



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-2050

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Relaciones entre la productividad forestal potencial y la consolidación y la frecuencia de los incendios forestales en Castilla y León

EZQUERRA BOTICARIO, F.J. (1); MOMPIN ÁLVAREZ, M.T. (1); DEL RÍO SAN JOSÉ, J. (2); RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, R. (3) y SEVILLA MARTÍNEZ, F. (4)

(1) Junta de Castilla y León, Dirección General de Patrimonio Natural y Política Forestal.

(2) Junta de Castilla y León, Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid

(3) Sociedad Pública de Medio Ambiente e Infraestructuras de Castilla y León, Dirección de Recursos Naturales.

(4) Junta de Castilla y León, Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos

Resumen

La problemática de los incendios forestales guarda relaciones de diverso signo con el tipo, la estructura y la carga o volumen de la vegetación forestal. Sin embargo, si bien se han desarrollado diversos análisis sobre la influencia de la tipología de los combustibles en el comportamiento del fuego, como los conocidos modelos de combustible, se ha profundizado poco en las relaciones entre el régimen de incendios y la carga de los combustibles. Esta comunicación aborda esta relación en la comunidad autónoma de Castilla y León desde una perspectiva doble. Por una parte, se analiza la serie histórica de ocurrencia de incendios forestales por manejo del fuego como herramienta de gestión del combustible vegetal en relación con la productividad potencial del territorio. Por otra, se presenta un índice de consolidación de grandes incendios utilizado en los planes anuales de prevención y extinción de incendios de Castilla y León que tiene en cuenta la productividad potencial como herramienta para determinar las zonas con mayor carga de combustible, y se relacionan los valores de dicho índice con los grandes incendios forestales producidos en un decenio. En ambos casos, los análisis se abordan haciendo uso de herramientas de análisis geográfico. Los resultados permiten comprender mejor la problemática ligada al uso del fuego como herramienta tradicional de manejo de la vegetación, así como identificar las áreas forestales en que resulta mayor la probabilidad de que un incendio alcance intensidades y proporciones que lo sitúen fuera de la capacidad de extinción.

Palabras clave

Grandes incendios forestales, índices de peligro, prevención de incendios forestales, intensidad del fuego, planificación

1. Introducción

Los incendios forestales tienen un enorme impacto en el capital natural, la economía y la población de Europa, constituyendo una severa amenaza que afecta



cada vez a más personas y que viene extendiéndose en las últimas décadas desde el ámbito más mediterráneo a Europa central y septentrional (LELOUVIER *et al.*, 2021). Las previsiones disponibles sobre el cambio climático implican un incremento sustancial tanto del número de personas afectadas como de territorios (COSTA *et al.*, 2020). La intensidad y frecuencia de los incendios más extremos se ha incrementado en los últimos años a nivel mundial (CUNNINGHAM *et al.*, 2024), así como su severidad en Europa (en línea con el incremento de aridez: GRÜNIG *et al.*, 2023). En España se ha reportado una época estival de peligro alto de incendios cada vez más amplia, y con una mayor frecuencia de los incendios de mayor extensión (ÁLVAREZ *et al.*, 2024; MIGUEL *et al.*, 2024).

De cara a determinar el riesgo de incendio es habitual el uso de índices de peligro basados en la propagación, que ponderan notablemente los combustibles ligeros puesto que son los que más capacidad de propagación tienen y los que más influyen en la velocidad de avance de las llamas. No obstante, resulta también útil identificar de forma disociada las áreas en las que la probabilidad de ocurrencia de incendios de alta intensidad es mayor: aquellas que, bajo ciertas condiciones de anomalía de la humedad de los combustibles gruesos, y condiciones meteorológicas extremas (olas de calor, índices de inestabilidad elevados), tienen más facilidad para desarrollar grandes incendios de alta intensidad o incluso eventos de fuego extremos (concepto de consolidación, JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 2023). Estos análisis de los factores de peligro de incendios forestales son especialmente relevantes para articular una estrategia preventiva adecuada.

En España el 80,77% del total de los siniestros (y el 87,35% de la superficie forestal quemada) tienen origen antrópico, ya sea debido a negligencias y accidentes o a intencionalidad, siendo las motivaciones relacionadas con prácticas agropecuarias las de mayor relevancia con más del 70% del total de intencionados y más del 45% de los atribuidos a negligencias y causas accidentales (2006-2015, LÓPEZ SANTALLA y LÓPEZ GARCIA, 2019). En última instancia, las razones para esta casuística se basan en el uso mundial y milenario del fuego como herramienta de control del crecimiento vegetal para el mantenimiento de pastizales o la facilitación del acceso y tránsito, así como la del cultivo o la eliminación de sus restos, o incluso la supresión de refugio de fauna considerada dañina (FAO, 2002; MYERS, 2006). Castilla y León no es una excepción, y estos usos agropecuarios del fuego han estado muy difundidos en el pasado y todavía siguen presentes. Lógicamente, cuanto más productiva para el crecimiento vegetal es una estación, más rápida es la recuperación de las plantas tras las quemaduras y se necesita que éstas tengan mayor frecuencia para conseguir el mismo efecto de control de la vegetación. Y, por otra parte, a mayor velocidad de crecimiento de la vegetación, la generación de cargas elevadas de combustible vegetal será más rápida.

Para identificar el peligro de ocurrencia de eventos de alta intensidad, en relación con la influencia de los combustibles, es imprescindible incorporar a los análisis otras variables complementarias a su tipología (entendida ésta como modelos de combustible en el sentido de ROTHERMEL, 1972). Especialmente relevante resultan la carga o cantidad de combustible existente, su estructura, su continuidad y su inflamabilidad, además, por supuesto, de los factores dinámicos



que tienen una influencia capital en el incremento del peligro de ocurrencia de incendios de alta intensidad. Entre estos últimos cabe destacar, por su relevancia, las anomalías negativas en las humedades de los combustibles gruesos, es decir, el estrés fenológico del arbolado, como elemento fundamental para favorecer los incendios de copas. Además, por supuesto, de la habitual consideración de humedad de los combustibles finos por su gran influencia en la probabilidad de ignición de los incendios (combustibles finos muertos) y en su propagación.

Sin perjuicio de todos estos otros factores, la carga de combustible es clave para explicar la intensidad del incendio, entendida como la cantidad de energía liberada en un punto por unidad de tiempo (BYRAM, 1959; KEELEY, 2009). A igualdad de las otras condiciones, una elevada carga de combustible disponible para arder implica una mayor probabilidad de que una ignición evolucione hasta consolidarse como un evento de fuego extremo, repercutiendo en un comportamiento virulento y en situarlo fuera de la capacidad de extinción (CASTELLNOU *et al.*, 2019), habiéndose relacionado también con la mortalidad causada a la población (MOLINA-TERRÉN *et al.*, 2019). Ello no debe restar relevancia a la influencia en el comportamiento del incendio de la estructura selvícola, la continuidad vertical del combustible y la madurez del rodal, elementos que pueden reducir la proporción de combustible disponible para arder o dificultar la progresión del fuego a gran parte de dicho combustible (FERNANDES *et al.*, 2004; JIMÉNEZ *et al.*, 2016; MOLINA *et al.*, 2022).

Desde estos puntos de vista, identificar qué áreas de un territorio dado son capaces de proporcionar una mayor tasa de crecimiento vegetal supone una ayuda de cara a la articulación de la prevención de incendios forestales. Algunos instrumentos normativos de las administraciones competentes en la lucha contra incendios forestales plantean diversos índices tendentes a clasificar el grado de peligro del territorio. En el caso del Plan Anual de Prevención y Extinción de Incendios Forestales de Castilla y León, para identificar el peligro de incendios, al índice de propagación (determinado por los tipos de combustibles, pendiente y orientación), se le complementa con el Índice de Consolidación para localizar dónde se pueden producir los incendios de mayor superficie e intensidad, incendios en que es más probable un comportamiento convectivo (JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 2023).

