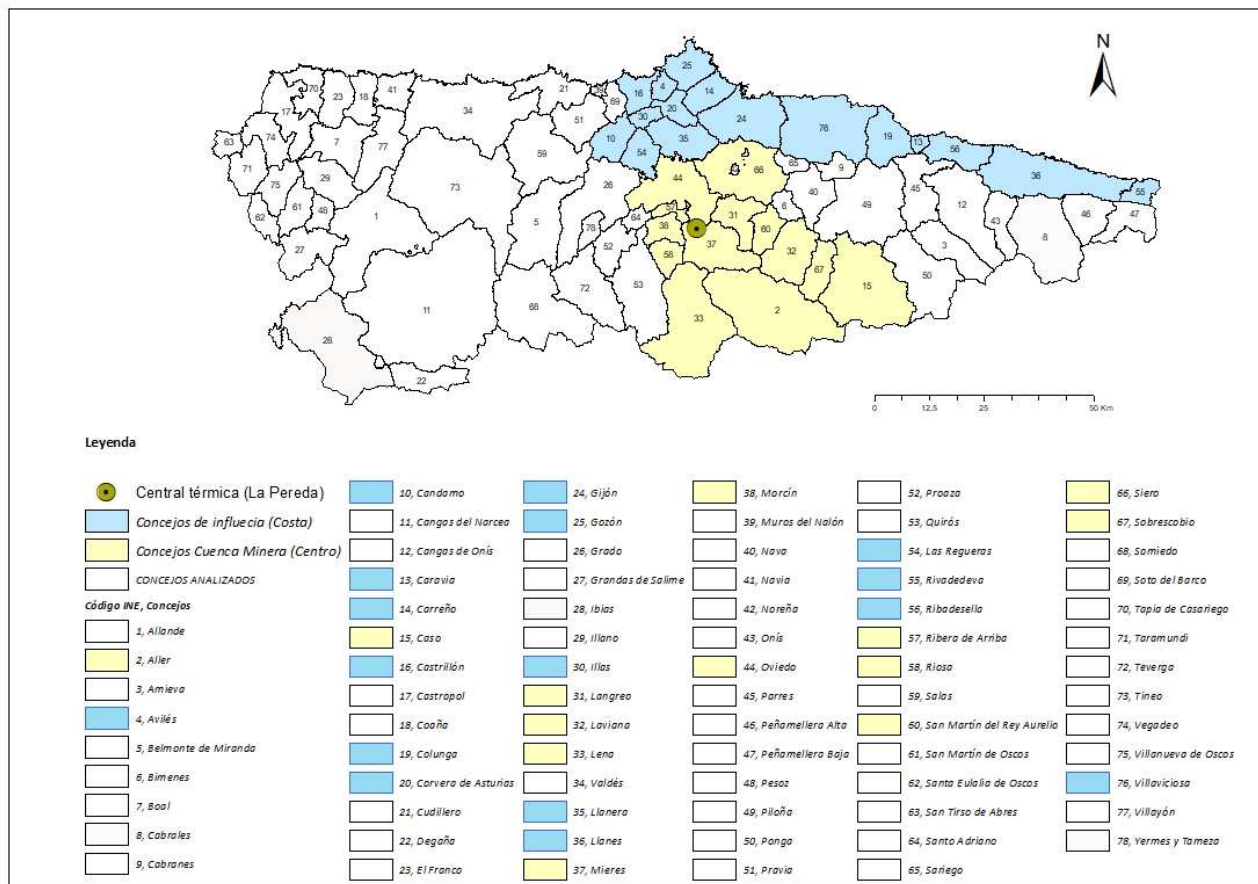
Desde entonces CETEMAS ha continuado trabajando en la mejora de los cálculos y capas cartográficas base, así como en su utilización como soporte de numerosas aplicaciones prácticas y estratégicas orientadas hacia objetivos concretos que combina la cuantificación de biomasa con análisis de redes y optimización logística (rutas de transporte y emisiones de CO₂).

A día de hoy CETEMAS se ha especializado en el desarrollo de algoritmos a medida que permitan cuantificar y georreferenciar la biomasa potencial y accesible para un escenario de análisis/área de abastecimiento concreto.

El presente informe recoge los trabajos realizados por parte de la Fundación CETEMAS (Centro Tecnológico Forestal y de la Madera) para la empresa HUNOSA, con el objetivo de estimar la disponibilidad de biomasa forestal potencial y accesible en Asturias. Como especies susceptibles de aprovechamiento se han seleccionado las principales especies productivas del Principado de Asturias: *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* y *Castanea sativa*.

Para estas especies se han generado diferentes salidas gráficas (mapas) calculadas a escala regional para ofrecer una visión más amplia que ayude a la toma de decisiones y a escala municipal, donde también se incluyen salidas numéricas (tablas) para los 78 concejos que constituyen la región. Como resultado de otros estudios previos realizados con anterioridad para la empresa HUNOSA se contaba con resultados para un total de 29 concejos, siendo en este caso necesario el cálculo para los 49 concejos restantes siguiendo la misma metodología de trabajo generada con anterioridad, con ligeras consideraciones y revisiones relacionadas con

los filtros de accesibilidad legal. En el Mapa 1 se muestran todos los concejos identificados por su código INE (Instituto Nacional de Estadística) y la ubicación de la central térmica -La Pereda-.



Mapa 1. Concejos analizados.

Se presentan estimaciones:

sobre las existencias en toneladas de materia seca (t calculadas a una humedad teórica de referencia del 0%) de Biomasa Forestal (BF) procedente de masas forestales de eucalipto (*Eucalyptus globulus* y *nitens*), pino pinaster (*Pinus pinaster*), pino radiata (*Pinus radiata*) y castaño (*Castanea sativa*) y la posible disponibilidad anual de esa BF, considerando 3 fracciones de biomasa por separado (copa, total y fuste/tronco).

- Disponibilidad anual de la **Biomasa Forestal (BF)** total (copa y fuste/tronco). Para el cálculo de la **BF Disponible anualmente (BFD) o potencial** se seguirá el criterio de sostenibilidad medioambiental, en base al indicador forestal denominado Incremento del Crecimiento Medio Corriente (ICMC) cuyas unidades son t/año. Es decir, la BFD anualmente será igual al ICMC calculado para cada fracción de biomasa. Este concepto es de vital importancia para la comprensión de los resultados y la deducción de conclusiones, ya que se trata de la disponibilidad potencial de la biomasa siguiendo criterios de sostenibilidad medioambiental. Para la determinación real de biomasa disponible sería necesario incluir los planes de ordenación, planes comarcales, etc.. donde se recojan no sólo la cuantificación de dicha biomasa, si no una planificación temporal de cortas o tratamientos selvícolas.
- Para la determinación de la biomasa accesible, se aplicarán una serie de filtros sobre los mapas de BFD, definidos por ciertas restricciones físicas y legales en cuanto a accesibilidad al recurso. Como resultado se obtendrá la Biomasa Forestal Disponible (BFD), la BFD accesible físicamente (**BFD accesible físicamente**) y la BFD accesible física y legalmente (**BFD accesible física y legalmente**).

2 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ACCESIBLE DISPONIBLE Y REAL

A continuación, se exponen los diferentes bloques de trabajo para llevar a cabo los cálculos de biomasa y su representación espacial mediante mapas. Los softwares específicos utilizados han sido el programa SAS/ETS (SAS Institute Inc, 2004) y ArcGis 10.5 (ESRI, 2016).

2.1 Cálculo de las existencias de Biomasa Forestal (BF) y la Biomasa Forestal Disponible (BFD) (a un nivel de árbol individual).

Los cálculos de biomasa se estiman a partir de los datos recogidos en el conjunto de parcelas de muestreo del Inventario Forestal Nacional (IFN4) (DGDRPF, 2012). El diseño de muestreo se basa en el Mapa Forestal Español a escala 1:25.000 (MFE25), que consiste en una estratificación previa de las superficies forestales en función de sus características dasométricas, estructurales y botánicas y que fue elaborado mediante fotointerpretación sobre ortofotografía aérea de alta resolución del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) (DGDRPF, 2012). En la Tabla 1, se describen los 28 estratos en cuanto a sus características de composición de especies principales, fase de desarrollo y Fracción de Cobertura (FCC).

Tabla 1. Características de los estratos del IFN4. (Fuente: DGDRPF, 2012).

Estrato	Especie dominante	Fase de desarrollo	FCC (%)
01	Bosques mixtos de frondosas autóctonas en la región biogeográfica atlántica.	Todos.	70-100
02		Todos.	40-69
03		Todos.	10-39
04	Castañares (<i>Castanea sativa</i>).	Todos	70-100
05		Todos	10-69
06	Hayedos (<i>Fagus sylvatica</i>).	Todos	70-100
07		Todos	10-69
08	Eucaliptales (<i>Eucalyptus spp.</i>).	Fustal. Latizal	70-100
09		Fustal. Latizal	10-69
10		Monte bravo. Repoblado	10-100
11	Robledales de <i>Quercus robur</i> y/o <i>Quercus petraea</i> .	Todos	70-100
12		Todos	40-69
13		Todos	10-39
14	Pinares de <i>Pinus radiata</i> .	Todos	70-100
15		Todos	10-69
16	Pinares de <i>Pinus pinaster</i> en la región biogeográfica atlántica.	Todos	70-100
17		Todos	10-69
18	Melojares (<i>Quercus pyrenaica</i>).	Todos	70-100
19		Todos	10-69
20	Otras especies de producción en mezcla.	Todos	10-100
21	Abedulares (<i>Betula spp.</i>).	Todos	10-100

Estrato	Especie dominante	Fase de desarrollo	FCC (%)
22	Frondosas alóctonas con autóctonas.	Todos	10-100
23	Pinares de pino albar (<i>Pinus sylvestris</i>).	Todos	10-100
24	Bosques ribereños.	Todos	70-100
25		Todos	10-69
26	Encinares (<i>Quercus ilex</i>).	Todos	10-100
27	Avellanedas (<i>Corylus avellana</i>).	Todos	10-100
28	Acebedas (<i>Ilex aquifolium</i>).	Todos	10-100

En base a esto, los puntos de muestreo (centros de las parcelas) se ubican en los vértices de la malla kilométrica de la cartografía UTM situados en el interior de las zonas clasificadas como arboladas. De esta manera, se trata de un reparto de la muestra en los estratos, con afijación proporcional a la extensión de los mismos; un establecimiento sistemático de arranque aleatorio e intensidad de muestreo de 1 km². En la Figura 1 se muestra una representación de lo que sería dicha estructura; distribución de las parcelas (circunferencias azules) cuyo centro se localiza sobre las intersecciones de la malla UTM, dentro de una hipotética superficie forestal arbolada (polígono rojo).

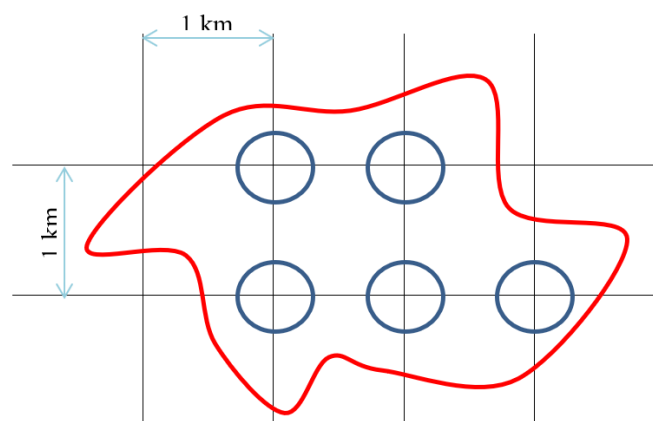


Figura 1. Esquema de interpretación de la distribución de las parcelas de muestreo del IFN4.

A su vez, las parcelas de muestreo fueron de radio variable, con lo que el proceso de muestreo para cada parcela se realizó en función de la posición que ocupa el árbol respecto al centro de la parcela y de la dimensión diametral del mismo:

- ✓ Si la distancia del árbol al centro de la parcela fue menor o igual a 5 m. Se registraron los pies cuyo diámetro normal $7,5\text{cm} \leq d < 12,5\text{ cm}$.
- ✓ Si la distancia fue menor o igual a 10 m. Se registraron los pies $12,5\text{ cm} \leq d < 22,5\text{ cm}$.
- ✓ Si la distancia fue menor o igual a 15 m. Se registraron los pies $22,5\text{ cm} \leq d < 42,5\text{ cm}$.
- ✓ Si la distancia fue menor o igual a 25 m. Se registraron los pies $42,5\text{ cm} \leq d$.

