

Máster Universitario en
Ingeniería Energética Sostenible

Trabajo de fin de Máster:

Estudio de la rentabilidad económica y ecológica del aprovechamiento de biomasa residual forestal proveniente de tratamientos silvícolas para prevención de incendios forestales en la provincia de León

Alumno: Alonso, Cabello, Simón

Directora: Iglesias, Caballero, Blanca María

Departamento: Ingeniería Química y del Medio Ambiente

Curso académico: 2020/2021

Bilbao, 10, septiembre, 2021

Resumen

En este trabajo se combinan dos aspectos cada vez más importantes en la actualidad, por un lado, la prevención de incendios forestales y por otro la generación de energía de forma renovable. Lo que se propone en este trabajo de fin de máster es un estudio sobre la extracción de biomasa forestal residual generada en los tratamientos de prevención de incendios forestales con el fin de producir energía. Los beneficios obtenidos por la venta de esta biomasa se emplearán en cubrir los gastos de los tratamientos de prevención. De esta forma, podrían conseguirse intervenciones en los bosques a bajo coste y además generar energía de forma limpia. El estudio se llevará a cabo en la provincia de León situada al noroeste de la Península Ibérica. Se emplearán sistemas de teledetección para llevar a cabo los cálculos y poder determinar cuáles son las zonas donde más rentable es llevar a cabo los tratamientos. Para ello se modelizan tres factores territoriales que intervienen en la viabilidad económica de la extracción de biomasa: cantidad de biomasa disponible, pendientes y distancia de desembosque.

Palabras clave: Energía renovable, biomasa, sistema teledetección, incendios forestales, tratamientos de prevención

Abstract

Two matters of essential importance nowadays are combined in this work: forest fire prevention and renewable energy production. The proposal is to use forest biomass extracted from logging operations for forest fire prevention to produce energy. The benefits obtained by selling this biomass will be spent to cover the expenses in the treatment for fire prevention. This way, we could have forestry interventions at a low cost and generate clean energy at the same time. This study will be carried

out in the province of León, placed in the Northwest of the Iberian peninsula. Tele-detection systems will be used to make the calculations and to determine which areas are more profitable to accomplish the forestry treatments. To do this, three territorial factors that influence the economical viability of biomass extraction are modeled: the forest harvesting distance, the slope and the quantity of available biomass.

Key words: renewable energy, biomass, tele-detection system, forest fire prevention, forestry treatments.

Laburpena

Gaur egun gero eta garrantzitsuagoak diren bi fenomeno konbinatzen dira lan honetan. Alde batetik, baso- suteen prebentzioa; bestetik, energia berriztagarrien sorkuntza. Baso-suteak saihesteko tratamenduetan sortutako hondarreko biomasa erauztea proposatzen da, energia ekoizteko helburuarekin. Biomasa hori saltzerakoan lortutako irabaziak saihesteko tratamenduen kostuak betetzeko erabiliko dira. Horrela, basoetan esku-hartzeak kostu txikian lor litezke eta energia modu garbian ere sor liteke. Ikerketa Leongo probintzian egingo da, Iberiar Penintsulako ipar-mendebaldean kokatuta. Kalkuluak egiteko eta tratamenduak egitea errentagarriena den eremuak zein diren zehaztu ahal izateko urruneko detekzio sistemak erabiliko dira. Horretarako, biomasa erauzteko bideragarritasun ekonomikoan esku hartzen duten hiru lurralde faktore modelatzen dira: sakonera distantzia, maldak eta eskuragarri dagoen biomasa kopurua.

Gako-hitzak: energia berriztagarria, biomasa, urruneko detekzio sistema, baso-suteak, saihespen tratamenduak.

Índice

1. Memoria	11
1.1. Introducción.	11
1.2. Contexto	13
1.3. Objetivos y alcance.	14
1.4. Beneficios que aporta el trabajo	15
2. ESTADO DEL ARTE	17
2.1. Localización del estudio	17
2.2. Prevención de incendios forestales	26
2.3. Residuos biomásicos generados en los tratamientos. Costes de los tratamientos	32
2.4. Costes de extinción de incendios forestales	37
3. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	40
3.1. Cálculos	40
3.1.1. Factor de Biomasa Disponible	42

3.1.2. Factor Pendientes	46
3.1.3. Factor distancia a desembosque	47
3.2. Resultados	50
3.2.1. Suma multicriterio de los tres factores	50
3.2.2. Aplicación de zonas restringidas	56
3.3. Resultado de las zonas aptas	61
3.4. Reajuste por tratamientos de prevención	63
4. ASPECTOS ECONÓMICOS	66
5. ASPECTOS ECOLÓGICOS	70
6. CONCLUSIONES	71
A. Definiciones	72
Bibliografía	73

Índice de figuras

1.	Mapa frecuencia IF por término municipal. [3]	21
2.	Localización de León dentro de la Península Ibérica [5]	23
3.	Crecimiento por especies en Castilla y León [6]	24
4.	División por especies en la provincia de León	25
5.	Función de los tratamientos silvícolas en un bosque	30
6.	Diferencias en el comportamiento de los bosques debido a los tratamientos	31
7.	Bosque sin tratar y tratado [12]	32
8.	Fases de los tratamientos [14]	33
9.	Maquinaria utilizada	35
10.	Localización de las centrales productoras de energía	36
11.	Cantidad de biomasa disponible en la provincia de León	45
12.	Pendientes en tanto por ciento(%) en la provincia de León	47
13.	Distancia de desembosque en la provincia de León	49
14.	Cantidad de biomasa extraíble normalizado	51

15.	Rendimiento asociado a la pendiente normalizado	52
16.	Rendimiento asociado a la distancia de desembosque normalizado	53
17.	Suma ponderada de los tres factores	55
18.	Restricción por cantidad de biomasa	57
19.	Distancia de desembosque en la provincia de León	59
20.	Restricción por vías de acceso	61
21.	Zonas aptas incluyendo zonas restringidas	62
22.	Zonas aptas reajustadas para tratamientos de prevención	64
23.	Zonas aptas y no aptas para los tratamientos de prevención	65

Índice de cuadros

1.	Superficie forestal por C.C.A.A. [1]	18
2.	Superficie forestal de Castilla y León por provincias [2]	19
3.	Titularidad pública y privada en Castilla y León por provincias [1]	20
4.	Comparativa superficie quemada entre País Vasco y León entre 2006 y 2015. [4]	22

5.	Superficie que ocupan las principales especies de arboles en León [1]	26
6.	Centrales biomásicas en la provincia de León	36
7.	Coste aproximado de tratamientos preventivos incendios forestales [15]. . .	37
8.	Estratos en la provincia de León [1]	43
9.	Relación entre la pendiente y la eficiencia [24]	46
10.	Relación del rendimiento con as distancia de desembosque.	48
11.	Peso asignado a cada factor	54
12.	Zonas restringidas para los tratamientos	56
13.	Superficie óptima para realizar tratamientos	65
14.	Estratos en la zona óptima para los tratamientos	67
15.	Cálculos de cantidad de biomasa	68
16.	Resumen económico	69

1. Memoria

1.1. Introducción.

España es uno de los países con mayor crecimiento forestal en Europa. Entre los años 2004 y 2018 creció un 1,2% y en la actualidad aproximadamente el 55% de la superficie nacional es forestal y de esta, el 66% es arbolada. Debido al abandono rural la superficie forestal no solo aumenta si no que los bosques cada vez están más descuidados. Estos aumentan debido a que muchas antiguas tierras de cultivo o de pastoreo se convierten en replantaciones por la falta de ganado y de agricultores/as. Además, como las masas arboladas están cada vez más descuidadas los incendios forestales son mucho más destructivos por la inexistencia de discontinuidades y el cierre de vías de acceso. También es importante tener en cuenta que muchas de las especies que se utilizan para replantar (sobre todo coníferas) son más problemáticas en los incendios forestales (IF) que las autóctonas (especies frondosas como el roble o la encina).

Por otro lado, cada vez es más necesario utilizar energías renovables e ir reduciendo el consumo de combustibles fósiles. La biomasa es un combustible neutro en emisiones de carbono ya que el CO_2 liberado en la combustión es equivalente al absorbido por las plantas durante su crecimiento.

Por todo ello, con una masa forestal creciente cada vez más descuidada y la imperiosa necesidad de generar energía de forma limpia se propone la determinación de zonas en las que sea económicamente viable hacer tratamientos silvícolas de prevención de incendios para producción de energía. Los tratamientos consisten en podas, clareos y creación de fajas. El proyecto propone mitigar los efectos de la despoblación con la generación de puestos de trabajo en zonas rurales, empleando trabajadores y trabajadoras de la zona. Los beneficios económicos de la venta de biomasa se emplearán en pagar a los peones

forestales especialistas, material y maquinaria necesarios. El objetivo principal de estos trabajos silvícolas es hacer una prevención efectiva contra incendios forestales a un coste 0.

El contacto directo con el sector de prevención y extinción de incendios forestales en la provincia de León me ha llevado a observar de cerca la gran cantidad de biomasa residual que se desaprovecha. Así como las diferencias del comportamiento del fuego en un bosque en el que se han hecho tratamientos silvícolas y en el que no. Por ello, creo que es interesante desarrollar una metodología extrapolable a todo el territorio español. El problema del abandono rural debido a la despoblación no es exclusivo de esta provincia si no que lo sufren la mayoría de las regiones que no tienen un gran núcleo de población cerca. Por ello, es interesante hacer una metodología con datos que se puedan encontrar para todo el territorial de la península y así poder proponer estos mismos tratamientos en otras zonas con características similares.

1.2. Contexto

El proyecto se centra en la provincia de León aunque es extrapolable al resto de la península. EL contexto de la provincia es el de una zona que ha sufrido una grave despoblación desde los años 60 y agravada con el abandono de las zonas mineras. Esta paulatina despoblación ha hecho que las antiguas zonas dedicadas a la agricultura se hayan ido transformando en masas forestales. En muchos de los casos estas superficies han crecido donde antes se llevaban a cabo labores de agricultura o ganadería.

Esto conlleva unas masas forestales con gran cantidad de maleza y más pies por hectárea de los adecuados por falta de los tratamientos necesarios. Una de las consecuencias de esto es la virulencia de los incendios forestales que se han convertido en uno de los grandes problemas en la época estival. Durante los dos últimos veranos se han producido incendios forestales en lugares como California, Siberia o La Amazonia con frecuencias y dimensiones que antes no ocurrían. Este problema también es frecuente en España donde arden anualmente entre 50.000 y 300.000 hectáreas de masa forestal. Las enormes superficies arrasadas son un problema a tener en cuenta para el cambio climático por la emisión de gran cantidad de gases de efecto invernadero y porque las masas forestales son una de las formas más importantes de absorción de CO_2 del planeta

La urgente necesidad de una transformación en la producción de energía hacia una generación de forma renovable nos lleva a la implementación de nuevos modelos de producción. En la provincia de León se cuenta con la posibilidad de generar energía hidroeléctrica con grandes embalses como el de Riaño o el de Luna, multitud de parques eólicos por el relieve montañoso de la provincia, la creciente extensión de parques fotovoltaicos y por último la aún poco explotada biomasa. El potencial de la provincia para generar energías renovables es muy variado. Así, este proyecto intenta darle un impulso al sector de la generación de energía con centrales de biomasa de forma sostenible, lo cual redundaría en

el beneficio del bosque y de la transición energética.

1.3. Objetivos y alcance.

En este trabajo fin de máster se va a proponer una forma de gestión de las masas forestales que podría ser beneficiosa en varios aspectos tanto económicos como ecológicos y sociales. Con el fin de avanzar hacia una economía baja en emisiones de CO_2 se debe transformar la forma actual de producir energía. La biomasa utiliza residuos orgánicos para la generación de energía mediante los procesos termoquímicos o bioquímicos. Este trabajo trata sobre biomasa natural, aquella que produce la naturaleza sin intervención humana. Así, la biomasa se considera una energía renovable ya que es neutra en emisiones de CO_2 . La cantidad de este gas que se emite durante la generación de energía es menor o igual a la absorción de la vegetación a lo largo de su vida.

Por otro lado, un fenómeno cada vez más frecuente es el de los incendios forestales. Debido al cambio climático, los periodos de sequía son más largos y la superficie de masas arboladas cada vez mayor. La forma más efectiva y eficiente de combatir los IF es la prevención mediante podas y clareos ya que los gastos económicos son menores que en las labores de extinción.

Por tanto, aunando las dos ideas anteriores lo que se propone en este trabajo es la generación de biomasa residual a partir de los trabajos de prevención de incendios forestales. Tales, para lo que se va a intentar determinar las zonas donde la generación de este tipo de biomasa es económicamente rentable para pagar los gastos generados por los propios tratamientos. Este balance económico se hará de las especies frondosas (como el quejigo, roble melojo o la encina) y de las coníferas (pino albar, pino negral o pino pudio) prestando especial atención en estas últimas ya que son especialmente problemáticos en

los IF. El método utilizado para calcular la cantidad de biomasa residual extraíble en cada zona y su rentabilidad no implica trabajo de campo. Se hace mediante sistema de información geográfico (SIG) y teledetección, es decir, a partir de mapas.

Este estudio solamente en la provincia de León debido a la complejidad de recogida de datos. Sin embargo, es un proceso metódico que puede extrapolarse a otros lugares sin demasiados cambios, basándose en los pasos que se han seguido en este caso. Esto es algo beneficioso ya que si se obtienen unos resultados satisfactorios las medidas pueden a otros lugares que tengan necesidades similares.

Como en el trabajo actual no se van a hacer trabajos de campo debido a que se sale totalmente del alcance del proyecto se podrían cometer pequeños errores en los resultados finales. Por ejemplo, no se ha tenido en cuenta que, aunque hay mucha parte de la masa forestal en mal estado hay otras partes ya tratadas. Además, hay muchos terrenos privados en los que podría haber dificultades para trabajar por los propietarios. Pero, este estudio puede dar unos resultados muy valiosos para hacerse una idea del potencial de la provincia para generar biomasa de forma sostenible.

1.4. Beneficios que aporta el trabajo

El presenta trabajo es una propuesta que trata sobre dos temas que cada vez son más importantes y que están estrechamente ligados. Por un lado, la transformación del sistema de producción de energía y por otro la extinción de IF. Trata sobre zonas donde poder extraer biomasa que es una energía limpia mientras se previene la destrucción de los bosques por el fuego. Si se consigue plantear una metodología extrapolable a otras zonas y los resultados son buenos podría plantear un gran cambio en el sistema de prevención a

nivel nacional. Además, ayudaría a fomentar la extracción de biomasa de forma sostenible en zonas con gran potencial forestal y la instalación de nuevas centrales de producción de energía.

2. ESTADO DEL ARTE

Dentro de la metodología se incluye la explicación de la localización del proyecto, los tratamientos silvícolas que se van a realizar y los costes de extinción y prevención.

2.1. Localización del estudio

En España hay 27,5 millones de hectáreas de superficie forestal, lo que la coloca en segundo puesto a nivel europeo. Dentro del país hay grandes diferencias entre las superficies de masas forestales de las diferentes comunidades autónomas como se puede observar en la tabla:

C.C.A.A.	Arbolado(ha)	Desarbolado(ha)	Total Forestal(ha)
Andalucía	2.106.252	2.219.126	4.325.378
Principado de Asturias	451.116	313.481	764.597
Islas Baleares	186.377	37.224	223.601
Canarias	134.091	429.554	3.554.779
Cantabria	214.257	145.202	359.459
Castilla La Mancha	2.739.958	825.182	3.554.779
Castilla y León	2.982.317	1.825.414	4.807.731
Cataluña	1.626.212	304.270	1.930.482
Comunidad Valenciana	754.651	500.879	1.255.523
Extremadura	1.921.250	805.982	2.727.233
Galicia	1.405.452	634.123	2.039.575
La Rioja	169.552	131.924	301.475
Comunidad de Madrid	270.086	150.007	420.093
Región de Murcia	316.292	169.727	486.019
Comunidad Foral de Navarra	462.664	123.849	586.513
País Vasco	397.831	97.224	495.055
Total Nacional	17.715.988	9.743.490	27.459.478

Tabla 1: Superficie forestal por C.C.A.A. [1]

La comunidad autónoma con más masa forestal y arbolada es Castilla y León. Entre sus provincias hay grandes diferencias como se puede ver en la siguiente tabla:

Provincia	F.Arbolada(ha)	Desarbolado(ha)	Total Forestal(ha)
Ávila	239.308	281.350	520.658
Burgos	475.799	231.800	707.599
León	526.570	494.266	1.020.836
Palencia	173.760	78.289	252.049
Salamanca	533.389	270.247	803.631
Segovia	243.458	107.549	351.007
Soria	418.651	180.031	598.682
Valladolid	125.887	28.553	154.440
Zamora	245.502	241.755	487.257
Castilla y León	2.982.319	1.913.840	4.896.159

Tabla 2: Superficie forestal de Castilla y León por provincias [2]

Llama la atención que la superficie forestal en Castilla y León es diferente en la *Tabla 1* y en la *Tabla 2*. Esto se debe a que los datos se han obtenido de diferentes fuentes. Los datos a nivel nacional se obtienen del tercer inventario forestal nacional (IFN3) que se publicó en 2007 mientras que los datos de la autonomía son del año 2018, y, por tanto, la superficie es algo mayor.