Este Índice de Consolidación trata de identificar las áreas del territorio que presentan una mayor carga de combustible y que a su vez experimentan de forma regular periodos prolongados de sequía, ya que cabe esperar que en estas zonas la recurrencia de incendios de alta intensidad sea más alta. El índice integra la tasa de crecimiento vegetal a través de concepto de productividad potencial forestal, entendida como la máxima producción maderera que se puede llegar a obtener en un monte que cumpla una serie de condiciones mínimas en cuanto a suelo, gestión, sanidad y especie (GANDULLO y SERRADA, 1977). Para cuantificar dicha productividad potencial, la metodología trata de unificar los diferentes factores que intervienen en el crecimiento leñoso utilizando como base el índice climático de PATERSON (1956), que tiene en cuenta parámetros de temperatura, precipitación e insolación, modificando posteriormente sus valores en función de



la presencia de diferentes substratos litológicos, y dando como resultado un índice de síntesis que puede ser utilizado para establecer comparaciones entre diferentes áreas forestales (SÁNCHEZ PALOMARES y SÁNCHEZ SERRANO, 2000).

Para calcular las zonas de consolidación potencial de los incendios forestales, además de elevadas cargas de combustible disponible para arder (lo que a su vez no solo depende del volumen de biomasa, sino también sobre todo de su estructura y continuidad) influye decididamente el grado de sequedad de ese combustible, siendo en general en España la sequía estival el factor más relevante. Se han hallado evidencias de correlación entre las condiciones de humedad del suelo y la frecuencia de incendios forestales (KRUEGER *et al.*, 2023), y también entre el índice de sequía SPEI y la extensión de los incendios (STAGGE *et al.*, 2014, RUSSO *et al.*, 2015).

La Comunidad de Castilla y León tiene una gran extensión (algo más de 94.000 km²) y alberga variedad de climas y suelos, lo que da lugar a unas acusadas diferencias en cuanto a la productividad forestal. Aunque a nivel de detalle los suelos la afectan en gran medida, y a veces con grandes contrastes en espacios reducidos, a nivel de toda la Comunidad (que es la escala de trabajo de este estudio) es el clima el principal factor que la condiciona. En este sentido, las lluvias determinan en buena medida la productividad climática, y la precipitación anual en Castilla y León varía desde menos de 400 mm en áreas del fondo del valle del Duero hasta más de 2.000 mm en varios puntos de la periferia montañosa. Las temperaturas varían fundamentalmente en función de la altitud, aunque en una comunidad tan extensa también se dan gradientes norte-sur y según la proximidad a los mares circundantes a la Península Ibérica una influencia matizada por la orografía.

Este trabajo incide en aproximarse a conocer la susceptibilidad de que sobre un determinado territorio se produzcan incendios o de que los incendios que se produzcan puedan consolidar como grandes incendios de alta intensidad. Esto es relevante de cara al establecimiento de estrategias preventivas y, en concreto, para la definición de puntos estratégicos de gestión y de áreas de actuación singularizada, así como para la adopción razonada de prioridades en la gestión de prevención de incendios forestales.

2. Objetivos

Se pretende analizar el efecto de la productividad forestal en la problemática de incendios y conocer su relación con la frecuencia de incendios y con la probabilidad de que los incendios puedan consolidar como de alta intensidad, para ayudar a comprenderlos mejor y así poder tomar medidas más efectivas para su control, identificando áreas concretas del territorio donde establecer prioridades de actuación preventiva (zonas estratégicas de gestión).

3. Metodología



Este estudio se desarrolla a nivel del conjunto de la Comunidad de Castilla y León, utilizando sistemas de información geográfica para establecer las relaciones entre posibles factores causales. Los análisis realizados, en línea con la metodología establecida en JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (2023), se abordan píxel a píxel sobre el territorio.

El índice de consolidación (IC) se maneja tal y como se introduce en JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (2023), cruzando, mediante una matriz de integración (Tabla 1), una clasificación territorial obtenida a partir de la categorización del Mapa de productividad potencial forestal de España (SÁNCHEZ PALOMARES y SÁNCHEZ SERRANO, 2000) con otra obtenida a partir de la categorización de la precipitación media de verano (ITACYL-AEMET, 2013, actualizado en <http://atlas.itacyl.es>). Este último parámetro responde a la suma de la acumulación media durante junio, julio y agosto de la lluvia, nieve y granizo que caen desde las nubes y alcanzan el suelo. La precipitación se mide en milímetros (observaciones del periodo 1981-2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas, y objeto de regresión lineal con variables geográficas, añadiendo la componente residual obtenida por krigeado simple). En cuanto a la productividad potencial forestal (PPF), el citado Mapa considera siete clases de productividad que se subdividen en 14 subclases. A efectos de la matriz de cruce los valores se han agrupado en tres grandes bloques, según los valores expresados en $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$: <4,5 (subclases IVa, IVb, Va, Vb, VIa, VIb y VII), 4,5 a 6,75 (subclases IIb, IIIa y IIIb) y >6,75 (subclases Ia, Ib, Ic y IIa). El resultado de la matriz de cruce son cuatro categorías del IC, Muy Alta, Alta, Media y Baja, cuya representación supone, respectivamente, 1,9%, 17,8%, 71% y 9,2% del territorio de la Comunidad (9,42 millones de hectáreas), y, si consideramos solo la superficie forestal, 2,2%, 21,5%, 60,5% y 15,8% (sobre 5,07 millones de hectáreas forestales).

Tabla 1. *Matriz de cruce del índice de consolidación IC*

Precipitación de verano	Productividad potencial forestal ($m^3 \times ha^{-1} \times año^{-1}$)		
	< 4,5	4,5 – 6,75	> 6,75
< 75 mm	Medio	Alto	Muy alto
75 - 120 mm	Medio	Medio	Alto
> 120 mm	Bajo	Bajo	Bajo

Los datos sobre el número, superficies y localización geográfica de los incendios forestales acaecidos en Castilla y León, así como sus causas y motivaciones han sido proporcionados por la Junta de Castilla y León. De forma específica se han seleccionado las bases de datos de incendios totales, incendios de más de 50 hectáreas, incendios relacionados con manejo de combustible (aquellos cuyo origen venga causado por actividades relacionadas con el uso del fuego como herramienta de manejo de la cubierta vegetal, ya sea ganadería, uso agrícola o manejo tradicional, incluyendo si ese manejo está relacionado con la actividad cinegética), tal y como se utilizaron en JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (2023) pero utilizando las series más actualizadas disponibles, en concreto las del decenio 2014-2023. Los valores más relevantes de esta serie a efectos de este estudio son los



siguientes:

- Número total de incendios forestales: 14.146
- Número de incendios forestales relacionados con manejo del combustible: 5.296
- Número de incendios forestales relacionados con manejo del combustible forestal (excluyendo quema de rastrojos y restos agrícolas): 3.737
- Número de incendios forestales de más de 50 ha: 340
- Número de incendios forestales de más de 500 ha: 44

A partir de estos datos se han abordado los siguientes análisis:

1. Relación entre IC y PPF con la consolidación de incendios forestales.

En este análisis se ha considerado el conjunto de datos de puntos de inicio de los 340 incendios forestales de más de 50 ha, procediendo a asignar dichos puntos de inicio a cada una de las categorías consideradas tanto para PPF como para IC.

Se efectúa un análisis de correspondencia entre las categorizaciones definidas para IC, excluyendo las superficies agrícolas, y la capa de puntos de inicio de incendios forestales mayores de >50 ha, obteniendo el número de incendios por cada categoría filtrando por los siguientes intervalos de superficie de cada incendio: de 50 a 500 ha y >500 ha.