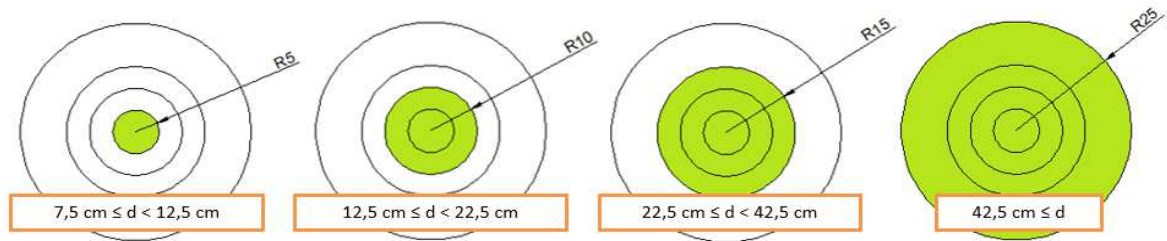


Figura 2. Esquema de interpretación de las parcelas de muestreo de radio múltiple del IFN4.

Se calculó la Biomasa Forestal (BF) en toneladas de materia seca a partir de los datos de altura y diámetro de los pies mayores (aquellos que tienen un diámetro normal superior a 7,5 cm) inventariados en el IFN4.

Para ello, se seleccionaron para cada especie las ecuaciones de biomasa que mejor se adapten a las especies de la región, escogiéndose ecuaciones específicas de Asturias y en caso de que no existan, de Galicia. A través de estas ecuaciones se calcularon las siguientes variables a nivel de árbol individual:

- Biomasa de la madera en el fuste (kg): W_{madera} .
- Biomasa de corteza en el fuste (kg): $W_{corteza}$.
- Biomasa de ramas con diámetro mínimo de 7 cm (kg): W_{b7} .
- Biomasa de ramas con diámetro entre 7 y 2 cm (kg): W_{b2} .
- Biomasa de ramas con diámetro entre 2 cm y 0,5 cm (kg): W_{b05_2} .
- Biomasa de ramas con diámetro menor de 0,5 cm (kg): W_{b05} .
- W_{db} = Biomasa de ramas secas a lo largo del fuste (kg).
- W_l = Biomasa de hojas o acículas (kg).

A partir de estas variables se calculó la biomasa del conjunto de la copa (ramas y hojas/acículas) (kg) W_{copa} y la biomasa aérea total (kg) W_{total} , utilizando las siguientes ecuaciones:

$$W_{copa} = W_{b2_7} + W_{b05_2} + W_{b05} + W_l$$

$$W_{total} = W_{madera} + W_{b7} + W_{corteza} + W_{copa}$$

A continuación se calculó la Biomasa Forestal Disponible anualmente (BFD) también para cada árbol individual, relacionando el incremento volumétrico anual y el volumen con su valor de BR, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$BFD = BF \times \frac{IAVC}{VCC}$$

Donde:

BFD = Biomasa Forestal Disponible anualmente (kg/año).

BF = Biomasa Forestal de cada pie mayor (kg).

VCC = Volumen con corteza de cada pie mayor (dm³).

IAVC = Incremento anual del volumen con corteza de cada pie mayor (dm³/año).

2.2 Extrapolación de la Biomasa Forestal Disponible (BFD) a un nivel superficial (estrato).

Para poder extrapolar los cálculos de la BFD (t/año) calculados para cada árbol a un nivel superficial, en primer lugar, se tuvo en cuenta el lugar que ocupaba cada árbol dentro de cada parcela, es decir, a qué subradio pertenecía en el interior de la parcela. De esta manera, para cada parcela se consideraron cuatro subparcelas delimitadas por los radios de 5 m, 10 m, 15 m y 25 m, expandiendo los valores de biomasa obtenidos a nivel de árbol individual a la hectárea usando el siguiente factor de expansión

$$\text{Factor de expansión} = \frac{10.000}{\pi \cdot r^2}$$

Donde r es el radio de la subparcela correspondiente.

Teniendo en cuenta el número de parcelas de cada estrato que contienen las especies de interés respecto al total de parcelas de ese estrato, se calculó el porcentaje de cada estrato ocupado por las especies de interés. Teniendo en cuenta este porcentaje de ocupación, se agregó la biomasa a nivel de la BFD de las diferentes fracciones.

La importancia de manejar estas cifras a un nivel de estrato, se debe a que tanto el IFN4 como el Mapa Forestal Español (MFE) trabajan con este tipo de agrupación y clasificación y puede ser útil tanto para su representación en el espacio como para algunos tipos de interpretaciones y comparaciones. Teniendo en cuenta esto, para llevar a cabo los mapas correspondientes, se podría considerar la cuantificación de la biomasa calculada para cada especie exclusivamente en los estratos donde se considera dominante, pero se ha optado por hacer un análisis previo a esto y valorar distintas posibilidades.

2.3 Extrapolación de la Biomasa Forestal Disponible (BFD) a un nivel superficial (pixel y municipios).

Se generaron mapas con la la BFD en t/año por pixel y por municipio para la fracción de biomasa total (copa y fuste) para cada especie (*E. globulus*, *P. pinaster*, *P. radiata* y *Castanea sativa*).

- **BFD potencial**

Considerando que la biomasa se distribuye de forma uniforme en el conjunto del estrato, se reclasificó el MFE en formato raster con los valores de la BFD anuales para los pixeles de cada estrato. Para ello, se estableció como tamaño de celda 50m x 50m, con la intención de que cada píxel represente 0,25 ha de la superficie real.

A continuación, se representó espacialmente la biomasa disponible anualmente (BFD) a lo largo de toda la región en kg/píxel, para posteriormente en base a este mapa crear un mapa en el que se representó la distribución municipal (para los concejos seleccionados) de la BFD en t/año.

- **BFD accesible físicamente**

Con la intención de obtener una cuantificación del recurso lo más ajustada posible a la realidad de las condiciones físicas donde es posible realizar el aprovechamiento biomásico, se tuvieron en cuenta una serie de restricciones de accesibilidad. Estas restricciones permitieron determinar la BFD accesible físicamente al aplicar una serie de filtros a la BFD potencial.

Para determinar dicha accesibilidad física a un determinado lugar, se llevaron a cabo dos metodologías de análisis raster diferentes, dando lugar a 3 escenarios distintos:

Metodología 1 (escenario 1): se utilizó un parámetro espacial que define la facilidad para llegar a un destino en relación a la distancia al lugar más cercano con más fácil acceso y a un factor de costo basado en características del terreno. Concretamente, para este cálculo se empleó la herramienta "Cost Distance" del programa ArcGis, que modifica la distancia euclídea (distancia reducida), al asignar a ésta un factor de coste. Este factor toma como fuente, un input considerado como accesibilidad 100% (lugar cercano de fácil acceso) y como condicionante para llegar a la fuente, un factor de costo basado en características del terreno.

En este caso, el indicador de esa accesibilidad 100%, fue un mapa creado como mosaico de aquellos lugares donde concurren los núcleos de población y las vías de acceso. En cuanto al factor de costo, se consideró el mapa de pendientes creado previamente a partir del modelo digital del terreno.

Metodología 2 (escenarios 2 y 3): se utilizó como parámetro espacial, la limitación de accesibilidad exclusivamente ligada a la pendiente del terreno, debido a la limitación que implica esta inclinación en la mecanización del aprovechamiento. De esta manera, se asignó un indicador de accesibilidad 0%

para dos límites diferentes de pendiente (>60% y >40%), con lo cual se generaron otros dos escenarios de BFD (escenario 2 y 3 respectivamente) que tendrían asociados diferentes costes logísticos de mayor a menor.

- **BFD accesible física y legalmente**

En Asturias el 29,5% de la superficie forestal arbolada se encuentra afectada por alguna figura de protección especial (DGDRPF, 2012) lo que da lugar a que existan numerosas restricciones legales para aprovechar el recurso biomásico. En este sentido, se hace indispensable establecer una serie de filtros de accesibilidad legal, que implementen las restricciones reflejadas en los diferentes documentos jurídicos. Entre estas figuras de protección destacan el Parque Nacional de Picos de Europa, los Parques Naturales (Redes, Ponga, Somiedo, Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias y Las Ubiñas - La Mesa), Reservas Naturales y numerosos LICs (Lugares de Interés Comunitario).

En los Parques Naturales se consideró la zonificación y las restricciones establecidas en el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG), en el Instrumento de Gestión Integrado. De esta manera, se estableció que se podrían realizar cortas finales en las zonas de uso agropecuario y uso general (accesibilidad del 100%), mientras que en el resto de zonas se prohíbe este tipo de actuaciones (0% de accesibilidad). Todo esto bajo la consideración de que en el caso de efectuarse en montes privados, sería preciso disponer de un proyecto de ordenación para la toma de decisiones y asignación de porcentajes.

En este análisis no se han establecido restricciones específicas para los LICs, siendo necesaria su consideración si se trabaja a una escala de análisis menor, ligada a toma de decisiones concretas que permitan establecer criterios relacionados con su consideración.

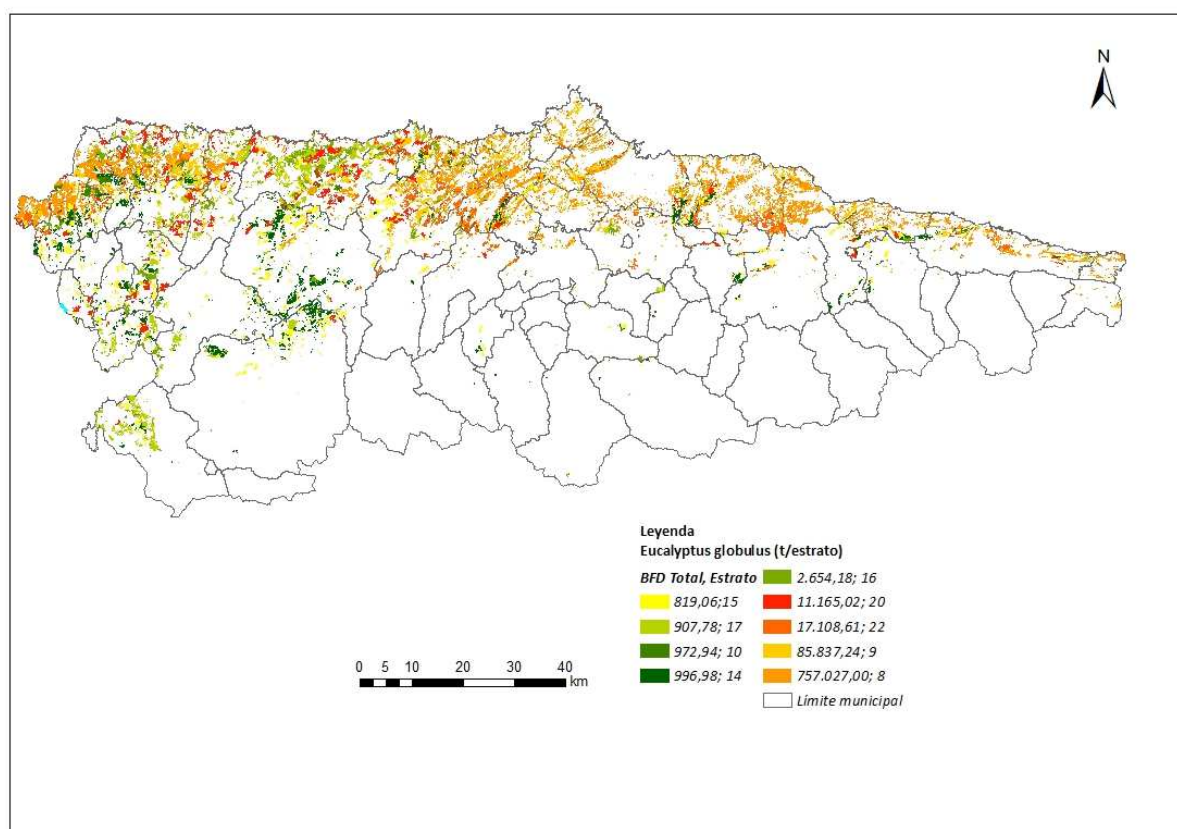
Una vez creado el filtro de accesibilidad legal (teniendo en cuenta estas consideraciones), se aplicó sobre el mapa creado anteriormente de accesibilidad física (para los dos tipos de metodología y escenarios), obteniéndose así la BFD accesible física y legalmente. Este mapa se generó tanto a escala de píxel (kg/píxel) como municipal (t/año).

