



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-194

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Impactos sobre los ecosistemas de la realización de desbroces mecanizados en matorrales con fines medioambientales y energéticos

González-González, B.D.¹, Sixto H¹., Vázquez A.², González I. ¹, Montes F.¹, Sánchez-González M.¹, Bachiller A.¹, Viscasillas E.¹, Cañellas I.¹

¹ Departamento de Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales. CIFOR-INIA. Ctra. A Coruña, km 7.5 E-28040 Madrid (Spain).

² Departamento de Ecología y Genética forestal. CIFOR-INIA. Ctra. A Coruña, km 7,5 E-28040 Madrid (Spain).

Resumen

El aprovechamiento sostenible de las formaciones de matorral es una herramienta de gestión forestal actual y futura de gran interés. Dicha gestión puede contribuir a la reducción del riesgo de incendios en zonas que son proclives a ello, al mismo tiempo que genera un recurso biomásico susceptible de ser utilizado para la producción de energía o de bioproductos, contribuyendo al impulso de la bioeconomía y a la generación de empleo en el medio rural. Sin embargo, dicho aprovechamiento conlleva la necesidad de llevar a cabo una evaluación de los impactos que producen una alteración, favorable o desfavorable, en el medio. En el presente trabajo se analiza el impacto ambiental de la realización de las actividades de desbroce mecanizado en matorrales sobre distintos ecosistemas forestales. En particular, se ha evaluado dicho impacto sobre la biodiversidad (composición y estructura de los matorrales), propiedades físicas y químicas del suelo, riesgo de erosión y riesgo de incendio. Para ello se han llevado a cabo las evaluaciones teniendo en cuenta la situación inicial de las masas antes del desbroce, y un seguimiento posterior al mismo. Los resultados muestran como las actividades de desbroce mecanizado han producido cambios en las comunidades de matorral, tanto en los índices de biodiversidad y dominancia de especies, como en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en el riesgo de erosión e incendio.

Palabras clave:

desbroce, matorral, biomasa, biodiversidad, energía, bioeconomía, sostenibilidad.

1. Introducción

El actual consumo de energía en la UE está basado principalmente en el uso combustibles fósiles, lo cual lleva asociado problemas como el cambio climático derivado de la liberación a la atmósfera de CO₂ (IPCC 2014). El camino hacia un desarrollo sostenible y la renovabilidad de los recursos pasa por la búsqueda y utilización de nuevas fuentes de recursos y de consumo, donde la biomasa leñosa se presenta como una fuente esencial de materias primas dada su ubicuidad, disponibilidad y carácter poco contaminante (JEFFERSON 2006). La utilización directa de la biomasa vegetal como combustible para la producción de calor o electricidad es una opción plausible actualmente, pero problemas de transporte, competencia económica de otras fuentes de energía (combustibles fósiles), así como los impactos ambientales derivados de la sobreexplotación de los recursos vienen impidiendo tradicionalmente su desarrollo (KARP & SHIELD 2008). Igualmente, el aprovechamiento de esta biomasa puede contribuir a la obtención de bioproductos que favorezcan el desarrollo de la bioeconomía (SCARLAT et al. 2015).

Por otro lado, de acuerdo con el IPCC, el cambio climático afectará notablemente al sur de Europa en los próximos años, y entre los numerosos efectos esperados de dicho calentamiento global está el de unos regímenes de incendios forestales mucho más graves, con más incendios y más virulencia, constituyendo un grave problema que puede dañar enormemente los ecosistemas y el medio ambiente en general (MORENO et al. 2014). Las comunidades de

matorral, tanto en áreas desprovistas de arbolado como bajo la cubierta de éste, constituyen las principales formaciones vegetales afectadas por los incendios en España, suponiendo más del 35% del total durante la pasada década (MINISTERIO MEDIO AMBIENTE, 2010). Además, las formaciones de matorral son consideradas como uno de los combustibles que más influye en el desarrollo de fuegos de alta severidad desde el punto de vista de su impacto ecológico (MORENO et al. 2014).

Las actividades de aprovechamiento biomásico, y en general la gestión de cualquier masa forestal que implique la utilización de los recursos naturales, conlleva la necesidad de realizar una evaluación de los impactos sobre la biodiversidad, el ciclo del carbono, la erosión y el riesgo de incendios, entre otros, para de esta manera evaluar y cuantificar los cambios en el ecosistema. En este sentido es importante señalar que el término impacto no implica negatividad, ya que estos pueden resultar ser tanto positivos como negativos. El desbroce y cosechado del matorral puede llegar a suponer una innovadora práctica con multitud de beneficios, pero también puede originar impactos negativos sobre el medio ambiente que es necesario cuantificar (JANG et al. 2016).

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto ambiental de la realización de las actividades de desbroce mecanizado en matorrales sobre los ecosistemas que se han llevado a cabo dentro del proyecto LIFE ENERBIOSCRUB: “Manejo sostenible de formaciones de matorral con fines energéticos”. Para el análisis de dicho impacto se han llevado a cabo las evaluaciones teniendo en cuenta la situación inicial de las masas antes del desbroce, y un seguimiento posterior al mismo.

3. Metodología

3.1. Zonas de estudio y tecnología del desbroce

Las acciones de evaluación de impacto ambiental del presente trabajo se han llevado a cabo en el entorno de 6 localidades de la Comunidad autónoma de Castilla y León (tabla 1).