Para la asignación de cada incendio a una u otra categoría de IC se trabaja con la capa de puntos de inicio y la capa de perímetros de incendio de forma combinada: se ha generado un área de 50 ha, con centro en el punto de origen del incendio y se ha intersecado con el perímetro de superficie forestal afectada por éste, asignando el incendio a la clase en que dicha intersección presente mayor superficie. Para la asignación a una u otra categoría de PPF se ha operado igualmente con la intersección del perímetro forestal con el área de 50 ha, pero efectuado una asignación proporcional a la superficie ocupada por cada subclase, de modo que se selecciona a la subclase que representa el valor resultante.

Una vez obtenidos los valores de número de incendios asignados a cada categoría, se ha ponderado este con la superficie total y por la superficie forestal ocupada por dicha categoría a nivel de Castilla y León, de modo que se obtiene el parámetro de número de incendios por cada 10.000 ha de superficie total y forestal.

2. Correlación de la Productividad Potencial Forestal (PPF) con los incendios relacionados con manejo de combustible.

Este análisis se ha abordado mediante dos aproximaciones complementarias.

En la primera se estudian los 3.737 incendios forestales cuyo origen venga

causado por actividades relacionadas con el uso del fuego como herramienta de manejo de la cubierta vegetal ya sea para la ganadería, uso agrícola, manejo tradicional, favorecimiento de la actividad cinegética, etc. Para estimar la correlación se plantea un análisis de regresión lineal en el que se toma como variable dependiente la densidad de incendios y como variable independiente PPF.

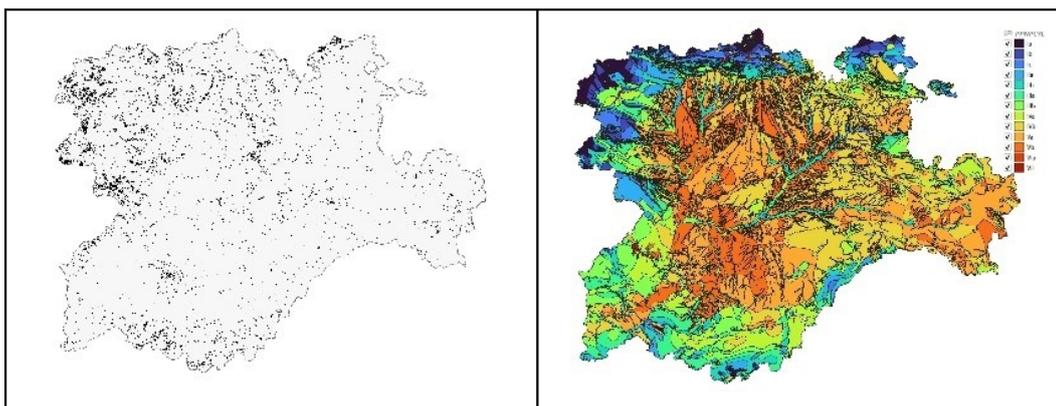


Figura 1. Conjuntos de datos de entrada del análisis de correlación a) Puntos de inicio de incendios forestales con causa de manejo del combustible. b) Productividad potencial forestal ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$).

La cartografía de densidad de incendios se obtiene mediante la aplicación del método de análisis “home range KDE” (SEAMAN y POWELL, 1996) de la capa de puntos de inicio de incendios cuya causa es el uso del fuego para el manejo del combustible. Se crea una malla de 1 x 1 km con 94.236 puntos a los que se asigna por localización los datos de probabilidad de ocurrencia del mapa de calor (P) y PPF, se adopta el valor medio de la clase y se realiza regresión lineal mediante software SPSS.

Por otra parte, para un segundo análisis se han excluido las causas relacionadas con la actividad de cultivo agrícola, ya que a menudo éstas resultan más independientes de la productividad del territorio y más de las prácticas de cultivo, sin perjuicio de que den lugar a incendios forestales.

En este segundo análisis se ha considerado el conjunto de datos de puntos de inicio de los 3.737 incendios forestales con origen relacionado con el manejo del combustible forestal (excluyendo quema de rastrojos y restos agrícolas), procediendo a asignar dichos puntos de inicio a cada una de las categorías consideradas para PPF.

Para la asignación de cada incendio a una u otra categoría de PPF se ha efectuado una asignación directa por coordenadas revisadas del punto de inicio.



Posteriormente se ha efectuado la ponderación por superficie forestal indicada en el apartado anterior.

4. Resultados

5. Relación entre IC y PPF con la consolidación de incendios forestales.

Los datos obtenidos se incluyen en la tabla 2 y se reflejan en la figura 2, y las representaciones gráficas en la figura 3.

Se aprecia con claridad como la frecuencia de incendios ponderada por la superficie tiene una tendencia creciente a mayores valores considerados para ambas variables IC y PPF y para los dos intervalos de superficie considerados, salvo en el caso del IC para incendios de entre 50 y 500 ha, donde no se aprecia un patrón claro, y un valor marginal en la subclase VIa para el mismo intervalo. Especialmente relevante es el caso de los incendios mayores de 500 ha, que la estadística oficial considera como Grandes Incendios Forestales (GIF): la agrupación de zonas de valor Muy Alto y Alto de IC experimenta incendios de este tipo que duplican el valor medio de la Comunidad.

Respecto de PPF, la agrupación de las cuatro subclases de valores superiores ($>6,75 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) también duplica dicho valor medio y sumada a la agrupación de las tres siguientes, es decir, considerando $>4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, tenemos que en menos de la mitad del territorio forestal se dan más del 70% de los GIF y casi el 80% de los de más de 50 ha. En el desglose por subclases la gráfica muestra una tendencia claramente creciente hacia las de valores superiores, que solo se rompe por la caída de los GIF en la de valor máximo Ia y en la VIa que posteriormente se comentará. Considerando solo las subclases por encima de $6,75 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, tenemos que en el 17% del territorio forestal de la Comunidad (y en el 12% de su superficie total) se concentran el 45% de los incendios forestales mayores de 50 ha y el 39% de los GIF.

En el caso de la otra variable que incide en el valor de IC, la precipitación media de verano PV, el 28% de los incendios forestales mayores de 50 ha se sitúa en zonas con valores superiores a 120 mm que totalizan el 16% de la superficie forestal y el 10% de la total. El 90% de los 22 incendios de más de 1.000 ha se encuentran en zonas con valores inferiores a ese umbral.

Tabla 2. Resultado de la relación entre IC y PPF y la frecuencia de medianos y grandes incendios forestales. Se incluyen las superficies totales ST y forestales SF que ocupa cada clase y el número de incendios forestales (IF) y su porcentaje para las categorías de superficie afectada $>50 \text{ ha}$, $50-500 \text{ ha}$ y $>500 \text{ ha}$, así como el número de IF por cada 10.000 ha de superficie forestal (/SFx).