1. RESULTADOS

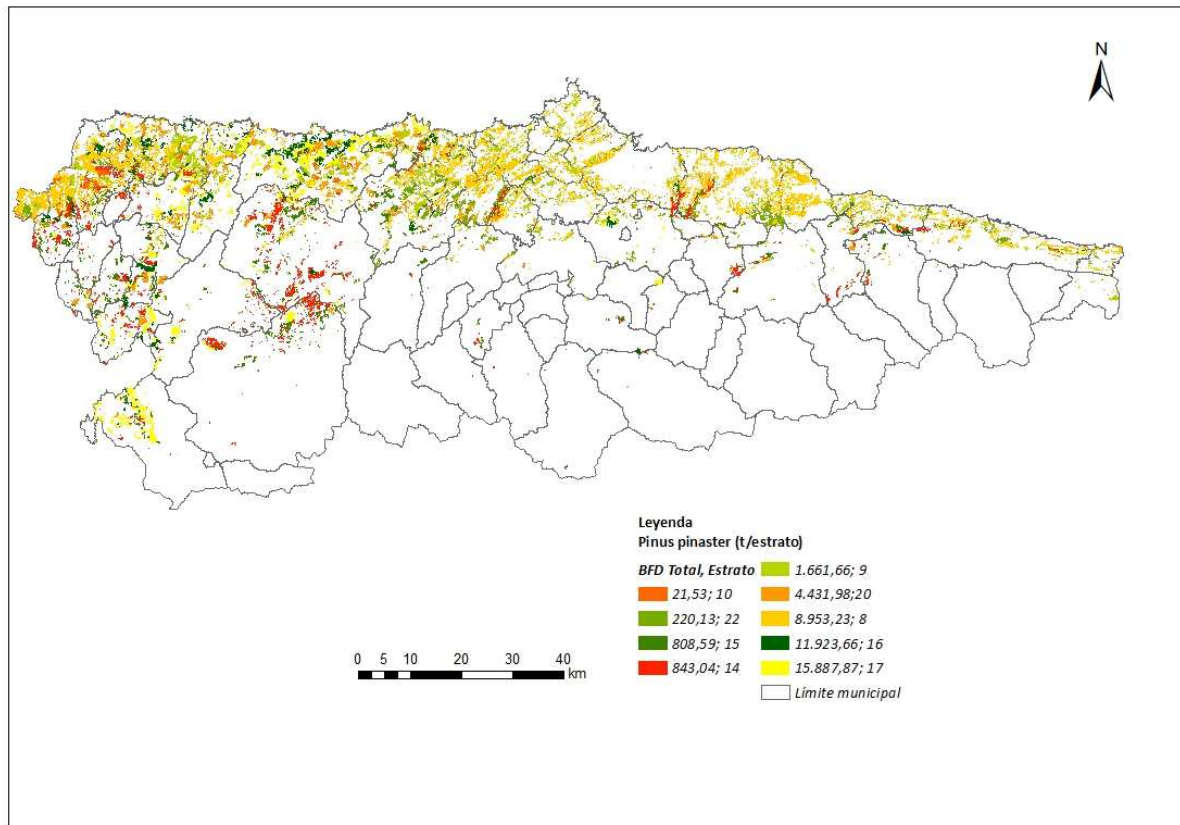
Biomasa Forestal Disponible (BFD) para cada una de las especies consideradas a nivel de estrato

Los resultados fueron analizados detenidamente para cada especie teniendo en cuenta el estrato al que pertenecían, ya que en algunos casos se debía valorar si la presencia de esa especie en un determinado estrato en el cual no se encontraba como especie dominante, suponía una cantidad de biomasa lo suficientemente relevante para ser tomada en cuenta o no en la extrapolación a la superficie del estrato y/o en la representación gráfica y su interpretación final. En aquellos estratos donde la presencia de las especies de interés sea minoritaria no será rentable el aprovechamiento de dicha biomasa. Como consecuencia, los mapas resultado de estos cálculos muestran la BFD (t/estrato para cada especie), solo para aquellos estratos que suponen una cantidad suficientemente relevante respecto al total (> 45%).

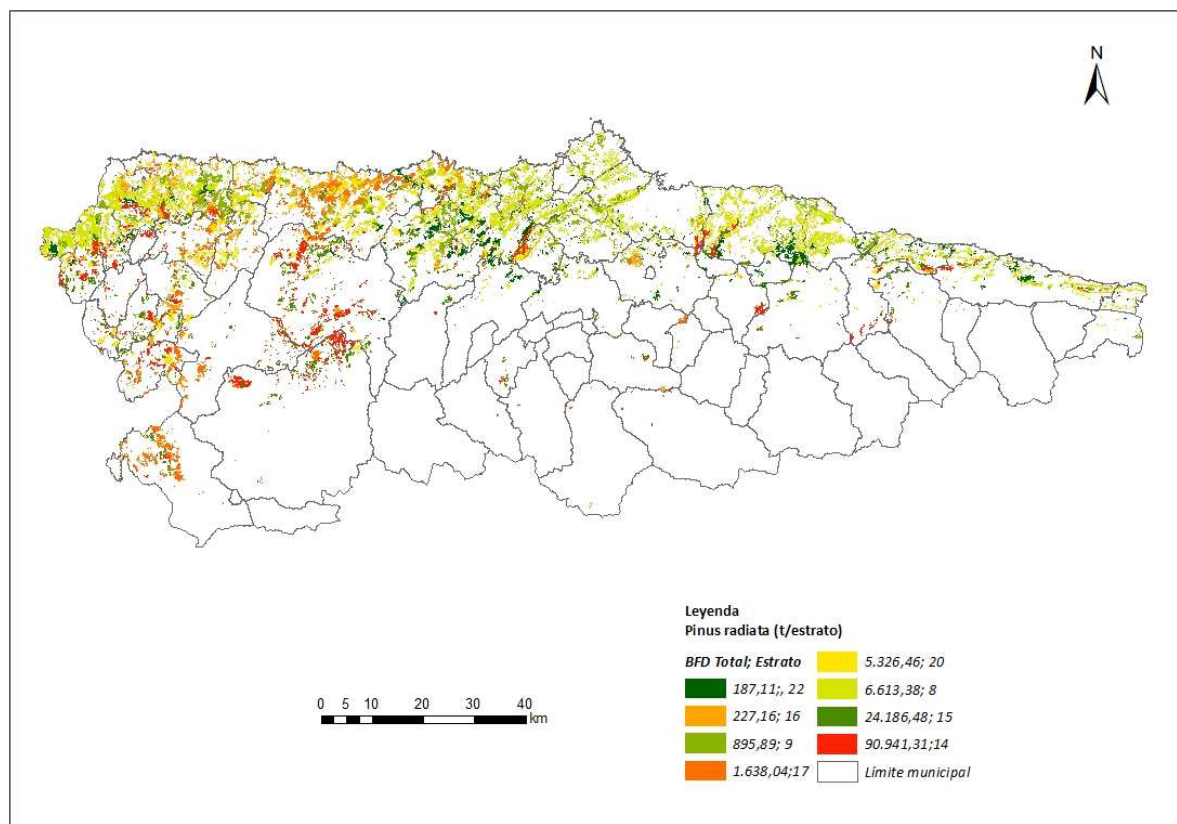
A continuación, se presentan los mapas de BFD a nivel de estrato para cada una de las especies de interés (Mapas 2 a 5). Es importante tener en cuenta que la presencia de las especies consideradas no es uniforme en todo el estrato (y por lo tanto en su representación gráfica), si no que existe esa especie en el estrato y que los valores representados en las leyendas de los siguientes mapas hace referencia a las toneladas anuales para cada estrato en el total de toda la región.



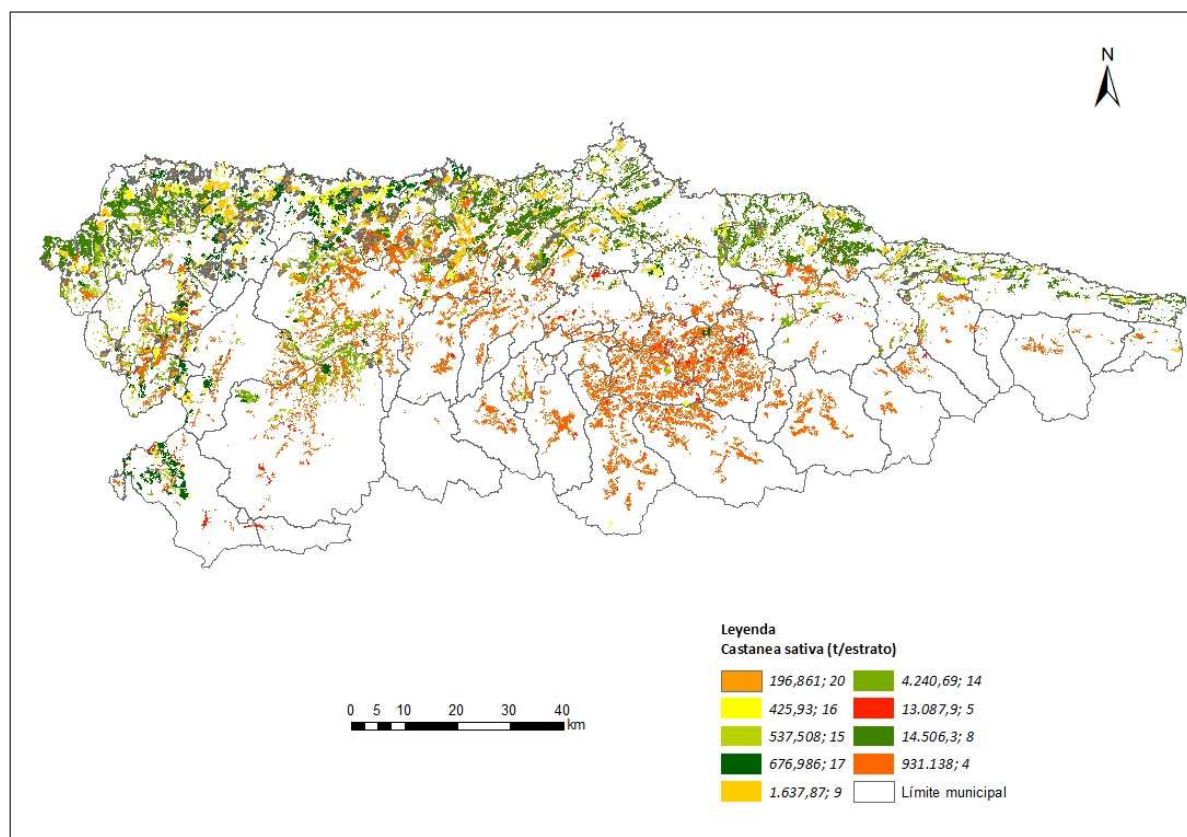
Mapa 2. Biomasa Forestal Disponible Total (copa y fuste) de *Eucalyptus globulus* en t/estrato.



Mapa 3. Biomasa Forestal Disponible Total (copa y fuste) de *Pinus pinaster* en t/estrato.



Mapa 4. Biomasa Forestal Disponible Total (copa y fuste) de *Pinus radiata* en t/estrato.



Mapa 5. Biomasa Forestal Disponible Total (copa y fuste) de *Castaño* en t/estrato.

Existencias de Biomasa Forestal (BF)

La cantidad estimada mediante la metodología desarrollada de las cinco especies de interés se presenta en la Tabla 2. El stock de biomasa total (en toneladas de materia seca, a 0% de humedad) es de 45.456.557 toneladas de todas las especies de interés.

Tabla 2. Estimación de la biomasa forestal de las distintas fracciones para las especies de eucaliptos, pino pinaster, pino radiata y castaño.