Tabla 1: Localidades objeto de estudio

LOCALIDAD	PROVINCIA	COORDENADAS	ALTITUD (m)	MATORRAL DOMINANTE
Navas del Marqués	Ávila	40° 36'14"N; 4° 19'40"O	1300	Retama
Figueruela de Arriba	Zamora	41° 52'07"N; 6° 26'35"O	858	Escoba
Fabero	León	42° 46'04"N; 6° 37'30"O	675	Brezo
Lubia	Soria	41° 38'59"N; 2° 30'26"O	1052	Jara
Navalcaballo	Soria	41° 42'59"N; 2° 28'35"O	1078	Jara
Torretartajo	Soria	41° 48'31"N; 2° 19'55"O	1058	Jara

El desbroce y recolección del matorral han sido íntegramente mecanizados, utilizando para ello dos prototipos comerciales que dan lugar a sistemas logísticos muy diferentes. Por un lado, se ha empleado una máquina desbrozadora empacadora con cuchillas (“Bioboler W55”), la cual realiza fardos de matorral. Por otro lado, también se ha utilizado una máquina desbrozadora trituradora de martillos (“Retrabio”), en la cual es necesario mover la biomasa triturada a granel. Los resultados obtenidos hasta la fecha con la recolectora empacadora BIOBALER para matorrales españoles muestran bajos rendimientos en la recogida de biomasa y elevadas mermas, mientras que dichas pérdidas son menores en la trituradora Retrabio, si bien se están investigando otros factores importantes derivados de las cadenas logísticas y de la calidad de la biomasa obtenida

mediante ambos sistemas.

3.2. Evaluación de cambios en las comunidades de matorral

3.2.1. Selección de puntos de muestreo antes del desbroce

Una vez delimitadas la parcela o parcelas en las que estaba prevista la intervención, se superpuso una malla de 50x50 metros en cada una de las zonas a intervenir utilizando el sistema de información geográfica ARCGIS Desktop 10.3. Sobre esta malla se determinaron los puntos susceptibles de ser muestreados para llevar a cabo las labores de evaluación de impacto ambiental. En todo momento se tuvo en cuenta que las zonas seleccionadas tuvieran la cobertura característica de cada zona, que no estuvieran en los bordes y que no presentaran cualquier anomalía reseñable. Posteriormente se dividió cada zona en 3 o 4 subzonas (en función del número de puntos previstos) y mediante una selección al azar se estableció el punto de muestreo de cada subzona para su posterior localización en el campo.

3.2.2. Toma de puntos de referencia

Una vez en el campo, y utilizando un GPS, se replantearon de manera permanente las parcelas (coordenadas reales), y se se señaló para facilitar su futura identificación.

Tomando como base el punto de referencia establecido, se trazó una línea base con rumbo conocido (y dependiente de la parcela) en la que se ubicaron posteriormente los puntos de muestreo de suelo así como tres transectos perpendiculares al mismo de 25 m de longitud para la realización del inventario de vegetación existente. Los puntos centrales del muestreo del suelo se establecieron a 6 metros del punto de referencia sobre la línea base, mientras que los transectos se iniciaron a la distancia de 2, 10 y 18 m (figura 1).

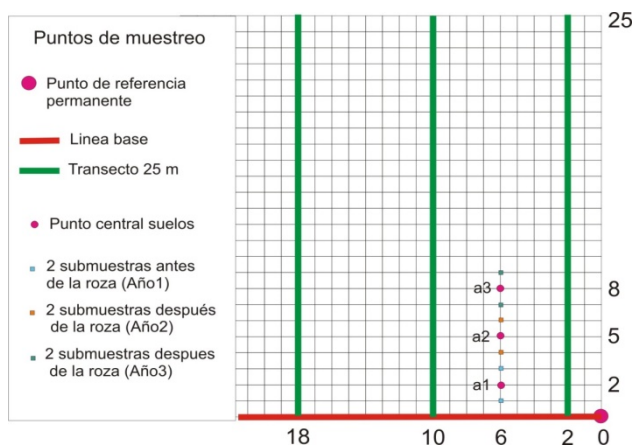


Figura 1. Línea base, transectos de vegetación y localización de puntos para muestreo de suelos.

3.2.3. Transectos de vegetación y recogida de suelos

Tomando como base los puntos fijados anteriormente se realizaron transectos perpendiculares de 25 m de longitud. En cada transecto se identificó la especie vegetal encontrada, su principio y final, así como la altura de la misma y si estaba viva o muerta. Se identificó igualmente la presencia de suelo desnudo y % de rocas existente. Con respecto a la vegetación herbácea, se diferenció entre gramíneas anuales o perennes, otras herbáceas, y plantas no vasculares (helechos).

Por otro lado, y en el estrato suelo, se utilizaron dos marcos cuadrados, una de 50x50 cm (para la fracción L) y otro de 25x25 cm (para la fracción FH), con el objetivo de llevar a cabo el muestreo de hojarasca, anotando la altura de cada uno de los estratos.

Posteriormente se procedió a llevar a cabo su recogida en bolsas de plástico separadas para su traslado al laboratorio. En cada uno de los puntos, y una vez recogida la hojarasca, se introdujo un cilindro metálico de 5 cm de diámetro en el horizonte superficial (0-5 cm), en el sub-superficial (5-10 cm) y en profundidad (15-20 cm) para proceder a la recogida de muestras de suelos. Una vez en el laboratorio se procedió a procesar las muestras de hojarasca y suelos siguiendo la metodología clásica en este tipo de análisis.

Por último, se llevó a cabo un análisis estadístico de los resultados mediante un primer estudio de la normalidad, aleatoriedad y homocedasteidad de las bases de datos, y un posterior procesado con pruebas paramétricas (prueba t) o no paramétricas (Test de U- Mann whytney) para testar la existencia de diferencias significativas entre antes y después del desbroce en cada una de las variables analizadas.

3.2.4. Cálculo de índices de biodiversidad

Se calcularon, para cada una de las localidades, un índice de riqueza de especies (Índice de Margalef), diversidad (índice de Shannon) y dominancia (índice de Simpson), de modo que la comparación de los valores obtenidos antes y después del desbroce permitieron conocer si las actividades de aprovechamiento de matorral suponían un aumento o no de biodiversidad en cada una de las localidades estudiadas. El índice de Margalef (Clifford y Stephenson 1975) mide la riqueza del ecosistema en función del número total de especies diferentes encontradas en las parcelas de muestreo, donde se incluyen también las especies pertenecientes al estrato de regeneración. El índice de Shannon (Shannon y Weaver 1948) muestra la diversidad del ecosistema teniendo en cuenta, además del número total de especies, la proporción de individuos de una especie determinada frente al total de individuos presentes en la comunidad analizada. Por último, el índice de Simpson (Simpson 1949) indica el grado de dominancia que presenta el ecosistema, tomando un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa correspondiente.