La provincia con más superficie forestal es León. La parte que interesa para este trabajo es la arbolada. Para elegir la zona de estudio se han hecho comparativas en diferentes ámbitos importantes. Finalmente se ha elegido la provincia de León. A continuación, se explican las razones.

- **Titularidad de la masa forestal:**

Para realizar los tratamientos forestales es esencial que la mayoría de la superficie sea de titularidad pública. Las brigadas de trabajo dependerán de la administración y puede haber dificultades a nivel legal para tratar propiedades privadas. Los datos se detallan en la *Tabla 3*

Provincia	Titularidad Privada(ha)	Titularidad(ha) Pública
Ávila	337.223	177.663
Burgos	159.189	119.063
León	215.497	790.935
Palencia	54.409	230.875
Salamanca	650.961	140.492
Segovia	150.366	173.300
Soria	282.961	311.981
Valladolid	82.841	69.210
Zamora	252.922	232.022
Castilla y León	2.186.370	2.648.398

Tabla 3: Titularidad pública y privada en Castilla y León por provincias [1]

La provincia de León es la segunda con más hectáreas de titularidad pública con un 79 % de la superficie total. Salamanca es el caso contrario, con un 82 % de superficie privada. Además, hay una parte importante de los bosques de Salamanca que son dehesas con poca capacidad de producción de biomasa y bajo riesgo de incendios forestales. Por tanto, se desestima estudiar la provincia de Salamanca.

- **Despoblación rural:**

Otro ámbito importante es la despoblación. La provincia de León es una de las más afectadas, sobre todo en las zonas rurales más aisladas. La despoblación y el envejecimiento de la población hace que las masas forestales estén cada vez más descuidadas aumentando el riesgo de que haya grandes incendios forestales. Se barajó

la posibilidad de analizar la comunidad autónoma del País Vasco. Esta tiene un gran potencial forestal por ser la comunidad con más porcentaje de masa arbolada de toda la península y por tener una buena infraestructura de centrales de generación de energía. Sin embargo, es un territorio donde la despoblación no es un problema flagrante como en esta provincia.

■ **Incendios Forestales:**

Por último, otro aspecto a tener en cuenta son los incendios forestales. El noroeste de España es la zona más afectada.

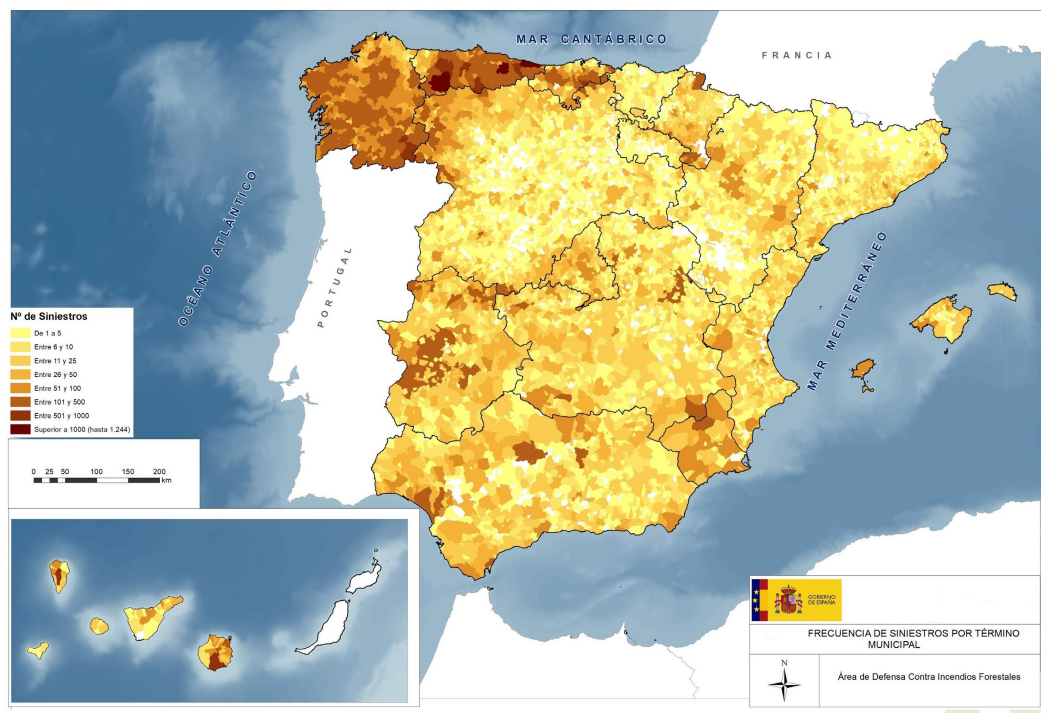


Figura 1: Mapa frecuencia IF por término municipal. [3]

Galicia, Asturias y León tienen un gran problema por el número de incendios forestales que presentan cada año como puede verse en la figura. Sin embargo, se han desechado Galicia y Asturias como territorios de estudio ya que gran parte de la masa arbolada es de eucaliptos y estos solamente se plantan con objetivos económicos. Es decir, todas las plantaciones son para la industria maderera, y, además, gran parte de ellas son propiedades privadas. Las grandes diferencias en los incendios forestales han sido la principal razón por la que se desestimó la posibilidad de

hacer este estudio en el País Vasco. Si se comparan los datos recogidos en la *Tabla 4*:

Provincia/C.C.A.A	Siniestros	Arbolada(ha)	Total Forestal(ha)
León	5.081	21.819,02	80.217,15
Álava	288	560,91	1.005,22
Guipúzcoa	318	427,18	1.471,19
Vizcaya	546	602,13	1.554,70
País Vasco	1.167	1.590,22	4.030,11

Tabla 4: Comparativa superficie quemada entre País Vasco y León entre 2006 y 2015. [4]

Si se analizan los datos de la *Tabla 4* puede verse como en la provincia de León el número de hectáreas quemadas en el periodo entre 2006 y 2015 es de 80.217,15 mientras que en País Vasco es de 4.030,11. Es decir, se quema aproximadamente 20 veces más superficie en León que en el País Vasco. Teniendo en cuenta que la superficie total de la provincia es el doble que la de la comunidad del País Vasco se puede afirmar que el problema de los IF es más preocupante en León.

Por lo explicado anteriormente se han desestimado tanto las comunidades de Galicia y País Vasco como la provincia de Salamanca y se hará un estudio completo de la provincia de León siendo esta la más adecuada en su comunidad.

La provincia de León se localiza en la parte noroccidental de la península ibérica, en la comunidad autónoma de Castilla y León (*Figura 2*). Desde el punto de vista estructural, las formaciones montañosas ocupan una parte importante del relieve. Esto es significativo para el trabajo como se verá posteriormente.



Figura 2: Localización de León dentro de la Península Ibérica [5]

Dentro de la provincia se van a tratar tanto las especies frondosas (robles, encinas, hayas...) como las coníferas (pino albar, pino nigra, pino radiata ...). Se tendrá especial atención a estas últimas ya que generan dificultades en la extinción de IF como se explicará de forma detallada posteriormente. Como puede verse en la *Figura 3* el crecimiento de especies frondosas y coníferas en la comunidad es elevado y esto nos lleva a pensar que los resultados pueden ser buenos.

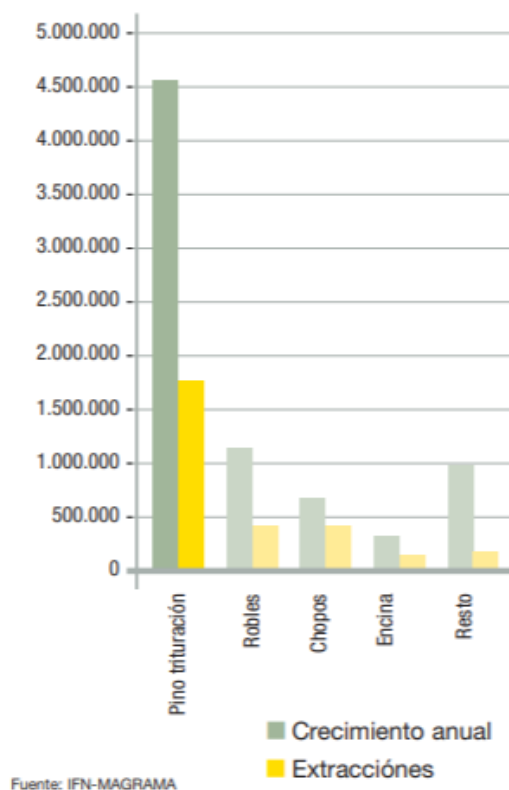


Figura 3: Crecimiento por especies en Castilla y León [6]

Claramente, el pino es la especie que más crecimiento tiene porque la mayoría de las replantaciones se hacen con coníferas ya que se adaptan fácilmente a los diferentes suelos y climatologías. Sin embargo, como se puede ver en la *Figura 4* la superficie de especies frondosas es enorme dentro de la provincia.

Superficie frondosas y coníferas en León

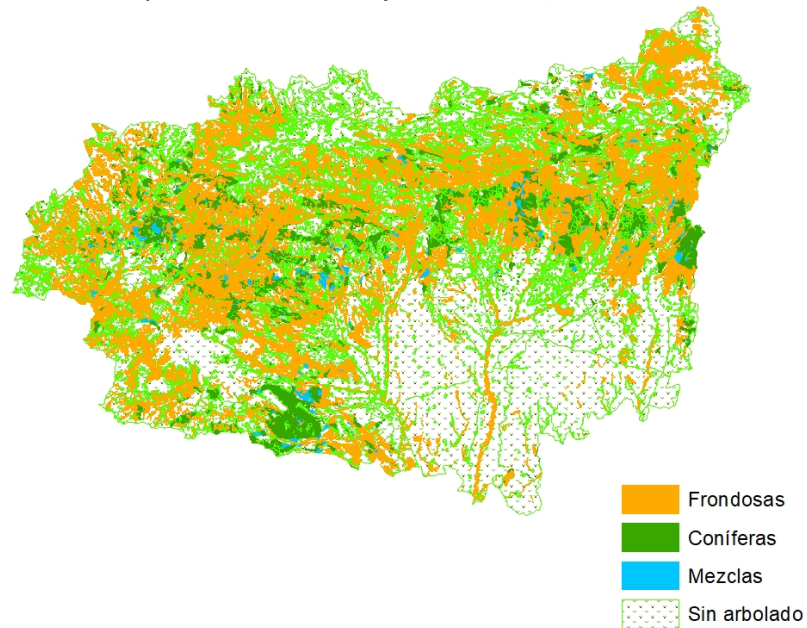


Figura 4: División por especies en la provincia de León

Se observa que de forma natural las especies frondosas crecen en muchos más lugares y por ello la superficie en la provincia es mayor. Dentro de las especies frondosas las más frecuentes son el roble y la encina. En cuanto a las coníferas, muchas no son especies autóctonas si no de replantación. Actualmente se hacen replantaciones de diversas especies, pero hace años únicamente se replantaba pino. Por ello, hay asentada una gran superficie de coníferas en la provincia. Las especies que más superficie ocupan son las siguientes:

Formación forestal dominante	Cabida(ha)
Quercus pyrenaica(melojo)	207.978
Pinus sylvestris(pino silvestre)	63.911
Quercus ilex(encina)	52.355
Pinus pinaster(pino negral)	37.961
Quercus robur(roble común)	32.959

Tabla 5: Superficie que ocupan las principales especies de arboles en León [1]

Como se verá posteriormente, los tratamientos que se llevan a cabo en las especies frondosas y en coníferas son diferentes. Por lo poco limpios que están los bosques en muchos puntos de la provincia en general se obtendrá más cantidad de biomasa por hectárea en las especies frondosas. En el siguiente apartado se explicarán en profundidad estos tratamientos.

2.2. Prevención de incendios forestales

Es importante conocer los factores principales que condicionan el comportamiento y la propagación de un incendio: topografía, meteorología y combustible [7]. Se debe poner especial atención a aquellos que se pueden modificar mediante la gestión forestal. El único factor en el que se puede influir es el combustible. En los bosques que han sido tratados se pretende influir en el comportamiento del fuego. La forma más efectiva y rentable de reducir el efecto de los incendios forestales es la prevención. Los costes y el riesgo laboral que existe en la extinción son mucho más elevados que en los tratamientos de prevención. Por tanto, se debe dar gran importancia a todas las técnicas que hacen que no se provoquen incendios forestales, o que, si estos se producen, sean de la menor intensidad posible.

Para la prevención de incendios los tratamientos son diferentes dependiendo de las

especies. Como gran parte de las coníferas son plantaciones se suelen tratar podando ramas y haciendo algunos clareos en ciertas zonas. Sin embargo, en las especies frondosas que crecen de forma natural el número de pies por hectárea es mucho mayor y por tanto los tratamientos se basan en cortar los árboles más pequeños para dejar los más grandes. Esto explica que en muchas ocasiones en los tratamientos en zonas de especies frondosas se obtenga mayor cantidad de biomasa residual forestal. También se debe tener en cuenta que no todas las especies son igual de problemáticas en un incendio. Ahora se va a explicar brevemente porqué se le debe dar mucha importancia a los tratamientos en los bosques de coníferas, aunque la extracción de biomasa sea menor.

El alto riesgo que tienen las coníferas y que las diferencian de las especies frondosas son la presencia de resinas y compuestos con altos valores calorimétricos (alrededor de $40000 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) [8]. Cuando existen condiciones biológicas extremas se produce un incremento de resinas y aceites esenciales. Estas dos son sustancias altamente inflamables y se producen en mayor cantidad en situaciones de sequía [8]. Esto agrava el problema en épocas especialmente complicadas para los incendios forestales. Además, la biomasa muerta de coníferas suele presentar un bajo contenido de humedad y una alta inflamabilidad [8]. También es importante recalcar que en un bosque de coníferas es muy frecuente la generación de pavesas que es el transporte de puntos de ignición por el aire [9]. Es decir, cuando está en combustión, es muy frecuente que las piñas salten a cientos de metros por delante del frente de llamas generando focos secundarios fuera de su perímetro, situación que puede tener importantes consecuencias sobre las estrategias de extinción [10]. Por estas razones cuando un incendio forestal llega a una zona de pinares la temperatura, velocidad e intensidad de las llamas se incrementa quemando una superficie mayor, dificultando las labores de extinción y aumentando el riesgo para las brigadas que estén trabajando en el lugar.

Los incendios forestales pueden ser de dos tipos:

1.-Los de superficie en los que se queman los combustibles que hay sobre el suelo y en una altura próxima. Normalmente afecta a arbustos o restos de corta pero no a los árboles en su totalidad. Esto no quiere decir que en un momento dado no se pueda quemar un árbol entero, pero no se propaga en ningún momento por las copas [9].

2.-Los incendios de copas son los que se propagan a través de las copas de los arboles. En ellos hay dos avances, primero se queman las copas, ya que el viento es más intenso que a nivel del suelo y las hojas son combustible que arden bien, y después, por detrás, se van quemando los combustibles superficiales como matorrales y pastos. Son incendios de gran intensidad, que presentan grandes dificultades para su control [9].

Existen bastantes diferencias entre los incendios de copas y los de superficie. Por un lado, cuando se produce un incendio de copas la velocidad de propagación es mucho mayor y por lo tanto en la misma cantidad de tiempo se quema más superficie. Además, las labores de extinción se dificultan mucho ya que no es posible el ataque directo, por esta razón suelen durar más tiempo. Por otro lado, los efectos sobre la vegetación son muy distintos. En un incendio de superficie se queman arbustos o pequeños árboles, flora cuya recuperación es mucho más rápida. Sin embargo, en un incendio de copas se queman tanto los árboles como toda la parte inferior. Esto implica una lenta recuperación. Por tanto, cuando un incendio forestal se origine o entre en un bosque lo que se debe evitar ante todo es que se produzca fuego de copas. Para evitar esto se pueden hacer tratamientos aumentando tanto la discontinuidad vertical como la horizontal.