Especie	Biomasa total (t)	Biomasa copa (t)	Biomasa fuste (t)
E. globulus	10.266.516	1.392.815	8.873.702
P. pinaster	997.102	226.963	770.139
P. radiata	1.817.802	398.270	1.419.531
C. sativa	32.375.137	12.563.544	19.811.593
Total general	45.456.557	14.581.592	30.874.965

Biomasa Forestal Disponible (BFD) a un nivel superficial (municipios) para cada especie y para los tres niveles de accesibilidad.

En las Tablas 3, 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos para cada concejo correspondientes a los tres niveles (potencial, accesible físicamente y física/legalmente) para el escenario 1.

Tabla 3. BFD Total. Potencial.

Código INE	Municipio	BFD Total potencial (t/año)				TOTAL
		Castaño	Eucalipto	P. pinaster	P. radiata	
1	Allande	37.049,61	3.633,57	1.483,80	4.795,59	46.962,57
2	Aller	62.145,56	5.569,07	341,83	1.208,73	69.265,19
3	Amieva	12.352,95	1.070,55	82,77	161,59	13.667,86
4	Avilés	158,30	4.630,64	53,47	37,79	4.880,20
5	Belmonte de Miranda	31.074,28	2.728,11	197,40	880,73	34.880,52
6	Bimenes	9.899,15	851,00	50,72	114,44	10.915,31
7	Boal	6.733,34	6.964,05	1.742,11	2.545,35	17.984,85
8	Cabrales	12.619,76	1.149,20	93,21	171,68	14.033,85
9	Cabranes	12.288,47	2.729,87	127,46	315,92	15.461,72
10	Candamo	6.144,91	26.806,38	489,26	2.790,84	36.231,39
12	Cangas del Narcea	55.054,23	5.254,39	1.109,77	16.791,83	78.210,22
11	Cangas de Onís	21.289,59	2.951,05	259,23	2.043,75	26.543,62
13	Caravia	360,79	5.272,13	59,34	98,41	5.790,67
14	Carreño	770,48	26.615,05	366,30	255,69	28.007,52
15	Caso	30.904,71	2.714,03	200,18	395,86	34.214,78
16	Castrillón	642,91	29.881,70	482,43	263,82	31.270,86
17	Castropol	3.791,35	47.234,03	1.628,67	5.796,21	58.450,26
18	Coaña	521,26	26.787,01	1.137,84	1.487,69	29.933,80
19	Colunga	5.428,83	59.373,31	717,84	561,28	66.081,26
20	Corvera de Asturias	734,12	17.651,81	200,08	145,64	18.731,65
21	Cudillero	5.152,01	23.390,64	1.982,81	2.413,54	32.939,00
22	Degaña	4.493,33	344,38	66,75	90,41	4.994,87
23	El Franco	2.388,41	31.205,32	1.558,12	2.417,97	37.569,82
24	Gijón	2.769,90	37.147,66	622,66	1.688,62	42.228,84
25	Gozón	608,10	24.713,12	303,44	212,97	25.837,63
26	Grado	38.293,40	7.367,19	362,60	559,48	46.582,67
27	Grandas de Salime	17.079,25	1.927,73	1.475,18	6.210,16	26.692,32
28	Ibías	12.121,10	1.247,80	2.810,75	2.528,80	18.708,45
29	Illano	8.541,95	3.088,15	962,43	2.494,99	15.087,52
30	Illas	1.510,90	15.753,79	196,34	157,97	17.619,00
31	Langreo	39.090,97	3.467,69	323,05	471,59	43.353,30
32	Laviana	49.709,13	4.403,66	241,24	586,11	54.940,14
33	Lena	54.801,58	4.839,32	346,89	842,60	60.830,39
34	Valdés	29.979,32	41.773,40	9.534,56	3.914,08	85.201,36
35	Llanera	2.895,22	25.727,99	423,97	549,83	29.597,01
36	Llanes	8.208,65	48.054,65	823,05	2.858,28	59.944,63
37	Mieres	73.970,67	7.081,12	491,77	1.371,90	82.915,46
38	Morcín	9.060,99	791,80	57,21	116,11	10.026,11
39	Muros del Nalón	119,88	3.497,98	44,37	33,67	3.695,90

40	Nava	9.592,66	1.729,45	129,14	1.616,40	13.067,65
41	Navia	457,60	14.876,46	1.253,70	357,19	16.944,95
42	Noreña	38,52	86,10	1,30	1,08	127,00
43	Onís	3.101,62	399,67	36,00	84,48	3.621,77
44	Oviedo	24.378,23	9.441,37	236,69	349,76	34.406,05
45	Parres	8.712,23	3.712,28	205,50	2.752,37	15.382,38
46	Peñamellera Alta	4.190,98	355,94	38,39	75,37	4.660,68
47	Peñamellera Baja	4.892,10	3.432,07	78,24	105,43	8.507,84
48	Pesoz	8.677,20	1.209,92	908,27	1.903,89	12.699,28
49	Piloña	28.021,72	6.324,47	359,72	2.527,26	37.233,17
50	Ponga	10.868,28	923,83	99,03	162,30	12.053,44
51	Pravia	11.225,20	57.950,23	1.137,32	1.440,40	71.753,15
52	Proaza	10.861,10	966,03	77,41	936,23	12.840,77
53	Quirós	23.480,46	2.058,11	137,58	417,75	26.093,90
54	Las Regueras	8.003,83	13.905,15	429,79	942,80	23.281,57
55	Rivadadeva	861,83	9.391,51	118,75	92,60	10.464,69
56	Ribadesella	3.493,30	29.243,38	584,41	1.667,11	34.988,20
57	Ribera de Arriba	5.317,58	530,47	27,55	63,16	5.938,76
58	Riosa	14.486,85	1.314,66	68,78	170,37	16.040,66
59	Salas	59.472,06	33.130,86	1.409,83	4.777,42	98.790,17
60	San Martín del Rey Aurelio	30.791,10	2.726,25	201,47	423,08	34.141,90
61	San Martín de Oscos	9.124,83	947,41	279,59	3.783,92	14.135,75
62	Santa Eulalia de Oscos	2.201,95	421,32	193,07	1.518,06	4.334,40
63	San Tirso de Abres	1.490,14	32.092,66	429,22	399,85	34.411,87
64	Santo Adriano	2.535,28	218,19	19,50	35,40	2.808,37
65	Sariego	1.016,36	385,97	21,67	113,05	1.537,05
66	Siero	20.499,04	13.632,57	794,87	1.397,86	36.324,34
67	Sobrescobio	10.170,16	899,97	54,33	124,85	11.249,31
68	Somiedo	4.457,20	354,30	63,04	86,28	4.960,82
69	Soto del Barco	829,77	25.696,14	305,46	214,07	27.045,44
70	Tapia de Casariego	694,90	26.851,60	1.433,39	1.409,88	30.389,77
71	Taramundi	11.441,36	11.356,00	909,43	8.379,87	32.086,66
72	Teverga	16.114,49	1.413,44	93,80	277,64	17.899,37
73	Tineo	101.341,02	15.712,66	2.096,20	26.506,42	145.656,30
74	Vegadeo	2.918,03	44.516,80	844,71	4.040,06	52.319,60
75	Villanueva de Oscos	3.711,63	323,72	98,25	1.566,59	5.700,19
76	Villaviciosa	12.806,07	121.376,71	1.596,50	5.115,87	140.895,15
77	Villayón	1.235,95	8.036,65	1.601,95	679,49	11.554,04
78	Yermes y Tameza	686,64	59,25	4,10	8,47	758,46
TOTAL						2.407.387,39

Tabla 4. BFD Accesible físicamente (escenario 1).

Código INE	Municipio	BFD Total potencial (t/año)				
		Castaño	Eucalipto	P. pinaster	P. radiata	TOTAL
1	Allande	21.924,11	2.158,55	984,25	3.562,49	28.629,40
2	Aller	42.143,97	3.798,63	224,98	784,80	46.952,38
3	Amieva	8.059,79	700,30	53,60	105,16	8.918,85
4	Avilés	125,78	3.664,91	42,28	29,86	3.862,83
5	Belmonte de Miranda	18.341,45	1.614,63	112,44	550,82	20.619,34
6	Bimenes	6.508,49	559,33	33,54	75,38	7.176,74
7	Boal	3.904,56	5.185,95	1.305,29	1.859,68	12.255,48
8	Cabrales	8.754,32	786,60	62,78	117,84	9.721,54
9	Cabranes	7.264,74	1.725,17	80,61	183,90	9.254,42
10	Candamo	4.011,95	18.412,16	340,46	2.017,01	24.781,58
12	Cangas del Narcea	33.550,76	3.246,13	670,65	11.812,02	49.279,56
11	Cangas de Onís	13.914,17	1.884,49	175,46	1.506,65	17.480,77
13	Caravia	283,31	3.973,68	45,17	85,66	4.387,82
14	Carreño	588,80	20.647,75	285,62	199,88	21.722,05
15	Caso	19.812,14	1.746,22	118,03	248,15	21.924,54
16	Castrillón	471,80	21.863,20	369,45	194,57	22.899,02
17	Castropol	2.531,03	36.151,17	1.255,02	4.435,69	44.372,91
18	Coaña	437,47	22.736,02	969,09	1.246,75	25.389,33
19	Colunga	3.410,00	38.257,59	461,02	359,62	42.488,23
20	Corvera de Asturias	569,60	12.893,44	146,45	107,37	13.716,86
21	Cudillero	3.293,87	16.641,13	1.450,86	1.685,43	23.071,29
22	Degaña	1.559,77	116,18	22,75	30,55	1.729,25
23	El Franco	1.749,29	25.687,51	1.270,27	1.910,91	30.617,98
24	Gijón	2.071,83	27.440,34	439,40	1.131,05	31.082,62
25	Gozón	471,26	19.081,55	235,01	164,78	19.952,60
26	Grado	25.204,19	4.781,73	235,39	365,75	30.587,06
27	Grandas de Salime	8.623,29	1.039,26	908,51	4.353,71	14.924,77
28	Ibias	5.890,52	651,38	1.826,13	1.698,23	10.066,26
29	Illano	4.629,78	1.947,47	577,81	1.606,71	8.761,77
30	Illas	963,92	10.934,70	135,90	108,79	12.143,31
31	Langreo	25.956,86	2.299,31	241,40	315,57	28.813,14
32	Laviana	34.316,03	3.038,86	165,21	403,18	37.923,28
33	Lena	35.422,39	3.132,66	220,94	546,04	39.322,03
34	Valdés	20.259,08	33.175,28	7.428,86	2.905,05	63.768,27
35	Llanera	2.203,73	19.323,67	324,55	395,96	22.247,91
36	Llanes	5.622,09	36.636,10	620,79	1.797,26	44.676,24
37	Mieres	49.381,70	4.642,87	321,28	983,41	55.329,26
38	Morcín	6.085,40	532,68	37,03	76,94	6.732,05
39	Muros del Nalón	92,38	2.792,46	34,45	25,69	2.944,98
40	Nava	6.273,94	1.140,63	88,41	1.212,98	8.715,96
41	Navia	383,36	12.767,20	1.035,67	296,23	14.482,46
42	Noreña	27,42	61,78	0,92	0,75	90,87
43	Onís	2.167,97	265,26	24,50	53,41	2.511,14
44	Oviedo	16.113,86	6.297,79	158,64	231,26	22.801,55
45	Parres	5.920,97	2.736,63	148,08	1.810,33	10.616,01
46	Peñamellera Alta	2.714,43	230,72	25,29	51,21	3.021,65
47	Peñamellera Baja	3.158,40	2.499,50	53,07	68,36	5.779,33

El contenido de este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización escrita por parte del CETEMAS

Fundación CETEMAS

Pumarabule s/n. Carbayín Bajo. CP 33936. Asturias. España.