3.2.5. Evaluación de riesgo de erosión en los transectos

En cada una de las parcelas se estimó durante los muestreos correspondientes al pre-desbroce y post-desbroce los siguientes parámetros: % suelo desnudo y existencia de rocas: mediante su evaluación se identificó y cuantificó el riesgo de erosión.

Con respecto a la cuantificación de los procesos erosivos en los transectos de vegetación, se llevó a cabo una evaluación visual en cada una de las parcelas, para lo cual se emplearon una serie de códigos asignados a cada proceso erosivo, tratando de identificar: i) rodadura superficial, ii) rodadura media, iii) rodadura profunda, iv) erosión laminar, v) erosión en surcos o vi) erosión en cárcavas.

3.2.6. Fotointerpretación de las comunidades de matorral

Se utilizaron ortofotos históricas y recientes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PNOA), de modo que a través de un sistema de información geográfica se identificaron y cuantificaron los cambios sufridos por las comunidades de matorral estudiadas en los últimos 10 años. Para ello, se definieron tres categorías de matorral que pueden ser diferenciados a nivel visual: matorral raso, matorral ralo y matorral denso, y se utilizó un sistema automatizado de análisis por cuadrículas ráster de 5x5 m, el cual permitió comparar cuadrícula a cuadrícula las características de los matorrales durante dos fechas analizadas (2004 y 2014), así como cuantificar cambios en cada una de las categorías definidas.

3.2.7. Evaluación del riesgo de incendio

Se recogieron tres plantas completas de la especie principal de matorral en cada zona para la descripción de los distintos estratos de la vegetación susceptibles de contribuir a la

propagación del fuego.

Una vez en el laboratorio las muestras fueron secadas y fraccionadas diferenciando entre material vivo < 0.6 cm (ramillas y hojas) y muerto de las tres clases de tamaño definidas (<0,6, 0,6-2,5 y 2,5-7,5 cm). Las muestras correspondientes a la vegetación herbácea se fraccionaron igualmente en <0,6 y de 0,6-2,5 cm. Con los datos recogidos en campo se elaboraron modelos de combustible personalizados para cada una de las localidades, y se realizaron simulaciones del comportamiento del fuego utilizando un software específicamente diseñado para ello (Behave Plus 5.0). Concretamente se calcularon 4 variables de interés: i) velocidad de propagación del fuego (S_r ; m/min), ii) calor por unidad de área (H_a ; KJ/m²). iii) intensidad de la línea de fuego (F_i ; Kw/m) y iv) longitud de la llama (F_l ; m). Se llevaron a cabo simulaciones considerando tres escenarios posibles de viento (leve, moderado y fuerte), así como dos escenarios de pendiente (llana y pendiente moderada), teniendo en cuenta en todo momento las características fisiográficas y climáticas de las zonas estudiadas.

3. Resultados

3.1. Fotointerpretación de las comunidades de matorral

La tabla 2 muestra la evolución natural que han sufrido las comunidades de matorral durante un periodo de tiempo de 10 años (2004-2014) en cada una de las localidades

LOCALIDAD	Matorral denso (ha)		Matorral ralo (ha)		Zona rasa (ha)	
	2004	2014	2004	2014	2004	2014
Navas del Marqués	46,10	48,70	264,21	280,0	89,36	70,80
Figueroela de Arriba	199,32	276,36	146,41	78,03	54,16	17,04
Fabero	126,04	307,86	164,87	77,95	72,52	14,76
Lubia	47,99	60,02	79,15	101,79	43,19	11,05

estudiadas.

Tabla 2: Superficie de matorral denso, ralo y zona rasa durante el periodo 2004-2014 en cada localidad.

En Navas del Marqués, las comunidades de matorral han sufrido poca variación durante el periodo de tiempo estudiado. Esto es debido a la intensa actividad de pastoreo que ha predominado en la zona y que continúa hasta la actualidad. Sin embargo en el resto de las localidades, en las que el pastoreo ha sido muy escaso o inexistente, se observa en el periodo analizado una clara evolución de las comunidades de matorral, disminuyéndose de manera considerable las zonas rasas y ralas, y dando lugar a un aumento de la superficie de matorral denso, el cual ha colonizado también zonas de pradera. Dicha evolución ha sido especialmente relevante en el caso de Fabero, donde el matorral denso se incrementó un 59 %, seguido de Figueroela de Arriba, con un 28 %, y por último Lubia con un 20 %. En las localidades de Torretarajo y Navalcaballo no se ha podido llevar a cabo este análisis debido a la baja calidad de las ortofotos del año 2004 en ambas zonas.

El análisis fotointerpretativo en su conjunto pone claramente de manifiesto el incremento en superficie que han experimentado todas las comunidades de matorral en los últimos años, así como su capacidad natural para colonizar terrenos marginales.

3.2. Impactos del desbroce sobre la biodiversidad de especies

La tabla 3 muestra los valores para los índices de diversidad de especies (índice de Shannon), riqueza específica de especies (índice de Margalef), y dominancia (índice de Simpson) para cada una de las localidades estudiadas antes del desbroce (2015) y un año después del mismo (2016).

Tabla 3: Índices de riqueza específica, diversidad y dominancia antes y después del desbroce en cada localidad.