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS



Subclase PPF	ST (ha)	% ST	SF (ha)	% SF	IF>50	% IF>50	IF>50/SFx	IF 50-500	%IF 50-500	IF 50-500/SFx	IF>500	%IF>500	IF >500/SFx
Ia	200.633	2,1%	181.945	3,6%	56	16,5%	3,08	54	18,2%	2,97	2	4,5%	0,11
Ib	179.003	1,9%	147.972	2,9%	21	6,2%	1,42	17	5,7%	1,15	4	9,1%	0,27
Ic	275.192	2,9%	217.465	4,3%	32	9,4%	1,47	27	9,1%	1,24	5	11,4%	0,23
IIa	440.074	4,7%	325.406	6,4%	44	12,9%	1,35	38	12,8%	1,17	6	13,6%	0,18
IIb	578.026	6,1%	375.186	7,4%	37	10,9%	0,99	32	10,8%	0,85	5	11,4%	0,13
IIIa	661.876	7,0%	474.505	9,4%	33	9,7%	0,70	28	9,5%	0,59	5	11,4%	0,11
IIIb	778.681	8,3%	569.246	11,2%	40	11,8%	0,70	35	11,8%	0,61	5	11,4%	0,09
IVa	848.534	9,0%	626.776	12,4%	28	8,2%	0,45	24	8,1%	0,38	4	9,1%	0,06
IVb	1.907.032	20,2%	991.844	19,6%	26	7,6%	0,26	21	7,1%	0,21	5	11,4%	0,05
Va	2.194.532	23,3%	773.930	15,3%	13	3,8%	0,17	11	3,7%	0,14	2	4,5%	0,03
Vb	1.299.000	13,8%	358.842	7,1%	8	2,4%	0,22	7	2,4%	0,20	1	2,3%	0,03
VIa	13.572	0,1%	3.285	0,1%	1	0,3%	3,04	1	0,3%	3,04	0	0,0%	-
VII	44.779	0,5%	19.392	0,4%	1	0,3%	0,52	1	0,3%	0,52	0	0,0%	-
TOTAL	9.420.934		5.065.794		340		0,67	296		0,58	44		0,09
Grupo PPF	ST (ha)	% ST	SF (ha)	% SF	IF>50	% IF>50	IF>50/SFx	IF 50-500	%IF 50-500	IF 50-500/SFx	IF>500	%IF>500	IF >500/SFx
>6,75	1.094.902	11,6%	872.787	17,2%	153	45,0%	1,75	136	45,9%	1,56	17	38,6%	0,19
4,5-6,75	2.018.583	21,4%	1.418.938	28,0%	110	32,4%	0,78	95	32,1%	0,67	15	34,1%	0,11
<4,5	6.307.450	67,0%	2.774.069	54,8%	77	22,6%	0,28	65	22,0%	0,23	12	27,3%	0,04
TOTAL	9.420.934		5.065.794		340		0,67	296		0,58	44		0,09
IC	ST (ha)	% ST	SF (ha)	% SF	IF>50	% IF>50	IF>50/SFx	IF 50-500	%IF 50-500	IF 50-500/SFx	IF>500	%IF>500	IF >500/SFx
Muy Alto	178.138	1,9%	113.463	2,2%	9	2,6%	0,79	4	1,4%	0,35	5	11,4%	0,44
Alto	1.679.894	17,8%	1.088.935	21,5%	133	39,1%	1,22	116	39,2%	1,07	17	38,6%	0,16
Medio	6.695.051	71,0%	3.064.603	60,5%	111	32,6%	0,36	95	32,1%	0,31	16	36,4%	0,05
Bajo	870.547	9,2%	800.915	15,8%	87	25,6%	1,09	81	27,4%	1,01	6	13,6%	0,07
TOTAL	9.420.934		5.067.914		340		0,67	296		0,58	44		0,09
Grupo IC	ST (ha)	% ST	SF (ha)	% SF	IF>50	% IF>50	IF>50/SFx	IF 50-500	%IF 50-500	IF	IF>500	%IF>500	IF >500/SFx

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS



											50-500/SFx		
M.Alto-Alto	1.858.032	19,7%	1.202.397	23,7%	142	41,8%	1,181	120	40,5%	0,998	22	50,0%	0,183
Medio-Bajo	7.565.599	80,3%	3.865.517	76,3%	198	58,2%	0,512	176	59,5%	0,455	22	50,0%	0,057
TOTAL	9.420.934		5.067.914		340		0,67	296		0,58	44		0,09

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS

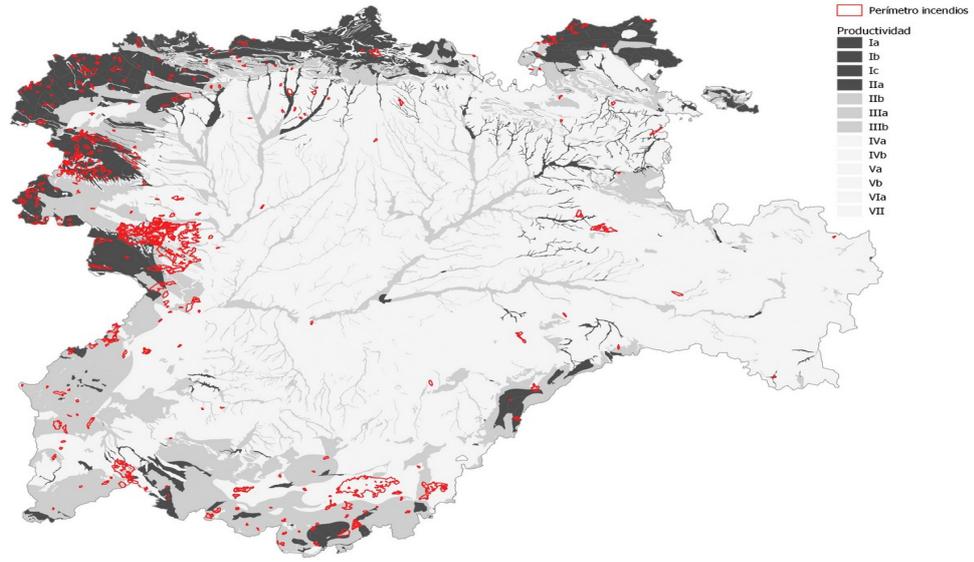


Figura 2. Mapas de los perímetros de incendios forestales mayores de 50 ha en relación con la categorización de PV, PPF e IC

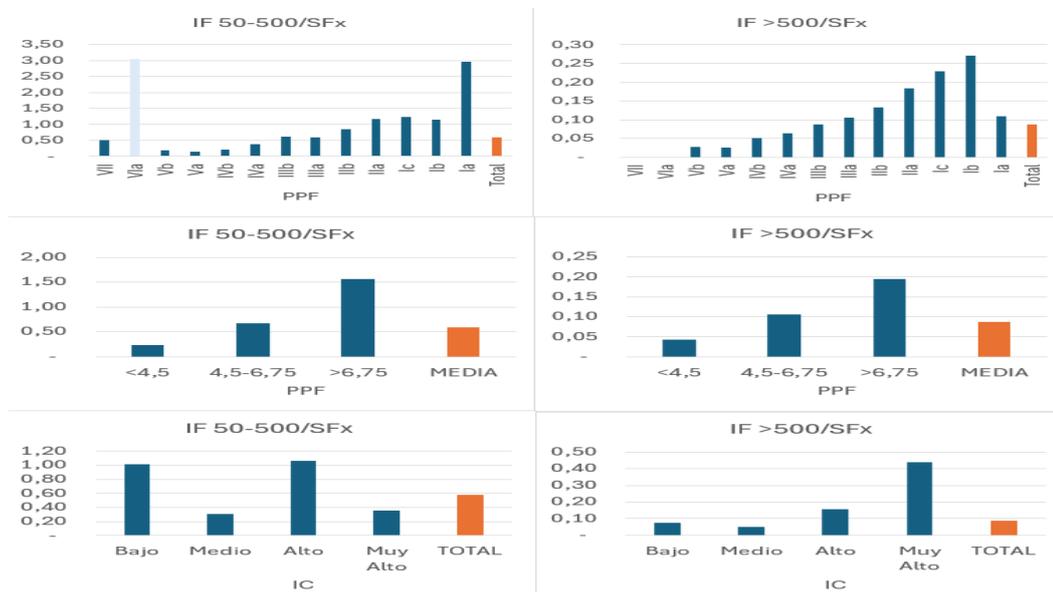


Figura 3. Gráficas de relación entre las subclases de PPF, la agrupación de subclases de PPF y las clases de IC (de arriba abajo) con el número de incendios cada 10.000 ha de entre 50 y 500 ha y de más de 500 ha (de izquierda a derecha).

2. Correlación de la Productividad Potencial Forestal (PPF) con los incendios relacionados con manejo de combustible.

El valor probabilístico de distribución de incendios (P) se muestra mediante un mapa de calor que representa las zonas de mayor densidad de incendios relacionados con manejo de combustible (figura 4).