Tlf. 984500000

www.cetemas.es

48	Pesoz	5.729,35	784,89	602,67	1.401,41	8.518,32
49	Piloña	17.213,50	4.419,82	224,98	1.750,01	23.608,31
50	Ponga	5.877,57	503,26	50,03	84,64	6.515,50
51	Pravia	7.241,83	41.819,94	845,02	1.077,30	50.984,09
52	Proaza	6.652,57	593,64	45,78	542,41	7.834,40
53	Quirós	14.856,80	1.304,74	84,22	204,86	16.450,62
54	Las Regueras	5.723,19	9.895,29	293,86	705,00	16.617,34
55	Rivadedeva	668,23	7.391,42	93,33	72,72	8.225,70
56	Ribadesella	2.087,76	22.058,06	338,09	871,17	25.355,08
57	Ribera de Arriba	3.579,84	352,18	18,50	42,38	3.992,90
58	Riosa	10.524,10	956,91	50,00	123,78	11.654,79
59	Salas	37.095,90	22.902,32	951,33	3.466,35	64.415,90
60	San Martín del Rey Aurelio	20.852,58	1.843,13	143,92	285,34	23.124,97
61	San Martín de Oscos	4.760,02	506,18	169,68	2.253,93	7.689,81
62	Santa Eulalia de Oscos	1.337,94	226,68	97,49	1.088,06	2.750,17
63	San Tirso de Abres	997,18	22.959,78	311,71	301,65	24.570,32
64	Santo Adriano	1.568,50	135,67	11,38	21,37	1.736,92
65	Sariego	743,77	279,20	16,10	78,14	1.117,21
66	Siero	13.922,81	9.852,55	607,13	955,63	25.338,12
67	Sobrescobio	7.268,92	644,55	37,70	88,33	8.039,50
68	Somiedo	1.901,10	150,56	24,20	33,50	2.109,36
69	Soto del Barco	559,74	17.773,49	211,21	147,14	18.691,58
70	Tapia de Casariego	560,98	21.236,88	1.180,49	1.149,44	24.127,79
71	Taramundi	6.966,43	8.180,97	520,75	5.889,62	21.557,77
72	Teverga	9.961,71	873,55	54,37	158,02	11.047,65
73	Tineo	67.925,61	11.134,01	1.593,76	20.263,74	100.917,12
74	Vegadeo	2.154,54	33.561,12	609,27	3.001,64	39.326,57
75	Villanueva de Oscos	1.903,20	171,70	61,16	1.056,62	3.192,68
76	Villaviciosa	7.801,68	84.182,24	1.103,08	3.726,13	96.813,13
77	Villayón	890,41	6.547,39	1.193,68	547,65	9.179,13
78	Yermes y Tameza	548,31	47,53	3,14	6,68	605,66
TOTAL						1.654.655,10

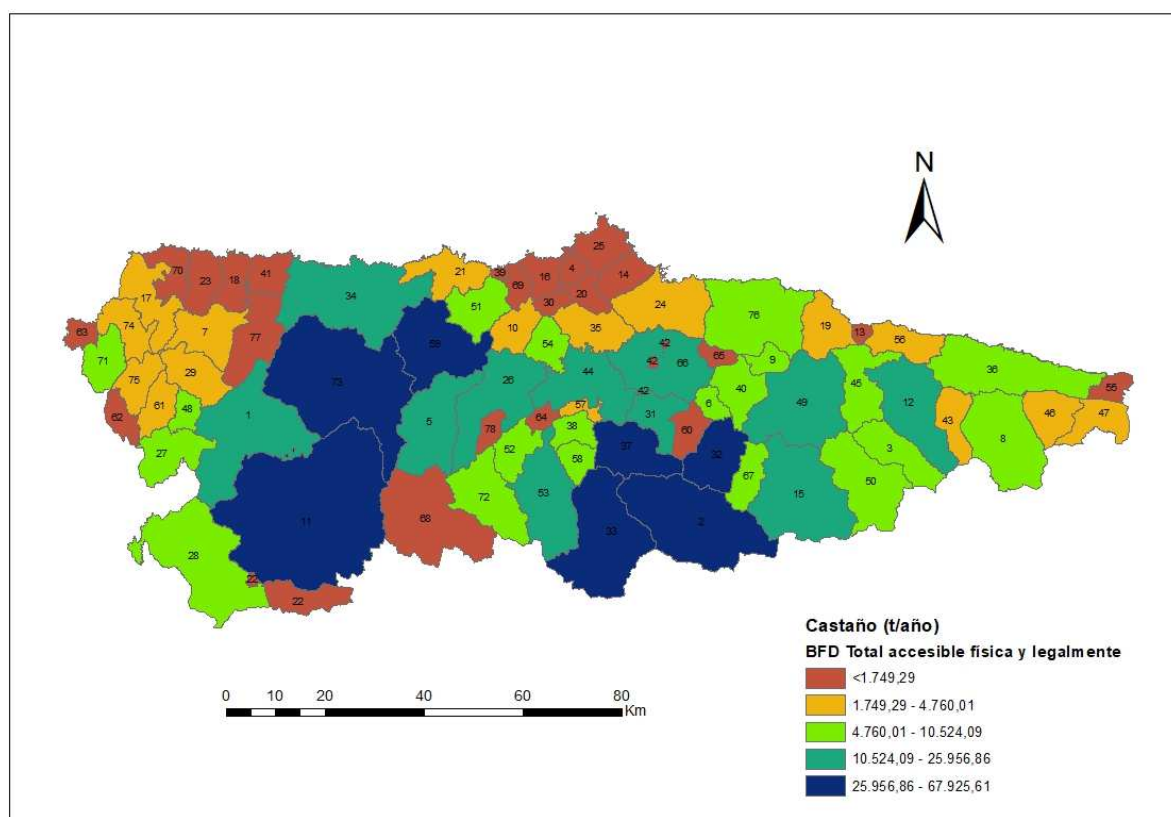
Tabla 5. BFD Accesible física y legalmente (escenario 1).

Código INE	Municipio	BFD Total potencial (t/año)				TOTAL
		Castaño	Eucalipto	P. pinaster	P. radiata	
1	Allande	21.924,11	2.158,55	984,25	3.562,49	28.629,40
2	Aller	42.143,42	3.798,56	224,87	784,66	46.951,51
3	Amieva	7.958,29	693,84	52,42	103,85	8.808,40
4	Avilés	125,78	3.664,91	42,28	29,86	3.862,83
5	Belmonte de Miranda	18.341,43	1.614,63	112,44	550,82	20.619,32
6	Bimenes	6.508,49	559,33	33,54	75,38	7.176,74
7	Boal	3.904,56	5.185,95	1.305,29	1.859,68	12.255,48
8	Cabrales	8.344,37	754,43	56,88	109,77	9.265,45
9	Cabranes	7.264,74	1.725,17	80,61	183,90	9.254,42
10	Candamo	4.011,95	18.412,16	340,46	2.017,01	24.781,58
12	Cangas del Narcea	13.096,89	3.125,35	642,09	11.699,80	28.564,13

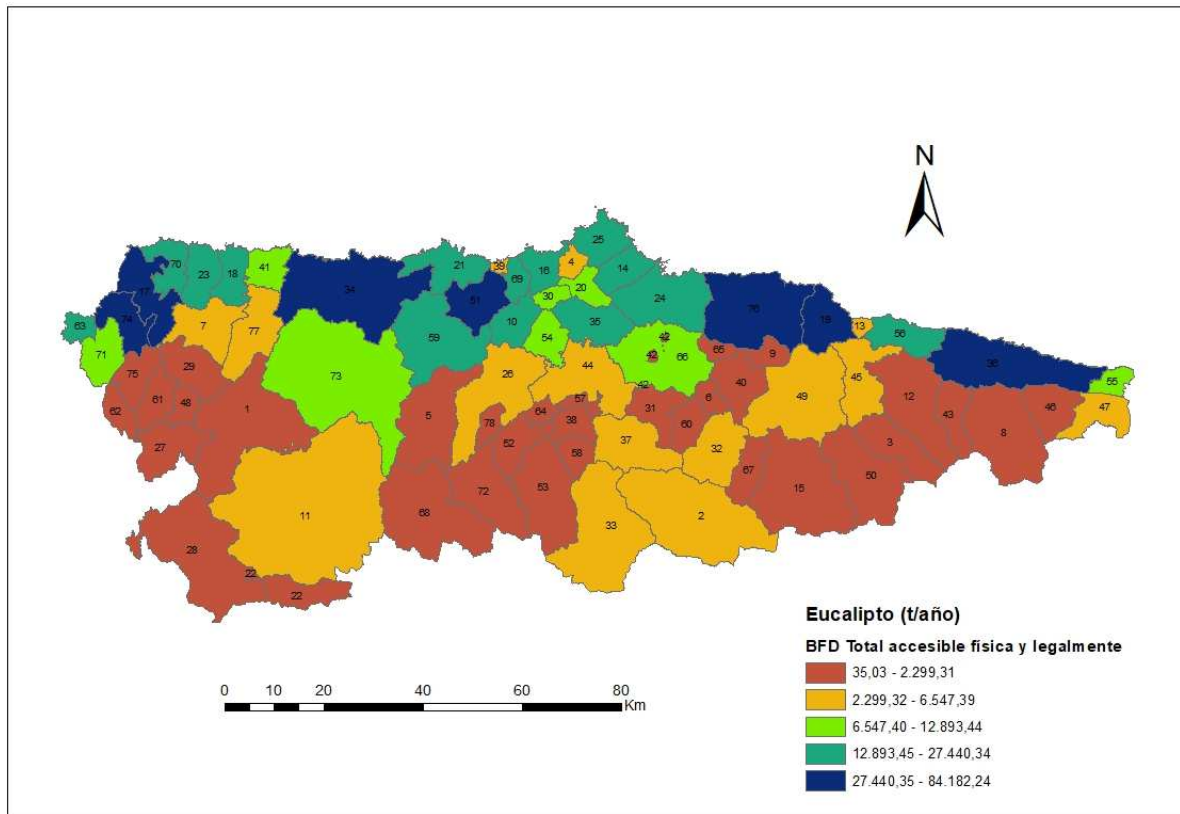
11	Cangas de Onís	32.048,73	1.815,26	167,98	1.494,67	35.526,64
13	Caravia	283,31	3.973,68	45,17	85,66	4.387,82
14	Carreño	588,80	20.647,75	285,62	199,88	21.722,05
15	Caso	17.496,00	1.547,26	95,57	215,01	19.353,84
16	Castrillón	471,80	21.863,20	369,45	194,57	22.899,02
17	Castropol	2.531,03	36.151,17	1.255,02	4.435,69	44.372,91
18	Coaña	437,47	22.736,02	969,09	1.246,75	25.389,33
19	Colunga	3.410,00	38.257,59	461,02	359,62	42.488,23
20	Corvera de Asturias	569,60	12.893,44	146,45	107,37	13.716,86
21	Cudillero	3.293,87	16.641,13	1.450,86	1.685,43	23.071,29
22	Degaña	477,06	35,03	7,41	10,24	529,74
23	El Franco	1.749,29	25.687,51	1.270,27	1.910,91	30.617,98
24	Gijón	2.071,83	27.440,34	439,40	1.131,05	31.082,62
25	Gozón	471,26	19.081,55	235,01	164,78	19.952,60
26	Grado	25.204,17	4.781,73	235,39	365,75	30.587,04
27	Grandas de Salime	8.623,29	1.039,26	908,51	4.353,71	14.924,77
28	Ibias	5.402,83	616,97	1.818,88	1.687,97	9.526,65
29	Illano	4.629,78	1.947,47	577,81	1.606,71	8.761,77
30	Illas	963,92	10.934,70	135,90	108,79	12.143,31
31	Langreo	25.956,86	2.299,31	241,40	315,57	28.813,14
32	Laviana	34.316,03	3.038,86	165,21	403,18	37.923,28
33	Lena	34.582,67	3.057,39	191,30	532,69	38.364,05
34	Valdés	20.259,08	33.175,28	7.428,86	2.905,05	63.768,27
35	Llanera	2.203,73	19.323,67	324,55	395,96	22.247,91
36	Llanes	5.622,09	36.636,10	620,79	1.797,26	44.676,24
37	Mieres	49.381,70	4.642,87	321,28	983,41	55.329,26
38	Morcín	6.085,40	532,68	37,03	76,94	6.732,05
39	Muros del Nalón	92,38	2.792,46	34,45	25,69	2.944,98
40	Nava	6.273,94	1.140,63	88,41	1.212,98	8.715,96
41	Navia	383,36	12.767,20	1.035,67	296,23	14.482,46
42	Noreña	27,42	61,78	0,92	0,75	90,87
43	Onís	2.167,92	265,26	24,50	53,41	2.511,09
44	Oviedo	16.113,86	6.297,79	158,64	231,26	22.801,55
45	Parres	5.920,97	2.736,63	148,08	1.810,33	10.616,01
46	Peñamellera Alta	2.714,43	230,72	25,29	51,21	3.021,65
47	Peñamellera Baja	3.158,34	2.499,50	53,07	68,36	5.779,27
48	Pesoz	5.729,35	784,89	602,67	1.401,41	8.518,32
49	Piloña	17.183,66	4.417,41	224,55	1.749,47	23.575,09
50	Ponga	5.480,32	470,59	45,47	77,97	6.074,35
51	Pravia	7.241,83	41.819,94	845,02	1.077,30	50.984,09
52	Proaza	6.643,38	592,89	45,65	542,25	7.824,17
53	Quirós	13.629,09	1.199,89	74,31	183,34	15.086,63
54	Las Regueras	5.723,19	9.895,29	293,86	705,00	16.617,34
55	Rivadadeva	668,23	7.391,42	93,33	72,72	8.225,70
56	Ribadesella	2.087,76	22.058,06	338,09	871,17	25.355,08
57	Ribera de Arriba	3.579,84	352,18	18,50	42,38	3.992,90
58	Riosa	10.524,10	956,91	50,00	123,78	11.654,79
59	Salas	37.095,90	22.902,32	951,33	3.466,35	64.415,90
60	San Martín del Rey Aurelio	20.852,58	1.843,13	143,92	285,34	23.124,97