LOCALIDAD	Índice de Shannon		Índice de Margalef		Índice de Simpson	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Navas del Marqués	1,01	0,88	1,21	0,91	0,33	0,78
Figueruela de Arriba	1,82	1,15	2,02	0,81	0,18	0,87
Fabero	1,38	0,91	0,92	0,77	0,28	0,88
Lubia	0,74	0,56	0,92	0,45	0,32	1,00
Navalcaballo	0,72	0,22	0,82	0,75	0,41	1,13
Torretartajo	0,98	0,48	0,92	0,89	0,31	2,89

El patrón general observado un año después del desbroce en todas las localidades ha sido una disminución del número de especies presentes, lo que se ha traducido en una reducción de los índices de Margalef y Shannon. Dicha reducción ha sido especialmente reseñable en la localidad de Figueruela de Arriba (reducciones del 59% y 37% respectivamente en dichos índices; Tabla 3). Navalcaballo y Torretartajo han sido las localidades en las que la reducción de especies ha sido menos notable, mostrando reducciones en torno al 9% y 3% en relación a los índices de Margalef y Shannon respectivamente), mientras que Navas del Marqués fue la que menos reducción de diversidad presentó, con una disminución del Índice de Shannon de sólo un 12 % (Tabla 3).

Con respecto al índice de Simpson (Tabla 3), se ha experimentado un aumento importante del mismo en todas las localidades estudiadas, indicando que las comunidades de matorral son menos diversas y que el grado de dominancia ha aumentado en todas ellas tras un año del desbroce. Torretartajo ha sido la localidad en la que se ha producido un mayor aumento de la dominancia (89%), mientras que Navas del Marqués ha sido la localidad dónde el grado de dominancia se ha visto menos incrementado (57%) (Tabla 3).

A través de este índice no es posible cuantificar y especificar qué especies o formaciones cobran relevancia en cuanto al grado de dominancia analizado. Sin embargo, el análisis detallado de los transectos de vegetación que se han llevado a cabo ha permitido estudiar más en detalle este hecho. En Navas del Marqués, la especie claramente dominante antes del desbroce (*Genista cinerascens* Lange), la cual representaba en términos de % de ocupación en la zona un 47% de presencia antes del desbroce, ocupa tan solo un 8% en la actualidad, indicando poca capacidad de regeneración un año después del desbroce. Sin embargo las gramíneas anuales, con un 38% de ocupación, han pasado a ser las formaciones dominantes después del desbroce. Con respecto a Fabero, la especie dominante antes del desbroce, *Erica australis* L., ha pasado de tener una presencia en términos de ocupación de un 38% a un 26% tras el desbroce, Además, el % de gramíneas y herbáceas anuales ha aumentado considerablemente tras el desbroce. En Figueruela de Arriba, las dos especies claramente dominantes antes del desbroce (*Halimium lasianthum* (Lam.) Spach. y *Genista florida* L.) han experimentado reducciones en su % de ocupación, pasando de un 22% y 16% respectivamente al 12% y 3% tras el desbroce. Sin embargo el brezo presente en esta localidad (*Erica australis*) ha experimentado una regeneración mucho más exitosa que el resto de las especies, y su porcentaje de ocupación se ha incrementado, pasando de un 15% a un 22%. Por último, en las 3 localidades pertenecientes a Soria también se ha observado un aumento en el grado de dominancia, el cual ha sido especialmente significativo en Torretartajo (Tabla 3). En dicha localidad, y debido al escaso regenerado del resto de las especies, la especie principal de matorral (*Cistus Laurifolius* L.) ha incrementado su grado de dominancia en la masa, pasando a formar parte de más del 54% del total de especies presentes en la misma. En Lubia y Navalcaballo el patrón ha sido el mismo pero con menor importancia (Tabla 3). Además, y al igual que ha ocurrido en el resto de las

localidades, es reseñable el incremento considerable de ocupación de vegetación herbácea.

3.3. Impactos del desbroce en las propiedades físicas y químicas del suelo

La tabla 4 muestra los valores medios para las principales variables de suelo estudiadas antes y después del desbroce, para cada uno de los 3 horizontes del suelo analizados.

En Navas del Maqués el desbroce ha dado lugar a una reducción significativa del pH del suelo, tanto en el horizonte superficial y sub-superficial ($p < 0,05$), como en el horizonte profundo ($p < 0,01$). Además, se ha producido un aumento significativo de la densidad aparente del suelo, aunque solo en el horizonte superficial ($p < 0,05$). En Figueruela de Arriba, el desbroce ha dado lugar a una reducción significativa del % de partículas finas y un aumento del % de partículas gruesas en los 3 horizontes estudiados ($p < 0,01$). Además, se ha observado una reducción significativa del contenido de nutrientes (N, C) en el horizonte superficial ($p < 0,05$), mientras que en los otros dos horizontes se ha observado el efecto contrario, es decir, un aumento significativo de C y N, el cual ha sido especialmente significativo en el horizonte profundo ($p < 0,01$). También se ha observado en esta localidad un aumento significativo de la densidad aparente del suelo ($p < 0,01$) y una reducción del pH ($p < 0,01$) en el horizonte profundo, no apreciándose variaciones en los dos horizontes superiores. En Fabero el desbroce ha dado lugar a una reducción significativa del % de partículas finas en el suelo, tanto en el horizonte superficial y sub-superficial ($p < 0,05$), así como en el horizonte profundo ($p < 0,01$). En esta localidad también se observó un aumento significativo de C y N ($p < 0,05$), así como una disminución del pH ($p < 0,05$), en el horizonte profundo, no apreciándose variaciones en los dos horizontes superiores. Por último, en las 3 localidades muestreadas en la provincia de Soria se ha observado una reducción significativa del % de partículas finas y un aumento del % de partículas gruesas del suelo, en los 3 horizontes analizados ($p < 0,01$), además de una reducción significativa del contenido de nitrógeno en Navalcaballo en el horizonte superficial ($p < 0,01$), y un aumento significativo de nitrógeno y carbono, en el horizonte superficial de la localidad de Luvia ($p < 0,01$).

Table 4. Variables de suelo antes y después del desbroce para cada localidad: densidad aparente (D_a ; g/cm^3), contenido en nitrógeno (N; g/kg) y carbono (C; %), pH medido en agua (pH (H_2O)) y % de finos y gruesos. Los valores estadísticamente significativos están marcados con asterisco (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$).