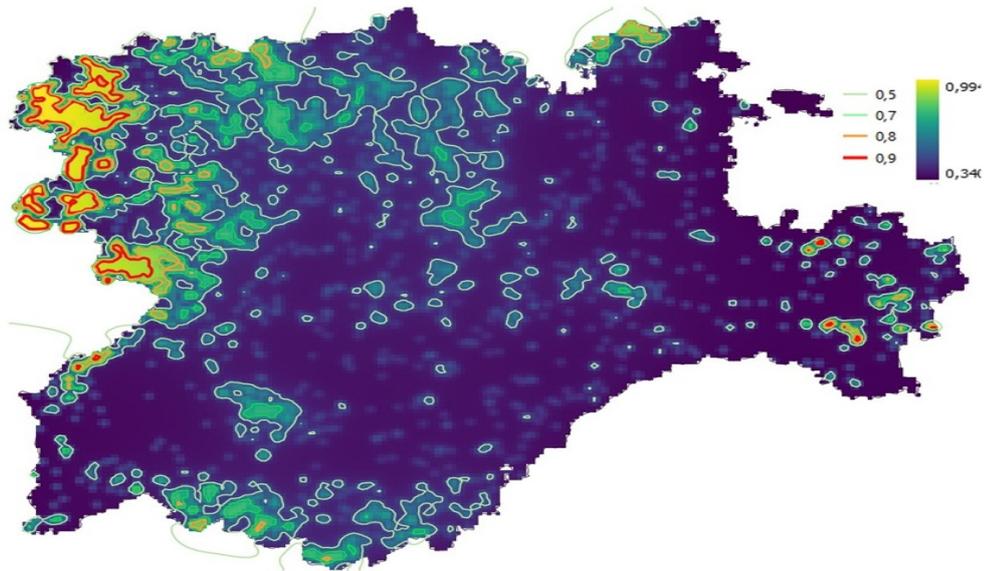


Figura 4. Mapa de calor de probabilidad de incendios relacionados con práctica de manejo del combustible

La regresión abordada en el primer análisis muestra que el modelo de regresión tiene un buen ajuste con un r^2 de 0,878, lo que sugiere que la PPF es una variable bastante predictiva para la variable dependiente P densidad de incendios. La correlación entre las variables es fuerte y significativa. El modelo es altamente significativo en general, y los coeficientes indican que PPF es un predictor importante de la densidad de incendios relacionados con el manejo del combustible.

Tabla 3. Resultado del modelo de regresión entre P y PPF

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coefficiente s estandarizados	t	Sig	95 % intervalo de confianza para B		Correlación
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior	
PPF	0,046	0,000	0,409	117,790	0,000	0,045	0,046	0,878

En cuanto al segundo análisis, que excluye las causas relacionadas con la actividad de cultivo agrícola, los datos obtenidos se reflejan en la figura 5, y las representaciones gráficas en la figura 6. Se aprecia con claridad cómo la agrupación de las cuatro subclases de valores superiores de PPF ($>6,75 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) supera con creces el doble del valor medio de incendios de este tipo por unidad de superficie, y multiplica por cuatro el valor de la agrupación de las 9 subclases de valores inferiores ($<4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$).

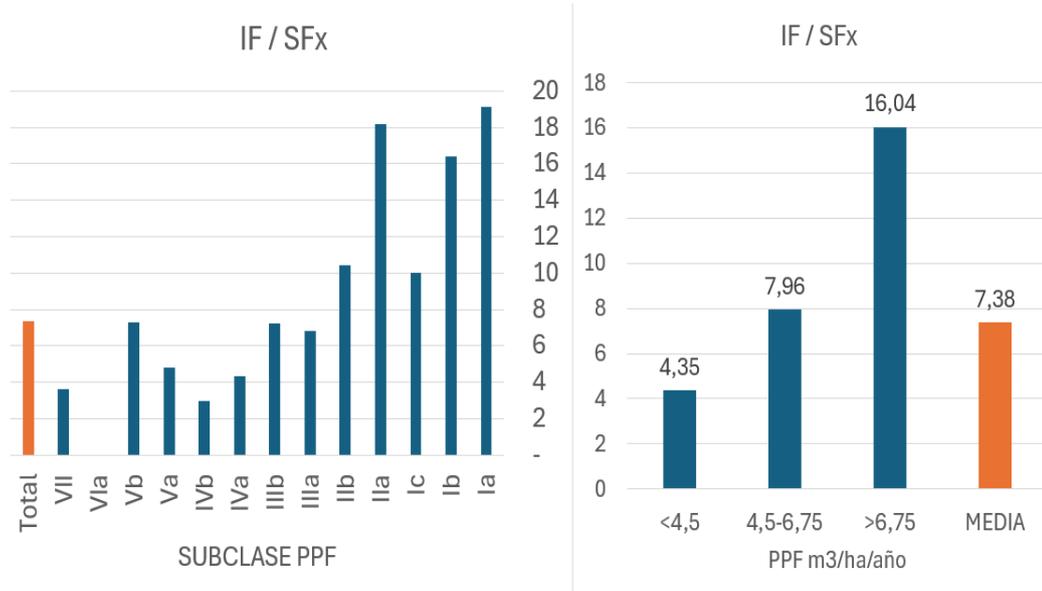


Figura 5. Gráficas de relación entre el número de incendios forestales (IF) relacionados con manejo de combustible cada 10.000 ha según las subclases de PPF y de PPF agrupadas.

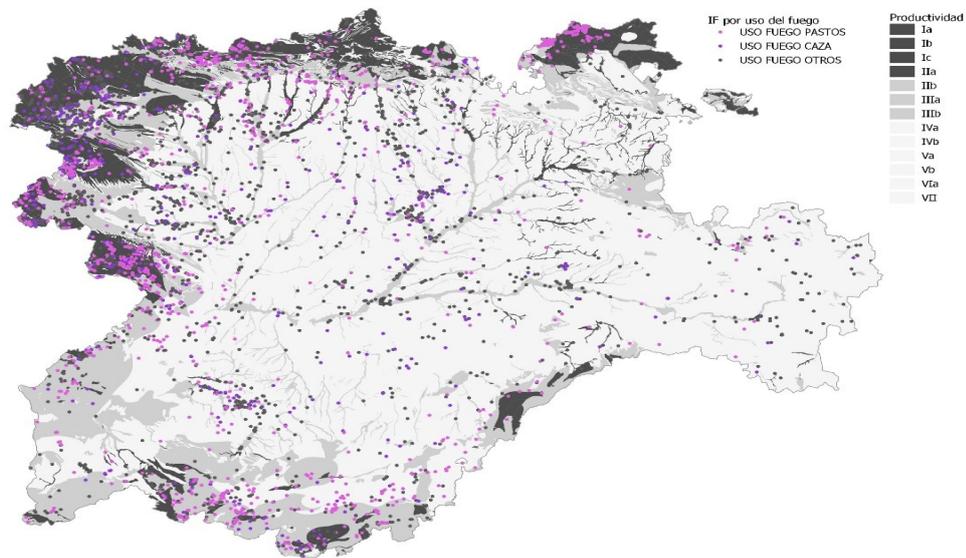


Figura 6. Mapa de localización de incendios relacionados con manejo de combustible en relación con la categorización de PPF

5. Discusión

Los resultados del análisis sobre la correlación de la Productividad Potencial Forestal (PPF) con los incendios relacionados con manejo de combustible muestran, a un nivel espacial amplio, de toda la Comunidad de Castilla y León, una



clara relación entre la frecuencia de los incendios forestales y la productividad potencial forestal: donde ésta es más elevada la problemática asociada a los incendios de origen humano relacionados con el control del combustible vegetal también tiende a serlo. Esto es especialmente relevante si tenemos en cuenta que tales incendios suponen 530 de media al año. El segundo análisis abunda en este mismo aspecto y permite contrastar cómo los dos índices analizados lo reflejan: en ambos casos las clases elevadas aglutinan incendios en número muy superior a la media del territorio, siendo esa diferencia mayor en los niveles más altos. La acumulación de incendios en las zonas de alta productividad es visible de forma palpable en la cartografía generada.