61	San Martín de Oscos	4.760,02	506,18	169,68	2.253,93	7.689,81
62	Santa Eulalia de Oscos	1.337,94	226,68	97,49	1.088,06	2.750,17
63	San Tirso de Abres	997,18	22.959,78	311,71	301,65	24.570,32
64	Santo Adriano	1.568,50	135,67	11,38	21,37	1.736,92
65	Sariego	743,77	279,20	16,10	78,14	1.117,21
66	Siero	13.922,81	9.852,55	607,13	955,63	25.338,12
67	Sobrescobio	6.803,68	603,83	35,09	82,28	7.524,88
68	Somiedo	1.013,07	78,71	12,53	17,73	1.122,04
69	Soto del Barco	559,74	17.773,49	211,21	147,14	18.691,58
70	Tapia de Casariego	560,98	21.236,88	1.180,49	1.149,44	24.127,79
71	Taramundi	6.966,43	8.180,97	520,75	5.889,62	21.557,77
72	Teverga	9.643,20	847,13	50,30	152,22	10.692,85
73	Tineo	67.925,61	11.134,01	1.593,76	20.263,74	100.917,12
74	Vegadeo	2.154,54	33.561,12	609,27	3.001,64	39.326,57
75	Villanueva de Oscos	1.903,20	171,70	61,16	1.056,62	3.192,68
76	Villaviciosa	7.801,68	84.182,24	1.103,08	3.726,13	96.813,13
77	Villayón	890,41	6.547,39	1.193,68	547,65	9.179,13
78	Yermes y Tameza	548,31	47,53	3,14	6,68	605,66
					TOTAL	1.642.444,87

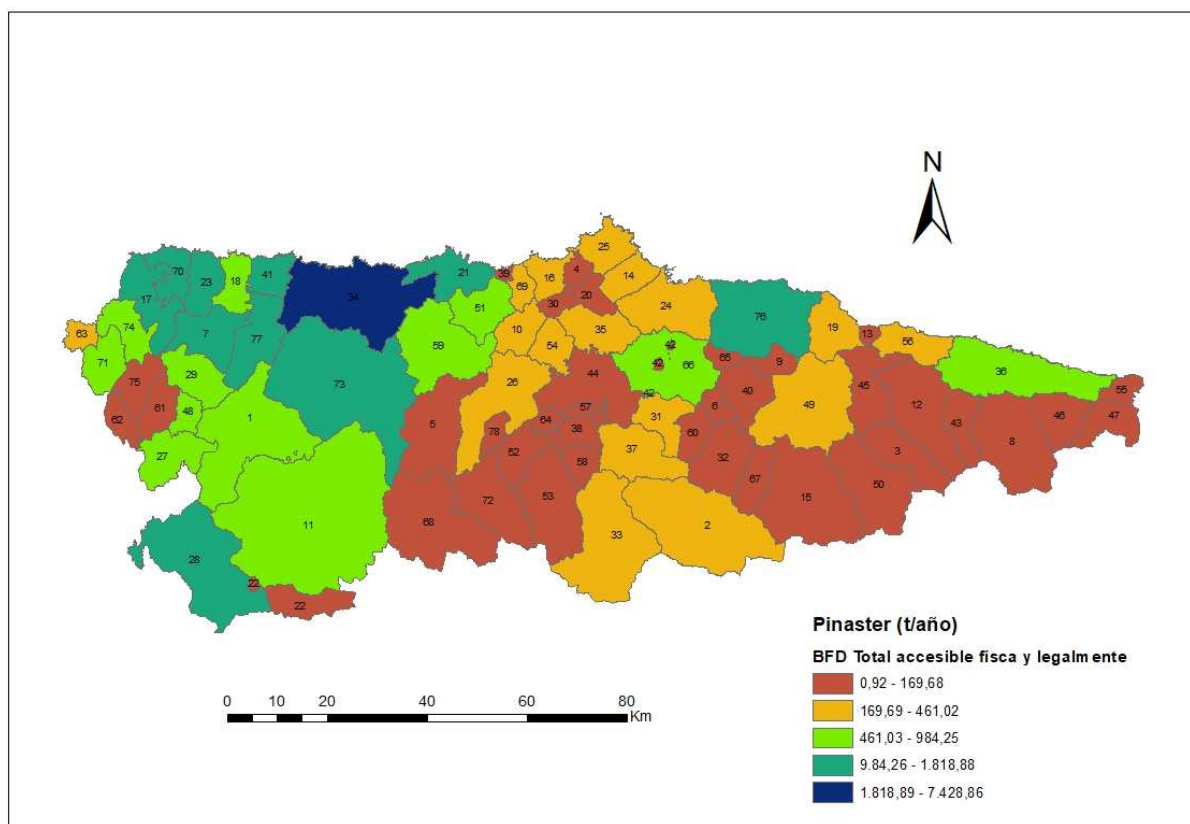
A continuación, se muestran los Mapas (6 a 9) con la la BFD accesible física y legalmente (escenario 1) en t/año por municipio para la fracción de biomasa total (copa y fuste) para cada especie (Castaño, eucalipto, pino radiata y pinaster). Los concejos evaluados se identifican por código INE (Ver Mapa 1) y se cuantifican para distintos rangos de colores según sus toneladas disponibles al año según la Tabla 5.



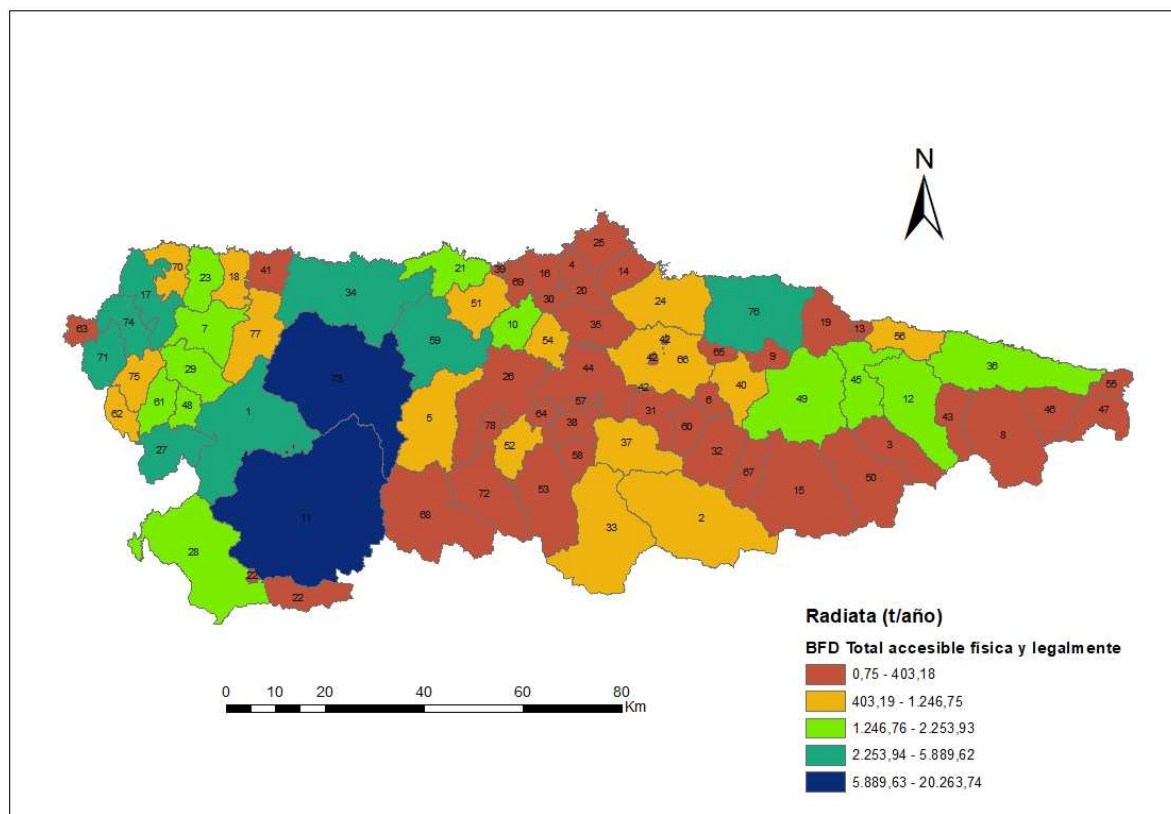
Mapa 6. BFD total (fuste y copa) y accesible física y legalmente de *Castaño* en t/año municipio.



Mapa 7. BFD total (fuste y copa) y accesible física y legalmente de *Eucalipto* en t/año municipio.



Mapa 8. BFD total (fuste y copa) y accesible física y legalmente de *Pinus pinaster* en t/año por municipio.



Mapa 9. BFD total (fuste y copa) y accesible física y legalmente de *Pinus radiata* en t/año por municipio.

En la Tabla 6, se resume por municipio los resultados obtenidos tras aplicar los filtros de accesibilidad física correspondientes a la metodología 2 (escenarios 2 y 3, que se diferencian según limitación de accesibilidad por pendiente) y la accesibilidad legal sobre la BFD total potencial (copa y fuste) para cada una de las especies.

Tabla 6. BFD Accesible física (metodología 2) y legalmente.