Los bosques con estructuras que tengan discontinuidad vertical, respecto a los estratos de vegetación, y horizontal, respecto al recubrimiento de copas, son más resistentes al fuego de copas dificultando su propagación y disminuyendo su intensidad. Se entiende la discontinuidad vertical como la distancia desde el suelo hasta la base de la copa y la discontinuidad horizontal a la distancia entre copas de diferentes arboles (cortafuegos). Por tanto, la forma más efectiva de prevenir que un incendio pase de la superficie a las

copas es crear discontinuidades verticales y la de conseguir controlarlo una vez generado son las discontinuidades horizontales.

El problema es que hay grandes superficies de bosque sin tratar. Las discontinuidades horizontales se pueden hacer eliminando completamente la vegetación y creando un cortafuegos que permita el acceso de los medios de extinción si fuese necesario. También puede eliminarse una franja de coníferas y hacer una plantación de especies frondosas cuya combustión sea más lenta y que no emitan pavesas para intentar controlar el incendio en esa franja. Los cortafuegos deben tener una anchura mínima dos veces y media la altura dominante de los árboles y, al menos, 15 m, cuando se realicen en las proximidades de zonas arboladas [11]. También existen las zonas de fajas, donde se elimina la vegetación arbustiva y parte de la arbórea para evitar la propagación de un posible incendio forestal [11] pero no se elimina toda la vegetación como en un cortafuegos. Se insiste en este tipo de tratamientos ya que es el más relevante a la hora de obtención de biomasa. Las discontinuidades verticales tienen una gran importancia para la prevención de incendios, pero no son tan relevantes para la producción de biomasa como se explica posteriormente. Hay que tener en cuenta cuando se hacen los cortafuegos y las entresacas para disminuir la densidad que la generación de biomasa es alta mientras que en las podas es mucho menor. En la *Figura 5* puede verse a la izquierda la función de un cortafuegos en un incendio forestal. En la imagen de la derecha biomasa obtenida a partir de la entresaca en un bosque de coníferas.



Figura 5: Función de los tratamientos silvícolas en un bosque

Las discontinuidades verticales son mucho más importantes para que no se inicie el fuego de copas. Como ya se ha dicho anteriormente una de las formas de controlar el fuego es eliminar el combustible. Para que un incendio de superficie pase a ser de copas es esencial que exista una unión de combustible entre el fuego a ras de suelo y las copas de los árboles. Si se consigue crear una discontinuidad suficientemente grande entre la vegetación que crece a ras de suelo y el dosel de copas en la que las llamas no puedan alcanzar el combustible de la parte baja de las copas se dificulta mucho la aparición del fuego de copas que es lo que se quiere evitar. No solo se debe tener en cuenta la distancia del suelo al dosel de copas para los incendios forestales ya que dependiendo de la altura del árbol se podrá hacer un tratamiento a una u otra altura. Por ello, es conveniente hacer podas en coníferas de una altura de 9 o más m para que se pueda cortar hasta los 3 m que es $\frac{1}{3}$ de la altura total. En la *Figura 6* se puede observar a la izquierda fuego de copas por inexistencia de discontinuidad vertical. El fuego quema las copas de los árboles por completo. A la derecha bosque quemado tratado previamente. El fuego se queda en la superficie y no quema las copas.



Figura 6: Diferencias en el comportamiento de los bosques debido a los tratamientos

Además, los tratamientos tienen otros beneficios relacionados con la calidad de la madera para la posterior generación de biomasa y otros usos. Mejora el crecimiento de los árboles porque favorece la llegada de luz y agua al suelo [12]. Esto también implica el crecimiento de vegetación, que puede servir para forraje para el ganado. También se aumenta la proporción de madera madura respecto a la juvenil [12]. La eliminación de las ramas de la parte baja induce un cambio a la formación de madera madura en los años siguientes a la poda. Esta tiene una mayor densidad, lo que implica un mayor poder calorífico y una mejor calidad para otros usos [12]. Como se puede apreciar en la *Figura 7* las dos imágenes son de la misma masa arbolada, pero una sin discontinuidad vertical (izquierda) y la otra con ella (derecha).



Figura 7: Bosque sin tratar y tratado [12]

Este tipo de tratamientos silvícolas para prevención además de reducir el riesgo de inicio y propagación del fuego generan gran cantidad de biomasa residual.

2.3. Residuos biomásicos generados en los tratamientos. Costes de los tratamientos

Hay que tener en cuenta que actualmente, la mayoría de las plantas de generación energética mediante biomasa utilizan residuos forestales que ya no pueden ser usados para otra finalidad que no sea el aprovechamiento energético. Es decir, en las plantas de generación se utilizan muchos restos de la industria maderera que ha aprovechado las partes principales del árbol [13]. También hay una parte importante que utiliza directamente en el aprovechamiento energético. Por tanto, en los tratamientos una parte debe permanecer en el lugar de corta para mantener la calidad ambiental. De la parte que se extrae del bosque una parte se aprovecha para la industria maderera y otra directamente para la producción de energía. Por último, todos los residuos de la industria maderera van a

parar a las centrales bioenergéticas. En la *Figura 8* puede observarse como en la primera fase el bosque está sin tratar. En la segunda, se generan discontinuidades horizontales y todos los árboles que se talan se aprovechan tanto para la industria maderera como para la generación de energía. En la tercera, se generan discontinuidades verticales, casi toda esta madera se quedará en el bosque, aunque una pequeña parte si se podrá aprovechar para generación de energía.

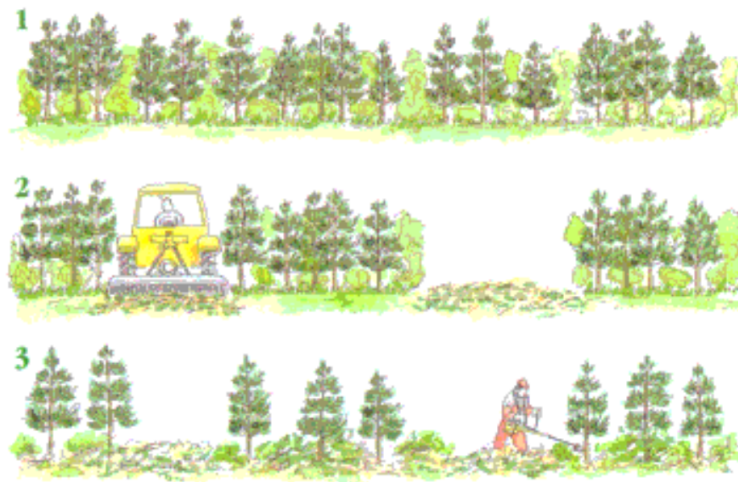


Figura 8: Fases de los tratamientos [14]

Para diseñar un proyecto de aprovechamiento energético de la biomasa se deben determinar varios factores que aseguren la rentabilidad del proceso. Además, se deben optimizar tanto la recolección como el transporte de la biomasa hasta los lugares donde se va a producir la energía. Se deberá tener en cuenta el volumen total de biomasa que se puede obtener de cada árbol, los costes de la maquinaria y del personal. También de los procesos de astillado o trituración y de transporte hasta las plantas.

Aunque con la metodología que se va a explicar ya se van a obtener las zonas que tienen mayor viabilidad económica se hará un resumen de en qué consisten los costes en un tratamiento silvícola. Se pueden dividir en costes de extracción y de transporte.

Los primeros consisten en la operación de recogida y astillado en el lugar de corte. Los segundos se refieren al transporte desde este punto hasta las plantas de biomasa. Estos últimos son mucho menos estables ya que dependiendo de los caminos de acceso y de la distancia a las plantas de biomasa pueden variar mucho.

En primer lugar, se analiza la maquinaria que se utiliza para hacer los tratamientos. Por un lado, cuadrillas de peones forestales que harán las podas y cortarán los árboles que posteriormente las máquinas astillarán. Los peones utilizarán normalmente la motosierra como herramienta y los equipos de seguridad individual (EPI) de seguridad necesarios. Se propone que en todos los casos para este proyecto se haga el astillado en el lugar de corte ya que debido a las malas condiciones de algunas vías de acceso será más viable. Una vez se ha astillado la madera es mucho menos voluminosa y se puede transportar con vehículos más pequeños y por tanto más adecuados para ciertas zonas montañosas. Se propone la utilización de un tractor auto cargador. Este vehículo una vez esté estacionado en la vía forestal, extiende la grúa cogiendo con la pinza los troncos o ramas depositadas en el suelo tras la tala almacenándola en el remolque. Una vez este está lleno se desplaza de la zona de trabajo hasta la zona de cargadero donde se astilla la madera y se carga en los camiones de transporte. En la *Figura 9* se muestra un ejemplo de la maquinaria que se van a utilizar en el proyecto. Arriba a la izquierda tractor auto cargador que recoge la biomasa después de ser cortada. Arriba a la derecha la picadora de leña que se situará en un lugar cercano a las vías de acceso para llenar los camiones. Por último, en la parte de abajo un vehículo todoterreno donde se moverá el personal de tierra.



Figura 9: Maquinaria utilizada

En segundo lugar, hay que analizar el transporte desde el lugar de desembosque hasta las centrales de biomasa donde se lleva el producto. Son costes mucho más variables. Dependen del estado de las pistas rurales de acceso, proporción del transporte realizado por carretera y por camino, distancia desde la parcela a la planta energética, época del año etc. De todos estos parámetros el más influyente en el costo total es la distancia entre el punto de recogida y la central de biomasa. Mediante el modelo de distancia límite se puede calcular una distancia umbral a partir de la cual no es rentable llevar la mercancía. Las distancias dependen de varios factores, pero en todos los casos serán mayores que las que se van a recorrer en la provincia de León, ya que en esta provincia hay varias centrales de biomasa repartidas por el territorio y por ello no se van a recorrer más de 100km en ningún caso. En la *Tabla 5* se va a hacer un recuento de las principales centrales de biomasa en la provincia, donde se encuentran y cuál es la función de cada una de ellas.

Empresa	Localización	Finalidad
Biomasa De Branuela S.L.	Brañuelas	Producción de energía
Biomasa Térmica Sociedad	León	Comercialización derivados biomasa
Biomasa Gestion Ecologica Sa.	Pola de Gordón	Recogida y venta de biomasa
Bioben Tecnologia De La Biomasa S.L.	Villamañán	Producción y venta de pellets
Central de Forestalia	Cubillos del Sil	Producción de energía
Central ERRSA	La Robla	Producción de energía

Tabla 6: Centrales biomásicas en la provincia de León

El objetivo es vender la biomasa a centrales cuyo objetivo sea la producción directa de energía, pero podría haber más clientes dependiendo de la rentabilidad y de los precios que ofrezca cada cliente. Para la producción directa a la red eléctrica hay tres centrales que están repartidas en la provincia como se muestra en la *Figura 10*.



Figura 10: Localización de las centrales productoras de energía

En la parte final de los cálculos se propondrán los lugares más adecuados para una posible construcción de plantas de generación de electricidad a partir de biomasa. A priori, en las zonas donde mayor concentración de zonas abundantes en cantidad de biomasa

serán las más adecuadas para la instalación de las centrales.

Por último, en la *Tabla 7* se van a presentar algunos presupuestos de tratamientos silvícolas de las especies más comunes en León. Dichos presupuestos provienen de un estudio sobre la gestión forestal sostenible y se trabaja en condiciones similares a las de este proyecto.

Especie	Tratamiento	Coste(€/ha)
Pino negro	Primer clareo, desbroce y poda	3000
Pino silvestre	Primer clareo, desbroce y poda	3000
Pino laricio (Pinus nigra)	Primer clareo, desbroce y poda	3000
Haya	Desbroce, poda y clareo	3000
Q. pyrenaica	Resalveo, roza, aclareo, poda y desbroces	1500
Quercus ilex	Resalveo, aclareo, poda y desbroces	1500

Tabla 7: Coste aproximado de tratamientos preventivos incendios forestales [15].

Estos presupuestos de tratamientos preventivos se compararán con los costes de extinción en el siguiente apartado.

2.4. Costes de extinción de incendios forestales

Los costes de extinción en un IF no son solamente económicos. Se deben tener en cuenta también los costes personales y ecológicos que en muchos casos son mucho más importantes.

Hacer un análisis de los costes económicos puede ser complejo ya que dependerá de los medios que estén participando en las labores de extinción.

Los costes personales son enormemente importantes. Entre 1996 y 2013 fallecieron 103 trabajadores en las labores de extinción de incendios. Como expone el propio Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), en un 62 % de los casos, la causa principal de accidente mortal ha sido la propia lucha contra el incendio [16]. Dentro del personal de extinción las causas principales son los accidentes aéreos y los atrapamientos en el frente de llama [17]. Los accidentes aéreos pueden ser de los helicópteros que transportan a las brigadas y posteriormente se suman a las labores de extinción o los hidroaviones que se dedican exclusivamente a extinguir. Además, Entre 1991 y 2015 fallecieron 55 personas ajenas a las labores de extinción, la mayoría por atrapamientos en las llamas [17].

Sin embargo, este no es el único problema a nivel de personal, hay gran cantidad de enfermedades provocadas por este tipo de trabajos, muchas de ellas aún no reconocidas como enfermedades laborales. Desde hace décadas existe una preocupación sobre la relación entre la actividad de los bomberos y el cáncer. La conclusión de algunos estudios sobre exposición a tóxicos, algunos de ellos realizados en condiciones experimentales, permiten afirmar que los compuestos orgánicos volátiles más frecuentes en la atmósfera de los incendios son cancerígenos o probablemente cancerígenos [16].

Los costes ecológicos también son elevados, el fuego modifica los ciclos biogeoquímicos, produce la destrucción de la vegetación, el suelo y la fauna. También afecta a la calidad de las aguas e incluso cambios en la composición atmosférica [18]. El fuego, dependiendo de su virulencia afectará de manera diferente a la vegetación y aquí es donde tienen importancia los tratamientos, lo que determinará que sus efectos tengan mayor o menor gravedad y condicionará las pérdidas [19]. Además, con los incendios aumenta notable-

mente la erosionabilidad del suelo y la contaminación las aguas por el arrastre de residuos desde las zonas más altas a los ríos y arroyos. En un incendio en el que la vegetación haya quedado completamente destruida pueden tardarse más de 50 años en una regeneración completa si el bosque es adulto. Además, aumentan el riesgo de desertificación. El Colegio de Geólogos alerta de los efectos negativos de los incendios como la pérdida de humedad natural de los suelos, mayor evaporación y desaparición de los sumideros naturales de CO_2 [18].

Por último, se va a hacer una estimación económica de los costes de extinción. En primer lugar es importante destacar que la política nacional de lucha contra incendios forestales obliga a combatir los fuegos hasta que sean completamente extinguidos. Es un factor a tener en cuenta porque se utilizarán todos los recursos necesarios para controlar y extinguir los incendios sea cual sea el coste. Hay dos formas de enfocar los costes de extinción. En primer lugar, se puede hacer una estimación del coste por hectárea quemada en un cierto periodo de tiempo. En segundo lugar, se calcula el coste de las labores de extinción asignándole un coste por hectárea de masa forestal en un territorio. Los costes de extinción variarán dependiendo de los medios utilizados en cada siniestro. Los medios más costosos son los aéreos (aviones anfibios, helicópteros bombardeos o de transporte de cuadrillas de tierra). También influye si un incendio es de gran tamaño o solamente un conato porque las horas de trabajo no son las mismas y porque la relación entre tiempo de llegada al incendio y tiempo de trabajo varía notablemente.

Si se utiliza el primer método se tiene que estimar el coste por hectárea quemada. A partir de un estudio de una zona en la provincia de Ourense [20] donde las condiciones son bastante similares a las de León, se ha estimado que el coste medio durante varios años es de 375,5€/ha. Si se hace una media de las hectáreas quemadas anualmente en la provincia de León durante un periodo de 10 años se obtendría un total de 3.012.154 €/año.