Los factores más utilizados para evaluar la ocurrencia potencial de incendios forestales son las condiciones meteorológicas y la disponibilidad de combustible (GANON y STEINBERG, 2021). Los resultados aportados permiten validar la utilidad de considerar otros parámetros como los aquí expuestos. Los factores socioeconómicos resultan claves en la problemática de incendios forestales, pero su comprensión y modelización es complicada (VILAR *et al.*, 2016): el uso de la PPF puede facilitarlas, al permitir, a través de indicadores ecológicos, la integración a nivel territorial de factores socioeconómicos que están detrás de la ocurrencia de incendios forestales.

Por otra parte, el análisis sobre la relación entre IC y PPF con la consolidación de incendios forestales incide en la problemática específica de los incendios que alcanzan superficies significativas, y muy en especial de los grandes incendios forestales (GIF). También éstos tienen lugar de forma notablemente mayor en las áreas de elevada productividad potencial, aunque los valores menores en la de mayor valor son esperables considerando que se trata de zonas en que a menudo el clima de verano es poco propenso a sequías y más húmedo, limitando la propagación de los incendios forestales por la elevada humedad de los combustibles. El hecho de que en las subclases de mayor valor (salvo en la primera) el porcentaje de incendios de más de 500 ha sea superior al de entre 50 y 500, abunda en la idea de que la mayor carga de combustible alcanzable en estas zonas implica una mayor dificultad de control de los incendios por la mayor intensidad y mayores probabilidades de las superficies afectadas sean mayores. El valor exorbitante alcanzado en la subclase VIa, extraordinariamente superior al esperable, no se considera significativo, ya que obedece a un único incendio forestal ocurrido en una clase que apenas cuenta con 3.000 ha en toda la Comunidad (dos órdenes de magnitud inferiores a las restantes) en zonas fundamentalmente agrícolas del interior de la meseta. Especialmente relevantes son los resultados referidos a las superficies totales o forestales ocupados por cada clase, ya que una relativa pequeña parte del territorio concentra la mayor parte de los incendios de cierta relevancia, lo que debe ayudar a priorizar en ella actuaciones preventivas o programas específicos adecuados a sus características, como se hizo en su momento con el Plan 42 (RADA *et al.*, 2009). En este análisis, tan relevantes son los valores referidos a superficie forestal como a total, habida cuenta de lo tramado de la interfaz agrícola-forestal y urbano-forestal en amplias zonas del territorio.



IC no mejora la relación con los grandes incendios que ya muestra el índice de PPF. Es decir, la influencia de la sequía, que se presupone determinante, apenas aporta en la relación estadística con la ocurrencia de grandes incendios cuando se suma a la PPF (figura 5). Esto se debe, posiblemente, a que el parámetro PV considerado para evaluar la sequía afecta con signo contrario respecto al otro factor considerado en el IC: a mayor precipitación de verano, menor peligro de consolidación de incendio, pero también mayor productividad potencial. Por otra parte, los rangos de sequía estival media durante la mayor parte del verano en la inmensa mayoría de Castilla y León comportan una probabilidad de ignición y una capacidad de propagación suficientemente elevadas como para que esta variable resulte menos determinante que en umbrales de mayor humedad. En todo caso, para la determinación de un índice que determine el peligro de que un incendio consolide, afectando a una elevada superficie y alcanzado una alta intensidad (IC), parece razonable tener en cuenta de algún modo la sequía para identificar aquellas superficies que aúnen gran carga combustible con mayor probabilidad de estar altamente disponibles para arder por su menor contenido de humedad.

Por tanto, IC puede ser válido para la finalidad para que fue concebido, es decir, para realizar un diagnóstico de las zonas más desfavorables que permita el adecuado establecimiento de las zonas estratégicas de gestión en las que se aplican medidas preventivas de forma prioritaria, prestando especial atención a los elementos del territorio de mayor vulnerabilidad, tales como la interfaz urbano forestal, instalaciones singulares, áreas protegidas en las que el fuego puede poner en peligro los valores a proteger, bienes de interés cultural, masas arboladas etc. La selectividad del IC para esa finalidad puede mejorarse moderadamente adoptando agrupaciones de PPF más representativas en cuanto a la mayor proporción de incendios que aglutinen en relación con el territorio abarcado, pero la forma de mejorar significativamente su capacidad predictiva radica en la consideración del otro factor en juego, que es el relacionado con la sequía. La elección del índice de sequía más apropiado para integrarlo en la gestión de incendios forestales es un debate abierto, al que contribuye la distribución espacial y climática de la sequía (KIM *et al.*, 2023, TORELLÓ-SENTELLES y FRANZKE, 2022), la profusión de índices de sequía (ZAGAR *et al.*, 2011) y su grado de vinculación con el aspecto de la ciencia y gestión de los incendios forestales que se desea evaluar (JAIN *et al.*, 2023).

Las estaciones que combinan acusada sequía climatología con productividades máximas tienen un riesgo extremo de sufrir incendios de alta intensidad. Y las combinaciones intermedias también tienen riesgo, pero mayor en zonas de alta productividad. La correlación es mayor cuanto mayor sea la productividad potencial, pero la influencia de la sequía es esencial, aunque más que de valores medios depende de las anomalías negativas en las humedades de los combustibles (cada vez más frecuentes) y de otros factores meteorológicos, a su vez más adversos, por norma, en las zonas de mayor sequía estival.

Además de la expresada utilidad del IC para la priorización de acciones preventivas, su base conceptual podría aplicarse a un índice de determinación del peligro diario o de riesgo (fundamentalmente para la época de peligro alto). Las



revisiones sobre las relaciones entre sequía e incendios forestales apuntan a la necesidad de incluir estimaciones dinámicas de la disponibilidad y carga de combustibles vivos y muertos (LITTELL *et al.* 2016). Para ello sería necesario relacionarlo no con valores medios de sequía de las series históricas, sino con valores de anomalía del estado de humedad de los combustibles, utilizando para ello los datos satelitales de las humedades para determinar valores medios del máximo periodo de datos posible y comparándolos con el valor puntual de ese momento, en la mínima unidad territorial que la tecnología disponible permita. Los procesos de aprendizaje del tipo *machine learning* que se están ya desarrollando abren una nueva dimensión a estas posibilidades (JAIN *et al.*, 2023).

Por otra parte, es preciso realizar algunas consideraciones acerca de las correlaciones encontradas entre la mayor ocurrencia de incendios y la mayor productividad. Correlación no implica necesariamente relación causa-efecto, y en el análisis efectuado el patrón detectado no obedece a una condición inevitable, sino derivada del uso tradicional del fuego por las comunidades locales como herramienta de limpieza del monte. Este uso ha dado lugar históricamente a la extensión de la vegetación pirófito, sobre todo en forma de matorrales (brezales, de leguminosas, jarales), en los que se manifiesta de forma clara la tendencia a que cuanto más crecen más eran quemados por los habitantes locales para mantener un nivel semejante de carga de leñosas.