Código INE	Municipio	BFD Total potencial (t/año)							
		Castaño		Eucalipto		P. pinaster		P. radiata	
		E2	E3	E2	E3	E2	E3	E2	E3
1	Allande	12.300,14	4.534,01	1.208,10	452,39	520,92	191,45	1.577,99	799,32
2	Aller	21.066,53	6.550,31	1.883,50	586,15	114,94	35,21	415,42	117,14
3	Amieva	3.756,77	1.638,80	327,75	143,14	24,47	10,49	48,90	21,16
4	Avilés	31,46	30,17	974,21	915,90	11,25	10,58	7,96	7,49
5	Belmonte de Miranda	9.836,77	3.243,02	863,27	284,87	60,88	18,69	265,40	61,21
6	Bimenes	3.527,47	2.092,66	303,21	180,42	18,07	10,76	40,77	24,31
7	Boal	2.112,93	814,40	2.369,78	891,19	615,72	269,59	896,18	365,48
8	Cabrales	3.869,65	2.184,84	351,93	192,75	26,53	14,57	50,98	28,52
9	Cabranes	4.184,06	2.479,66	966,64	549,30	43,98	25,51	108,91	66,92
10	Candamo	2.043,31	1.136,47	9.434,20	5.054,84	168,73	93,27	951,62	523,84
12	Cangas del Narcea	16.141,20	4.013,02	1.567,18	386,75	344,92	111,59	5.366,49	1.789,31
11	Cangas de Onís	6.346,58	3.118,85	946,74	456,17	78,07	34,45	583,84	181,59
13	Caravia	89,43	72,77	1.491,49	978,60	16,64	10,84	29,16	11,74
14	Carreño	175,67	161,51	5.770,19	5.177,18	81,44	73,52	55,51	50,34
15	Caso	9.020,15	3.687,94	797,78	326,19	49,24	20,08	110,83	45,22
16	Castrillón	158,35	134,78	7.126,49	6.151,67	109,09	90,75	63,51	54,37
17	Castropol	1.216,78	526,39	14.587,81	9.445,32	444,16	308,65	1.935,05	1.042,19
18	Coaña	164,09	89,16	8.765,24	4.840,08	322,26	194,67	451,02	288,38

19	Colunga	1.860,07	993,77	17.026,47	11.032,50	207,56	133,48	165,05	104,41
20	Corvera de Asturias	182,16	158,50	4.337,61	3.713,05	49,13	42,15	36,00	31,19
21	Cudillero	1.667,49	867,05	7.097,55	4.567,60	600,83	337,61	778,31	354,07
22	Degaña	349,26	105,42	26,42	7,75	5,43	1,63	7,30	2,21
23	El Franco	799,03	490,20	9.975,56	6.518,16	429,47	299,22	787,46	454,72
24	Gijón	811,69	618,96	10.690,76	8.002,44	189,26	132,35	547,84	333,16
25	Gozón	111,10	109,19	4.681,37	4.587,55	58,01	55,90	40,83	39,63
26	Grado	12.213,14	6.422,83	2.407,61	1.397,32	110,30	67,68	175,22	98,25
27	Grandas de Salime	5.202,34	1.532,37	582,84	186,80	428,05	166,88	1.874,37	965,05
28	Ibias	3.103,81	892,68	347,82	112,39	960,47	369,05	756,95	384,80
29	Illano	2.508,30	556,30	936,60	239,85	321,89	94,58	839,02	242,29
30	Illas	480,10	317,27	4.953,85	3.437,39	61,79	42,43	49,98	33,73
31	Langreo	13.519,27	7.271,73	1.199,39	643,55	113,98	63,22	163,61	87,52
32	Laviana	17.760,38	7.805,11	1.573,90	691,74	85,75	37,28	209,08	91,54
33	Lena	18.658,14	7.089,80	1.649,79	626,70	102,09	38,81	275,42	93,17
34	Valdés	10.105,23	3.780,55	13.943,58	5.820,35	3.164,30	1.514,75	1.300,58	492,10
35	Llanera	665,87	612,16	7.108,32	5.846,18	102,83	85,41	180,11	103,26
36	Llanes	2.018,50	1.247,41	12.075,07	7.957,32	212,77	137,95	923,21	421,83
37	Mieres	26.794,90	10.609,50	2.545,08	968,20	176,88	58,77	510,14	194,83
38	Morcín	3.157,65	1.401,01	276,15	122,98	19,47	8,30	40,16	17,60
39	Muros del Nalón	31,99	23,00	997,21	648,36	12,56	7,79	9,50	5,73
40	Nava	2.712,26	1.835,98	475,39	347,18	35,52	24,97	535,33	225,59
41	Navia	126,46	85,83	4.492,85	3.101,28	286,15	195,20	90,52	61,35
42	Noreña	8,70	8,02	25,89	24,66	0,38	0,36	0,32	0,30
43	Onís	1.029,81	489,51	142,14	61,65	11,79	5,63	28,19	13,84
44	Oviedo	7.788,67	4.410,86	3.215,31	1.864,05	78,88	42,74	112,95	63,86
45	Parres	2.713,58	1.573,30	1.216,45	525,64	65,46	30,83	885,28	375,44
46	Peñamellera Alta	1.233,21	560,56	104,75	47,66	11,14	5,09	20,85	8,22
47	Peñamellera Baja	1.554,83	864,08	1.028,50	669,91	23,61	14,72	29,58	17,47
48	Pesoz	2.770,35	744,79	388,63	116,48	290,62	79,73	595,16	288,45
49	Piloña	8.874,86	4.833,05	1.989,18	975,87	114,13	56,70	814,93	363,46
50	Ponga	2.991,81	1.134,44	256,60	97,36	24,77	9,35	42,65	16,12
51	Pravia	3.776,43	2.066,15	19.269,15	11.225,84	381,71	203,84	498,06	238,53
52	Proaza	3.538,92	1.101,35	314,40	97,47	23,79	6,67	242,00	36,01
53	Quirós	7.438,22	2.665,53	653,74	234,09	41,44	14,98	120,51	34,40
54	Las Regueras	2.400,04	1.706,45	4.457,58	2.830,88	137,76	79,26	306,14	183,73
55	Rivadadeva	215,35	140,34	2.685,69	1.705,28	33,65	21,34	26,02	16,52
56	Ribadesella	893,29	454,50	7.940,42	5.136,49	152,12	70,98	461,45	136,94
57	Ribera de Arriba	1.807,61	917,91	179,78	94,64	9,27	4,80	21,42	10,90
58	Riosa	5.399,63	2.400,51	490,54	215,92	25,61	11,34	63,50	28,20
59	Salas	20.442,20	9.098,20	11.591,06	5.505,03	484,71	236,41	1.653,60	744,88
60	San Martín del Rey Aurelio	11.341,54	4.355,87	1.002,96	384,51	70,91	32,97	149,73	61,38
61	San Martín de Oscos	2.838,53	914,50	295,12	99,35	92,40	37,25	1.051,98	493,29
62	Santa Eulalia de Oscos	707,39	299,53	137,19	54,80	63,31	24,83	448,30	283,04
63	San Tirso de Abres	506,62	266,09	10.383,01	6.174,36	137,32	80,31	135,33	73,68

64	Santo Adriano	790,35	357,32	68,13	30,84	5,99	2,68	10,96	4,92
65	Sariego	229,26	222,06	121,64	81,46	5,42	4,60	31,85	21,42
66	Siero	5.733,96	4.499,70	3.588,63	2.729,97	147,26	128,41	450,09	296,96
67	Sobrescobio	2.887,34	1.730,22	256,05	153,84	15,02	8,61	34,99	20,70
68	Somiedo	545,52	115,25	42,02	8,72	7,27	1,58	10,31	2,23
69	Soto del Barco	249,98	172,34	7.516,55	5.315,07	90,64	64,05	63,77	44,61
70	Tapia de Casariego	223,61	142,97	8.859,25	5.862,49	305,57	241,91	442,05	285,24
71	Taramundi	3.879,01	1.162,63	4.150,10	1.682,30	316,45	147,06	2.923,18	1.188,18
72	Teverga	5.506,66	2.413,73	484,38	211,75	28,85	12,55	100,73	39,49
73	Tineo	33.634,79	15.789,26	5.344,49	2.663,34	693,11	350,84	8.907,52	4.294,78
74	Vegadeo	1.000,78	476,59	15.863,80	8.841,30	294,23	149,49	1.523,65	671,40
75	Villanueva de Oscos	1.172,59	515,08	102,45	45,18	31,82	13,80	457,51	240,53
76	Villaviciosa	4.211,00	2.129,10	37.382,63	23.775,06	485,80	313,97	1.357,63	1.033,07
77	Villayón	431,80	207,47	2.779,74	1.410,12	555,31	233,71	233,34	113,59
78	Yermes y Tameza	208,57	122,11	17,95	10,44	1,24	0,69	2,58	1,47
TOTAL		371.847	162.397	323.482	198.553	16.045	8.184	47.514	22.064

En la Tabla 7 se presenta un resumen a escala regional de los anteriores resultados de Biomasa Forestal Disponible (BFD) Total, para los tres niveles de accesibilidad y los escenarios de análisis (E1, E2 y E3) según el tipo de metodología seguida para las restricciones de accesibilidad física y legal. Todos los resultados se muestran en t/año.

Tabla 7. Estimación de la Biomasa Forestal Disponible (fuste y copa) potencial y accesible.

	Niveles	Castaño	Eucalipto	P. pinaster	P. radiata	Total
	Potencial	1.144.959	1.063.693	51.829	146.906	2.407.387
E 1	Accesible físicamente	737.042	775.190	37.315	105.107	1.654.655
	Accesible física y legalmente	726.148	774.292	37.164	104.840	1.642.445
E2	Accesible físicamente	380.178	324.162	16.166	47.742	768.249
	Accesible física y legalmente	371.847	323.482	16.045	47.514	758.888
E3	Accesible físicamente	164.821	198.752	8.218	22.128	393.919
	Accesible física y legalmente	162.397	198.553	8.184	22.064	391.198

2.4 Resumen de los aprovechamientos realizados en los últimos años.

Los resultados obtenidos en los apartados anteriores permiten estimar la potencialidad de la biomasa disponible en términos de sostenibilidad. Para poder tener un esbozo más completo de la situación en el Principado de Asturias y de las tendencias existentes, en la Figura 3 se presentan los datos de cortas de madera (m^3) en el Principado de Asturias para el periodo 2010-2018 para todo el Principado de Asturias (actualización 1/04/2020). Los datos base utilizados para estos resultados proceden de las estadísticas recogidas por la Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales y elaboradas por SADEI (última actualización 1/04/2020).

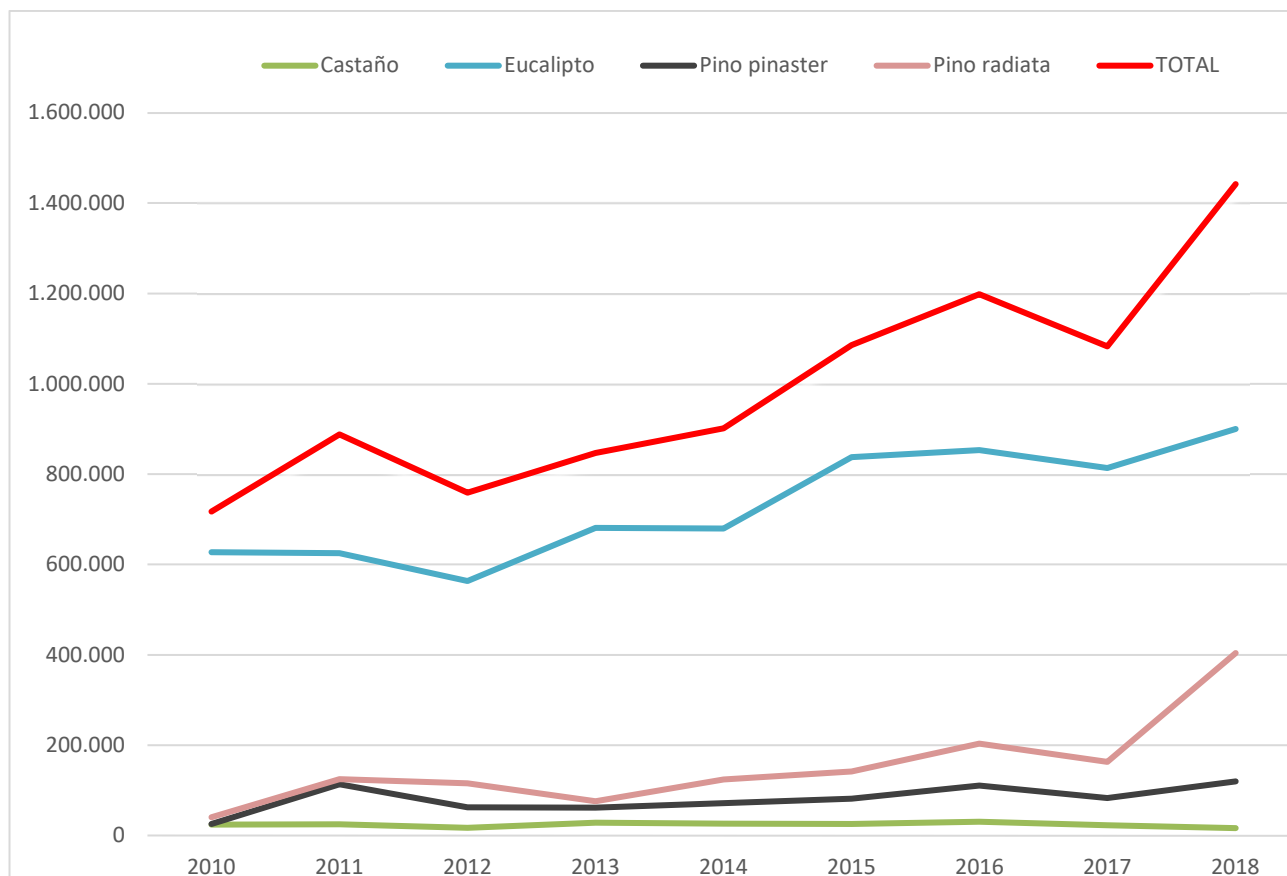


Fig. 3. Cortas de madera (m^3) según especie en el Principado de Asturias.

