

Proyecto Fin de Carrera

EL ACOLCHADO Y LA SIEMBRA DE HERBÁCEAS COMO PRÁCTICAS DE CONTROL DE LA EROSIÓN POST-INCENDIO EN LOS MONTES DE CASTEJÓN

Autor/es

JORGE CABRERA CATALÁN

Director/es

DAVID BADÍA VILLAS

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA
Año 2015

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- El fuego. El incendio forestal.	1
1.1.1.- Introducción.	2
1.1.2.- El fuego.	2
1.1.3.- El incendio forestal.....	2
1.2.- Análisis de la situación de los incendios.....	4
1.2.1.- Introducción.	4
1.2.2.- Situación de los países mediterráneos de la U.E. frente a los incendios. ...	4
1.2.3.- Situación de los incendios forestales en España.	5
1.2.4.- Los grandes incendios forestales.	10
1.2.5.- Situación en Aragón.	13
1.2.6.- Situación en Zaragoza.	20
1.3.- Causas de los incendios.	21
1.3.1.- Antecedentes.	21
1.3.2.- Causas de los incendios en España.	22
1.3.3.- Causas de los incendios en Aragón.	23
1.4.- Consecuencias de los incendios.	25
1.4.1.- Problemática de los incendios forestales.	25
1.4.2.- Efectos generales sobre el ecosistema.	25
1.4.3.- Efectos sobre el suelo.	28
1.5.- La erosión en los suelos.	33
1.5.1.- Introducción.	33
1.5.2.- Superficies afectadas por la erosión y su magnitud.	39

1.6.- Tratamientos de rehabilitación post-incendio.	39
1.6.1.- Introducción.	39
1.6.2.- Eficacia de las técnicas de rehabilitación.	40
1.6.3.- La vegetación como factor de protección del suelo.	42
1.6.4.- Restauración de los montes afectados.	42
2.- OBJETIVOS.	44
3.- MATERIAL Y MÉTODOS.	45
3.1.- Acondicionamiento de las parcelas.	45
3.1.1.- Distribución de las parcelas en medio físico.	45
3.1.2.- Acondicionamiento.	45
3.1.3.- Tratamientos post-incendio aplicados.	47
3.1.4.- Diseño experimental.	48
3.2.- Control de la erosión.	50
3.3.- Seguimiento de la vegetación.	55
3.4.- Estudio climático.	56
4.- ZONA DE ESTUDIO.	59
4.1.- Situación geográfica.	59
4.2.- Fisiografía.	63
4.3.- Edafología.	66
4.4.- Vegetación.	67
4.5.- Clima.	72
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	77
5.1.- pH.	77
5.2.- Conductividad eléctrica.	82
5.3.- Erosión.	86

5.4.- Coberturas.	92
5.4.1.- Cobertura vegetal.	92
5.4.2.- Acolchado de astillas.	95
5.4.3.- Pedregosidad.	97
5.4.4.- Suelo desnudo.	98
6.- CONCLUSIONES.	100
RESUMEN.	103
AGRADECIMIENTOS.	105
BIBLIOGRAFÍA.	106

<i>Tabla 1.- Cuadro estadístico del número de incendios y las superficies afectadas en el territorio nacional. Periodo 1961-1981.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2.- Cuadro estadístico del número de incendios y las superficies afectadas en el territorio nacional. Periodo 1982-2009.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 3.- Número de GIF en el periodo 1970-2009 por Comunidades Autónomas.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 4.- Tabla resumen del número total de siniestros y de GIF en España</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 5.- Evolución de la superficie quemada y el número de incendios en Aragón. Periodo 1968-2009.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 6.- Tabla número de incendios en España y en las provincias de Aragón. Periodo 1996-2011.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 7.- Resumen del número de incendios en las provincias de Aragón. Periodo 2007-201.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 8.- Número de incendios por causas. Periodo de estudio 1995-2004.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 9.- Composición Rhamno-quertetum cocciferae.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 10.- Temperatura y precipitaciones medias de los últimos 40 años.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 11.- Resumen de las precipitaciones y de las temperaturas de la zona.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 12.- Valores medios de pH del agua de escorrentía en cada uno de los tratamientos.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 13.- Valores de C.E. (us/cm) del agua de escorrentía en cada uno de los tratamientos.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 14.- Tasas de erosión según los estudios de varios autores.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 15.- Cantidad de sedimento recogido (kg/ha) durante el periodo de estudio en los tres tratamientos.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 16.- Superficie de suelo por niveles erosivos.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 17.- Resumen del porcentaje de cobertura vegetal durante el periodo de estudio.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 18.- Resumen del porcentaje de acolchado de astillas durante el periodo de estudio.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 19.- Resumen del porcentaje de pedregosidad durante el periodo de estudio.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 20.- Resumen del porcentaje de suelo desnudo durante el periodo de estudio.....</i>	<i>98</i>

<i>Figura 1.- Evolución de siniestros y superficies afectadas en el periodo 1961-2010 en España.....</i>	<i>1</i>
<i>Figura 2.- Promedio de incendios en los países mediterráneos de la U.E. Periodo 2000-2006 (izda.). Distribución de zonas quemadas en los países mediterráneos de la U.E. Periodo 1980-2006 (dcha.).....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3.- Evolución del número de siniestros en el periodo 2004-2014 en España.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4.- Evolución de las superficies forestales afectadas (ha.) en el periodo 2004-2014 en España</i>	<i>8</i>
<i>Figura 5.- Localización de los GIF 1970-2009 según tamaño de siniestro.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6.- Evolución del número total de siniestros y de los GIF, 1970-2009.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7.-Evolución de la superficie quemada y el número de incendios en Aragón. Periodo 1968- 2009.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8.- Estacionalidad de frecuencia del nº incendios forestales (izda.) y superficie quemada (dcha.) durante el periodo 1991-2008 en Aragón.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 9.-Evolución del número de incendios y de la superficie afectada en Aragón en los últimos años.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 10.-Evolución de la superficie afectada y del nº de siniestros en Zaragoza. Periodo 1998-2008.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 11.- Incendios por causas en Aragón. Periodo 1991-2008.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 12.- Superficie afectada por diversos niveles de erosión.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13.- Diseño de las parcelas experimentales.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14.- Esquema de la distribución de tratamientos en una parcela tipo.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 15.- Detalle de una trampa de sedimento o caja “Gerlach”</i>	<i>51</i>
<i>Figura 16.- Localización de la zona de estudio en los Montes de Zuera y Castejón de Valdejasa.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 17.- Localización de la Z.E.P.A.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 18.- Diagrama ombrotérmico de Castejón de Valdejasa.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 19.- Diagrama ombrotérmico de Zuera.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 20.- Precipitación media mensual en Zuera.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 21.- Variación del pH del agua de escorrentía en cada uno de los tratamientos en los meses siguientes al incendio.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 22.- Variación de la C.E del agua de escorrentía en cada uno de los tratamientos en los meses siguientes al incendio.....</i>	<i>82</i>

<i>Figura 23.- Precipitación (mm.) recogida durante el periodo de estudio.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 24.- Cantidad de sedimento recogido (g/m²) durante el periodo de estudio en los tres tratamientos.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 25.- Gráfico del porcentaje de cobertura vegetal durante el periodo de estudio.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 26.- Gráfico con la evolución del porcentaje de astillado durante el periodo de estudio.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 27.- Gráfico con el porcentaje de pedregosidad durante el periodo de estudio.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 28.- Gráfico con el porcentaje de suelo desnudo durante el periodo de estudio.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 29.- Gráfico con la evolución de la pérdida acumulada de suelo (g/m²) con los diferentes tratamientos post-incendio.....</i>	<i>103</i>

<i>Foto 1.- Búsqueda y colocación de las parcelas experimentales.....</i>	<i>45</i>
<i>Foto 2.- Acondicionamiento de las parcelas.....</i>	<i>46</i>
<i>Foto 3.- Final del acondicionamiento y comprobación de las parcelas.....</i>	<i>47</i>
<i>Foto 4.- Tratamiento de mulch obtenido a partir de astillas de madera quemada de la zona.....</i>	<i>48</i>
<i>Foto 5.- Semillas para la de siembra de herbáceas.....</i>	<i>49</i>
<i>Foto 6.- Distribución de las parcela en campo.....</i>	<i>50</i>
<i>Foto 7.- Recogida de escorrentía y de sedimento</i>	<i>52</i>
<i>Foto 8.- Estufa del laboratorio de la E.P.S.Huesca con muestras.....</i>	<i>52</i>
<i>Foto 9.- Báscula de precisión del laboratorio de la E.P.S.H. con muestra.....</i>	<i>53</i>
<i>Foto 10.- Proceso de filtrado.....</i>	<i>53</i>
<i>Foto 11.- Medición de la cantidad de escorrentía con la probeta en laboratorio.....</i>	<i>54</i>
<i>Foto 12.- Medición del pH.....</i>	<i>54</i>
<i>Foto 13.- Medición de la Conductividad eléctrica.....</i>	<i>55</i>
<i>Foto 14.- Rejilla en parcela experimental (izda.). Detalle de variables estudiadas (dcha.).....</i>	<i>55</i>
<i>Foto 15.- Parcelas experimentales al principio (izda.) y varios meses después (dcha.).....</i>	<i>56</i>
<i>Foto 16.- Totalizador mensual de precipitación (izda.) y pluviómetro (dcha.).....</i>	<i>57</i>
<i>Foto 17.- Imagen del Vértice San Esteban. Punto más alto de la zona.....</i>	<i>60</i>
<i>Foto 18.-Localización de las dos zonas de estudio.....</i>	<i>61</i>
<i>Foto 19.- Imagen del relieve de la zona, cerca de Castejón de Valdejasa.....</i>	<i>62</i>
<i>Foto 20.- Varias especies de la zona de estudio.....</i>	<i>71</i>

INTRODUCCIÓN

1 - EL FUEGO. EL INCENDIO FORESTAL

1.1 Introducción

El fuego es un elemento más que pertenece a la naturaleza, que lo ha utilizado como una herramienta para modelar su cara, marcando y condicionando la distribución de las especies y su extensión en el territorio.