LOCALIDAD	Horizonte	D_a (g/cm^3)		N (g/kg)		C (%)		pH (H_2O)		% finos		% Gruesos	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Navas del Maqués	0-5 cm	1,11*	1,32*	2,61	2,98	3,93	3,91	5,07*	4,63*	74,49	75,78	2,466	24,22
	5-10 cm	1,33	1,38	1,35	1,84	1,90	1,94	5,08*	4,63*	70,79	76,57	29,16	23,42
	15-20 cm	1,32	1,33	1,21	1,20	1,66	1,53	5,13**	4,62**	74,48	75,78	24,66	24,22
Figueruela de Arriba	0-5 cm	1,14	1,11	3,48*	1,91*	5,84*	4,42*	4,86	4,85	83,59**	72,94**	16,40**	27,06**
	5-10 cm	1,45	1,28	1,77*	1,86*	3,29**	4,26**	5,01	4,87	84,50**	65,12**	15,58**	34,76**
	15-20 cm	1,16**	1,53**	1,56**	3,62**	2,88**	9,00**	5,01**	4,78**	83,92**	68,01**	16,07**	31,98**
Fabero	0-5 cm	1,08	0,92	3,16	2,54	7,23	7,19	4,55	4,52	85,61*	73,21*	14,38*	26,78*
	5-10 cm	1,35	1,18	2,41	2,52	5,80	6,65	4,64	4,61	83,05*	70,57*	16,94*	29,42*
	15-20 cm	1,39	1,34	2,06*	3,50*	4,54*	9,61*	4,72*	4,48*	79,92**	65,92**	20,07**	34,07**
Luvia	0-5 cm	1,39	1,26	1,33**	2,94**	1,08**	3,66**	6,36	6,16	86,77**	52,03**	13,32**	47,97**
	5-10 cm	1,44	1,54	0,76	1,23	0,46	1,15	6,39	6,12	83,97**	48,67**	16,02**	51,32**
	15-20 cm	1,63	1,59	0,21	1,06	0,33	0,88	6,35	6,29	88,13**	50,24**	11,86**	49,75**
Navalcaballo	0-5 cm	1,35	1,43	2,69**	1,06**	2,88	1,06	6,75	6,59	77,45**	52,94**	22,50**	47,05**
	5-10 cm	1,54	1,65	0,76	0,86	1,07	0,47	6,34	6,75	72,03**	61,01**	27,96**	38,99**
	15-20 cm	1,59	1,68	0,31	0,62	0,65*	0,39	5,59	6,71	45,83**	38,76**	54,17**	61,24**
Torretarajo	0-5 cm	1,43	1,44	1,23	1,77	2,24*	1,72	6,47	6,69	75,95	74,54	24,08	25,46



5-10 cm	1,57	1,61	0,53	1,01	1,04	0,92	6,22	6,44	72,46**	62,87**	26,27**	37,11**
15-20 cm	1,72	1,67	0,38	0,91	0,71	0,81	6,18	6,37	76,04**	62,07**	23,89**	37,92**

Table 5. Cantidad de hojarasca (peso (g) y profundidad (cm)) antes y después del desbroce para cada localidad, así como su nivel de significación (p).

LOCALIDAD	Peso hojarasca (g)		p	Profundidad hojarasca (cm)		p
	2015	2016		2015	2016	
Navas del Marqués	315,82	206,61	<0,38	6,75	4,09	<0,28
Figueruela de Arriba	205,91	182,76	<0,69	4,95	4,12	<0,51
Fabero	126,53	100,77	<0,49	3,71	4,31	<0,56
Lubia	57,63	120,21	<0,05	2,78	3,11	<0,46
Navalcaballo	63,17	56,81	<0,79	3,92	2,28	<0,31
Torretartajo	80,58	122,64	<0,05	3,75	2,92	<0,45

Con respecto a la cantidad total de hojarasca existente, no se han observado diferencias significativas entre el espesor de hojarasca antes y después del desbroce en ninguna de las localidades estudiadas (Tabla 5). Sin embargo, en las localidades de Lubia y Torretartajo se observó un aumento significativo del peso total de la hojarasca después del desbroce (Tabla 5).

3.4. Impactos del desbroce en la erosión del suelo

Las actividades de desbroce no han dado lugar a impactos severos con respecto a los procesos erosivos en ninguna de las localidades estudiadas. Así, no se ha detectado erosión laminar, erosión en surcos o erosión en cárcavas en ninguna de las zonas. Sin embargo, algunas parcelas han presentado síntomas de rodadura superficial o rodadura media, mientras que las rodaduras profundas han sido muy escasas o inexistentes en la mayoría de los casos (Tabla 6). Las 3 localidades pertenecientes a Soria han sido las que han mostrado mayor % de rodadura superficial (Tabla 6), mientras que Figueruela de Arriba ha sido la que ha presentado el mayor % de rodadura media, seguida de Fabero, y por último Navas del Marqués, en la que apenas se han observado estos fenómenos. En todo caso, es necesario resaltar que el % de rodadura ha sido baja en el conjunto de las localidades estudiadas teniendo en cuentas las características de la maquinaria (tamaño y peso).

Tabla 6: Porcentaje de ocupación de la rodadura superficial, media y profunda en los transectos de vegetación tras 1 año del desbroce

LOCALIDAD	Rodadura superficial	Rodadura media	Rodadura profunda
Navas del Marqués	1,00 %	0,50 %	0,00 %
Figueruela de Arriba	4,95 %	3,45 %	2,00 %
Fabero	2,32 %	0,00 %	0,00 %
Lubia	9,62 %	1,35 %	0,00 %
Navalcaballo	8,12 %	2,65 %	0,00 %
Torretartajo	7,13 %	0,00 %	0,00 %

Por otro lado, el % de suelo desnudo y el % de rocas existente fueron bajos en todas las localidades antes del desbroce, pero se incrementaron significativamente tras el aprovechamiento (Tabla 7). La localidad en la que se observó un mayor incremento de suelo desnudo ha sido Figueruela de Arriba, con un 88%, seguida por Lubia (86%), Fabero (82%), Navas del Maqués (69%), Navalvaballo (53%) y por último Torretartajo (40%). Sin embargo, esta

última localidad es la que ha mostrado el mayor incremento significativo del % de rocas en superficie, por encima del 93% (Tabla 7), mientras que en Navalcaballo no se ha observado aumentos significativos en el % de rocas. En Figueruela de Arriba también se ha observado un incremento significativo de la presencia de rocas por encima del 85%, mientras que Navas del Marqués y Lubia han mostrado valores más bajos del 71% y 77% respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. % de suelo desnudo y % de rocas antes y después del desbroce. Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Newman-Keuls ($p \leq 0.05$).