Utilizando el segundo método se tiene en cuenta toda la superficie forestal de la provincia que según la *Tabla 2* es de 1.020.836 ha. Dependiendo de la comunidad varían los costes por hectárea. Las medias según [20] están entre 5,4 €/ha y 6,5 €/ha. Si se hace una media entre ambos costes el presupuesto anual para extinción es de 6.073.974 €/año.

La cifra en ambos casos es muy elevada, aunque hay grandes diferencias entre ellos. Además de los costes de extinción hay que sumar los costes del proceso de recuperación y replantación del territorio quemado.

Es complejo comparar los costes de prevención y extinción ya que son cosas complementarias y sobre todo porque cuando se hacen labores de extinción necesariamente hay una pérdida ecológica muy importante que no se puede contabilizar de manera económica. Además, cuando se invierte en prevención se está ahorrando en extinción a largo plazo.

3. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

En esta parte se muestran todos los cálculos realizados.

3.1. Cálculos

La biomasa forestal residual presenta una escasa densidad y mucha dispersión territorial. Por ello, se deben diferenciar las zonas donde la extracción de esta es rentable y donde no. Para ello, deben definirse unas variables adecuadas que nos permitan calcular de forma

coherente las zonas más y menos rentables. Por tanto, se han buscado unas variables que consigan valorar en cada punto la viabilidad de la extracción de biomasa residual. Se han escogido como variable tres factores. Los factores son aspectos que aumentan o disminuyen la valoración de una alternativa como solución al problema y pueden ser cuantitativos o cualitativos [21]. Se han escogido los tres factores que tienen más importancia y son: factor de biomasa disponible, factor pendientes y factor distancia de desembosque.

La metodología a seguir tiene varios pasos. En primer lugar, se calculará cada uno de los tres factores por separado. Todos ellos están en formato *raster* que consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información [22]. Posteriormente se hace una suma multicriterio en la que se tienen en cuenta las tres variables. Una vez hecha esta suma hay que tener en cuenta una serie de variaciones que vienen dadas por restricciones y por el tipo de tratamiento que se lleva a cabo. El programa que se va a utilizar para todos los cálculos es el ArcGIS Desktop 10.8 que es un software de representación cartográfica.

Para poder hacer un análisis de este tipo los tres factores deben tener ciertas características en común. En primer lugar, deben estar representadas en el mismo sistema de referencia para poder superponerlas. El sistema elegido es ETRS1989 30N (siglas en inglés de European Terrestrial Reference System 1989, en español Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989 que es un sistema de referencia geodésico ligado a la parte estable de la placa continental europea. 30 N se refiere a la zona del sistema de referencia en el que estamos trabajando. El formato de todas las capas debe ser raster para poder superponerlos de forma correcta. A continuación, se explicará detalladamente el proceso utilizado para cada factor.

3.1.1. Factor de Biomasa Disponible

El factor más importante es la cantidad de biomasa residual disponible ya que es evidente que es el más determinante para saber la producción de madera que se utilizará posteriormente en las centrales. Se proponen tratamientos durante 20 años. Esto no quiere decir que todos los años haya que tratar cada bosque si no que a lo largo de este periodo de tiempo deben hacerse dos o tres tratamientos para conseguir un bosque con la cantidad de pies/ha adecuado. Por ello, se obtendrán datos de las toneladas métricas secas por hectárea y año (Tm/aha). Esto puede variar dependiendo de la madurez del bosque en cada caso, pero los resultados serán medias de los diferentes tipos de bosque. A partir del tercer inventario forestal [1] se pueden clasificar las masas forestales en estratos. Los estratos propuestos para la provincia de León son los los que figuran en la siguiente tabla:

Estrato	Formación forestal dominante	FCC	Cantidad de biomasa(Tm/aha)
1	Quercus pyrenaica	70-100	1,53
2	Quercus pyrenaica	40-69	0,87
3	Quercus pyrenaica	20-39	0,31
4	Quercus pyrenaica	70-100	0,4
5	Quercus pyrenaica	40-69	0,26
6	Quercus pyrenaica y Q. pyrenaica con Castanea sativa	5-39	0,11
7	Quercus pyrenaica con Pinus sylvestris o con Pinus nigra	5-100	0,37
8	Pinus sylvestris	70-100	0,38
9	Pinus sylvestris con Pinus nigra o con Pinus pinaster	70-100	0,43
10	Pinus sylvestris	20-69	0,24
11	Pinus sylvestris y P. sylvestris con Quercus pyrenaica	5-100	0,36
12	Quercus ilex y Q. ilex con Quercus pyrenaica	20-100	0,77
13	Quercus ilex y Q. ilex con Castanea sativa	5-100	0,48
14	Fagus sylvatica	20-100	0,25
15	Pinus pinaster	20-100	0,4
16	Pinus pinaster y Pinus radiata con Pinus nigra	20-100	0,32
17	Pinus pinaster con Pinus radiata, con Quercus ilex o con Quercus pyrenaica	5-100	0,52
18	Pinus nigra	20-100	0,36
19	Castanea sativa	20-100	0
20	Quercus petraea, y Quercus robur, y Q. petraea con Fagus sylvatica	20-100	0,89
21	Populus x canadensis, Populus nigra	5-100	0,46
22	Árboles de ribera	5-100	0
23	Matorral con arbolado ralo y disperso	5-19	0

Tabla 8: Estratos en la provincia de León [1]

Como los tratamientos serán para prevención de incendios no se han utilizado todos los estratos. En algunos de ellos no tiene sentido hacer tratamientos con este fin, estos son, arboles de ribera, matorrales con arbolado disperso y castaños, el resto sí que se ha utilizado. Para poder obtener las toneladas métricas secas por hectárea y año se ha recurrido a dos fuentes [21] y [23]

Para introducir esta información en un formato de geolocalización se ha descargado el mapa de León del MFE (mapa forestal de España) en formato shapefile que es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI. Dentro de la tabla de atributos del mapa se encuentra una categoría en la que se expone la cantidad de parcelas que hay de cada especie vegetal. Se ha hecho un proceso en el que se ajustó el modelo de estratos al de parcela ya que no eran exactamente los mismos. Una vez hecho se adjudicó la cantidad de biomasa extraíble para cada parcela. El resultado, que se recoge en la figura *Figura 11* es el siguiente:

Factor biomasa disponible

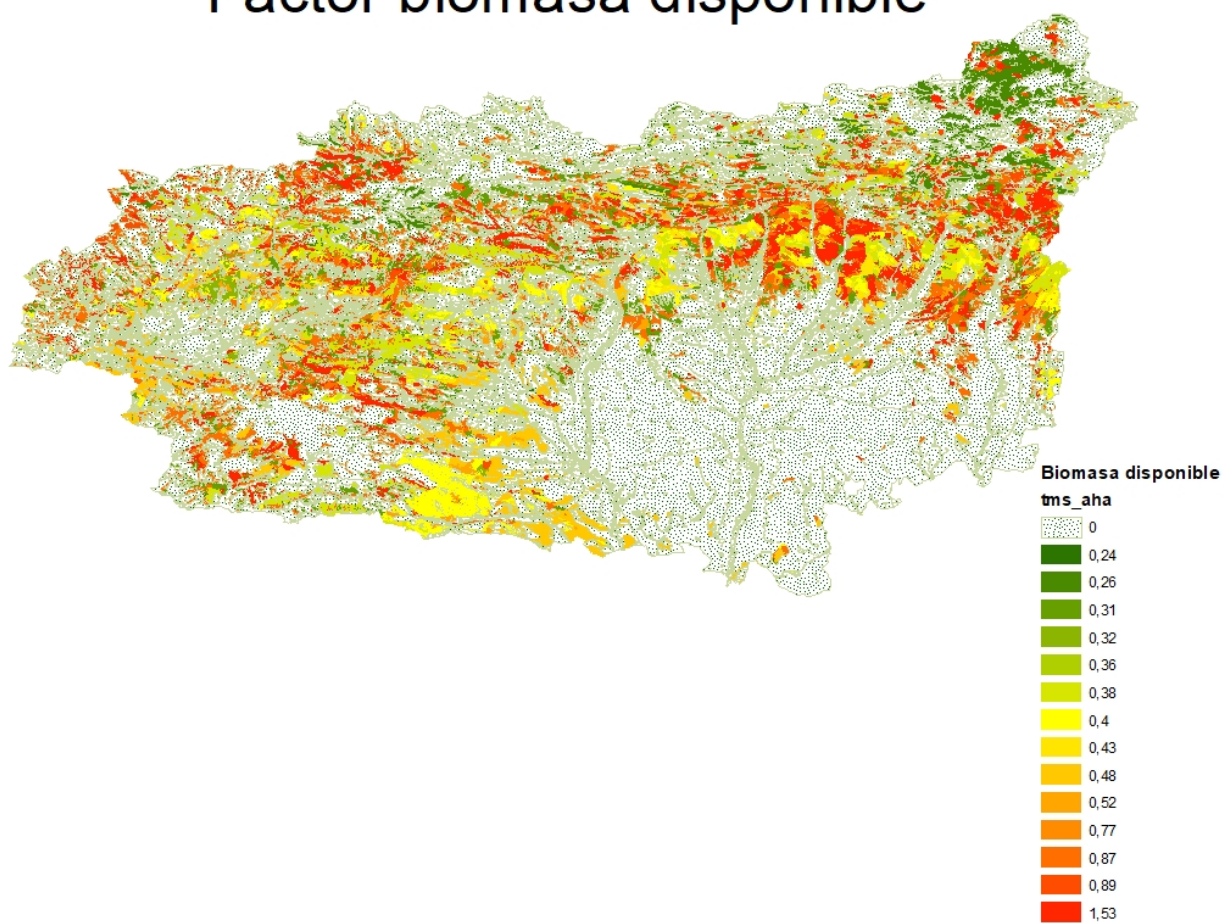


Figura 11: Cantidad de biomasa disponible en la provincia de León

Se puede ver en el mapa que a todas las zonas urbanas, de cultivo, de alta montaña, viarias o de especies que no se han tenido en cuenta se les ha dado un valor 0 ya que en ellas no se harán tratamientos.

3.1.2. Factor Pendientes

Es un factor importante para la extracción del recurso ya que el rendimiento varía mucho dependiendo de la pendiente del lugar de trabajo. Incluso hay en zonas donde la pendiente es tan grande que es imposible trabajar, aunque es cierto que en estas zonas la masa arbolada no suele ser exuberante. Por tanto, se debe establecer la relación del valor de este factor con la eficiencia de los trabajos de extracción tal y como puede verse en la *Tabla 9* [24].

PENDIENTES(%)	EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN(%)
≤ 10 %	80 %
10 %-30 %	70 %
30 %-50 %	20 %
≥ 50 %	Nula

Tabla 9: Relación entre la pendiente y la eficiencia [24]

Se ha considerado que a partir de un 50 % de pendiente el rendimiento es 0 ya que ni la maquinaria ni el personal pueden trabajar de forma segura. Esto restringe zonas de alta montaña que son bastante frecuentes en la provincia. También se debe tener en cuenta que aunque la pendiente sea mínima y no afecte al rendimiento del trabajo la maquinaria no trabaja nunca al 100 %. Se ha estimado que en condiciones óptimas un rendimiento máximo es del 80 %. Como en este factor ya se introduce la fracción de rendimiento que se pierde por la maquinaria en el resto no se tiene en cuenta.

Se ha descargado la información del modelo digital del terreno de Castilla y León específicamente de pendientes. A partir de un formato shapefile se ha creado un raster en el que se han separado las pendientes en los cuatro intervalos en los que posteriormente se dividen los rendimientos. El mapa que se obtiene es la *Figura 12*:

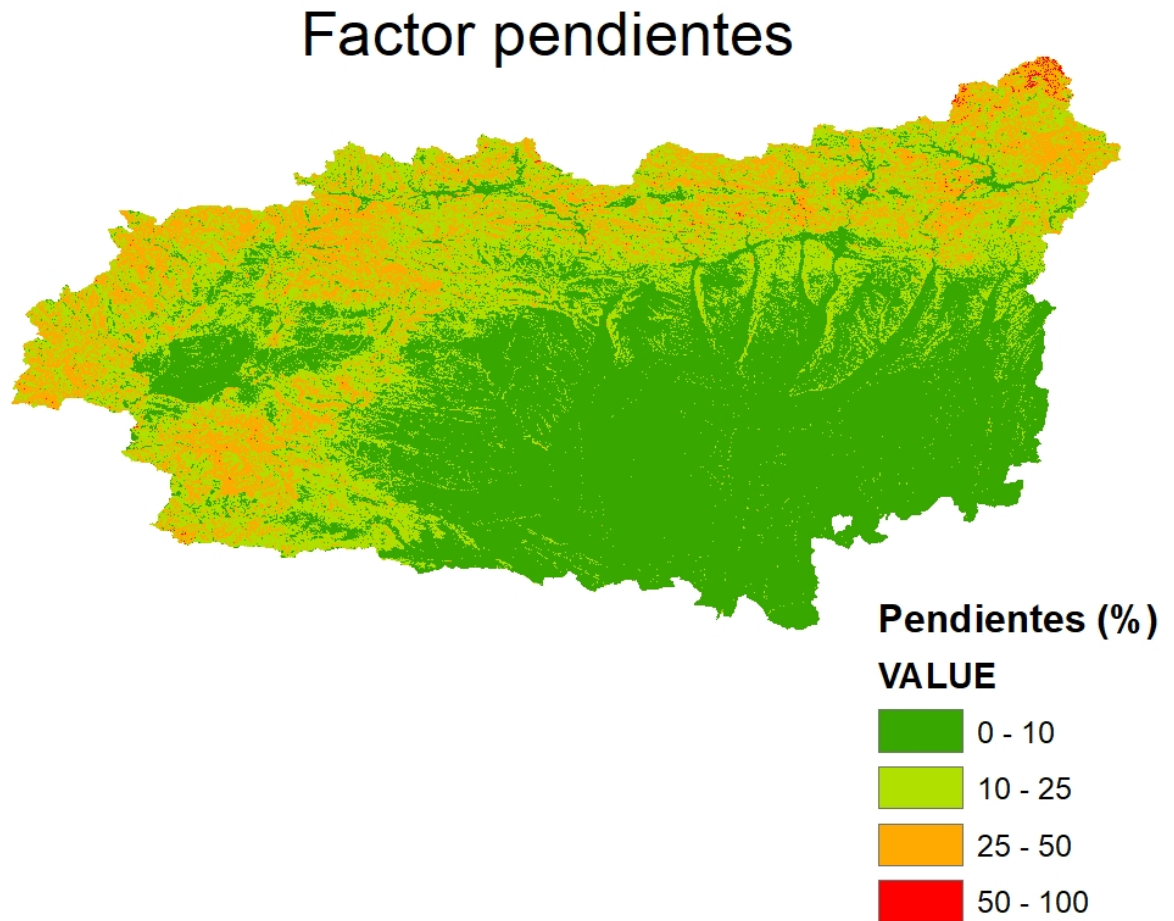


Figura 12: Pendientes en tanto por ciento(%) en la provincia de León

3.1.3. Factor distancia a desembosque

Cuando se están realizando los trabajos con el tractor autocargador, es muy importante tener en cuenta la distancia que tiene que recorrer hasta la astilladora de madera. También

la que tienen que recorrer los camiones del punto de recogida a la central de biomasa. Si la distancia que tienen que recorrer es muy grande el rendimiento bajará. En este mapa solo se valora la distancia de desemboque, es decir, la que recorre el tractor desde el punto de recogida hasta la vía de acceso más cercana. A partir del trabajo [25] se obtiene la siguiente relación:

Distancia(m)	Rendimiento	Distancia(m)	Rendimiento
0-100	100	800-900	72
100-200	97	900-1000	69
200-300	93	1000-1500	60
300-400	90	1500-2000	43
400-500	86	2000-2500	7
600-700	79	≥ 3000	0
700-800	76		

Tabla 10: Relación del rendimiento con as distancia de desembosque.

Como se puede ver en la *Tabla 10* se ha estimado que el rendimiento va disminuyendo de manera lineal con la distancia. A partir de los tres kilómetros la distancia a las vías de acceso es tan grande por dentro del bosque que el rendimiento cae a 0 y serán zonas en las que no se va a poder trabajar.