En todo caso, no se debe caer en la simplificación de que mayor productividad equivale siempre y en todo caso a una mayor frecuencia de incendios, ni siquiera de grandes incendios, ya que ello supondría ignorar el impacto en estas cuestiones de los factores climáticos (una estación sin sequía estival puede ser muy productiva y tener un riesgo muy bajo) y de la estructura y continuidad del combustible. En este sentido, la gestión forestal debe procurar reconducir la capacidad productiva hacia vegetación que no suponga un gran incremento del peligro de incendios, por ejemplo pastos bien aprovechados por el ganado o por la fauna silvestre y troncos de árboles maduros, cuya madera, cuando alcanzan suficiente grosor, tiene menor contribución a la propagación del fuego que otros combustibles más ligeros. Los bosques en los que la sucesión ecológica ha avanzado notablemente forman estructuras de combustible que dificultan la consolidación de los incendios, que depende más del matorral o del sotobosque y sobre todo de que éstos faciliten, por su continuidad con el arbolado, los incendios de copas. Atendiendo a la estructura, el combustible fácilmente disponible en caso de incendio aumenta de forma continua, a menudo exponencial, en los momentos iniciales de la colonización vegetal, con la vegetación pionera; si se logra que la sucesión ecológica avance lo suficiente como para que se produzca el cierre de un dosel arbóreo, llega un momento en que comienza a disminuir gracias al proceso de expulsión de la vegetación intolerante de baja talla, que es la principal propagadora de incendios en condiciones meteorológicas no excepcionales. Con el tiempo, el riesgo de incendio tiende a subir de nuevo, a medida que se van abriendo huecos en el dosel superior y estos permiten que se establezca vegetación de varias tallas y así se genera una continuidad vertical, aunque generalmente se alcanzan estructuras de combustible que no son tan peligrosos como los correspondientes a las fases iniciales, al menos en situaciones meteorológicas normales. No obstante, episodios de anomalía en la sequedad del combustible



grueso pueden hacer que una fracción del combustible que habitualmente no está disponible para arder, pase a estarlo, incrementando la posibilidad de alcanzar altas intensidades en un eventual incendio, lo que vuelve a conducir a la importancia de obtener y manejar datos dinámicos sobre dichos episodios a la escala territorial deseada. En este sentido, podría ser más adecuado incorporar al índice de consolidación parámetros que permitiesen considerar la estructura y continuidad de la vegetación y la probabilidad de episodios severos de sequía.

En este proceso espontáneo de largo alcance la gestión puede intervenir para acortar plazos o para conservar las estructuras que más interesen, a través de repoblaciones, desbroces, podas, clareos, claras... También medidas como la organización del aprovechamiento ganadero, el acotado de las superficies quemadas ilegalmente, los programas de desbroces y planes específicos contra incendios de origen humano (Plan 42: RADA *et al.*, 2009), resultan efectivas para la reducción de los incendios forestales y el cambio de un territorio productivo a estructuras menos combustibles, rompiendo además el círculo vicioso de quemadas reiteradas que a su vez favorecen la vegetación pirófitas (SEVILLA Y CARRACEDO, 2017).

En todo caso, en el momento actual, buena parte del territorio forestal con alta o muy alta productividad en Castilla y León (y en España), está ocupada por formaciones de matorral pirófito o de arbolado joven denso con estrato inferior de dicho matorral o colindancia con él, y además en formaciones extensas con escasos accesos y discontinuidades, lo que implica abundancia de estructuras de alto riesgo por la continuidad vertical y horizontal que suponen. En este tipo de zonas y en tanto persistan las condiciones de estructura actuales, sin perjuicio de trabajar para reorientar su productividad a estructuras menos combustibles, es necesario considerar el riesgo de que ante eventos de sequía extremos generen incendios de muy alta intensidad.

6. Conclusiones

La productividad potencial forestal es un factor determinante para la predicción de grandes incendios forestales (mayores de 500 ha). En el territorio objeto de análisis, se pone claramente de manifiesto que cuanto mayor es la productividad potencial, mayor es la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno. Solo la clase Ia, la de máxima productividad, tiene menor probabilidad que la anterior inmediata en menor productividad, porque generalmente las superficies que abarca presentan altos contenidos de humedad estival que reducen la combustibilidad. El 77,4 % de los incendios mayores de 50 ha forestales y el 72,7 % de los mayores de 500 ha, de los 340 y 44 respectivamente registrados de cada rango, se localizan en las subclases Ia-IIIb (más de 4,5 m³/ha/año), que representan en su conjunto el 33% del territorio de la comunidad y el 45% de su superficie forestal.

La productividad potencial también tiene influencia en la frecuencia de



incendios, especialmente por la elevada proporción de incendios de origen antrópico cuya motivación reside en prácticas de control del combustible vegetal con diversas finalidades, alcanzándose correlaciones elevadas entre ambos factores. Ello supone además la posibilidad de incorporar de forma indirecta índices de factores antrópicos muy relevantes en la problemática de incendios forestales, pero de difícil plasmación territorial.

En todo caso, es importante evitar el uso de índices elaborados a partir de numerosos parámetros aplicados a unidades territoriales completas como el término municipal, y priorizar los análisis píxel a píxel a partir de parámetros que pueden proporcionar información integrable en la toma de decisiones. Las nuevas tecnologías permiten analizar con gran precisión la estructura de la vegetación y eso debería servir para disponer de sistemas de evaluación de riesgos que a la vez tengan un gran detalle pero sean escalables a grandes extensiones, algo que realizan con facilidad los sistemas de información geográfica. En este campo, la tecnología lidar o satelital puede ser relevante para incorporar parámetros que clasifiquen la continuidad y la estructura de los combustibles.

El índice de consolidación que se presenta es válido como índice de peligro estático, herramienta fundamental para la identificación de las zonas donde existe mayor probabilidad de que los incendios se consoliden, afectando a amplias superficies, alcanzando altas intensidades y, en ciertas condiciones de estrés hídrico de los combustibles vivos y de meteorologías adversas, quedando fuera de la capacidad de extinción. La identificación de estas zonas permite el establecimiento de las zonas estratégicas de gestión en las que aplicar medidas preventivas de forma prioritaria, prestando especial atención a los elementos del territorio de mayor vulnerabilidad.

Estas medidas preventivas en las zonas de alto índice de consolidación pueden y deben abordarse, a corto plazo, mediante acciones de selvicultura preventiva y de gestión del combustible, de accesibilidad y en general de gestión territorial. A medio y largo plazo, es igualmente importante establecer como objetivo de la gestión la consecución de estructuras menos combustibles tanto a nivel de rodal como de paisaje, a través de manejos integrados que fomenten la madurez de las masas forestales, la ruptura de su continuidad vertical, el control del matorral pirófito y la salida de los ciclos de fuego recurrente que alimenten su extensión.

Como retos de futuro próximo en la identificación del peligro de incendios en Castilla y León, esta metodología puede resultar muy válida para la creación de índices de peligro dinámicos, incorporando al peligro estático índices de sequía basados en la determinación por satélite de la anomalía del estado de humedad de los combustibles para cada unidad territorial mínima evaluable.

7. Agradecimientos



Los autores desean expresar su agradecimiento a todas las personas que desde la administración pública hace más de una década venido impulsando los análisis de peligro y riesgo de incendios forestales en Castilla y León, y especialmente los planes de defensa y ahora los planes anuales de prevención y extinción, así como a todos los que han trabajado en su elaboración (servicios centrales, servicios territoriales, empresas consultoras públicas o privadas).

8. Bibliografía

ALVAREZ, A.; LECINA-DIAZ, J.; BATLLORI, E.; DUANE, A.; BROTONS, L.; RETANA, J.; 2024. Spatiotemporal patterns and drivers of extreme fire severity in Spain for the period 1985–2018. *Agricultural and Forest Meteorology*, 358: 110185.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110185>.

BYRAM, G. M. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis, K. P., ed. *Forest Fire: Control and Use*. McGraw Hill. New York.

CASTELLNOU, M.; PRAT-GUITART, N.; ARILLA, E. LARRAÑAGA, A.; NEBOT, E.; CASTELLARNAU, X.; VENDRELL, J.; PALLÀS, J.; HERRERA, J.; MONTURIOL, M.; CESPEDES, J.; PAGÈS, J.; GALLARDO, C.; MIRALLES, M.; 2019. Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. *Fire Ecol.* 15, 31 (2019). <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0048-6>

COSTA, H., DE RIGO, D., LIBERTÀ, G., HOUSTON, T.,; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; 2020. European wildfire danger and vulnerability in a changing climate: towards integrating risk dimensions. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo. doi:10.2760/46951.