LOCALIDAD	% suelo desnudo		% de rocas	
	2015	2016	2015	2016
Navas del Marqués	4,88 a	15,54 b	5,58 a	18,91 b
Figueruela de Arriba	1,26 a	10,78 b	0,16 a	1,16 a
Fabero	2,61 a	14,13 b	0,28 a	1,37 a
Lubia	2,04 a	15,48 b	2,73 a	11,66 b
Navalcaballo	4,65 a	10,37 b	0,13 a	2,56 a
Torretartajo	6,31 a	10,51 a	0,54 a	8,34 b

3.5. Impactos del desbroce en el riesgo de incendio

Los parámetros de comportamiento del fuego antes del desbroce calculados para cada una de las localidades se muestran en la Tabla 8. Los valores más elevados se han registrado en las 3 localidades ubicadas en Soria, donde la presencia de abundante carga de herbáceas junto a las jaras, ha hecho que tanto la velocidad de propagación del fuego, el calor por unidad de área, la intensidad de la línea de fuego y la longitud de llama fueran mayores que en el resto de las localidades. Además Figueruela de Arriba también ha mostrado valores más altos para todas las variables analizadas en relación a Navas del Marqués o Fabero, y ligeramente más bajos que Soria. Esto es debido a la gran altura media de las escobas en esta zona. En todo caso, en el próximo muestreo (2 años tras el desbroce) se recogerán de nuevo plantas de 2 años de edad, y se volverán a calcular dichos parámetros, para corroborar la incidencia del desbroce en el riesgo de incendio en cada localidad.

Table 8. Variables de comportamiento del fuego simuladas bajo 3 escenarios de viento posible (0, 15 y 30 km/h) y 2 escenarios de pendiente (0 y 20 %). Velocidad de propagación del fuego (S_r ; m/min), calor por unidad de área (H_a ; kJ/m^2), intensidad de la línea de fuego (F_i ; kW/m) y longitud de la llama (F_l ; m).

LOCALIDAD	Viento (km/h)	S_r (m/min)		H_a (kJ/m^2)		F_i (kW/m)		F_l (m)	
		0%	20%	0%	20%	0%	20%	0%	20%
Navas del Marqués	0	0,1	0,1	3673	3673	5	7	0,2	0,2
	15	3,7	3,7	3673	3673	226	228	0,9	0,9
	30	5,7	5,7	3673	3673	351	351	1,1	1,1
Figueruela de Arriba	0	0,1	0,1	3842	3842	8	11	0,2	0,2
	15	6,9	6,9	3842	3842	394	396	1,2	1,2
	30	10,6	10,6	3842	3842	676	676	1,6	1,6
Fabero	0	0,1	0,2	3119	3119	7	9	0,2	0,2
	15	6,7	6,7	3119	3119	347	349	1,1	1,1
	30	8,9	8,9	3119	3119	464	464	1,3	1,3
Lubia	0	0,1	0,3	4524	4524	12	26	0,2	0,3
	15	7,1	7,3	4524	4524	535	549	1,4	1,4
	30	15,9	15,9	4524	4524	1197	1197	2,0	2,0
Navalcaballo	0	0,2	0,4	3451	3451	9	21	0,2	0,3
	15	7,9	8,1	3451	3451	455	466	1,3	1,3
	30	12,2	12,2	3451	3451	701	701	1,6	1,6



	0	0,2	0,4	4819	4819	14	30	0,3	0,4
Torretartajo	15	7,9	8,1	4819	4819	636	653	1,5	1,5
	30	18,9	18,9	4819	4819	1516	1516	2,2	2,2

4. Discusión

Las formaciones de matorral en España ocupan más del 35 % de su superficie forestal (SAN MIGUEL et al. 2004) y en todo el ámbito Mediterráneo se espera que dicha superficie aumente de manera considerable debido a multitud de razones como el abandono de cultivos (SOMMERS et al. 2014), aumento de la temperatura y eventos de sequía que provocan desplazamientos de especies forestales (BENITO-GARZÓN et al. 2008), o el incremento de incendios forestales, con mayor virulencia y superficie quemada (BROWMAN et al. 2008). Los análisis de fotointerpretación llevados a cabo en este trabajo han puesto de manifiesto cómo la superficie de matorral ha aumentado significativamente en todas las localidades estudiadas, salvo en aquellas dónde la actividad del pastoreo ha sido y está siendo actualmente muy intensa. Este hecho implica que las posibilidades de aprovechar la biomasa de matorral sea mucho mayor, con el consiguiente imput económico para España, además de generar mayor empleo rural. Sin embargo, este hecho también hace que el riesgo de incendio en estas zonas sea mucho mayor por el aumento de la carga de combustible. Esto ha dado lugar a la necesidad de plantear un desbroce mecanizado en las zonas estudiadas, con el objetivo reducir el riesgo de incendio mediante la extracción mecanizada del matorral y su posterior aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos.

Las actividades de desbroce que se han llevado a cabo en el contexto del proyecto han provocado impactos en la biodiversidad y dominancia de especies, propiedades físicas y químicas de los suelos, así como en el riesgo de erosión, a pesar de que el tiempo transcurrido tras el desbroce ha sido sólo de un año.