Para llevar a cabo esta parte del proceso se ha utilizado un mapa descargado del centro de descargas del instituto geográfico nacional. En este mapa aparecen todas las vías de acceso de la provincia. De todos los tipos de vías de acceso (autovías, autopistas, carreteras urbanas etc) solamente se han tenido en cuenta las carreteras convencionales y los caminos. Son las dos únicas vías de acceso en las que es posible hacer labores de desembosque. En otras vías como las autovías o autopistas está prohibido y en las zonas urbanas no suele haber bosques cerca. Una vez que se han extraído estos dos tipos de vías se implementa la función *euclidean distance* que indica la distancia desde cada punto

a la vía más cercana. Debido a que la función no respeta los límites provinciales debe recortarse con la forma exacta. Para ello, se recorta el raster con un polígono de la forma exacta de la provincia. El mapa resultante es la *Figura 13*:

Factor distancia de desembosque

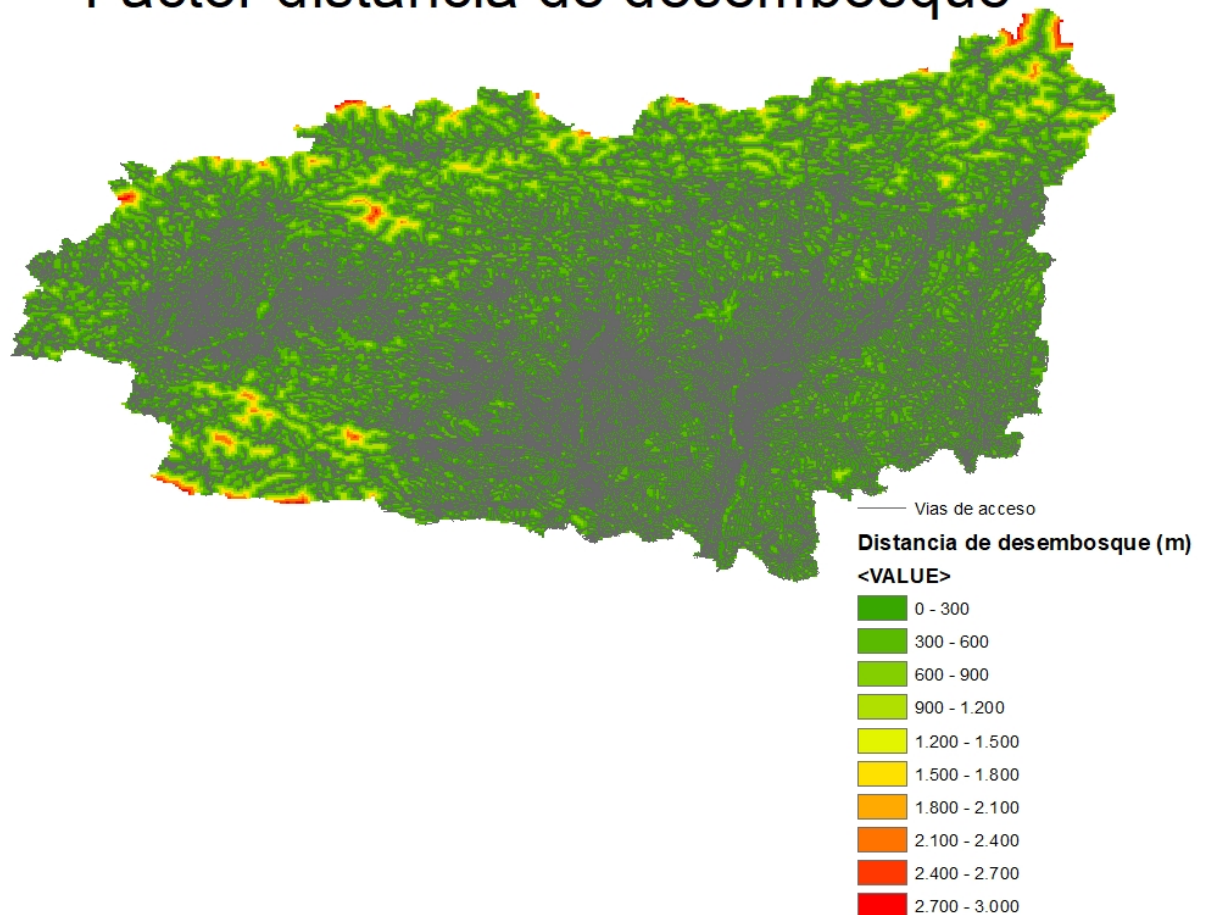


Figura 13: Distancia de desembosque en la provincia de León

Se puede observar en los límites de la parte noreste y suroeste del mapa que hay dos zonas blancas. Son lugares que se sitúan a más de 3000 m de cualquier vía de acceso y, por ello, se descartan directamente para los tratamientos.

3.2. Resultados

3.2.1. Suma multicriterio de los tres factores

Para obtener un resultado conjunto de las tres variables se debe utilizar la función suma ponderada(*weightedSum*). Para ello debe normalizarse cada una de las variables porque si no la suma de los factores no sería correcta. Se ha tomado un rango de 0 a 80 para todas ellas. En primer lugar, se han pasado todos los mapas a formato raster para que tuvieran una escala continua. En cada uno de los tres casos se ha hecho un procedimiento ligeramente distinto.

- En el caso de la cantidad de biomasa forestal inicialmente el formato era vectorial y la escala tenía valores separados. Conviértendolo en un formato raster la escala puede ser continua. Posteriormente se hace un redimensionamiento con la función (*Reclassify*) para que los límites pasen de 0 a 80 como se muestra en la *Figura 14*.

Cantidad biomasa normalizado

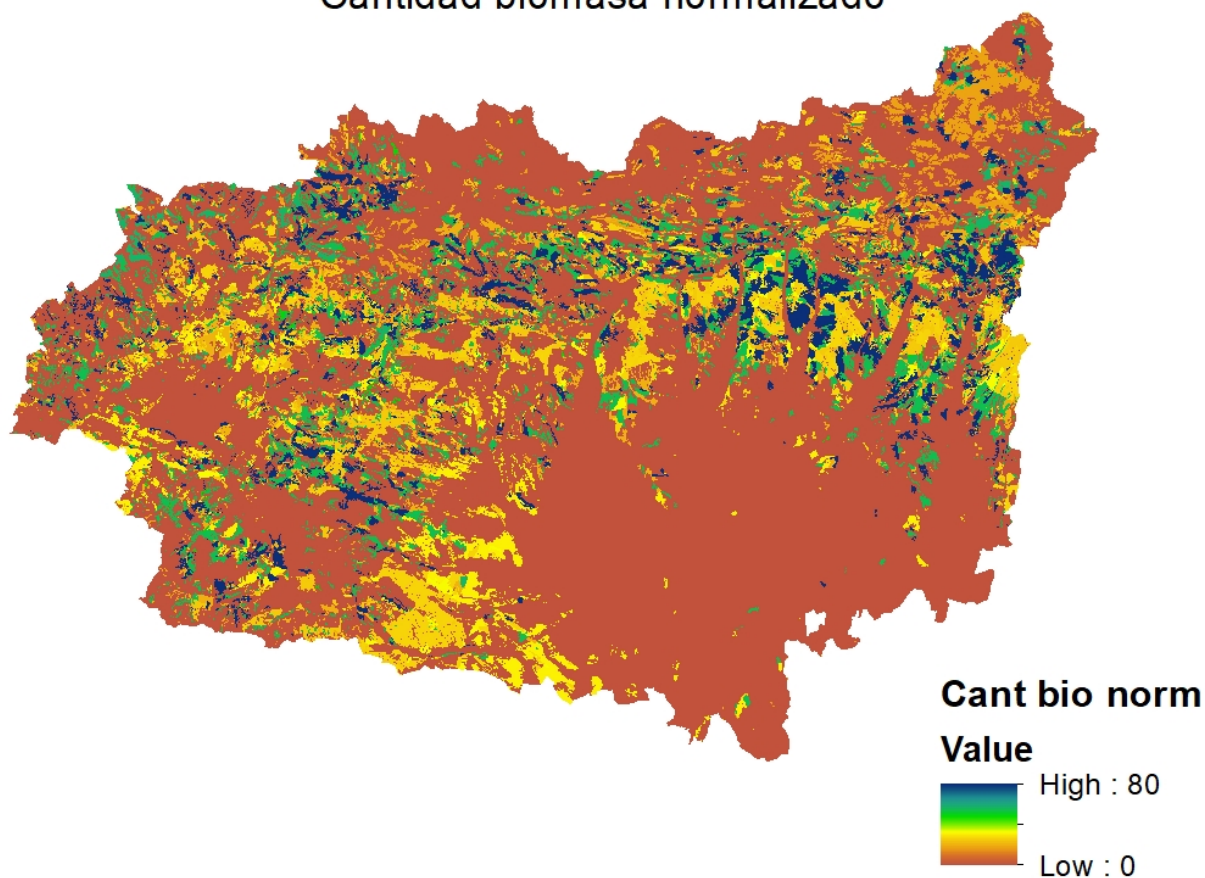


Figura 14: Cantidad de biomasa extraíble normalizado

Se puede ver como en gran parte del territorio la cantidad de biomasa es 0 por ser zonas no arboladas o de especies en las que no se van a hacer tratamientos. Sin embargo, hay una parte importante del mapa que tiene colores verdes y azules sobre todo en la mitad norte de la provincia, en estos lugares es probable que los resultados sean buenos o muy buenos.

- La variable de la pendiente ya estaba en un formato correcto y solamente se ha hecho un redimensionamiento. Sin embargo, en este caso los valores que se necesitan para la suma no son los de las pendientes si no los de los rendimientos asociados a ellas. A partir de la tabla 8 se hace el cambio de pendientes a rendimiento. Debe destacarse

que las zonas a partir de un 50% de pendiente se descartan independientemente del valor del resto de las variables. En este caso no hubo que normalizarlo ya que justamente el rendimiento tiene un intervalo entre 0% y 80%. En la *Figura 15* se muestran los resultados.

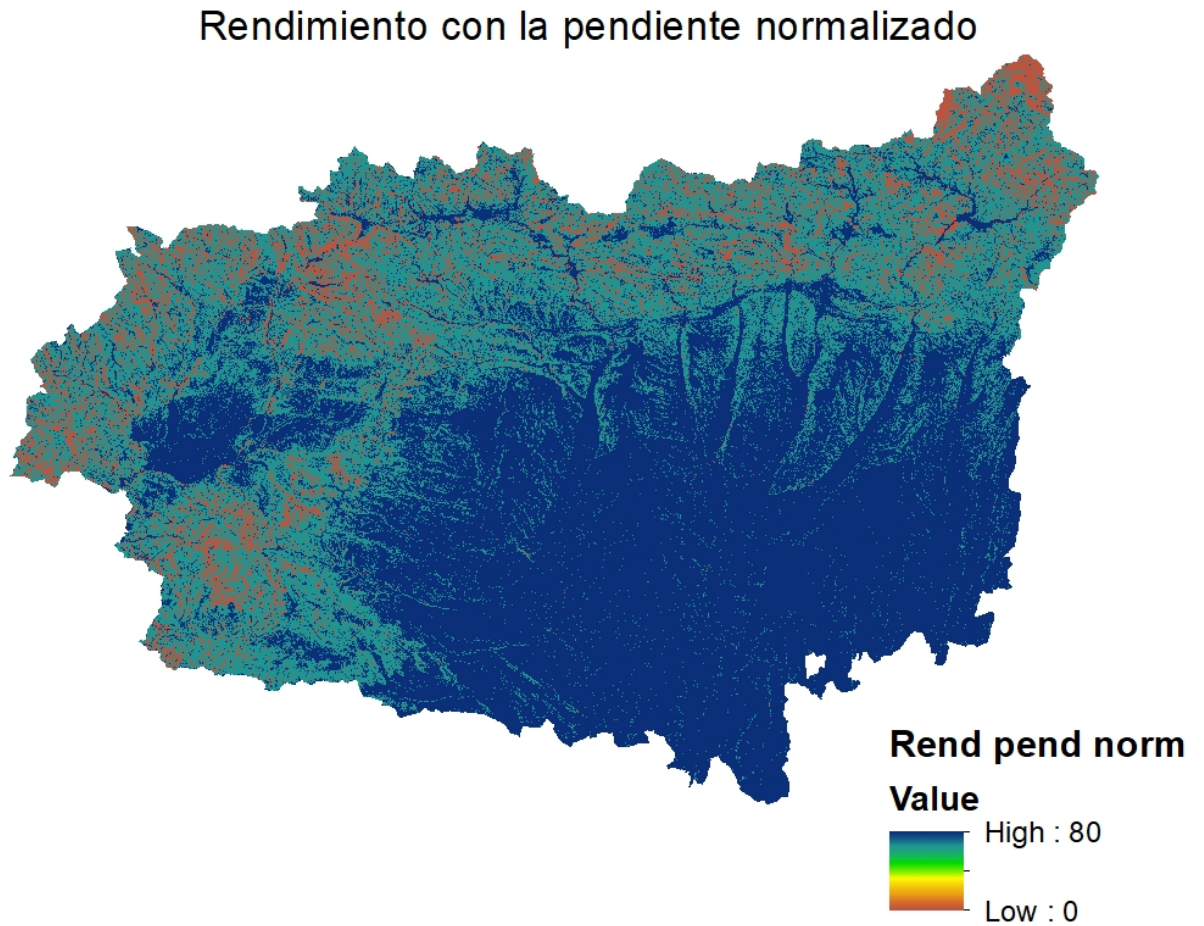


Figura 15: Rendimiento asociado a la pendiente normalizado

Puede verse en las zonas montañosas (oeste y norte de la provincia) las pendientes son mayores y por ello los rendimientos caen. Toda la zona sur es meseta y por tanto los rendimientos son máximos. Llama la atención la región del Bierzo en la parte oeste que tiene pendientes muy pequeñas (rendimientos altos) y está completamente rodeada de montañas.

- Por último, para la distancia de desembosque se convirtió a formato raster y se hizo un redimensionamiento para poder poner los rendimientos asociados a la distancia. Como en este caso el rendimiento va de 0 a 100 si que hay que normalizarlo para que vaya de 0 a 80. Los resultados se muestran en la *Figura 16*.

Rendimiento distancia de desembosque normalizado

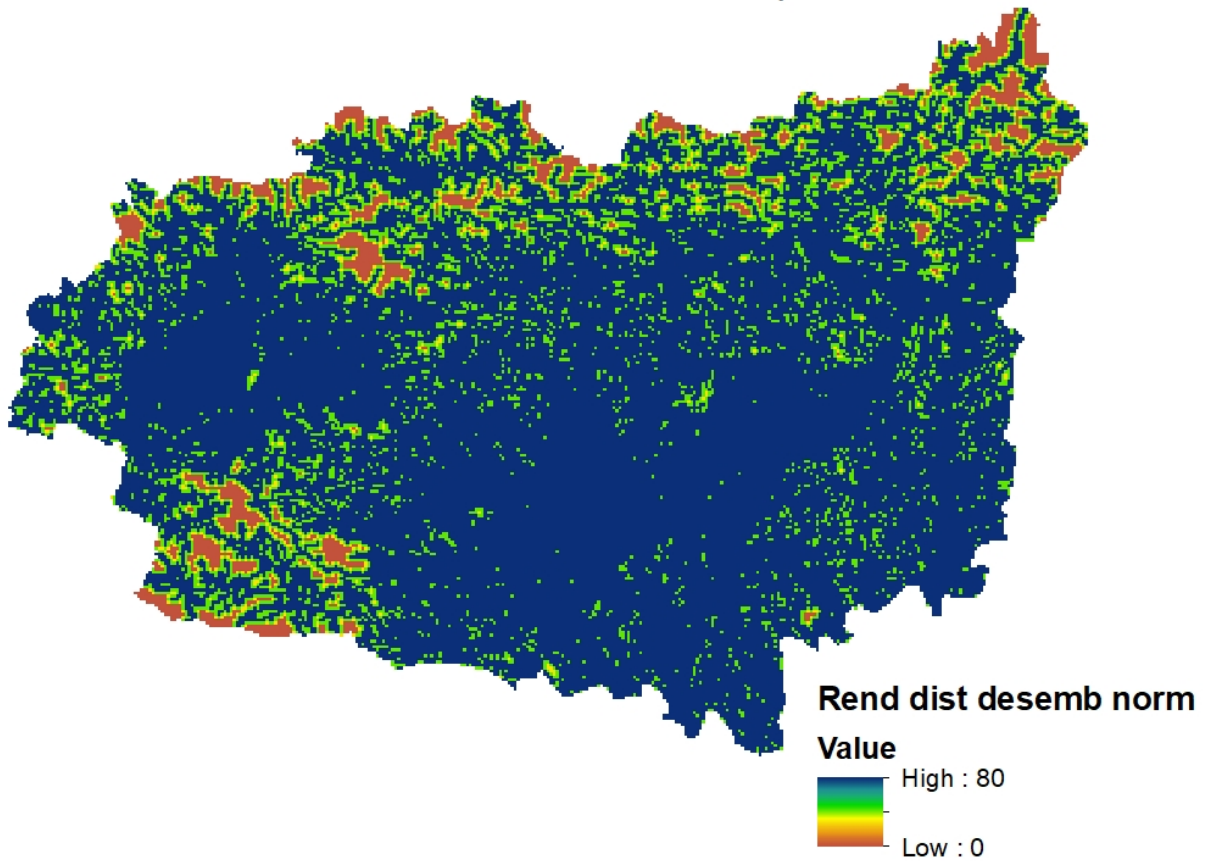


Figura 16: Rendimiento asociado a la distancia de desembosque normalizado

De la misma forma que en el factor de las pendientes la mayoría de las zonas que tienen rendimientos menores están en la parte norte y oeste por ser montañosas. De hecho, hay muchas zonas de alta montaña en las que hay mucha más distancia de 3 km a cualquier camino y el rendimiento es 0 en zonas amplias.