Tradicionalmente, desde el principio de los tiempos, el hombre ha utilizado el fuego para reconstruir su entorno: renovar pastos, fertilizar con la quema de restos de cosechas, controlar plagas y eliminar malas hierbas, etc. Pero además de estas labores agrícolas y ganaderas, también realizaban otras más importantes para el medio ambiente como la limpieza de los montes mediante el paso del ganado y la recogida de leña para la época invernal, hasta que se produjo el abandono masivo del campo motivado por la aparición de la industrialización y el empleo de combustibles fósiles como fuente de energía (Vega, 2007).

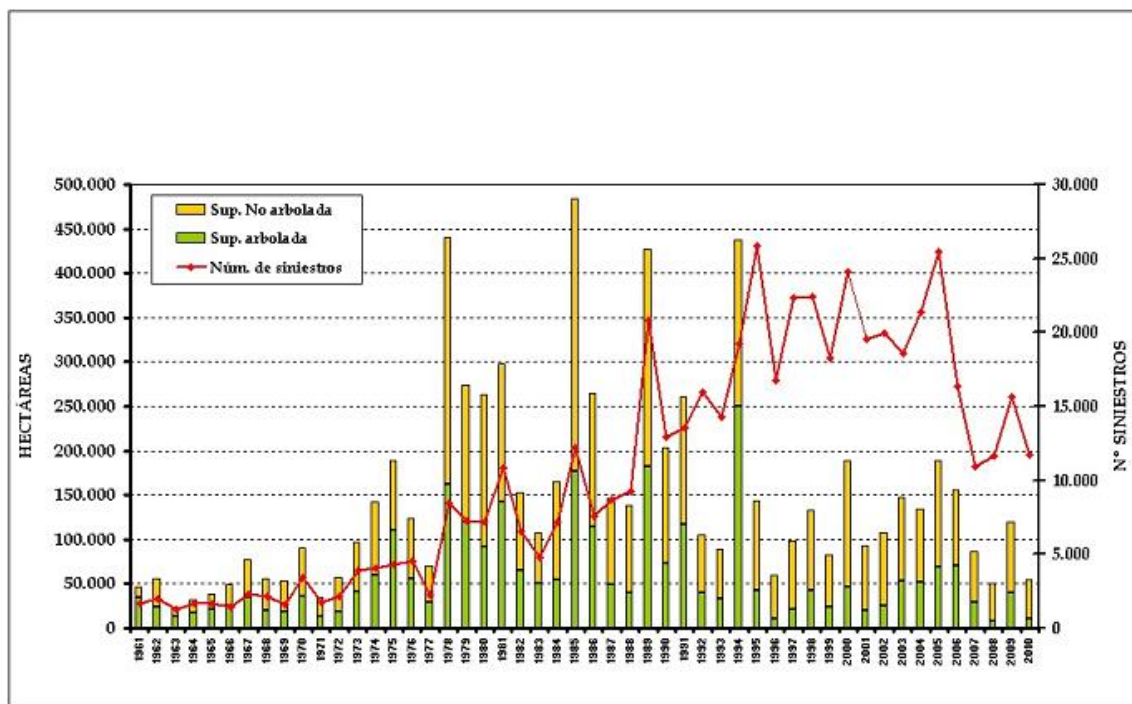


Figura 1.- Evolución de siniestros y superficies afectadas en el periodo 1961-2010 en España

En consecuencia, este éxodo rural que se llevó a cabo entre los años 1950 y 1960 en España supuso un cambio importante en la gestión medioambiental que se realizaba en el medio rural, provocando que a partir de la década de los 70 se incrementase el número de incendios y la superficie afectada por éstos. Este grave problema se ha ido intensificando, generando grandes superficies quemadas tendencia que ha permanecido hasta los años 90, corrigiéndose a partir de entonces gracias a las medidas de prevención.

En los últimos años, también se ha reducido el número de siniestros al transferir competencias de prevención y extinción por comarcas, pero aún queda trabajo que hacer en la concienciación ciudadana por el respeto al medio ambiente (Mataix-Solera y Cerdà, 2009).

1.2 El fuego

La combustión o “el fuego” es un proceso que ocurre cuando el oxígeno y el calor se combinan en una reacción en presencia de combustibles.

El calor, el oxígeno y el combustible componen el triángulo del fuego: pero si estos tres elementos, o alguno de ellos, no están en la cantidad adecuada, no habrá combustión.

Podemos definir el fuego de forma sencilla como una reacción química de oxidación rápida, en nuestro caso sobre material vegetal (combustible). Esta consume oxígeno y genera dióxido de carbono, vapor de agua en forma de humo y cenizas, liberando energía en forma de luz y de calor.

Para poder iniciar esta reacción química, a la que denominamos combustión, es indispensable introducir calor externo (llama) a un material combustible en presencia de un comburente (oxígeno). La combustión se produce cuando la temperatura del combustible supera un determinado valor, siendo este el punto de ignición.

1.3 El incendio forestal

1.3.1 Definición

El fuego es una herramienta importante al servicio del hombre, pero si escapa de su control, se manifiesta de forma violenta llegando a constituir un incendio. Cuando el fuego se ha escapado del control humano y afecta a combustibles vegetales, propagándose a través del monte, entonces recibe el nombre de incendio forestal (Rico, 1996).

La Ley de Montes 43/2003 define incendio forestal como “el fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte”

A su vez, el concepto de monte lo define como “todo terreno en el que vegetan especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, sea espontáneamente o procedan de siembra o plantación, que cumplan o puedan cumplir funciones ambientales, protectoras, productoras, culturales, paisajísticas, o recreativas. Tienen también la consideración de monte:

- a) Los terrenos yermos, roquedos y arenales.

- b) Las construcciones e infraestructuras destinadas al servicio del monte en el que se ubican.
- c) Los terrenos agrícolas abandonados que cumplan las condiciones y plazos que determine la Comunidad Autónoma, y siempre que hayan adquirido signos inequívocos de su estado forestal.
- d) Todo terreno que, sin reunir las características descritas anteriormente, se adscriba a la finalidad de ser repoblado o transformado al uso forestal, de conformidad con la normativa aplicable.
- e) Los enclaves forestales en terrenos agrícolas con la superficie mínima determinada por la Comunidad Autónoma (Añadido por la Ley 10/2006, de 28 de abril).

1.3.2 Clasificación de los incendios forestales

Se pueden clasificar según distintos criterios:

- Según la forma que adapte en la fase inicial (efecto del viento y la pendiente).
- Según el combustible al que afecta.
- Según el patrón de propagación del incendio.
- Según el nivel de gravedad potencial.
- Según la causa de ignición.

Normalmente se clasifica según el combustible al que afecta.

La clasificación se hace estudiando el combustible que propaga el incendio y que asegura su sostenibilidad. Tendríamos entonces:

1- Fuegos de suelo o de suelo forestal.

Consumen la materia orgánica y todo aquello que queda por debajo de los restos más aireados del suelo forestal. Está constituido por: raíces, hojarasca en descomposición, materia orgánica, etc. Puede ser que sólo veamos el humo que generan, sin llama aparente. Suelen ser de poca intensidad pero pueden durar días, semanas e incluso meses.

2- Fuegos de superficie.

Queman hojas y ramas muertas, restos de explotación forestales, también vegetación viva de herbáceas y matorrales. Es decir, todo aquel material combustible, disponible y situado inmediatamente por encima de la superficie del suelo. La inmensa mayoría de los incendios son de este tipo. A veces se asocia masas arboladas con incendios de copas y no siempre es así.

3- Fuego de copas.

Queman las copas de los árboles (hojas, ramas y troncos) y pueden avanzar independientemente del fuego de superficie o a la vez que este.

No siempre estos tres tipos de incendios se producen de forma individual. Muchas veces se tendrá una combinación de ellos.

2- ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LOS INCENDIOS

2.1 Introducción

Las repercusiones de un fuego son principalmente medioambientales y económicas. Económicas más que nada en cuanto al trabajo de repoblación que conllevan. Las repercusiones medioambientales dependen de las características de la vegetación, los suelos, el clima y de las características del fuego (momento, intensidad, temperaturas máximas, frecuencia, extensión, etc.). Por eso en diferentes lugares y en diversos incendios, los efectos del fuego son variables (Vallejo, 1991).

Los incendios forestales son un problema global y mundial. En las zonas húmedas tropicales es dónde más incendios se producen, ya que emplean el fuego para aclarar el bosque; pero también es dónde se dispone de menos datos.

Los incendios forestales son una de las principales amenazas de las masas forestales del Sur de Europa y juegan además, un papel creciente en extensas áreas del Centro y Este de Europa. Su impacto en el paisaje, el bienestar social y el medio ambiente es ya enorme (Biro et al., 2009).

2.2 Situación de los países mediterráneos de la U.E. frente a los incendios

La industrialización de las sociedades modernas y el uso de combustibles fósiles provocaron una reducción del uso de biomasa y la migración de los habitantes de zonas rurales a las grandes urbes, con el evidente abandono de la agricultura (Naredo, 2004).

Este proceso, que tuvo lugar de forma relativamente ordenada en el norte de Europa, fue súbito y sin planificación en los países del mediterráneo (Cerdeja y Mataix-Solera, 2009).

En Europa, son los países de la cuenca mediterránea los que sufren más incendios y los que reparten la mayoría de la superficie quemada anualmente. Esto es debido a que las condiciones climáticas son más propicias, para que se produzca un

mayor número de incendios y para que estos alcancen mayores dimensiones. Además, con el cambio climático las perspectivas no son nada buenas, ya que el incremento de la temperatura y los largos períodos de sequía prolongaran la estación natural de los incendios.