En primer lugar, tanto la riqueza de especies como la biodiversidad de las mismas han disminuido en todas las zonas estudiadas. Esto es debido a que muchas de las especies encontradas antes del desbroce no han sido capaces de regenerarse en un periodo de tiempo tan limitado. Los resultados encontrados son acordes con las tasas de recuperación de especies de matorral mostradas en numerosos estudios, que indican que solamente entre el 15% y 20% de las especies son capaces de recuperarse después de un año tras una perturbación en el medio (LENTILE et al. 2007). Además, otros estudios llevados a cabo en muy diversas comunidades de matorral han afirmado que es necesario un periodo mínimo de 3-5 años de media para observarse una regeneración real de la mayoría de las especies de matorral tras un desbroce, y un periodo aproximado de 10 años para recuperar la mayor parte de la biomasa de matorral extraída (JANG et al. 2016).

Por otro lado, se ha observado que el grado de dominancia de algunas de las especies ha aumentado tras el desbroce en todas las localidades estudiadas. En este sentido, las especies dominantes de matorral antes del desbroce han pasado a ser, en la mayoría de los casos, dominadas por vegetación herbácea, así como por % de rocas y suelo desnudo. Esta respuesta también es acorde con el patrón general observado en la mayoría de este tipo de estudios, dónde el dominio de la vegetación herbácea se produce durante el primer año; al segundo, el matorral ya supera ligeramente a la vegetación herbácea y a partir de este año la diferencia de cobertura es cada vez mayor a favor del matorral (CASAL 1982). Sin embargo, también se ha observado que aquellas especies de matorral que son conocidas por su gran capacidad de rebrotar de cepa, como es el caso de brezo, han ganado dominancia en algunas zonas dónde no eran la especie dominante antes del desbroce, mientras que en aquellas superficies dónde sí lo eran, han mantenido su porcentaje de ocupación en superficie o disminuido muy poco en comparación con el resto de las especies. Este hecho ha sido observado especialmente en la especie *Erica australis*.

Además, el desbroce ha dado lugar a cambios significativos en las propiedades físicas y químicas de los suelos. Así, se ha observado en casi todas las localidades una disminución significativa de las propiedades estructurales del suelo. Esto hace que se reduzca la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que la fracción fina es la principal responsable de mantener la alta productividad en el suelo (GRIGAL & VANCE 2000), además de jugar un papel esencial en el ciclo de nutrientes y energía.

Por otro lado, se ha observado una disminución significativa del pH en algunas de las localidades estudiadas. Algunos autores han reportado previamente el efecto contrario, un aumento de pH, atribuido a numerosas causas como fenómenos de transformación de humus, liberación de cationes por la descomposición de materia orgánica o la utilización de iones de hidrógeno durante los procesos de mineralización (e.g. JURGENSEN et al. 1997). La acidificación del suelo observada en este estudio probablemente esté relacionada con, al menos, dos fenómenos que estén actuando de manera conjunta. Por un lado, la maquinaria utilizada en los desbroces ha dejado una gran cantidad de madera en el suelo (en algunos casos mermas por encima del 60 %), lo que ha podido incrementar el aporte de cationes ácidos al suelo debido a fenómenos de descomposición de los mismos, a pesar del corto espacio de tiempo transcurrido. Además, las condiciones anaeróbicas generadas por la compactación del suelo podrían estar dando lugar a que muchos elementos químicos reaccionen entre sí, dando lugar a esa disminución del pH. Este hecho ha sido ampliamente constatado previamente en otros estudios en matorrales (LLITERAS et al. 2013).

Por otro lado, el desbroce ha dado lugar a un aumento significativo de la densidad aparente del suelo y cambios significativos en el contenido de carbono y nitrógeno en muchas localidades. Estos cambios están relacionados con uno de los efectos negativos más importantes y conocidos en cualquier operación de aprovechamiento, como es el fenómeno de compactación del suelo (JANOWIAK & WEBSTER 2010). La compactación hace que la densidad aparente del suelo se incremente, dificultando el movimiento de aire y la permeabilidad al agua (THIBODEAU & OTHERS 2000). Por otro lado, en un suelo compactado la actividad microbiana se restringe de manera considerable, y se concentra principalmente en el horizonte superficial del suelo, lo que podría explicar el descenso de C y N observado en el horizonte superficial de algunas localidades estudiadas. Además, la apertura de la masa causada por el desbroce hace que el grado de insolación en el suelo aumente de forma considerable, por lo que la temperatura del suelo tiende a aumentar. La temperatura del suelo está involucrada en muchos procesos relacionados con las tasas de mineralización y descomposición de muchos elementos, entre ellos el carbono y el nitrógeno (WARING & RUNNING 2007), por lo que el grado de volatilización de los mismos ha podido aumentar y por eso se observan esas pérdidas. Algunos estudios observaron también un descenso significativo de C, N en las actividades de desbroce, cifrado entorno a un 6 % (JOHNSON & CURTIS 2001), mientras que otros han constatado incrementos superiores que alcanzaban el 18 % de estos elementos (HIMES et al 2014). Otros autores sin embargo han referido ausencia de cambios significativos en el contenido de C y N (POWERS et al. 2005).

El aumento del contenido de C y N en profundidad observado en algunas localidades podría estar relacionado con dos fenómenos. Por un lado, el movimiento de tierras que hace la máquina podría provocar alteración de estos elementos en profundidad (fenómenos de volcado). Por otro lado, podría ser esperable una migración de arcilla en profundidad como consecuencia de la compactación, lo cual originaría un “efecto placa” reteniendo los elementos en horizontes profundos. Este fenómeno ha sido ampliamente descrito anteriormente en otros estudios similares (JOHNSON & CURTIS 2001) y será verificado en nuestro estudio mediante un análisis de textura por horizontes.

Por último, las máquinas utilizadas en el desbroce dentro del contexto del proyecto LIFE ENERBIOSCRUB, tanto la desbrozadora-empacadora (MDE Biobaler W55), como la desbrozadora-trituradora (MDT RETRABIO), han tenido un impacto erosivo muy pequeño en el suelo, con rodaduras en su mayoría superficiales y afectando a una superficie pequeña. Estudios anteriores, que han utilizado maquinaria forestal para el aprovechamiento del matorral, han puesto de

manifiesto, en general, un mayor impacto erosivo (FAO 2007). Este hecho pone de manifiesto los beneficios de utilizar un equipamiento mecánico especialmente diseñado para su aplicación en formaciones arbustivas, y sobre todo cuando se integran las operaciones de desbroce y recolección en una sola operación utilizando la misma maquinaria.