Con los tres mapas correctamente normalizados puede realizarse la suma. Para ello se utiliza la función(*weightedSum*). Hay que tener en cuenta que no se le han dado a los tres factores el mismo peso. El más importante de todos ellos es la cantidad de biomasa ya que, aunque la pendiente y la distancia de desembosque tengan unos valores óptimos si no hay gran cantidad de madera la biomasa extraída será muy pequeña. A continuación, la pendiente es el segundo más importante porque es un factor que condiciona de manera muy significativa el trabajo tanto para la maquinaria como para las personas. Por último, la distancia de desembosque es el menos importante porque aunque es cierto que la distancia aumenta los costes de extracción se han considerado recorridos máximos de tres kilómetros que son bastante cortos para las autonomías de la maquinaria que se va a utilizar en este proyecto. El peso asignado a cada factor se ha hecho basándose en otros proyectos como [21] o [25] y por criterio propio. Los resultados se muestran en la *Tabla11*.

Factor	Peso(%)
Biomasa disponible	50
Pendiente	30
Distancia de desembosque	20

Tabla 11: Peso asignado a cada factor

El resultado es un raster en el que se han sumado teniendo en cuenta los pesos asignados anteriormente los tres factores. Así se obtienen las zonas más y menos adecuadas para la extracción de biomasa.

Suma ponderada de los tres factores

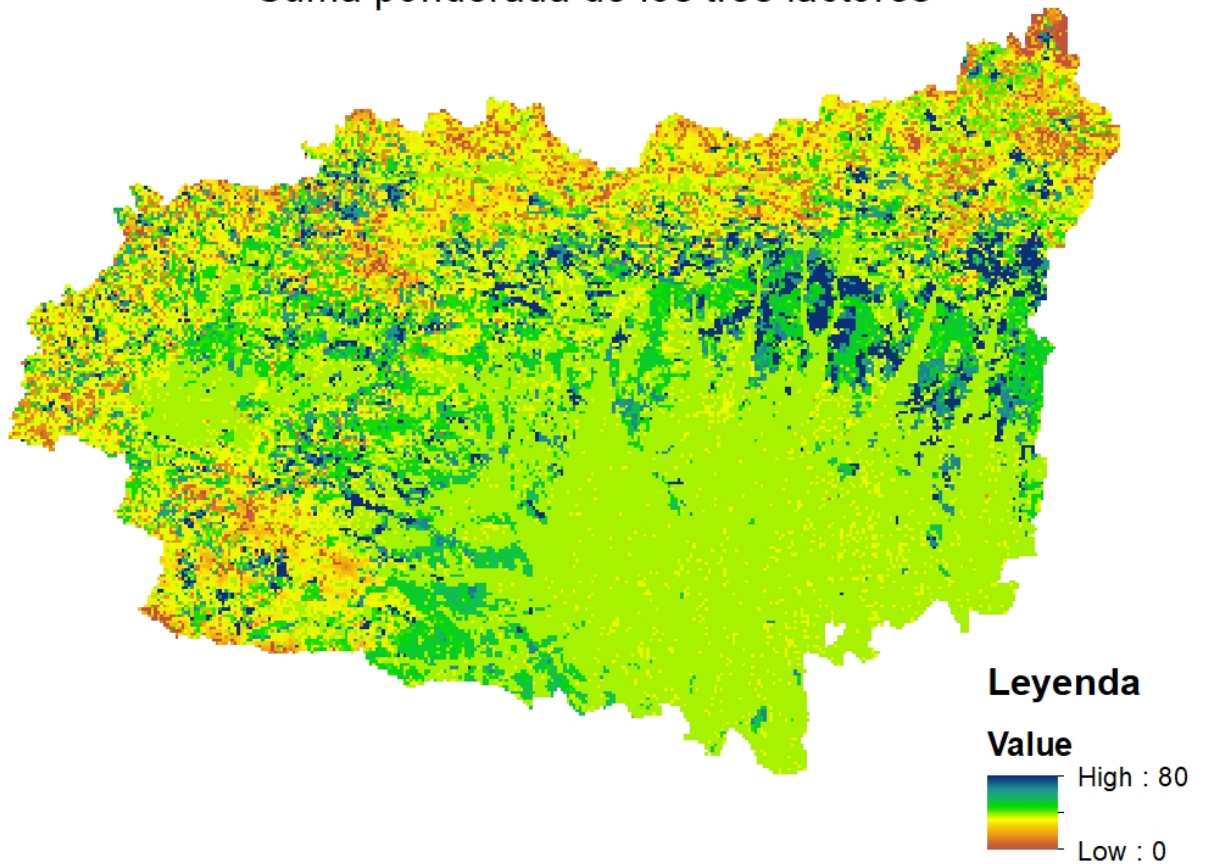


Figura 17: Suma ponderada de los tres factores

Se puede observar que las zonas donde hay gran cantidad de biomasa disponible la suma de los factores suele tener un resultado bastante alto. Sin embargo, es cierto que hay numerosas partes que se ven muy influidas por la pendiente y por la distancia de desembosque sobre todo en la zona norte por ser de alta montaña.

En este mapa (*Figura 17*) se muestran las variables sin restricciones pero hay que tener en cuenta que muchas de las zonas que se muestran en realidad no tienen masa forestal o son demasiado inclinadas. Es decir, puede haber localizaciones que tengan buenas con-

diciones de pendiente y distancia de desembosque, pero en ese lugar existan cultivos o especies que no entran en el estudio. Por ello debe hacerse un filtrado y eliminar este tipo de zonas.

3.2.2. Aplicación de zonas restringidas

Como ya se ha explicado anteriormente hay muchas zonas en las que no pueden hacerse los tratamientos por diversas razones.

- **Áreas restringidas por tipo de vegetación**

En el mapa forestal nacional hay gran cantidad de superficie que incluye zonas boscosas y no boscosas. Algunas de ellas deben descartarse ya que no tiene sentido hacer ningún tipo de tratamiento en ellas. Se han descartado las siguientes áreas (*Tabla 12*):

Arbolado	Desarbolado
Choperas y plantaciones de producción, dehesas, bosques ribereños, castañales, sabinares de Juniperas phoenica y fresnedas	Cultivos, artificial, desarbolado y agua

Tabla 12: Zonas restringidas para los tratamientos

El resto de superficie arbolada (todos los demás estratos) se ha incluido íntegramente en el mapa. Para hacerlo se ha añadido una columna en la tabla de atributos del raster, esta es una tabla que contiene todos los datos del mapa. En ella, se ha dado un valor de 1 a todas las zonas con un valor de toneladas/hectárea mayor que 0. A todas aquellas que tiene un valor de toneladas/hectárea de 0 se le asigna

un valor de NoData en esta nueva columna. Con esto lo que se consigue es que cuando se relacione este mapa con el resto, en todas las zonas que no existan datos automáticamente serán zonas restringidas. Por último, a todas aquellas especies que no se quieren tratar se le ha asignado el valor de 0 toneladas/hectárea para que también estén en la zona restringida. En la *Figura 18* se pueden ver las zonas restringidas.

Restricción por cantidad de biomasa

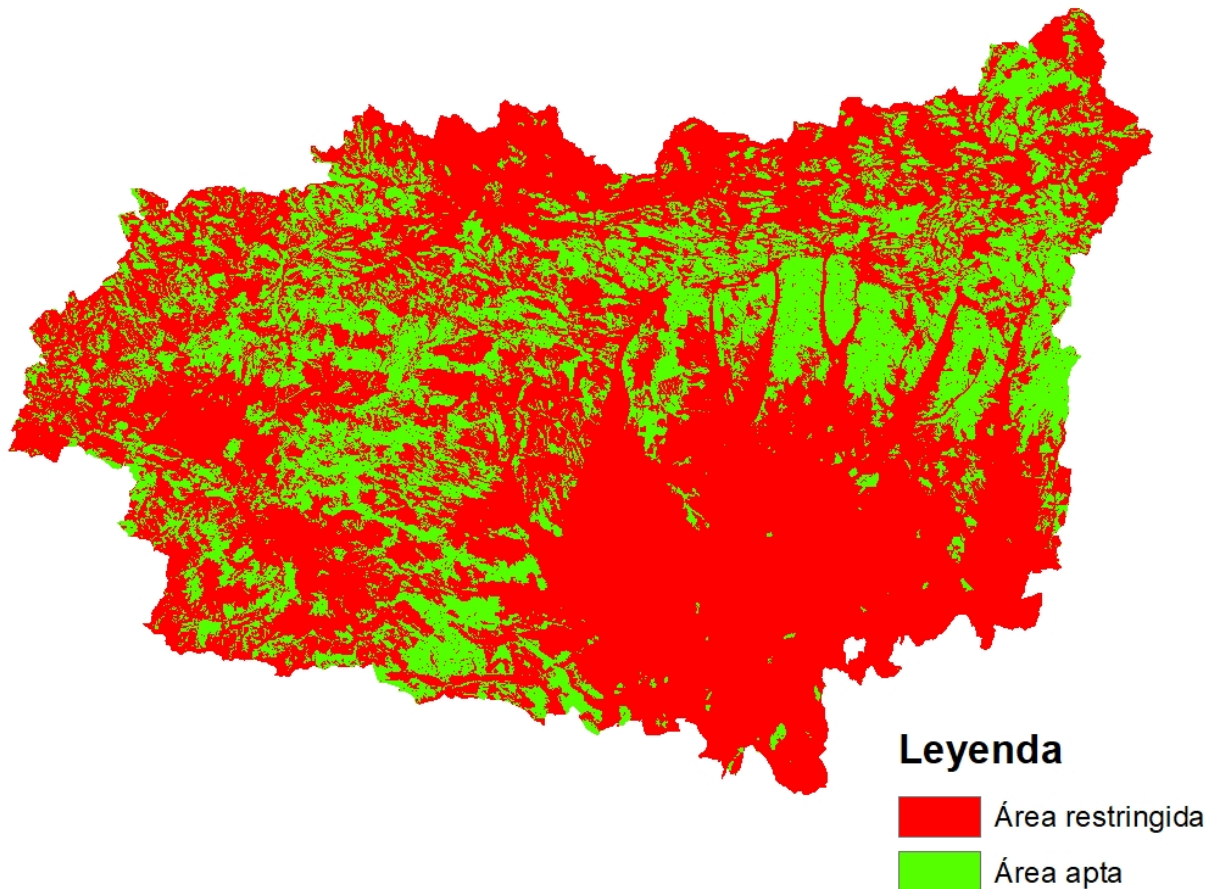


Figura 18: Restricción por cantidad de biomasa

Las zonas restringidas son casi las mismas que las que se tenían ya en la *Figura 11* ya que las zonas arboladas restringidas que se muestran en la *Tabla 12* no representan mucha superficie.

- **Áreas restringidas por pendiente**

Pese a que como se mostró anteriormente en la *Tabla 11* el rendimiento entre 30 % y 50 % sea del 20 % se van a restringir todas aquellas zonas que tengan una pendiente superior al 40 % por seguridad. Según un manual de seguridad en los trabajos forestales con tractor [26] para pendientes mayores al 45 % el riesgo de deslizamiento, pérdida de control y vuelco es muy elevado para los tractores agrícolas trabajando por líneas de máxima pendiente. Para mayor seguridad se rebajará al 40 % porque dependerá de los tipos de tractores que se utilicen en cada obra. Aplicando este criterio se obtiene el siguiente mapa (*Figura 19*):

Restricción por pendiente

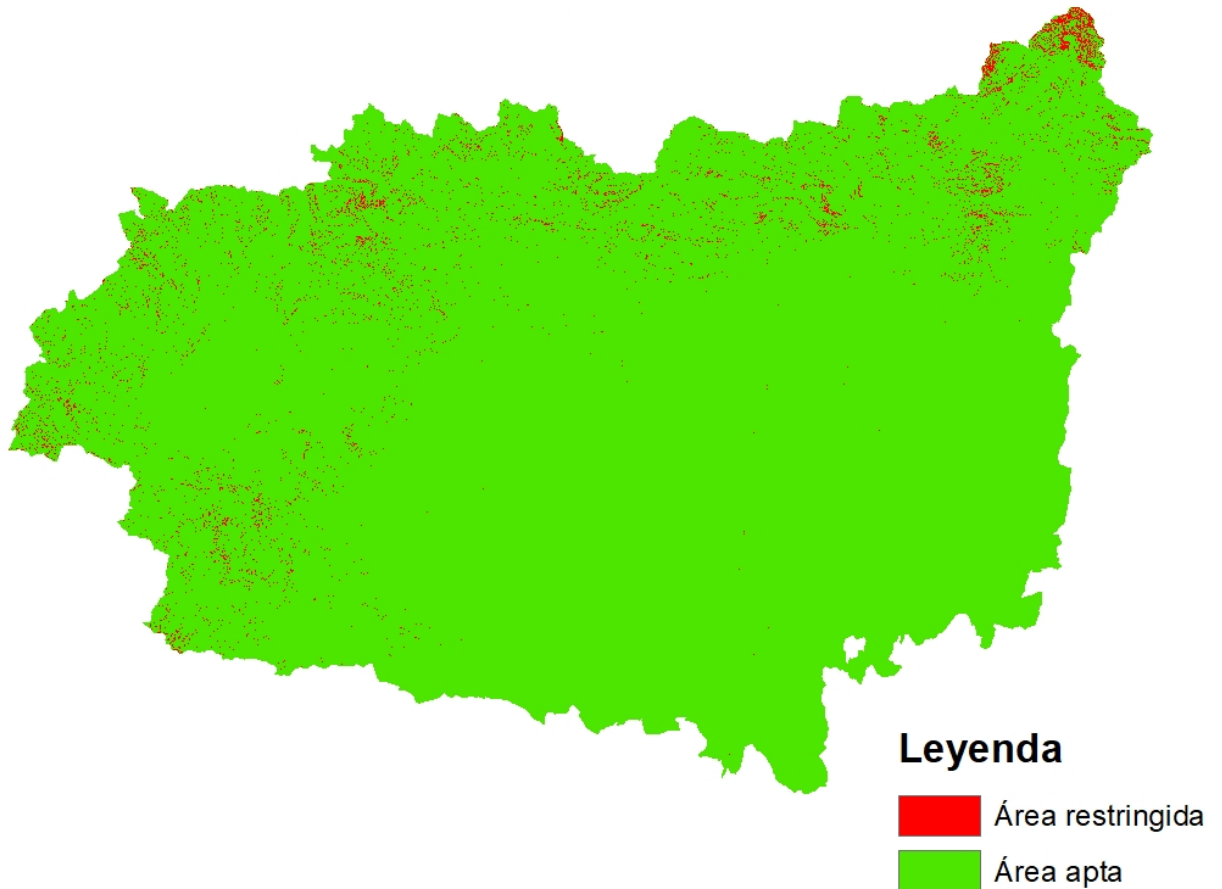


Figura 19: Distancia de desembosque en la provincia de León

En este caso las zonas restringidas no son muy extensas porque no hay grandes superficies con una pendiente superior al 40% ya que es una inclinación muy elevada.