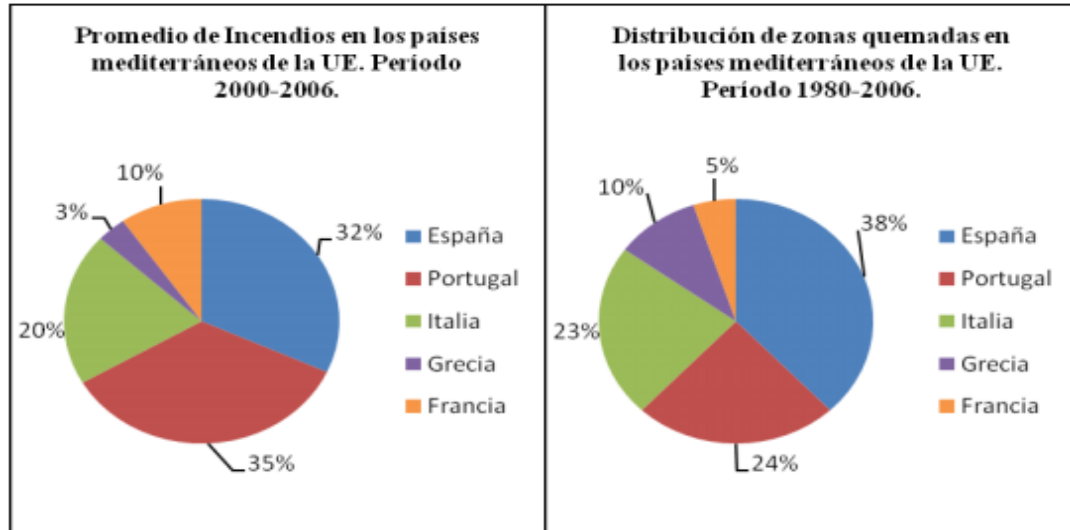


Figura 2.- Promedio de incendios en los países mediterráneos de la U.E. Periodo 2000-2006 (izda.). Distribución de zonas quemadas en los países mediterráneos de la U.E. Periodo 1980-2006 (dcha.)

Los países mediterráneos más afectados en el número de incendios son la península Ibérica e Italia (Figura 2). El 75 % del total de la superficie quemada se produce por grandes incendios y estos únicamente representan el 2,6 % del número total de incendios (Biro et al., 2009).

Cabe señalar que aunque la tendencia del número de incendios en la región va en aumento, el número de incendios muy grandes permanecen invariables a lo largo del tiempo (Biro et al., 2009).

La mayor actividad de los incendios forestales en los países mediterráneos se produce en los meses de junio, julio y agosto.

2.3 Situación de los incendios forestales en España

Se ha podido observar que España es un territorio afectado año tras año por los incendios. Esta situación se debe a causas socioeconómicas que ya las hemos mencionado anteriormente y a causas climáticas, cada vez más acentuadas por la influencia del cambio climático. Entre las causas climáticas las más relevantes son: clima seco y cálido en verano, agostamiento de la vegetación, abundantes tormentas que en muchas ocasiones vienen cargadas de aparato eléctrico y vegetación adaptada que está preparada para el incendio (Cerdeja y Mataix-Solera, 2009).

En los datos aportados por el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino se observa la evolución de los siniestros ocurridos en España y sus trágicas consecuencias sobre la superficie forestal.

Si analizamos el número de siniestros, se observa claramente como estos han ido aumentando con el paso del tiempo, hasta alcanzar su máximo en los últimos 20 años.

Respecto a la superficie afectada, en los años 60 se mantienen cifras muy aceptables. A partir de los años 70, se produce un gran incremento del número de siniestros y de la superficie afectada que dura hasta 1995. En los años siguientes a 1995 y hasta la fecha, se mantiene esta relación donde el número de siniestros es muy alto.

En cuanto a la superficie no arbolada y arbolada, solamente comentar que los máximos se encuentran en los años 1978, 1985, 1989 y 1994, que son los años con más grandes incendios devastadores.

Años	Número de siniestros	Superficie afectada (Hectáreas)		
		Arbolada	No arbolada	Total
1961	1.680	34.056	12.195	46.251
1962	2.022	23.911	31.571	55.482
1963	1.302	13.279	9.400	22.679
1964	1.645	17.671	13.727	31.398
1965	1.686	21.777	16.241	38.018
1966	1.443	24.644	24.710	49.354
1967	2.299	33.930	42.645	76.575
1968	2.115	20.449	36.048	56.497
1969	1.558	19.238	34.501	53.739
1970	3.450	35.723	54.824	90.547
1971	1.718	13.234	21.810	35.044
1972	2.194	18.415	39.341	57.753
1973	3.932	41.233	55.756	96.989
1974	4.088	59.822	82.293	142.115
1975	4.340	110.679	77.916	188.595
1976	4.577	55.308	68.269	123.577
1977	2.221	28.977	41.772	70.749
1978	8.471	161.698	277.828	439.526
1979	7.222	120.153	153.414	273.567
1980	7.190	92.293	170.724	263.017
1981	10.878	141.631	156.657	298.288

Tabla 1.- Cuadro estadístico del número de incendios y las superficies afectadas en el territorio nacional. Periodo 1961-1981.

1982	6.545	65.326	87.577	152.903
1983	4.791	50.930	57.170	108.100
1984	7.203	54.491	110.628	165.119
1985	12.238	176.266	308.210	484.476
1986	7.570	113.923	150.964	264.887
1987	8.679	48.993	97.669	146.662
1988	9.247	39.521	98.213	137.734
1989	20.811	182.448	244.245	426.693
1990	12.913	72.993	130.039	203.032
1991	13.531	116.896	143.422	260.318
1992	15.955	40.438	64.839	105.277
1993	14.254	33.161	56.106	89.267
1994	19.263	250.433	187.202	437.635
1995	25.827	42.389	101.095	143.484
1996	16.771	10.531	49.283	59.814
1997	22.320	21.326	77.177	98.503
1998	22.446	42.959	90.684	133.643
1999	18.237	24.034	58.183	82.217
2000	24.118	46.138	142.448	188.586
2001	19.547	19.363	73.934	93.297
2002	19.929	25.197	82.267	107.464
2003	18.616	53.673	94.499	148.172
2004	21.396	51.732	82.461	134.193
2005	25.492	69.350	119.322	188.672
2006	16.334	71.083	84.280	155.363
2007	10.932	29.403	56.710	86.113
2008	11.656	8.443	41.878	50.321
2009*	15.391	39.528	71.255	110.783
Media 1998-2007	19.705	43.293	88.479	131.772

Tabla 2.- Cuadro estadístico del número de incendios y las superficies afectadas en el territorio nacional. Periodo 1982-2009.

Si analizamos con más detalle los últimos años, podremos ver una tendencia decreciente en la superficie afectada y en el número de siniestros.

La media de este último decenio en superficie afectada es de 127.209 hectáreas, siendo está superior a la superficie afectada en los últimos cuatro años.

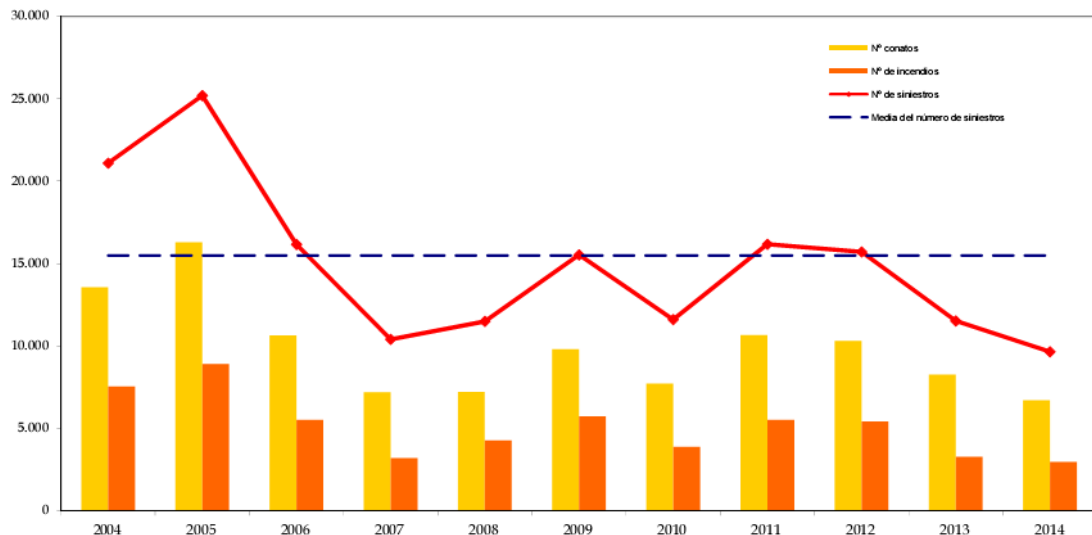


Figura 3.- Evolución del número de siniestros en el periodo 2004-2014 en España

El año 2008 y 2010 son bastante significativos en cuanto a hectáreas afectadas (50.321 y 54.770 respectivamente) hecho indiscutiblemente ligado a la meteorología y las actuaciones en materia de prevención y extinción.

Este análisis tan cercano de los últimos años, no sirve más que para ver que se están haciendo bien las cosas, pero que hay que continuar en esta dirección, ya que las cifras no dejan de ser escalofriantes y las condiciones climáticas en los próximos años, no nos lo va a poner nada fácil.

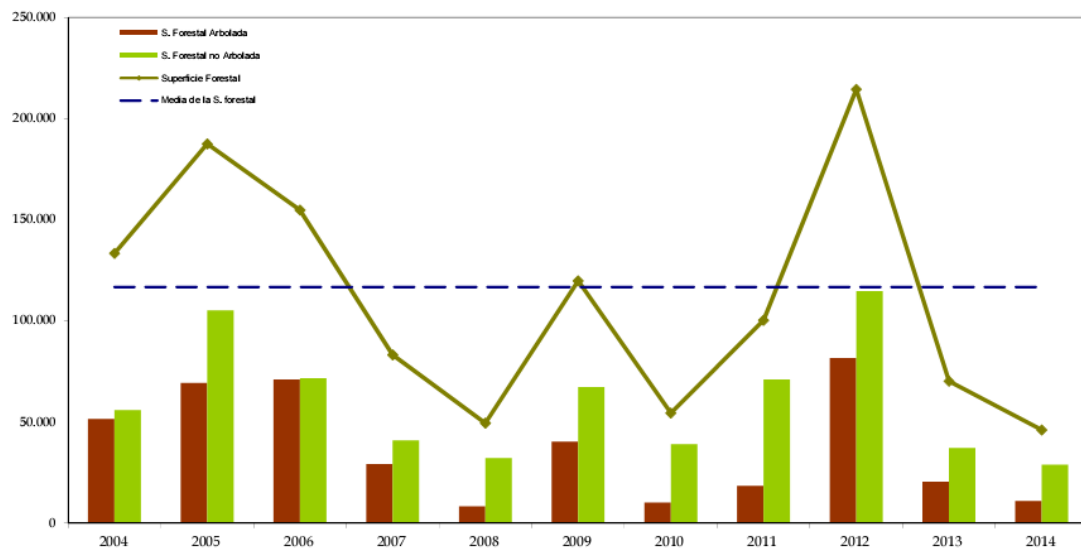


Figura 4.- Evolución de las superficies forestales afectadas (ha.) en el periodo 2004-2014 en España

Si observamos el gráfico con el conjunto de datos, se distinguen cinco períodos claramente diferentes, que merece la pena que se expliquen más detalladamente.