CUNNINGHAM, C.X., WILLIAMSON, G.J. & BOWMAN, D.M.J.S. 2024. Increasing frequency and intensity of the most extreme wildfires on Earth. *Nat Ecol Evol* 8, 1420–1425. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02452-2>

FAO. 2002. Guidelines on Fire Management in Temperate and Boreal Forests. Forest Protection Working Papers, Working Paper FP/1/E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome (unpublished). Acceso en línea 14/04/2025 <https://www.fao.org/4/ag041e/AG041E00.htm#TopOfPage>

FERNANDES, P.A.M.; LOUREIRO, C.A.; BOTELHO, H.S. 2004. Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. *Annals of Forest Science*, 61 (6): 537-544.

GANDULLO, J.M.; SERRADA, R.: 1977. Mapa de Productividad Potencial Forestal de



la España Peninsular. INIA. Madrid.

GANNON, C.S. & STEINBERG, N.C. 2021. A global assessment of wildfire potential under climate change utilizing Keetch-Byram drought index and land cover classifications. *Environmental Research Communications*, 3(3), 035002

GRÜNIG, M.; SEIDL, R.; SENF, C.; 2023. Increasing aridity causes larger and more severe forest fires across Europe. *Glob. Chang. Biol.* 29 (6): 1648-1659. <https://doi.org/10.1111/gcb.16547>

ITACYL-AEMET. 2013. Atlas Agroclimático de Castilla y León. Valladolid. Junta de Castilla y León.

JAIN, P.; COOGAN, S.C.P.; SUBRAMANIAN†, S.G.; CROWLEY, M.; TAYLOR, S.; FLANNIGAN, M.D. 2023. A review of machine learning applications in wildfire science and management. *Environ. Rev.* 28: 478–505 (2020) [dx.doi.org/10.1139/er-2020-0019](https://doi.org/10.1139/er-2020-0019)

JIMÉNEZ, E.; VEGA-NIEVA, D.; REY, E.; FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; 2016. Midterm fuel structure recovery and potential fire behaviour in a *Pinus pinaster* Ait. forest in northern central Spain after thinning and mastication. *Eur J Forest Res* 135: 675–686 <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0963-x>

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 2023. Plan Anual de Prevención y Extinción de Incendios Forestales 2022. Anexo al Decreto-ley 2/2023, de 13 de abril, de Medidas Urgentes sobre Prevención y Extinción de Incendios Forestales. *Boletín Oficial de Castilla y León*, 72: 9-266.

KIM, W.; PARK, E., JO, H-W.; ROH, M.; KIM, J.; SONG, C.; LEE, W-K. 2023. A meta-analytic review on the spatial and climatic distribution of meteorological drought indices *Environ.Rev.* 31: 95–110 [dx.doi.org/10.1139/er-2021-0098](https://doi.org/10.1139/er-2021-0098) 95

KEELEY, J.; 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire* 18: 116-126. [10.1071/WF07049](https://doi.org/10.1071/WF07049).

KRUEGER E.S., LEVI, M.R., ACHIENG, K.O., BOLTEN, J.D., CARLSON, J.D., COOPS, N.C., HOLDEN, Z.A., MAGI, B.I., RIGDEN, A.J., OCHSNE, T.E.; 2023. Using soil moisture information to better understand and predict wildfire danger: a review of recent developments and outstanding questions *International Journal of Wildland Fire* 32(2), 111–132. [doi:10.1071/WF22056](https://doi.org/10.1071/WF22056)

LELOUVIER, R.; NUIJTEN, D.; ONIDA, M. (eds.); 2021. Prevención terrestre de



incendios. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 40 p. Luxemburgo. doi:10.2779/888463

LITTELL, J.S., PETERSON, D.L., RILEY, K.L., LIU, Y.; LUCE, C.H. 2016. A review of the relationships between drought and forest fire in the United States. *Glob Change Biol*, 22: 2353-2369. <https://doi.org/10.1111/gcb.13275>

LÓPEZ SANTALLA, A.; LÓPEZ GARCÍA, M. (eds); 2019. *Los Incendios Forestales en España • Decenio 2006-2015*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 166 p. Madrid.

MIGUEL, S.; RUIZ-BENITO, P.; REBOLLO, P.; VIANA-SOTO, A.; MIHAI, M.C.; GARCÍA-MARTÍN, A.; TANASE, M.; 2024. Forest disturbance regimes and trends in continental Spain (1985–2023) using dense landsat time series, *Environmental Research*: 262 (1): 119802. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119802>

MOLINA, J.R.; ORTEGA, M.; RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; 2022. Fire ignition patterns to manage prescribed fire behavior: Application to Mediterranean pine forests, *Journal of Environmental Management*, 302 (A). 114052. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114052>

MOLINA-TERRÉN D.M.; XANTHOPOULOS, G.; DIAKAKIS, M.; RIBEIRO, L.; CABALLERO, D.; DELOGU G.M.; VIEGAS, D.X.; SILVA, C.A.; CARDIL, A.; 2019. Analysis of forest fire fatalities in Southern Europe: Spain, Portugal, Greece and Sardinia (Italy). *International Journal of Wildland Fire* 28 (85–98). <https://doi.org/10.1071/WF18004>

MYERS, R.L.; 2006. *Living with fire-Sustaining Ecosystems & Livelihoods Through Integrated Fire Management*. Global Fire Initiative. The Nature Conservancy. 36 p. Tallahassee.

PATERSON, S.S.; 1956. *The Forest Area of the World and its Potential Productivity*. University of Göteborg. Göteborg

RADA, O.; ORTEGA, Y.; CADENAS, R.M., DE LA FUENTE, A., DOMÍNGUEZ, C., TURIÑO, M.M., VÉLEZ, L., ESPINOSA, J.R., GARCÍA J., 2009. *El Plan 42: Un programa integral para la prevención de incendios forestales*. Actas del 5º Congreso Forestal Español, Ávila..

ROTHERMEL, R. C.; 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. In *Res. Pap. INT-115*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p. (Vol. 115).



RUSSO, A., GOUVEIA, C. M., DACAMARA, C., SOUSA, P., & TRIGO, R. M. 2015. Impact of drought on wildfires in Iberia. Proceedings of the EGU General Assembly.

SÁNCHEZ PALOMARES, O.; SÁNCHEZ SERRANO, F.; 2000. Mapa de la Productividad Potencial Forestal de España. Ministerio de Medio Ambiente. 320 p. Madrid.

SEAMAN, D. E.; POWELL, R. A. 1996. An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology*, 77(7), 2075-2085.

SEVILLA, F.; CARRACEDO, V.; 2017. Evolución de los incendios forestales en dos territorios contiguos con políticas forestales contrastadas: Merindades Burgalesas y Montaña Oriental Cantábrica. Actas del 7º Congreso Forestal Español. Plasencia, 12 pp.

STAGGE, J. H., DIAS, S., REGO, F., & TALLAKSEN, L. M. 2014. Modeling the effect of climatological drought on European wildfire extent. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 15745)

TORELLÓ-SENTELLES, H.; FRANZKE, C. L. E.. 2022. Drought impact links to meteorological drought indicators and predictability in Spain, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 1821–1844, <https://doi.org/10.5194/hess-26-1821-2022>

VILAR, L., GÓMEZ, I., MARTÍNEZ-VEGA, J., ECHAVARRÍA, P., RIAÑO, D., MARTÍN, M.P. 2016. Multitemporal modelling of socio-economic wildfire drivers in Central Spain between the 1980s and the 2000s: comparing generalized linear models to machine learning algorithms. *PLoS ONE*, 11(8): e0161344. doi:10.1371/journal.pone.0161344. PMID:27557113.

ZAGAR A. SADIQ, R.; NASER, B.; KHAN, F. 2011. A review of drought indices *Environ. Rev.* 19: 333–349.