■ Áreas restringidas por distancia de desembosque

En este caso no es necesario hacer un análisis de restricciones. Cuando se utiliza la función de distancia euclidiana se impone un criterio de distancia máxima. En este caso es de 3000 m. Por ello, como se mencionó anteriormente hay zonas en los bordes del mapa que no existen porque todo punto más alejado de esta distancia no lo tiene en cuenta.

- **Áreas restringidas por ser protegidas**

En León hay un número importante de zonas protegidas. Entre ellos se encuentran los parques nacionales, regionales, naturales, monumentos naturales, Red Natura 2000 etc. En el caso de que se estuviera haciendo un estudio de extracción de biomasa a nivel comercial todas ellas estarían fuera de estudio. Sin embargo, como en este caso lo primordial es la prevención se harán los tratamientos en todos estos lugares. Posteriormente, si hay zonas optimas dentro de áreas protegidas habría que estudiar de forma local si hay partes en las que no es conveniente hacer tratamientos por razones concretas.

Hay una diferencia importante entre un tratamiento de prevención y uno comercial ya que en el primer caso nunca se hará una tala a matarrasa pero si una entresaca de árboles. Siempre será primordial el estado final en el que quede el bosque a las ganancias económicas. Además, en zonas con un valor ecológico muy alto es importante hacer un buen trabajo de prevención para poder protegerlas en caso de algún IF.

- **Áreas restringidas por ser vías de acceso**

Aunque no representan una superficie muy grande es importante tenerlas en cuenta. Sobre todo algunas carreteras importantes como autovías o autopistas que no se tienen en cuenta en el mapa de la cantidad de biomasa. Los resultados se muestran en la *Figura 20*.

Restricción por vías de acceso

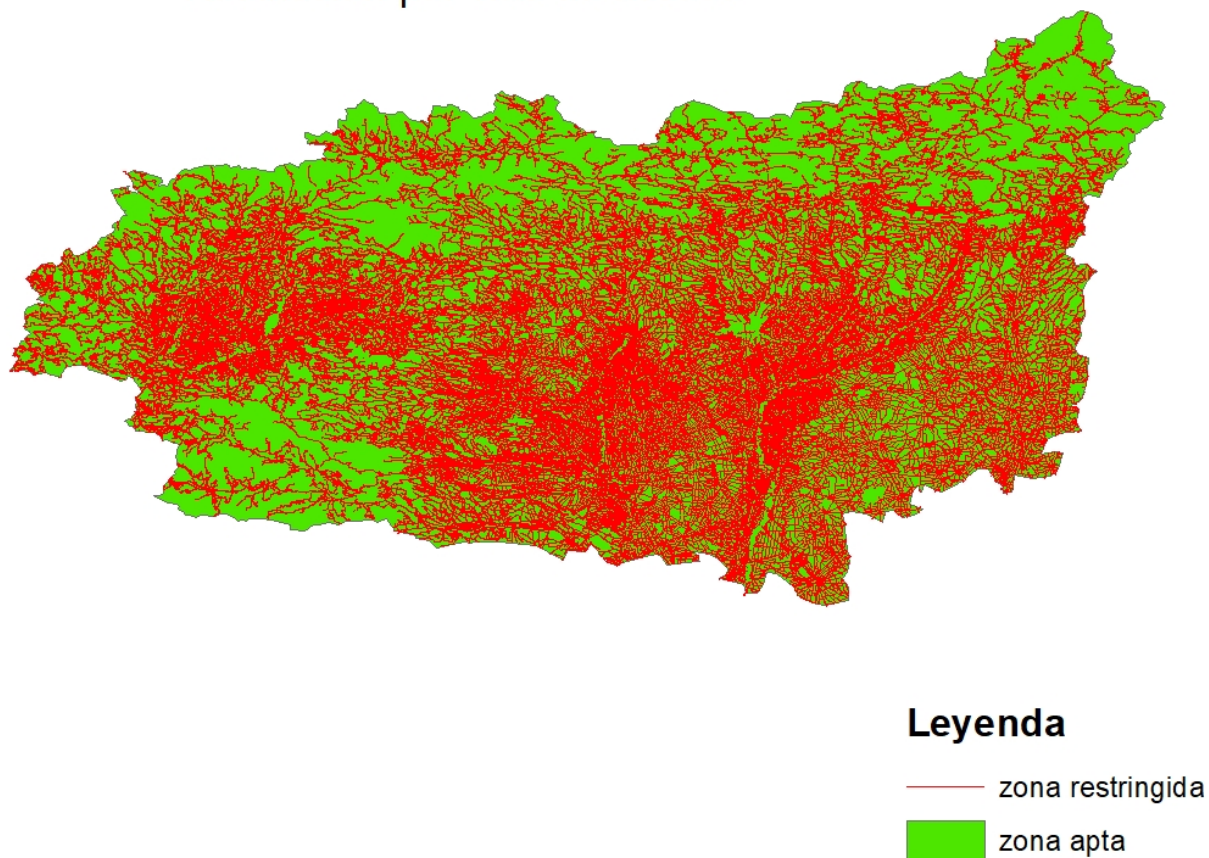


Figura 20: Restricción por vías de acceso

Se da una visión algo errónea de la superficie que representan las vías de acceso. El problema es que es una visión muy lejana y el programa no permite reducir más el grosor de las líneas.

3.3. Resultado de las zonas aptas

Una vez calculadas por separado cada una de las restricciones se han sumado todas ellas mediante la calculadora raster (*raster calculator*). El resultado de esta suma se ha

relacionado con la *Figura 16*. Este mapa (*Figura 21*) nos indica las zonas más idóneas para la extracción de biomasa teniendo ya en cuenta todas las zonas en las que no se va a poder trabajar. Por ello, este gráfico sí nos da una idea correcta de las zonas en las que se van a poder llevar a cabo los tratamientos.

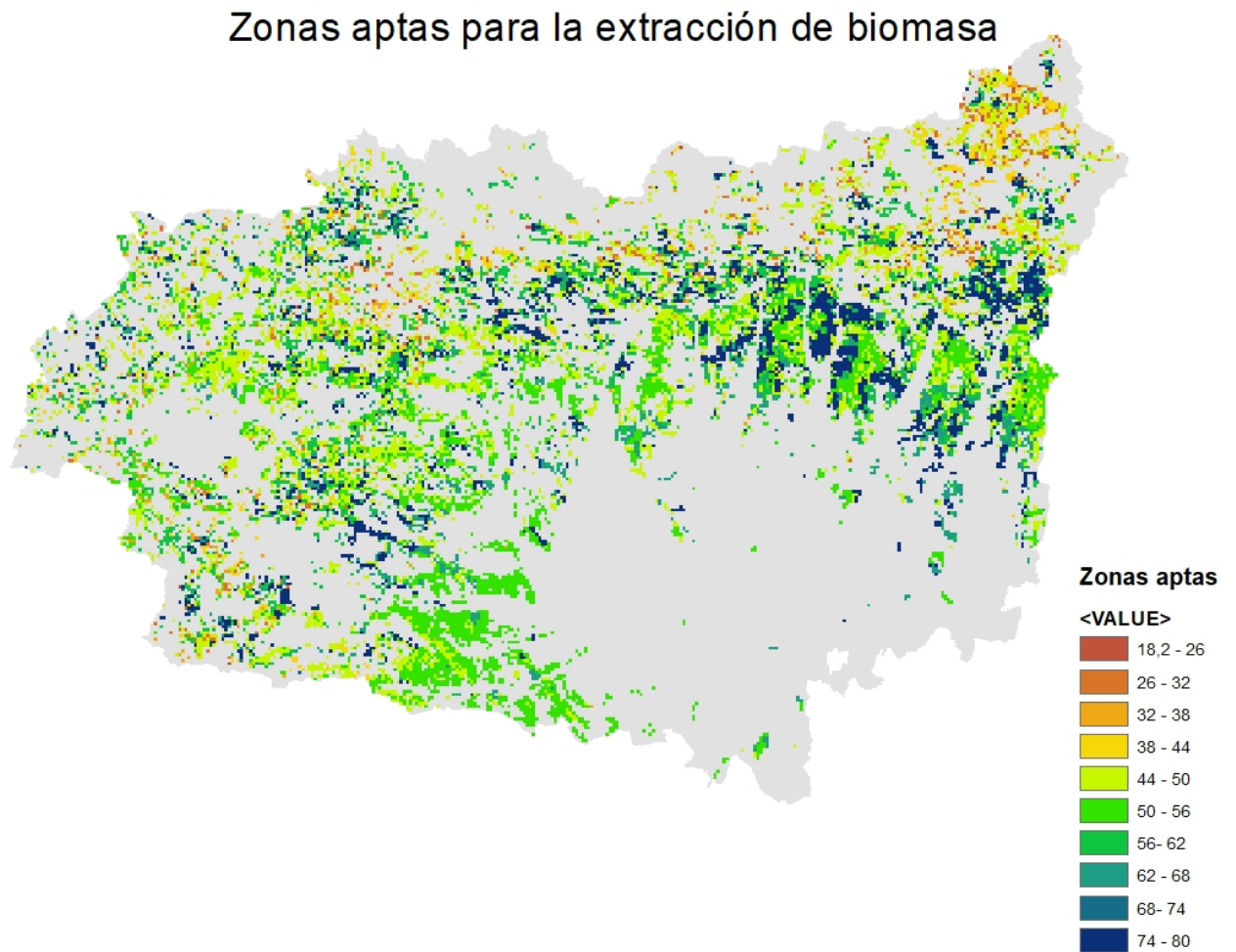


Figura 21: Zonas aptas incluyendo zonas restringidas

Sin embargo, como ya se ha dicho durante el trabajo, los tratamientos que se proponen no son comerciales si no de prevención. Por tanto, la cantidad de biomasa extraída será menor.

3.4. Reajuste por tratamientos de prevención

En los tratamientos comerciales se hacen cortas de la totalidad del área determinada para cortar. Esto facilita mucho las labores de extracción y además es la forma en la que más cantidad de biomasa se obtiene. Sin embargo, en este caso la prioridad es la prevención de incendios forestales. Por ello, en ningún caso se van a hacer este tipo de tratamientos, se van a hacer tanto podas como clareos. Según dos informes [27] y [14] se puede predecir de forma aproximada una relación entre la cantidad de biomasa obtenida en una labor comercial y en estos tratamientos. El informe [27] plantea que en especies como el roble al iniciar los clareos la densidad es aproximadamente de 10000 pies/ha llegándose al final de los tratamientos a 2500 pies/ha. Se debe tener en cuenta que los pies eliminados son los más pequeños entre los existentes y que esto se hace en varias fases. Por otro lado, el estudio [14] que trata sobre coníferas plantea que el número de claras recomendadas en estos bosques es de dos o tres. En cada una de ellas se extraerá como máximo un 40 % del número de árboles existentes. No es recomendable hacer clareos de más fuertes, ya que existirían riesgos importantes de derribo por viento y de curvaturas de los fustes debido a inestabilidad.

Es difícil hacer una estimación exacta ya que la cantidad de variables a tener en cuenta es muy grande. Pero, si se tienen en cuenta los datos explicados y siendo conservadores se puede estimar que la cantidad de biomasa extraída a lo largo de los diferentes clareos será de un 40 % de la total. Hay que tener en cuenta que esto depende de forma notable de la edad del bosque, la especie, el tipo de suelo y otros factores.

El resto de las variables, tanto pendiente como distancia de desembosque, son independientes de que tipo de tratamientos se esté haciendo. Por tanto, si se reduce el factor de la cantidad de biomasa extraída a un 40 % significa que se reduce en un 60 % y esto tiene un impacto en el cómputo total del 30 %. Con estos cambios los valores del apartado

anterior se verán afectados de la siguiente manera (*Figura 22*):

Extracción de biomasa en tratamientos de prevención

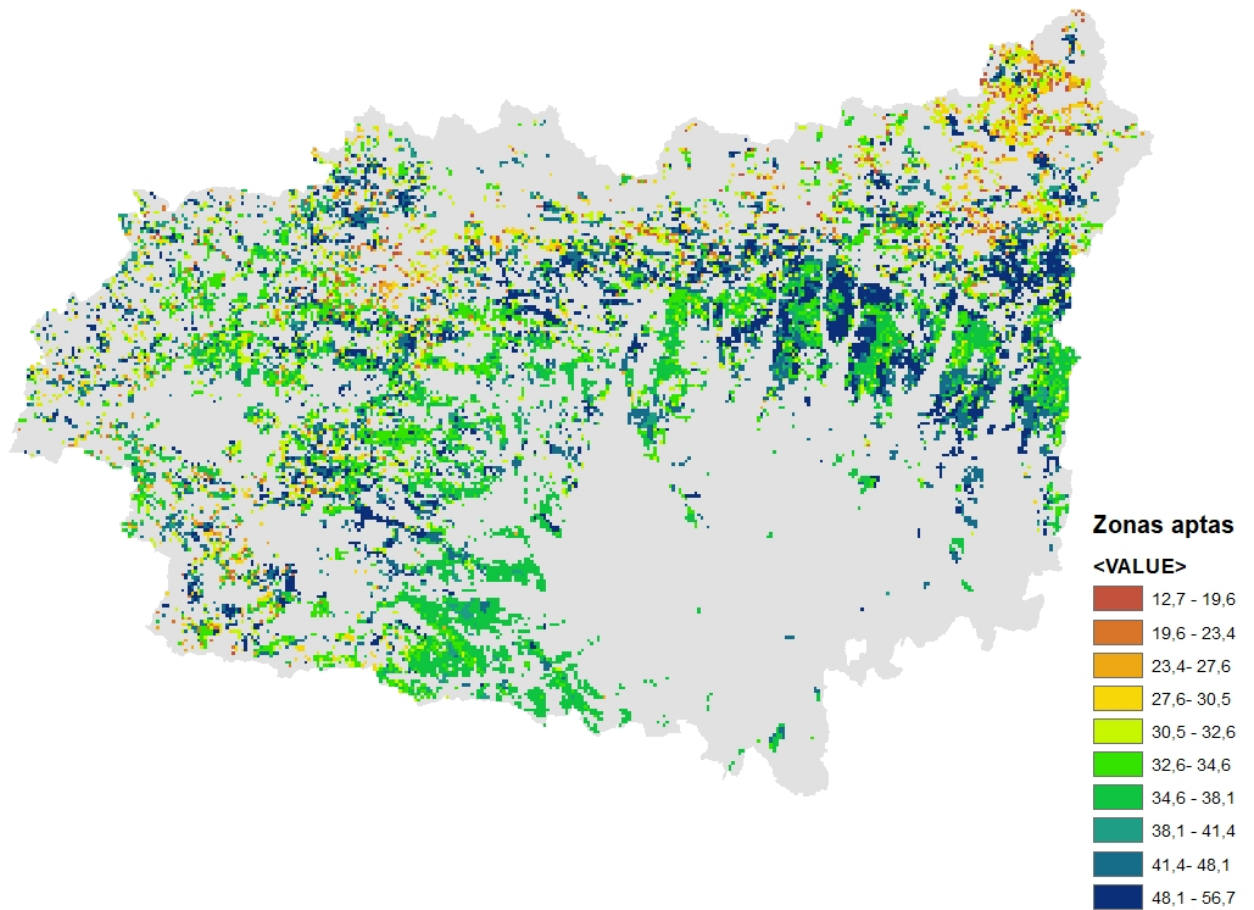


Figura 22: Zonas aptas reajustadas para tratamientos de prevención

De los 10 estratos que refleja el mapa solo se considerarán óptimos los dos últimos, es decir, los que tienen valores entre 41,4-48,1 y 48,1-56,7. Se ha estimado que el resto no tienen unas condiciones suficientemente buenas para que sea rentable la extracción de biomasa. Para saber de una forma aproximada la superficie que representan estos dos estratos se han contado los píxeles que componen cada uno de ellos. Para ello se han aislado por colores previamente y mediante una cuadrilla se ha determinado el número de cada uno. En las características del raster se puede saber la superficie de cada píxel,

son cuadrados de 531 metros de lado. Por tanto, la superficie de cada uno de ellos es $281.961m^2$ o 28,2 ha. La superficie total optima para los tratamientos:

Estrato	Nº píxeles	Superficie total(ha)
41,4-48,1	28	789,6
48,1-56,7	1863	52536,6

Tabla 13: Superficie óptima para realizar tratamientos

En total podrían tratarse 53326,2 ha. Como se expuso anteriormente en el trabajo la superficie arbolada en la provincia de León es 526.570 ha. Por tanto, los tratamientos representarían aproximadamente un 10% de la superficie total.