- 1) Período 1961-1977: Durante estos años, las cifras muestran una gran estabilidad en el número de siniestros y en la superficie afectada. Estas cifras no son muy preocupantes durante los años 60, pero a partir de los años 70 ya se empieza a observar un repunte considerable del número de siniestros y de la superficie afectada, que nos indica la tendencia para los próximos años.
- 2) Período 1978-1988: Como indicábamos anteriormente, este repunte empieza a tener sus efectos preocupantes durante este período. Debido a que la situación cambia drásticamente aumentando de manera considerable el número de siniestros y la superficie quemada. Los años 1978 y 1985 son los más devastadores de superficie afectada en este período, ya que muestran claramente la aparición de los grandes incendios en España y la situación de este período.
- 3) Período 1989-1994: Este período de cinco años es destacable por un mayor aumento del número de siniestros respecto al período anterior, pero en contraposición la superficie quemada ya no va relacionada directamente con el número de siniestros. Es decir, que se producen un mayor número de siniestros pero la superficie afectada ya no es directamente proporcional al número de estos. En esta afirmación, hay que excluir los años 1989 y 1994 que fueron catastróficos tanto en número de siniestros y superficie arrasada por el fuego.
- 4) Período 1995-2005: Durante este período se observa muy clara la tendencia que ya se marcaba en el período anterior. En estos once años, el número de siniestros aumenta de manera descontrolada, pero esto no quiere decir que también aumente la superficie quemada, si no que se observa cómo se produce una clara disminución de ésta. Esta circunstancia se produce porque disminuyen los grandes incendios, debido a la coordinación y disposición de mayores recursos en las labores de extinción.
- 5) Período 2006-2014: Estos años (exceptuando el 2012) indican de manera relativa la situación actual, dónde se ha reducido notablemente el número de siniestros y la superficie afectada es muy parecida a la de los años 90; aunque nada que ver con la situación de privilegio que teníamos en los años 60. Lo que nos indica que debemos seguir trabajando para reducir estas cifras abrumadoras que nos acontecen.

2.4 Los Grandes Incendios Forestales

2.4.1 Introducción

Debido al incendio a partir del cual estamos desarrollando este trabajo, es interesante que dediquemos un tiempo a tratar su repercusión ya que evitar estos grandes incendios debe ser el objetivo prioritario, por los riesgos que comportan para los bienes y vidas, y porque en ellos la recuperación post-incendio es difícil (Cerdeira y Mataix-Solera, 2009).

Siendo los Grandes Incendios Forestales aquellos siniestros que afectan a un mayor porcentaje de superficie forestal, causando grandes impactos ecológicos en los montes españoles, así como graves pérdidas.

2.4.2 Localización y número de los GIF

La Figura 6 muestra el número de GIF en cada una de ellas según el tamaño de la superficie afectada en el periodo 1970-2009.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Nº GIF 1970-2009				
	500-1000 ha.	1.000-3.000 ha.	3.000-5.000 ha.	5.000-10.000 ha.	>10.000 ha.
ANDALUCÍA	152	69	12	9	5
ARAGÓN	30	17	3	3	1
ASTURIAS	54	21	-	1	-
CANARIAS	6	17	4	1	2
CANTABRIA	13	2	-	-	-
CASTILLA LA MANCHA	54	41	1	1	3
CASTILLA Y LEÓN	243	94	13	4	-
CATALUÑA	72	61	14	6	3
COM. VALENCIANA	100	86	17	9	8
EXTREMADURA	117	61	7	4	-
GALICIA	254	78	3	1	-
ILLES BALEARS	11	5	-	-	-
LA RIOJA	-	2	-	-	-
MADRID	8	6	-	-	-
MURCIA	3	-	-	-	1
NAVARRA	-	2	-	-	-
PAÍS VASCO	4	3	-	-	-
TOTAL GIF 1970-2009	1.121	565	74	39	23

Tabla 3.- Número de GIF en el periodo 1970-2009 por Comunidades Autónomas

El siguiente mapa muestra la distribución de los GIF ocurridos en este periodo según el tamaño del siniestro.



Figura 5.- Localización de los GIF 1970-2009 según tamaño de siniestro

La década de los años 80 supuso un incremento en los G.I.F. respecto a los años 70. En total en los años 80 ocurrieron 246 GIF más que en la década anterior. El desarrollo económico vivido derivó en un éxodo hacia las zonas urbanas y abandono de los cultivos marginales. Aumentó así la combustibilidad en los montes y el riesgo de grandes incendios. Por el contrario en la década de los 90 y la de los años 2000 disminuyó el número de éstos gradualmente, siendo más notable dicho descenso en los años 90, sin duda consecuencia del importante desarrollo de los dispositivos de extinción autonómicos y la profesionalización de éstos en dicho periodo.

La notable disminución del valor medio del porcentaje de GIF respecto al número total de siniestros se debe no tanto al decrecimiento durante las dos últimas décadas de los GIF, sino al incremento constante en el número de los siniestros forestales que se ha tenido que se recogen datos, a excepción de los últimos cuatro años.

Periodo	Nº total siniestros	Nº total GIF
1970-1979	39.469	452
1980-1989	94.135	698
1990-1999	180.310	359
2000-2009	180.799	313

Tabla 4.- Tabla resumen del número total de siniestros y de GIF en España

La tabla muestra la evolución del número de siniestros y del número de GIF desde 1970 al año 2009 junto con ambas tendencias, la primera creciente y la segunda decreciente.

En 1985 se registró el máximo número de GIF de los cuarenta años con 159. Ese año fue el siguiente a un largo periodo de sequía que se prolongó desde 1978 a 1984. 1978 primer año de este periodo seco registró el segundo valor máximo en número de grandes incendios, 153. Tanto 1978 como 1985 alcanzaron valores máximo en número total de siniestros en sus correspondientes décadas, exceptuando 1989 que superó a 1985 en 8.015 siniestros y que con 96 GIF, fue el cuarto año de mayor número de GIF y el primero en los últimos 21 años. La publicación de estadística de incendios forestales de 1989 señala la mayor sequía de la que se tenía noticia en el norte y oeste del país.

En los años 90 fue 1994 con 93 GIF el peor año no tanto por número de siniestros sino por las superficies afectadas, que volvieron a alcanzar las cifras máximas de las dos décadas anteriores (437.602,50 ha.). Desde 1992 y hasta 1996 en España vivió otro periodo de intensa sequía.

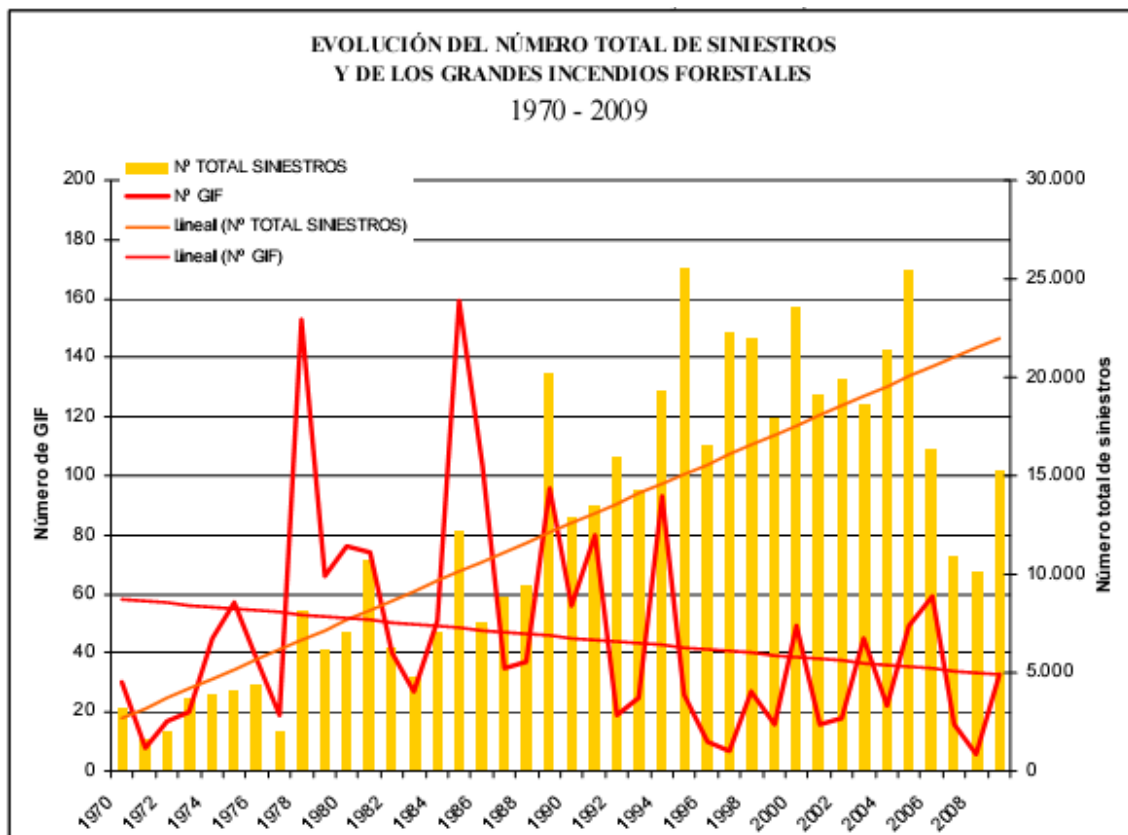


Figura 6.- Evolución del número total de siniestros y de los GIF, 1970-2009

En la última década han sido los años, 2000, 2005 y 2006 los que han presentado mayor número de GIF, aunque las cifras alcanzadas nada tienen que ver con los máximos de los años 80, con un máximo de 59 en el año 2006. Los años 2000 y 2005 registraron condiciones de sequía detalladas en el capítulo correspondiente de las publicaciones estadísticas anuales. En el año 2006, 42 de los 59 GIF se produjeron en Galicia, donde los vientos del noroeste que soplaron desde finales de julio desecando la vegetación, arreciaron a partir del 4 de agosto. Esta situación de meteorología adversa, acompañada de un episodio de incendiarismo con la aparición de cientos de focos de fuego cada día, dio lugar a tales cifras.