En la Tabla 8 se muestran los datos de cortas anuales en metros cúbicos (m^3) y en toneladas al 12 % de humedad de referencia (teniendo en cuenta la densidad media en kg/m^3 de cada especie).

Tabla 8. Cortas anuales por especie (en m^3 y en toneladas a un 12% de humedad de referencia) en el Principado de Asturias.

Unidades	Metros cúbicos					Toneladas (12%de humedad)				
Año	Total	Castaño	Eucalipto	Pino pinaster	Pino radiata	Total	Castaño	Eucalipto	Pino pinaster	Pino radiata
2010	717.706	627.024	25.962	40.696	24.024	540.996	492.214	14.019	20.348	14.414
2011	887.712	624.798	113.341	124.909	24.664	628.923	490.466	61.204	62.455	14.798
2012	758.978	563.621	62.489	115.714	17.154	544.336	442.442	33.744	57.857	10.292
2013	846.605	680.777	61.600	75.633	28.595	622.648	534.410	33.264	37.816	17.157
2014	901.458	679.835	71.323	124.267	26.033	649.938	533.670	38.514	62.134	15.620
2015	1.085.366	837.351	81.321	141.445	25.249	787.106	657.321	43.913	70.723	15.149
2016	1.198.238	852.973	110.808	203.470	30.987	849.747	669.584	59.836	101.735	18.592
2017	1.082.837	813.855	82.817	163.120	23.045	778.984	638.876	44.721	81.560	13.827
2018	1.442.042	900.149	120.434	404.604	16.855	984.066	706.617	65.034	202.302	10.113

Finalmente, en la Figura 4 se presentan los datos de cortas en montes de titularidad pública y privada en el periodo 2010-2018. Para su consideración, se debe reseñar que el 61% de la superficie forestal del Principado de Asturias se clasifica como propiedad privada o desconocida; del 39% restante, la gran mayoría son montes públicos de entidades locales, demaniales y del Catálogo de Utilidad Pública, que se distribuye principalmente por el sur del provincia sobre la Cordillera Cantábrica. También tienen cierta relevancia los montes públicos propiedad de la comunidad autónoma, asimismo demaniales y de de Utilidad Pública (DGDPRF, 2012).

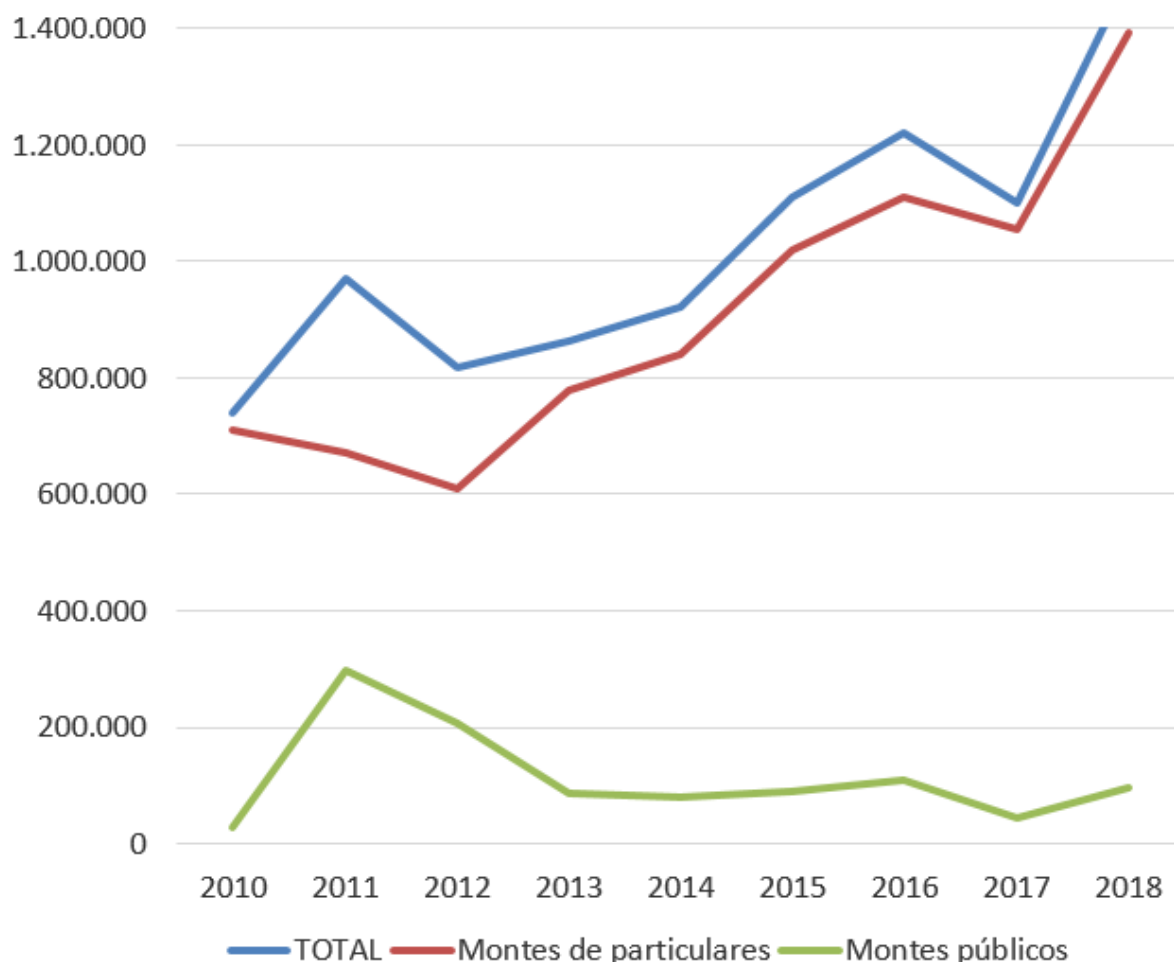


Fig. 4. Cortas de madera según titularidad del monte (2010-2018) en el Principado de Asturias

3 CONCLUSIONES

- Se cuantificó la Biomasa Forestal Disponible (castaño, eucalipto, pino pinaster y radiata) teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad ambiental para toda la comunidad autónoma. En el caso de la BFD potencial (sin ninguna restricción por accesibilidad física o legal) se cuantificó un total 2.407.387 t/año. En el caso de considerar el nivel máximo de restricción (filtros de accesibilidad física y legal) en el primer escenario la BFD desciende a 1.642.445 t/año. En el escenario 2 a 758.888 t/año y en el escenario 3 a 391.198 t/año. Resultados para todas las especies en su conjunto y el total de municipios bajo estudio.
- Los concejos con mayor potencial de biomasa (sin restricciones) para el escenario 1 son Tineo, Villaviciosa, Salas y Valdés con BFD superior a 85.000 t/año para las especies objetivo.
- Los concejos con mayor BFD accesible física y legalmente son Tineo, Villaviciosa, Salas y Valdés, con valores entre 64.000 y 100.900 t/año (escenario 1); Tineo, Villaviciosa, Salas y Mieres, con valores entre 30.000 y 48.300 t/año (escenario 2); Villaviciosa, Tineo, Salas y Pravia, con valores entre 13.700 y 27.000 t/año (escenario 3).
- En cualquier caso, se trata de una cuantificación siguiendo criterios de sostenibilidad ambiental y considerando como límite al aprovechamiento de biomasa forestal el propio incremento anual de la biomasa total (copa y fuste).
- Todos los datos de biomasa están calculados en toneladas a una humedad teórica del 0%. A la hora de la toma de decisiones, es necesario considerar que por término medio la biomasa tendrá humedades en torno al 50% si no se somete a algún proceso de secado (natural o artificial). Para cualquier comparativa de cifras se deberían barajar datos a una humedad similar.
- Los resultados mostrados en este informe son una selección entre la multitud de información georeferenciada generada. Cada capa cartográfica intermedia genera un tipo de datos que puede ser interesante evaluar de manera independiente según el criterio pautado para cada caso, escala de trabajo y objetivo marcado.

Referencias bibliográficas

- DGDRPF, 2012. Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal. Cuarto Inventario Forestal Nacional, Asturias. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Drigo, R., 2004. WISDOM Senegal – Analysis of woodfuel production/consumption patterns in Senegal. Wood Energy Programme, FAO. <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=4>
- Drigo, R., 2006. WISDOM - East Africa. Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping (WISDOM) Methodology. Spatial woodfuel production and consumption analysis of selected African countries. FAO Forestry Department - Wood Energy Working Paper. FAO. <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=9>
- Drigo, R., 2011. Upgraded WISDOM Slovenia as supporting tool for bio-energy initiatives in Slovenia. Consultancy report for Slovenia Forest Service. Work Package 4; IEE Project MAKE-IT-BE. <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=26>
- Drigo, R., Anschau, A., Flores-Marco, N., Carballo, S., Baumont Roveda, E., Trossero, M., 2009a. Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina - WISDOM Argentina. FAO Forestry Department, Forest Products and Services (FOIP) Wood Energy. FAO. <http://www.fao.org/docrep/011/i0900s/i0900s00.htm>
- Drigo, R., Bailis, R., Ghilardi, A., Masera, O., 2014a. WISDOM Karnataka - Analysis of woodfuel supply, demand and sustainability in Karnataka, India. Tier 2 Report. GACC Yale-UNAM Project "Geospatial Analysis and Modeling of Non-Renewable Biomass: WISDOM and beyond". <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=33>
- Drigo, R., Campanero, N., Rodríguez, F., Broto, M. Editor: Martin, M. 2009b. WISDOM Castilla y León - Evaluación de recursos leñosos para usos energéticos. Project GDCP/INT/001/SPA Coordinated by M.Trossero, Departamento Forestal Servicios y Productos Forestales - Dendroenergía. FAO. <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=19>
- Drigo, R., Chirici, G., Lasserre, B., Marchetti, M., 2007. Analisi su base geografica della domanda e dell'offerta di combustibili legnosi in Italia. (Geographical analysis of demand and supply of woody fuel in Italy). In: L'ITALIA FORESTALE E MONTANA, Anno LXII - numero 5/6, settembre-dicembre, 303-324. <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=12>
- Drigo, R., Karki, G., Sharma, S.K., 2014b. WISDOM Nepal and contribution to MRV. Consultancy report of Project "Development of a Measurement, Reporting and Verification (MRV) System for Emissions and Removals". Project implemented by Agriconsulting SpA. <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=30>
- Drigo, R., Masera, O.R., Trossero, M.A., 2002. Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping - WISDOM: a geographical representation of woodfuel priority area. FAO Forestry Department; Unasylva. <http://www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e12.htm>
- Drigo, R., Munyehirwe, A., Munyampundu, A., Nzabanita, V., 2013. Final report Update and upgrade of WISDOM Rwanda and Woodfuels value chain analysis. As a basis for the Rwanda Supply Master Plan for fuelwood and charcoal. <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=29>
- Drigo, R., Nzabanita, V., 2010. WISDOM Rwanda - Spatial analysis of woodfuel production and consumption in Rwanda applying the WISDOM methodology. Working Paper of Project "Rationalisation de la filière bois-énergie" (TCP/RWA/3103). <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=22>

- Drigo, R., Salbitano, F., 2008. WISDOM for Cities. Analysis of wood energy and urbanization aspects using WISDOM methodology. FAO Forestry Department. Urban forestry - Wood energy. FAO. (in English and French). <http://www.wisdomprojects.net/global/csdetail.asp?id=13>
- ESRI (2016). Environmental Systems Resource Institute. ArcGIS 10.5. ESRI, Redlands, CA.
- Ghilardi, A., Guerrero, G., Masera, O., 2007. Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach. Biomass and Bioenergy. 31(7), 475-491.
- SAS Institute Inc, 2004. SAS/ETS® 9.1 user's guide. Cary, NC, USA, 5121 pp.
- Segon, V., Milkovic, I., Vrebcevic, M., Kovac, G., Pernar, R., 2009. Editors: Domac, J., Trossero., M. WISDOM Croatia. Spatial woodfuel Production and consumption analysis applying the WISDOM methodology. FAO Project TCP/CRO/310.