Zonas aptas y no aptas para realizar los tratamientos

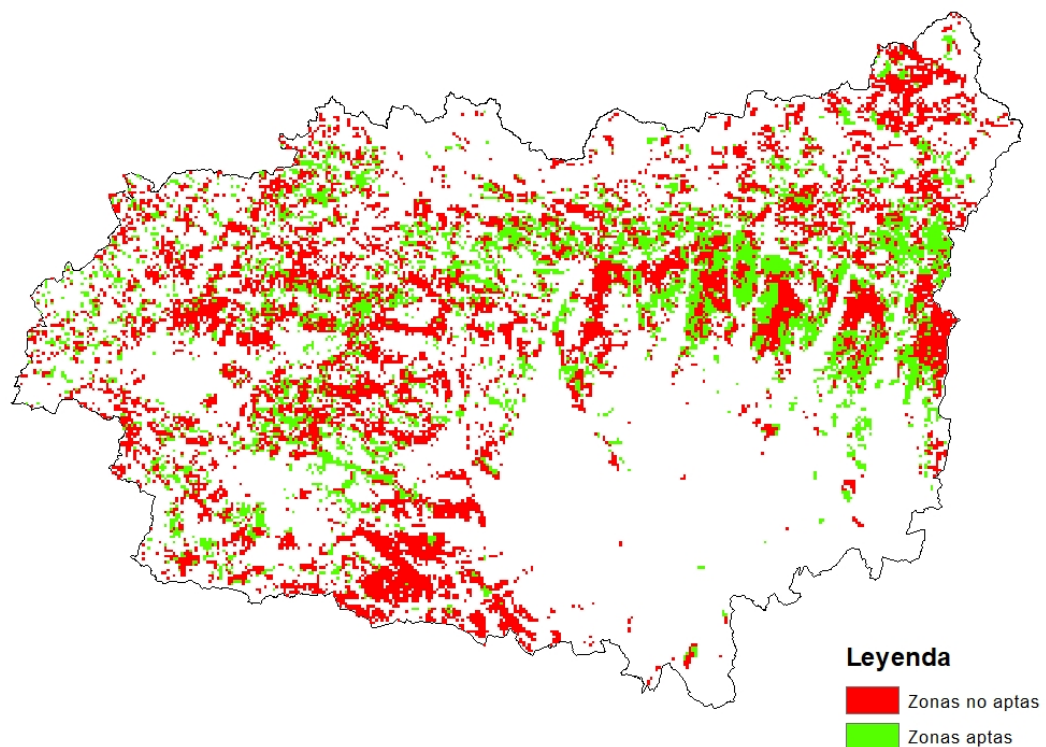


Figura 23: Zonas aptas y no aptas para los tratamientos de prevención

4. ASPECTOS ECONÓMICOS

Como ya se ha dicho anteriormente los resultados obtenidos pueden tener pequeñas inexactitudes. Para que fuese mucho más exacto habría que hacer en primer lugar estudios de campo tomando muestras de diferentes puntos para saber exactamente la biomasa que se puede obtener en cada tipo de bosque. Es decir, no es lo mismo obtener de manera matemática una cifra a nivel general para una especie que tomar muestras concretas de los bosques donde se van a hacer los tratamientos y poder conocer con exactitud la cantidad de biomasa residual que realmente hay. Por otro lado, sería necesario saber los presupuestos de las cuadrillas de prevención y sumarle los costes asociados a la extracción de biomasa. Actualmente las cuadrillas que hacen tratamientos de prevención pertenecen a empresas privadas subcontratadas por la Junta de Castilla y León, se componen de material para cortar y desbrozar los tajos, pero no disponen de tractor o picadora con los que se va a hacer el proceso de recogida. Esto no quiere decir que los resultados no sean validos, nos dan una idea muy valida de la superficie óptima para hacer los tratamientos.

Además, es importante tener en cuenta para un estudio exhaustivo las centrales de biomasa de las que se dispone y si es necesario construir alguna por no haber suficientes. Es importante tener en cuenta la distancia que hay desde el punto de desmbosque hasta la central más cercana y la calidad de los accesos.

Para este proyecto se van a estimar basándose en varias fuentes los costes de la venta de biomasa residual. Una vez se conoce este dato se calcula la cantidad de biomasa que se va a obtener en los 20 años de tratamientos en las 53326,2 ha más optimas para ello calculadas en el apartado 5.4. Por último, como ya se expuso en el 3.3 se puede hacer un cálculo aproximado de los costes de prevención. Con todo ello se puede saber qué porcentaje del gasto se recupera con la venta de biomasa.

En primer lugar, se ha buscado en varios estudios sobre cultivos energéticos y biomasa forestal. En una guía sobre cultivos energéticos de Extremadura se puede encontrar que el precio de venta de biomasa forestal seca es entre 56€/t y 75€/t. En otra bibliografía sobre precios de biomasa se puede encontrar que el precio de venta en el caso del roble es de 48,67€/t y de la encina de 64,63€/t. Respecto al pino se ha encontrado que el precio suele estar entre los 50 y los 60 €/t aunque no hay datos claros sobre ellos.

El siguiente paso es calcular la cantidad de biomasa que se va a extraer de los bosques que se va a tratar. Haciendo una comparación en ArcGis entre la *Figura 22* y *Figura 14* se puede saber que estratos hay dentro de las zonas que se han determinado como óptimas para hacer los tratamientos (*figura 22*). Para comparar los dos mapas se ha utilizado la calculadora raster (*raster calculator*) de tal manera que en el mapa resultante se muestran los estratos que coinciden con la superficie óptima para los tratamientos. Se resumen los resultados en la *Tabla 14*.

Estrato	Formación forestal dominante	Cantidad de biomasa (Tm/aha)
1	Quercus pyrenaica	1,53
2	Quercus pyrenaica	0,87
12	Quercus ilex y Q. ilex con Quercus pyrenaica	0,77
17	Pinus pinaster con Pinus radiata, con Quercus ilex o con Quercus pyrenaica	0,52
20	Quercus petraea, y Quercus robur, y Q. petraea con Fagus sylvatica	0,89

Tabla 14: Estratos en la zona óptima para los tratamientos

Teniendo en cuenta que se estima que los tratamientos duren 20 años y el precio de venta pueden calcularse unos beneficios finales. Es esencial tener en cuenta los cálculos que se hicieron en el apartado 5.4 en el que se explica que en los tratamientos de prevención se obtiene el 40% más o menos que en una corta comercial para producción de madera. En la *Tabla 15* se presentan los datos de cantidad de biomasa obtenidos:

Estrato	Cantidad de biomasa(Tm/aha)	Cantidad de biomasa en tratamientos de prevención(Tm/aha)	Biomasa total obtenida(Tm/ha)
1	1,53	0,612	12,24
2	0,87	0,348	6,96
12	0,77	0,308	6,16
17	0,52	0,208	4,16
20	0,89	0,356	7,12

Tabla 15: Cálculos de cantidad de biomasa

Por último, a partir de los datos expuestos antes y los del 3.3 se pueden estimar unos valores finales como se muestra en la *Tabla 16*.

Estrato	Biomasa total obtenida(Tm/ha)	Precio venta (€/Tm)	Beneficios obtenidos(€)	Costes tratamientos	Nuevos costes tratamientos	Porcentaje de ahorro
1	12,24	48,67	595,72	1500	904,28	39,71
2	6,96	48,67	338,74	1500	1161,26	22,58
12	6,16	48,67	261,61	1500	1238,39	17,44
17	4,16	55,54	231,04	2250	2018,96	23,10
20	7,12	48,67	346,53	1500	1153,47	10,26

Tabla 16: Resumen económico

En ningún caso no sale rentable, el máximo ahorro es del 39,71 %. Aunque hay que tener en cuenta que el estrato 1 es muy abundante dentro de las zonas más viables para la extracción (últimos dos estratos de la *figura 22*). En el resto de los estratos el porcentaje de rebaja es cercano al 20 % que es bastante bajo. Con porcentajes tan bajos puede pensarse que los beneficios por la venta de biomasa son menores que los costes por añadir la maquinaria y personal necesaria para extraerla. Sin embargo, los beneficios ecológicos y a nivel laboral si son significativos.

Es muy complicado encontrar datos sobre el rendimiento de las cuadrillas forestales para poder estimar la cantidad de puestos de trabajo que se podrían generar y poder dar un presupuesto final de los gastos. Aunque por la gran cantidad de hectáreas a tratar y con los puestos generados indirectamente (transporte y centrales de biomasa) se puede estimar que sería un número considerable. Además, si se comparan las zonas óptimas con las diferentes regiones de León estas se sitúan sobre todo en las comarcas de Cistierna, Gordón, Omaña, Luna, Porma, Riaño, Somoza y Cabrera. Todas ellas son zonas montañosas donde la despoblación es un gran problema, por tanto, los puestos generados serían todos muy beneficiosos para la zona.

5. ASPECTOS ECOLÓGICOS

Actualmente los tratamientos de prevención son escasos y toda la biomasa residual forestal se deja en el monte. Hay diferencias importantes respecto a los beneficios ecológicos de hacer un tratamiento extrayendo la biomasa para generación de energía y sin hacerlo. En primer lugar, toda la biomasa que se recoge del bosque es materia que no se queda en el suelo como residuo orgánico y que puede ser un combustible peligroso en un incendio. Es decir, los bosques quedan mucho más limpios si se recoge gran parte de la biomasa. Por otro lado, está la producción de energía producida por estos tratamientos.

Aunque la principal diferencia es la generación de energía de forma renovable. Como ya se ha dicho León tiene un gran potencial por su gran cantidad de masa forestal desaprovechada. Si se instalasen pequeñas centrales bioenergéticas en zonas cercanas a la producción, los recorridos desde los puntos de desembosque serían pequeños. Además, como son zonas con baja densidad de población se podría conseguir un abastecimiento importante a nivel energético. Requeriría un estudio más exhaustivo, pero podrían conseguirse zonas que se autoabastezcan energicamente.

6. CONCLUSIONES

Como conclusiones finales deducidas a partir del estudio realizado en este proyecto se puede decir que los tratamientos de prevención es algo que debe empezar a hacerse de forma mucho más frecuente si se quieren evitar IF de gran tamaño como los que ocurren cada año en la península Ibérica. También es necesario hacer un cambio profundo en el sistema energético en los siguientes 20 años. Por ello, este proyecto puede ser una forma de cambiar los dos aspectos.

Los resultados no son extremadamente buenos, pero si suponen una rebaja en los costes de los tratamientos y sobre todo la generación de puestos de trabajo en zonas despobladas. En el mejor de los casos el ahorro en los costes es del 39,71 % que es muy importante. En el resto de los estratos los beneficios obtenidos por la biomasa representan un porcentaje menor, aproximadamente del 20 %, que es también un valor a tener en cuenta.

Por ello, es un proyecto viable, es una forma de mejorar los tratamientos que deben hacerse. El número de hectáreas óptimas para realizar los tratamientos es elevado (53326,2 ha) y supondría una mejora notable en los bosques de la provincia ya que representa alrededor del 10 % de la superficie arbolada. Esto supondría una mejoría notable cuando en la época estival hubiese IF ya que los habría muchas posibilidades de controlar el incendio por los tratamientos.

Respecto a las centrales bioenergéticas la gran cantidad de biomasa extraída generaría mucha energía en zonas bastante despobladas. Estas centrales podrían crear zonas que se autoabastecieran.

A. Definiciones

-Fracción de Cobertura Cubierta (FCC): Grado de recubrimiento del suelo por la proyección vertical de las copas de arbolado. Fracción de la parcela ocupada por la proyección vertical de las copas de arbolado. Se expresa en tanto por ciento.

-Especies frondosas: Las frondosas, son plantas con flores, que producen semillas encerradas y protegidas por la pared del ovario (carpelos) que, posteriormente, se convierte en fruto. Conforman el grupo más extenso de su tipo en la naturaleza y están formadas por plantas herbáceas, arbustivas o arbóreas.

-Coníferas: Las coníferas son arbustos y árboles con ramas que se presentan en forma cónica y frutos que también tienen una estructura de cono. Estas plantas pertenecen al conjunto de las gimnospermas, que incluye a aquellas especies cuyos carpelos, al no contar con un espacio cerrado que albergue los óvulos, exhiben las semillas al descubierto.

-Sistema de información geográfica (SIG): Es una herramienta para trabajar con información georreferenciada. La información georreferenciada es aquella que viene acompañada de una posición geográfica.

Bibliografía

- [1] *file:///C:/Users/USER-PC/Downloads/IFN3_DatosRegionalesCyL_Parte_1.pdf*
- [2] **Ismael Muñoz Linares**, 23 diciembre, 2020. *Castilla y León: una región forestal que no aprovecha todo su potencial* <https://osbodigital.es/2020/12/23/castilla-y-leon-un-potencial-forestal-sin-aprovechar-adecuadamente/>
- [3] https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios_default.aspx#prettyPhoto
- [4] https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/incendios-decenio-2006-2015_tcm30-511095.pdf
- [5] https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Le%C3%B3n
- [6] *Junio 2014. Plan Estratégico de Movilización de Castilla y León PEM-CYL*
- [7] **Sociedad Española de Ciencias Forestales**, 14 junio 2013, 6^o congreso forestal español
- [8] **D. Antonio Rodríguez Rivas**, 3 de Septiembre de 2009. *Estudios de valoración energética de combustibles forestales para la prevención de incendios forestales en la Sierra de la Primavera (Jalisco, México) mediante calorimetría de combustión y ensayos de inflamabilidad*
- [9] https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_INCENDIOS_CUADRILLAS.pdf/7a477952-318e-3110-a2df-94692725ab98
- [10] *file:///C:/Users/USER-PC/Downloads/16442-Texto%20del%20art%C3%ADculo-16434-1-10-20140611.pdf*
- [11] https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural._Uso_Y_Gestion/Montes/Incendios_Forestales/plan_infoca/Cap06_preencion_incendios_forestales.pdf
- [12] **Miguel Davel, Gonzalo Caballé, Héctor Gonda, Luis Chauchard, Renato Sbrancia**, *LOS TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS*

- [13] **B. Velázquez Martí**, Enero 2006. *Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética*
- [14] *Manual técnico de silvicultura del PINO PINASTER*
- [15] **José Miguel Sierra, Gregorio Montero González, Miguel Cabrera Bonet**, Enero, 2020. *Estimación del coste de las inversiones necesarias para la ejecución de la gestión forestal sostenible en España*
- [16] https://porexperiencia.com/sites/default/files/2019-05/PEX_78-.pdf
- [17] https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/web_seguridad_tcm30-137420.pdf
- [18] **Merche B. Bodí, Artemi Cerdà , Jorge Mataix-Solera2 , Stefan H. Doerr3**, 2012. *EFECTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA VEGETACIÓN Y EL SUELO EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA*
- [19] https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural._Uso_Y_Gestion/Montes/Incendios_Forestales/plan_infoca/Cap17_restauracion_areas_incendiadas.pdf
- [20] **ML Chas Amil, Julia Touza**, enero 2014. *Estimación de los costes de las operaciones de extinción de incendios forestales: Estudio de caso en el Distrito Forestal De A Limia*
- [21] **Carlos de la Paz Blanco**, 2011. *METODOLOGÍAS PARA LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE CENTRALES DE BIOMASA Y MINIHIDRÁULICA COMO RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES EN LA COMARCA DE EL BIERZO*
- [22] <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
- [23] **BORJA VELÁZQUEZ MARTÍ**, 01-01-2018. *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*

[24] *file:///C:/Users/USER-PC/Downloads/4CFE05-347_DisponibilidadBiomasa_CyL.pdf*

[25] **ALBERTO GARCÍA-MARTÍN¹, DANIEL GARCÍA GALINDO², JESUS PASCUAL³ , JUAN DE LA RIVA⁴ , FERNANDO PÉREZ-CABELLO⁵ y RAQUEL MONTORIO⁶** , 31/01/2011. *DETERMINACIÓN DE ZONAS ADECUADAS PARA LA EXTRACCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL FORESTAL EN LA PROVINCIA DE TERUEL MEDIANTE SIG Y TELEDETECCIÓN*

[26] *https://descargas.grancanaria.com/agricultura/formacion/Curso_Preencion_Riesgos_Manejo_Tractores_A-2-2014/seguridad%20tractor.pdf*

[27] *http://www.agrobyte.com/publicaciones/frondosas/cap6.html*