2.5 Situación en Aragón

2.5.1 Introducción

Una vez explicada la situación a nivel nacional, conviene analizar la situación en los últimos años en Aragón, por ser la Comunidad Autónoma que nos concierne en este proyecto, por las diferentes condiciones climáticas que hay en España y por las prácticas socioculturales que se llevan a cabo en cada territorio.

La Comunidad Autónoma de Aragón presenta un importante porcentaje de territorio bajo condiciones climáticas típicamente mediterráneas en donde el fuego forma parte del ecosistema. En éste, el fuego ha existido desde tiempos remotos y continuará existiendo aún a pesar del ingente esfuerzo anual por eliminarlo. De hecho, la presencia del fuego es necesaria para continuar moldeando un paisaje y un ecosistema del que es coautor junto a otros factores: climáticos, geomorfológicos, edáficos,... y más recientemente antrópicos. Suprimirlo en su totalidad se intuye imposible, innecesario e incluso contraproducente. Aprender a convivir con él de un modo organizado con base en una prevención proactiva, de idéntico modo a la diseñada para terremotos u otras perturbaciones naturales en otras regiones del planeta, es imprescindible, y para ello la labor de adecuación del entorno y de concienciación social son fundamentales.

En Aragón, superficie y población forman un binomio inversamente proporcional, mucha superficie y poca población y, además, muy concentrada en Zaragoza capital y en el eje industrial del valle del Ebro. El resto del territorio, salvo contadas excepciones, se encuentra despoblado y vacío; las actividades económicas tradicionales intrínsecamente ligadas al territorio, han desaparecido casi en su totalidad y las consecuencias agravan los efectos ya de por sí destructivos de los incendios forestales.

2.5.2 Análisis de los datos básicos de los incendios forestales en Aragón

Desde la década de los sesenta, la actual Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón viene actualizando la EGIF cada año, con la información recibida de los tres Servicios Provinciales de Medio Ambiente. De este modo, se conocen los incendios que se han producido históricamente.

A partir de la EGIF se elaboran memorias estadísticas anuales en las que se recopilan y analizan los parámetros de frecuencia, magnitud, tipos de superficies, causas y motivaciones.

Al objeto de contextualizar la situación en materia en Aragón, se indican algunas cifras en términos de número de incendios, superficie, etc.

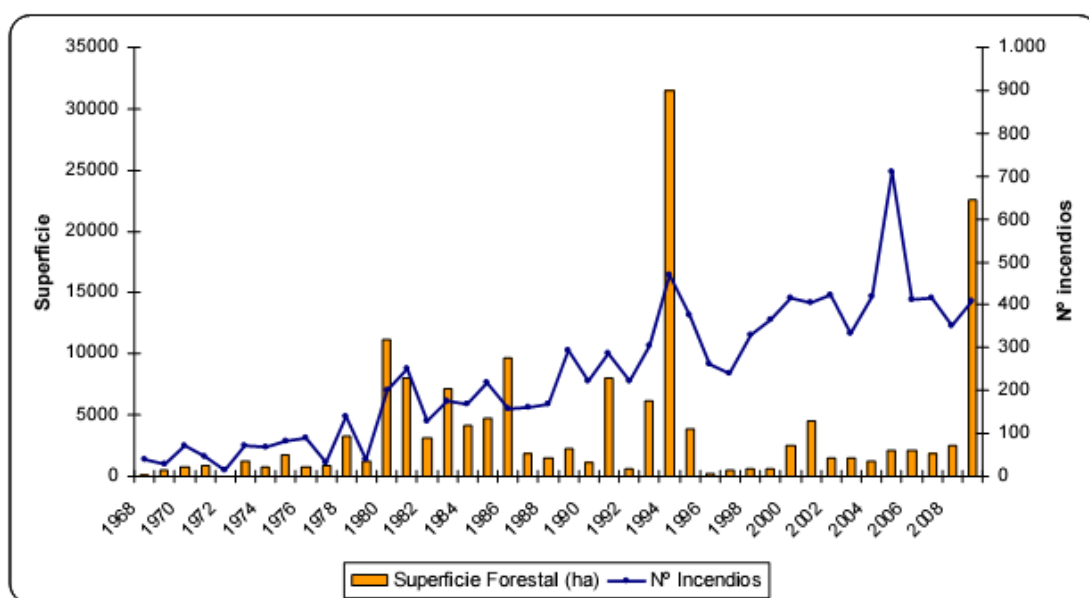


Figura 7.-Evolución de la superficie quemada y el número de incendios en Aragón. Periodo 1968- 2009

El número de incendios forestales en Aragón sigue una tendencia fuertemente creciente desde 1968.

Más de ciento sesenta mil hectáreas (161.606) afectadas por un total de incendios que sobrepasa los diez mil (10.302) entre 1968 y 2009 son las cifras globales que resumen el fenómeno de Aragón, conforme a la EGIF. Del análisis de la serie histórica y su evolución se infiere que los incendios forestales no constituyen un peligro nuevo, pero si un fenómeno que persiste e incluso se incrementa en la historia más reciente. Esta progresión en número de incendios es tal, que llega incluso a duplicarse o triplicarse desde los años 80 hasta la actualidad.

No obstante, hay que señalar también que ese fenómeno se da, de manera más o menos acentuada, en el conjunto de España, y por tanto en el resto de las

Comunidades Autónomas. De hecho contando los datos de los años 1995 a 2007 (ambos incluidos) se comprueba cómo las provincias aragonesas tienen un grado de afección en cuanto al número de incendios que se puede calificar de moderado. Más aún comparando el número de incendios con la superficie forestal a través del clásico índice de incidencia (nº incendios por cada 10.000 hectáreas forestales), se ve cómo la afección por el fenómeno en Aragón es, dentro del contexto español, baja.

	PROVINCIA	INCIDENCIA Nº inc/10.000 Ha			PROVINCIA	INCIDENCIA Nº inc/10.000 Ha
1	Pontevedra	53,2		26	Sevilla	2,9
2	Ourense	52,9		27	Castellón	2,9
3	A Coruña	51,2		28	Cádiz	2,8
4	Lugo	45,1		29	Murcia	2,8
5	Asturias	20,9		30	Lleida	2,8
6	Zamora	10,3		31	Alava	2,7
7	Cantabria	9,8		32	Huelva	2,7
8	Madrid	6,5		33	Salamanca	2,6
9	León	6,3		34	Palencia	2,5
10	Girona	6,2		35	Jaén	2,4
11	Navarra	5,9		36	Guadalajara	2,3
12	Barcelona	5,6		37	Zaragoza	2,2
13	Islas Baleares	5,5		38	Cuenca	2,1
14	Valladolid	5,3		39	Segovia	2,0
15	Alicante	5,2		40	Tenerife	2,0
16	Cáceres	4,9		41	Córdoba	1,9
17	Vizcaya	4,8		42	Granada	1,9
18	Toledo	4,6		43	Tarragona	1,8
19	Guipúzcoa	4,3		44	Albacete	1,6
20	Valencia	3,8		45	Almería	1,5
21	La Rioja	3,6		46	Ciudad Real	1,4
22	Málaga	3,4		47	Teruel	1,3
23	Ávila	3,3		48	Gran Canaria	1,2
24	Badajoz	3,0		49	Huesca	1,2
25	Burgos	3,0		50	Soria	1,1

Tabla 5. -Evolución de la superficie quemada y el número de incendios en Aragón. Periodo 1968-2009

En cuanto a la superficie forestal quemada (tanto arbolada como no), los valores medios de un período de años no pueden usarse sin mucha prevención, puesto que existen varianzas extraordinariamente elevadas de una campaña a otra. Junto a años catastróficos (1980, 1981, 1986, 1991, 1994, 2009) se dan años con superficies quemadas irrisorias (1996, 1999, 2004). Pero sí cabe obtener dos conclusiones:

- En primer lugar, el éxito en un año concreto no es indicativo de un acierto en el sistema de prevención y extinción.
- La superficie quemada se concentra en muy pocos incendios.

Es decir, el fenómeno de los incendios forestales tiende claramente hacia que, en un año con condiciones adversas, unos pocos incendios escapen de la actual capacidad de la capacidad de extinción, y se conviertan en GIF o incendios de alta intensidad (IAI), que devastan el medio natural en grandes extensiones, suponen un gran riesgo de pérdidas de vidas humanas de combatientes o afectados, y generan graves problemas de protección civil. Estos incendios son en efecto “pocos”, si los comparamos con el conjunto de incendios, pero tienden a ser cada vez más.

Esta superficie quemada además, presenta una gran variabilidad interanual, registrándose muchos años valores superiores a las cinco mil hectáreas, e incluso diez mil en la década de los ochenta y noventa para disminuir ligeramente en los últimos años de la década de los noventa y primeros años del siglo XXI.

Este fenómeno tiene una marca estacionalidad en Aragón. Es en verano cuando las características propias del ambiente mediterráneo se hacen más patentes, y se eleva enormemente el riesgo de incendio (entre otros, por la abundancia de tormentas estivales) y corresponde, según la estadística, en la época que el fuego recorre la mayor superficie de monte.