5. Conclusiones

Las actividades de desbroce mecanizado en matorrales con fines medioambientales (reducción del riesgo de incendio) y de fomento de la bioeconomía (aprovechamiento energético y/o bioproductos de la biomasa extraída) han dado lugar a impactos en la diversidad y dominancia de las especies presentes en estos ecosistemas, en las propiedades físicas y químicas de los suelos, así como en el riesgo de erosión e incendio. Estos cambios, evaluados en un corto plazo (1 año), se han cuantificado empleando una metodología de seguimiento apropiada a las condiciones Mediterráneas. No obstante, un seguimiento continuo en el tiempo que se va a llevar a cabo en los próximos años permitirá conocer si dichos cambios se mantienen, o por el contrario, van desapareciendo y recuperando su situación inicial, gracias a la plasticidad que puede presentar este tipo de ecosistemas.

6. Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto de investigación europeo LIFE13 ENV/ES/000660 ENERBRIOSCRUB: Gestión sostenible de formaciones arbustivas con fines energéticos. Borja D. González-González dispone de un contrato postdoctoral en el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

7. Bibliografía

BENITO-GARZON, M.; SÁNCHEZ-DEDIOS, R.; SAINZ-OLLERO, H.; 2008. Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. *Appl Veg. Sci.* 10 877-885.

CASAL, M.; 1982. Sucesión secundaria en vegetación de matorral de Galicia tras dos tipos de perturbación: incendio y roza. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

CLIFFORD, H.D.; STEPHENSON, W.; 1975. An introduction to numerical classification. Acad press, NY, 129 pp.

FAO. Global forest resources assessment; 2015. Food and Agriculture Organisation of the United Nations: Rome, Italy, 2015.

GRIGAL, D.F.; VANCE, E.D; 2000. Influence of soil organic matter on forest productivity. *New Zeal J For Scie* 30 169-205.

HIMES, A.J.; TURNBLOM, E.C.; HARRISON, R.B.; LITKE, K.M.; DEVINE, W.D.; ZABOWSKI, D.; BRIGGS, D.G; 2014. Predicting risk of long-term nitrogen depletion under whole-tree harvesting in the coastal Pacific Northwest. *Forest Sci* 60 382-39.

IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 pp.

JANG, W.; KEYES, C.R.; PAGE-DUMROESE, D.S; 2016. Recovery and diversity of the forest shrub community 38 years after biomass harvesting in the northern Rocky Mountains. *Biomass Bioenerg.* 92 88-97.

JANOWIAK, M.K.; WEBSTER, C.R; 2010. Promoting ecological sustainability in woody biomass harvesting. *J For* 108 16-23.

JEFFERSON, M; 2006. Sustainable energy development: performance and prospects.

Renew Energy 31 571-582.

JOHNSON, D.W.; CURTIS, P.S; 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecolol Manag* 140 227-238.

JURGENSEN, M.F.; HARVEY, A.E.; GRAHAM, R.T; PAGE-DUMROESE, D.S.; TONN, J.R.; LARSEN, M.J.; JAIN, T.B; 1997. Impacts of timber harvesting on soil organic matter, nitrogen, productivity, and health of inland northwest forests. *Forest Sci* 43(2) 234-251.

KARP, A.; SHIELD, I.; 2008. Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. *New Phytol* 179 15-32.

LENTILE, L.B.; MORGAN, L.B.; HUDAK, A.T.; BOBBITT, M.J.; LEWIS, S.A.; SMITH, A.M.S.; ROBICHAUD, P.R.; 2007. Post-fire burn severity and vegetation response following eight large wildfires across the western United States, *Fire Ecol.* 3 91e108.

LLITERAS, M.T.; VEGA-HIDALGO, J.A.; FILGUEIRA, F; 2013. Tratamientos preventivos de reducción de combustible en áreas de matorral: aspectos químicos y bioquímicos del suelo y cubierta orgánica. 6º Congreso Forestal Español.

MORENO, V.; CONEDERA, M.; CHUVIECO, E.; PEZZATTI, G.B.; 2014. Fire regime changes and major driving forces in Spain from 1968 to 2010. *Environmental Science and Policy* 37 11-22.

SAN MIGUEL, A.; ROIG, S.; CAÑELLAS, I.; 2004. Fruticeticultura. Gestión de arbustados y matorrales. En: SERRADA, R.; MONTERO, G.; REQUE, J.A. (eds.). *Compendio de Selvicultura aplicada en España*. 877-907. Fundación Conde del Valle Salazar. Madrid.

SCARLAT, N.; Dallemand, J.F.; Monforti-Ferrario, F.; Nita, V.; 2015. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environ Develop* 15 3-34.

SHANNON, C; WEAVER, W; 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell Syst Tech J* 27 623-656.

SIMPSON, EH; 1949. Measurements of diversity. *Nature* 163 688-688.

SOMMERS, W.T.; LOEHMAN, R.A.; HARDY, C.C.; PLIENINGER, T.; HUI, C.; GAERTNER, M.; HUNTSINGER, L.; 2014. The impact of land abandonment on species richness and abundance in the Mediterranean basin: a meta-analysis. *PLOS ONE* dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0098355.

THIBODEAU, L.; RAYMOND, P.; CAMIRÉ, C.; MUNSON, A.D; 2000. Impact of precommercial thinning in balsam fir stands on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, decomposition, and foliar nutrition. *Can J For Res* 30(2) 229-238.

WARING, R.H.; RUNNING, S.W; 2007. *Forest Ecosystems Analysis at Multiple Scales*. 3rd ed. Elsevier Academic Press. 420 pp.

WEIH, M.; HOEBER, S.; BEYER, F., FRANSSON, P; 2014. Traits to ecosystems: the ecological sustainability challenge when developing future energy crops. *Front Energy Res* 2 1-5.