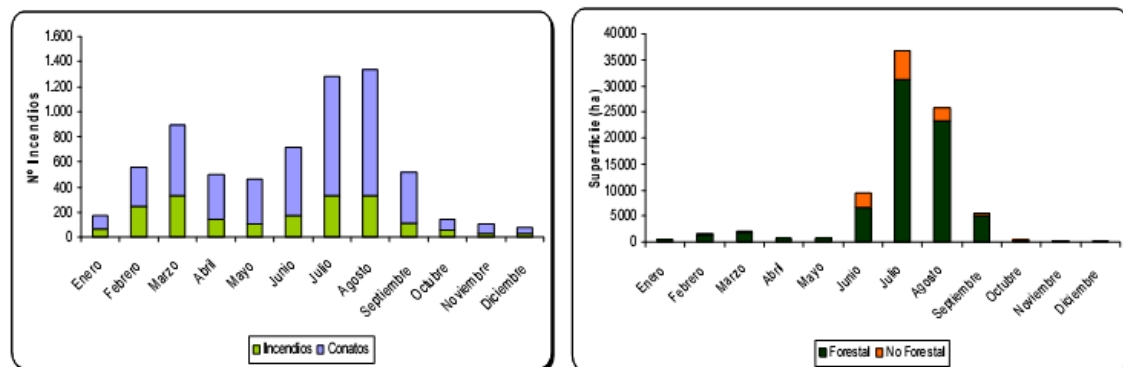


Figura 8.- Estacionalidad de frecuencia del nº incendios forestales (izda.) y superficie quemada (dcha.) durante el periodo 1991-2008 en Aragón

Un segundo pico o máximo relativo en el número de incendios se produce al final del invierno- principios de primavera, siendo frecuente que el mes de marzo supere al de junio en el número de incendios. En años especialmente benignos (asociados a escasez de tormentas secas en verano), el máximo relativo de finales de invierno se convierte en máximo absoluto.

Más del 70 % de los incendios que se originan se quedan en simples “conatos” (afectando a menos de 1 hectárea), lo que denota la rapidez de actuación. El número de incendios de los meses estivales engloban el 50 % del total de incendios pero es durante estos meses cuando se quema el 90 % de la superficie. Ello da idea de que, a pesar de tener en los meses primaverales e invernales un elevado número de incendios, estos adquieren poca intensidad debido a las condiciones climáticas en que se desarrollan, quemando habitualmente muy poca superficie.

Del análisis de los promedios históricos se desprende que la superficie arbolada constituye algo menos del 50 % de la superficie quemada anualmente.

Particularizando la situación en los últimos años, en concreto en el período 1994-2008 se observa cómo esta tendencia creciente en el número de incendios no se ha detenido, y cómo es un comportamiento común en las tres provincias, algo más agudizado en la de Zaragoza.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	media 01-10
HUESCA																	
Nº INCENDIOS	69	88	93	124	133	77	90	83	87	227	120	99	85	98	82	124	105
SUPERFICIE TOTAL (ha)	124	350	202	311	1.704	3.542	969	327	207	484	1.708	146	88,63	69,01	73,09	59	761
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	45	46	22	93	1.298	1.717	182	188	67	95	1.339	80	22	13	8	157	371
ZARAGOZA																	
Nº INCENDIOS	107	71	113	137	170	175	226	134	202	276	183	197	184	224	186	219	199
SUPERFICIE TOTAL (ha)	112	97	244	112	426	943	446	1.083	777	1.043	370	184	2.337,70	9.879,50	998,87	68	1.806
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	46	11	104	39	138	240	282	416	346	540	170	39	1.940	4.790	528	448	929
TERUEL																	
Nº INCENDIOS	86	82	123	105	114	154	108	118	132	208	110	119	82	121	75	99	123
SUPERFICIE TOTAL (ha)	20	28	230	173	439	85	92	76	251	590	79	1.531	62,01	9.699,90	72,08	75	1.254
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	8	19	49	100	252	63	55	17	185	193	49	622	20	7.972	37	296	921
ARAGON																	
Nº INCENDIOS	262	241	329	366	417	406	424	335	421	711	413	415	351	443	343	442	426
SUPERFICIE TOTAL (ha)	256	475	676	595	2.570	4.570	1.508	1.486	1.235	2.117	2.157	1.860	2.489,34	19.648,41	1.144,04	201	3.821
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	100	76	174	232	1.689	2.019	518	621	598	828	1.558	741	1.983	12.775	574	901	2.221
Superficie media	0,98	1,97	2,05	1,63	6,16	11,26	3,56	4,44	2,93	2,98	5,22	4,48	7,09	44,35	3,34	0,45	9
ESPAÑA																	
Nº SINIESTROS	16772	22319	22338	18237	24118	19547	19929	18616	21394	26269	16355	10932	11656	15642	11722	10.655	17.206
SUPERFICIE TOTAL (ha)	59.825	98.503	132.813	82.216	188.586	93.298	107.472	148.172	133.171	179.851	148.827	86.113	50.321,43	119.892,00	54.769,88	84.490	112.189
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	10.538	21.326	42.959	24.034	46.138	19.363	25.197	53.673	51.711	70.380	69.340	29.403	8.443	40.393	10.185	18.363	37.809
SUPERFICIE MEDIA	3,57	4,41	5,95	4,51	7,82	4,77	5,39	7,96	6,22	6,85	9,10	7,88	4,32	7,66	4,67	7,93	6

Tabla 6.- Tabla número de incendios en España y en las provincias de Aragón. Periodo 1996-2011.

La especie forestal más afectada por los incendios en Aragón es *Pinus halepensis*, con un 34 % del total quemado. Las especies que le siguen son *Pinus sylvestris* con un 27 % y *Pinus nigra* con un 21 %. Estas tres especies suponen más de un 80 % de la superficie quemada en Aragón. Estas especies se ven afectadas especialmente porque proceden de una repoblación mal planificada, ya que se plantan grandes superficies con el mismo tipo de árbol sin tener en cuenta la resistencia que tienen frente a los incendios.

2.5.3 Situación actual

El aumento del fenómeno de los grandes incendios es debido a la combinación de dos fenómenos que a su vez responden a causas diferentes; por un lado, el aumento del riesgo de ignición como consecuencia del creciente uso terciarios de los espacios rurales y el aumento de la interfaz urbano-forestal y, por otro, el aumento del riesgo de propagación debido a la falta de gestión del paisaje rural tras el abandono de las actividades agrarias, lo que ha aumentado las cargas y continuidad horizontal y vertical del combustible en forma de biomasa.

Aragón posee 4.771.996 hectáreas de las que 2.608.312 pertenecen al ámbito forestal y 1,2 millones son arboladas. A su vez, el 51 % de este territorio forestal pertenece a propietarios privados. Cualquier actuación global que se desarrolle debe ser suficientemente flexible como para integrar sector público y privado.

Si nos centramos en el gráfico anterior (Figura 14), dónde se relacionan los datos de superficie afectada y número de siniestros en la Comunidad Autónoma de Aragón, observamos una situación alarmante a principios de la década de los años 90, debido a la gran cantidad de superficie quemada ante el número de siniestros acontecidos, esto nos da idea de la gravedad causada por los grandes incendios sufridos.

Sin embargo, en los últimos años de la década de los 90 se produce un cambio importante de la superficie afectada por el número de incendios. Aunque el número de siniestros se mantiene en las cifras anteriores, en cambio la superficie quemada desciende de manera considerable.

A partir del año 2000 se observa como el número de siniestros aumenta y en consecuencia la superficie quemada se incrementa, pero sin alcanzar las cifras escalofriantes de principios de los años 90. Aunque en el año 2009 se produce una circunstancia insólita en los últimos años, causada por un gran incremento de la superficie quemada sin aumentar el número de siniestros respecto a la tendencia de los últimos años. Lo que nos indica el daño que ocasionan los grandes incendios y la importancia de evitarlos antes de que se extiendan de manera incontrolable.

Para entender la preocupación por evitar los grandes incendios debido a la enorme transcendencia que generan en la vegetación, que nos ayuda a conservar el suelo y a evitar la erosión, simplemente decir, que se quemaron más de 6.000 hectáreas forestales en el incendio que da pie a este trabajo (22.588 hectáreas en todo Aragón), que corresponde a la mayor superficie quemada en Aragón en los últimos 20 años, excepto la del año 1994 en la que se quemaron 32.457 hectáreas.

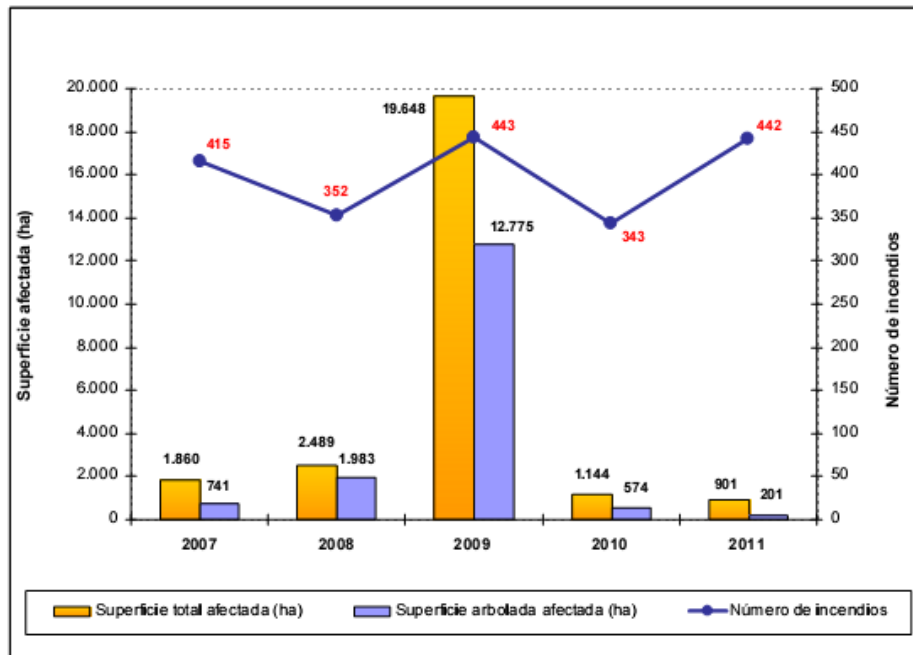


Figura 9.-Evolución del número de incendios y de la superficie afectada en Aragón en los últimos años.

La gran acumulación de combustible en los montes aragoneses, fruto de diferentes factores, ha tenido una importancia capital en la propagación de los incendios de 2009.

A esta excesiva acumulación han contribuido durante años diferentes factores, entre ellos, se destaca:

- Cambios sociales iniciados a mediados del siglo pasado que se concretaron en el abandono de un porcentaje importante de la población del medio rural con el consiguiente abandono de la actividad rural a todos los niveles y muy especialmente del agrícola y ganadero.
- Cambios en los sistemas de suministro de energía (generalización de energías alternativas al de la leña tradicional como por ejemplo la bombona de butano).

Ante esta situación las principales medidas a desarrollar deben centrarse en:

- Dosificar la carga de combustible. Para ello se pueden plantear las siguientes acciones:
 - Recuperar usos tradicionales del sector rural, especialmente agricultura y ganadería.
 - Potenciar el aprovechamiento de los recursos forestales muy especialmente en forma de biomasa como fuente de energía alternativa.
 - Intervenir de forma generalizada en todas las masas forestales que lo precisen previa elaboración de documentos que planifiquen las actuaciones.

- Preparar el combustible para que el operativo de extinción disponga de oportunidades desde donde plantear el ataque con seguridad.

- Concienciar a la población para que adopte conductas responsables. A este respecto es interesante recordar que, conforme a promedios históricos, aproximadamente la mitad de los incendios que se producen en Aragón anualmente, responden a negligencias o causas accidentales, directamente derivadas de la acción humana.

2.6 Situación en Zaragoza

Vamos a explicar la situación actual en la provincia de Zaragoza, con motivo de ver la tendencia seguida en los últimos años, en la zona donde ocurrió el incendio.

Al igual que para el territorio nacional, en Zaragoza también se incrementaron el número de siniestros hasta alcanzar el máximo en el año 2005, a partir de este años se observa como disminuyen notablemente pero sin alcanzar los valores que había antes del año 2000, dónde no se alcanzaban los 140 siniestros por año. En el período que va del 2006 al 2008, la media de siniestros acontecidos en Zaragoza se mantiene estable, entre 180 y 200 siniestros por año (Figura 7).

	2007	2008	2009	2010	2011	media 01-10
HUESCA						
Nº INCENDIOS	99	85	98	82	124	105
SUPERFICIE TOTAL (ha)	146	88,63	69,01	73,09	59	761
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	80	22	13	8	157	371
ZARAGOZA						
Nº INCENDIOS	197	184	224	186	219	199
SUPERFICIE TOTAL (ha)	184	2.337,70	9.879,50	998,87	68	1.806
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	39	1.940	4.790	528	448	929
TERUEL						
Nº INCENDIOS	119	82	121	75	99	123
SUPERFICIE TOTAL (ha)	1.531	62,01	9.699,90	72,08	75	1.254
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	622	20	7.972	37	296	921
ARAGON						
Nº INCENDIOS	415	351	443	343	442	426
SUPERFICIE TOTAL (ha)	1.860	2.489,34	19.648,41	1.144,04	201	3.821
SUPERFICIE ARBOLADA (ha)	741	1.983	12.775	574	901	2.221
SUPERFICIE MEDIA	4,48	7,09	44,35	3,34	0,45	9

Tabla 7.- Resumen del número de incendios en las provincias de Aragón. Periodo 2007-2011.

La superficie afectada también va en aumento hasta el año 2005, después se observa una disminución importante durante los años 2006 y 2007, que dan paso al año 2008 dónde la superficie quemada es ampliamente superior al peor de los años anteriores.

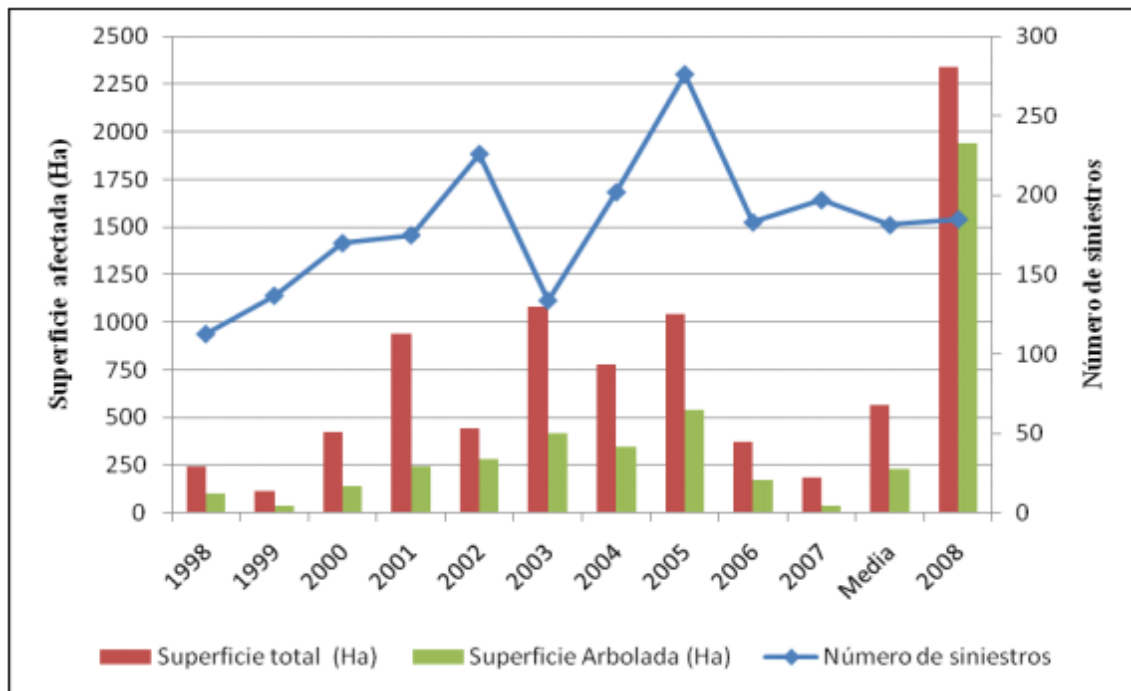


Figura 10.-Evolución de la superficie afectada y del nº de siniestros en Zaragoza. Periodo 1998-2008.

3 - CAUSAS DE LOS INCENDIOS FORESTALES

3.1 Antecedentes

Las causas que provocan los incendios forestales pueden ser de diversa naturaleza, en ocasiones se deben a actitudes accidentales, otras a actividades negligentes, pero en demasiadas ocasiones se deben a actitudes dolosas provocando, en todo caso, graves daños para el medio natural y, en ocasiones, para las personas y bienes privados.

En los casos en los que detrás de la causa del origen del fuego hay una intención clara de quemar el monte, debemos ser capaces de impulsar la técnica que nos permita identificar motivos, inquietudes o las pretensiones que llevaron al autor a provocar el siniestro. Solo partiendo de este conocimiento se puede identificar el origen del problema en busca de las medidas preventivas y a la conciliación de intereses entre los colectivos implicados.

La prevención de los incendios forestales se define como el conjunto de actividades que tienen por objeto eliminar o reducir la probabilidad que se inicie un fuego, así como conseguir que los efectos del incendio una vez iniciado sean mínimos.

Por esta razón, la primera tarea para desarrollar cualquier línea preventiva es el conocimiento preciso de las causas reales que están provocando los incendios. En España solamente hay un tipo de causas reales que están provocando los incendios: el rayo. El resto de causas están directamente relacionadas con las actividades humanas,

en algunas ocasiones por actividades accidentales, en algunas otras por negligencias y en otro gran número de ellas porque se prende fuego en el monte con una intención clara, buscando algún tipo de interés directo o indirecto para el causante.

Es por esta razón que la prevención no solamente debe actuar sobre el medio sino que también debe actuar sobre el comportamiento de las personas en el monte, para que o se utilice el fuego de manera que pueda dar lugar a un incendio. En base a esto, los trabajos preventivos se orientarán, por un lado, a la educación ambiental de la población, por otro, a la conciliación de intereses y por último a la sanción de las infracciones tanto negligentes como intencionales.

3.2- Causas de los incendios en España

Hay dos grandes tipos de causas en España:

- 1- Causas estructurales: Son aquellas que dependen de factores intrínsecos del propio medio natural, es decir, condiciones permanentes, ecológicas y sociales.
- 2- Causas inmediatas: Las que se derivan de comportamientos antrópicos o de agentes naturales.

Las actividades que actualmente se consideran en España como causantes de incendios son las siguientes:

- Causa natural, Rayos.
- Accidentes o negligencias.
- Incendios intencionados.
- Fuegos reproducidos.

De forma general, los accidentes y negligencias se clasifican en los siguientes tipos de causas:

- Quemadas agrícolas.
- Quemadas para regeneración de pastos.
- Trabajos forestales.
- Hogueras para comida, luz o calor de excursionistas o transeúntes.
- Provocados por colillas de fumadores.
- Quemadas incontroladas de basuras.
- Quema de matorral.
- Provocados por ferrocarril.
- Provocados por líneas eléctricas.
- Motores y máquinas.
- Maniobras militares.

En nuestro país la mayor parte de los incendios forestales siguen siendo

producidos por el ser humano. Conocer el origen de la ignición es fundamental para la prevención de estos siniestros. Sin embargo, aún se sigue desconociendo el origen de aproximadamente un 20% de los mismos.

Descripción de causas según EGIF	Nº Incendios	Porcentaje
Intencionado	128.591	62,11
Causa desconocida	33.791	16,32
Quema agrícola (Sin especificar)	7.736	3,74
Rayo	7.584	3,66
Otras negligencias (Sin especificar)	4.946	2,39
Quema para regenerar pastos (Sin especificar)	4.820	2,33
Incendio reproducido	2.860	1,38
Fumadores	2.572	1,24
Trabajos forestales	2.453	1,18
Quema de basuras	2.098	1,01
Motores y máquinas (Sin especificar)	1.969	0,95
Otras causas	1.600	0,77
Líneas eléctricas	1.513	0,73
Hogueras	1.448	0,70
Escape de vertedero	1.257	0,61
Ferrocarril	1.025	0,50
Quema de matorral (Sin especificar)	648	0,31
Maniobras militares	112	0,05
Totales	207.023	100

Tabla 8.-Número de incendios por causas. Periodo de estudio 1995-2004

Para los incendios con causa conocida, según los datos del MARM, se sabe que más del 60% de los siniestros del decenio 1996-2005 fueron intencionados, un 17% fueron producidos por negligencias o accidentes, un 4% por rayos, y un 1% reproducidos.

Estos expertos han desarrollado un modelo que predice el riesgo a largo plazo de que en un determinado municipio haya un alto número de incendios causados por la acción humana. Los factores humanos están presentes en el 90% de los incendios declarados en España.

La existencia de conflictos y tensiones sociales –derivados en muchos casos de la situación económica -también es un factor analizado. Por ejemplo, en España existen casos en los que se ha demostrado la necesidad de acumular peonadas para acceder al cobro del paro, lo que ha llevado a algunos contratados temporales que formaban parte de las cuadrillas a incendiar el monte para asegurarse una nueva contratación en la siguiente temporada, si en esa no había habido incendios.

A todo ello se suma el abandono agrario (medido en este caso como el paso de suelo agrícola a forestal), que contribuye a crear situaciones de peligro, como se ha visto anteriormente.

3.3- Causas de los incendios en Aragón

La mayoría de los incendios forestales que se producen en Aragón (el 45%) son causados por negligencias y por las mal llamadas “causas accidentales”, denominación

poco precisa que engloba a incendios causados por maniobras militares, líneas eléctricas o ferrocarriles. El segundo gran grupo de causas de incendios, que diferencia a Aragón de buena parte de las demás comunidades autónomas españolas, es el formado por las causas naturales, como el rayo como agentes causal en el 32 %) de los siniestros. Son escasos los incendios intencionados (7 %), y si bien es cierto que su porcentaje ha aumentado en los últimos años, ello se debe más bien a un cambio en los criterios de clasificación, puesto que en esos años se ha pasado a incluir en esta categoría a los incendios originados por quemas agrícolas abandonadas antes de su extinción, cuando antes se consideraban dentro del grupo de las negligencias.

Los incendios cuya causa se desconoce alcanzan el 16% del total, si bien en los últimos años esta proporción ha descendido, lo que se puede atribuir a un esfuerzo en la investigación de causas: 8% en 2007, 3% en 2006 o 4% en 2005.

Las proporciones por grandes grupos de causas en el período 1991-2008 se muestran en el gráfico siguiente:

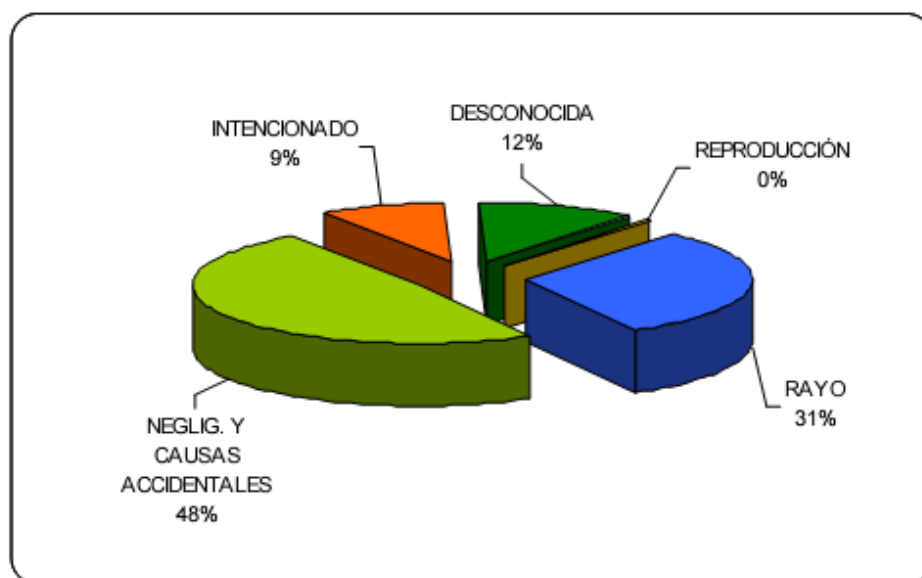


Figura 11.- Incendios por causas en Aragón. Período 1991-2008.

Resulta evidente que si el indicador más creciente es el número de incendios, las estrategias que debieran adoptarse de manera prioritaria para la prevención deben atacar a las causas que provocan más incendios. La conclusión del análisis de la causalidad es clara: las dos estrategias prioritarias debieran ser acciones normativas y sancionadoras, formativas y divulgativas en el caso de las negligencias, y trabajos de selvicultura preventiva en el caso de los rayos.

En el año 2009, en Aragón el fuego ha arrasado más de 22.000 hectáreas, lejos de las 32.000 que ardieron en 1994, pero la cifra más alta de los últimos catorce años. Ante esta situación, CCOO se ha dirigido al Gobierno de Aragón, a través del Departamento

de Medio Ambiente, para que se aborde, de manera global y gradual, un cambio de modelo que aboque en la prevención la mayor parte de sus esfuerzos, consistentes en evitar las causas que originan los incendios y no solo en invertir ingentes esfuerzos económicos y humanos en controlar los ya iniciados.

En definitiva, la causa principal del incendio puede ser muy diferente de unas regiones a otras y por tanto las políticas de prevención deben también serlo. Esto obliga a diseñar políticas de prevención basándose en la problemática local. La investigación de las causas de los incendios se hace por tanto una labor de máximo interés, para que las políticas de prevención sean lo más adecuadas y ajustadas en cada región, localidad o parque natural (Mataix-Solera y Cerdà, 2009).

4- CONSECUENCIAS DE LOS INCENDIOS

4.1 Problemática de los incendios forestales

Los daños causados por los incendios forestales no son solo económicos, como la pérdida de materias primas, madera, corcho, resinas, etc., sino también ambientales. La destrucción de la vegetación por el fuego facilita los procesos erosivos con pérdida de suelo y perturbación del régimen hidrológico. La vegetación es considerada el factor más importante en el control de la escorrentía y la erosión. La emisión de CO₂ es otro de los perjuicios añadidos (Problemas medioambientales; Atlas Nacional de España, MOPT. 1992).

Los incendios forestales por tanto, inciden negativamente sobre el medio ambiente y en particular sobre el ecosistema afectado, siendo necesaria una evaluación rigurosa del daño ocasionado para emprender acciones efectivas que permitan su regeneración. En este sentido entendemos que el suelo, como componente fundamental de este ecosistema, puede llegar a sufrir modificaciones importantes en sus propiedades físicas, químicas y biológicas que impidan o retarden el crecimiento de la vegetación y por tanto su recuperación. Estas alteraciones pueden favorecer la degradación del ecosistemas, hasta tal punto que muchos investigadores la reconocen como una de las causas actuales de la desertificación (Rubio, 1987).

4.2 Efectos generales sobre el ecosistema

Los incendios forestales provocan contaminación térmica temporal a todos los componentes del ecosistema, emiten partículas nocivas a la atmósfera y compuestos que contribuyen al calentamiento global del planeta (Rodríguez, 1996).

Es evidente que los incendios forestales inciden negativamente en el cambio climático, en tanto la vegetación es un sumidero natural de CO₂.

La eliminación de la cubierta vegetal implica una alteración en el microclima del bosque, también llamado ecoclima por algunos autores. La existencia de un bosque en comparación con un lugar descubierto provoca que su microclima sea: menos luminoso, con reducción de hasta el 90%; menos caluroso, con disminución de unos 4°C en la temperatura media anual; menos ventoso, con reducción de la velocidad del viento a la cuarta parte; más húmedo, con un aumento medio del 10%. En definitiva unas circunstancias diferentes y que, por consiguiente, permiten que la vida, tanto cualitativa como cuantitativamente, se desarrolle de forma distinta (Parde, 1978).

Los distintos tipos de incendios (aéreos o de copas, los superficiales y los de subsuelo), inciden de forma distinta y claramente negativa sobre las propiedades mencionadas (Ubeda et al., 1990; Greene et al., 1990; Imerson 1992), sin embargo la intensidad de la afección estructural puede ser cuantitativamente diferente según su tipología. Los incendios de subsuelo, también llamados fuegos de humus son los menos frecuentes en España, sin embargo sus consecuencias ecológicas son gravísimas, al quemar raíces de plantas, con lo que ocasionan su muerte (Doctor Cabrera, 1991), y afectan directamente a numerosas propiedades del suelo importantes para su fertilidad y resistencia frente a agentes erosivos.

Como consecuencia del incendio, el suelo sufre el impacto de diversos factores, como son el calor, la destrucción de parte de la fauna y microorganismos, la exposición directa a los agentes ambientales al desaparecer la cubierta vegetal, la acumulación de cenizas y la modificación del microclima. El incendio, a través de estos factores, ejerce una acción traumática que modifica las propiedades del suelo en distinta medida según la frecuencia, tipo de fuego y situación edafológica y ecología particular de la zona.

Cuando un incendio es muy intenso, además de producirse la quema del carbono orgánico, se da una reducción del nitrógeno por combustión de sustancias orgánicas nitrogenadas y una mineralización de elementos fertilizantes contenidos en los residuos vegetales (Ortiz, 1990). El aumento de la pérdida de nutrientes, suelo y agua tras los incendios según algunos autores es alarmante (Sanroque & Rubio, 1982; Brown, 1990; Senvik, 1988; Sanroque et al., 1985; Cerdá et al., 1995).

En áreas con clima mediterráneo y especialmente en aquellas zonas con mayores déficits de tipo estacional, la acumulación de materia orgánica es lenta, tanto por la escasa productividad de los biogeocenosis como por la más rápida mineralización de los restos orgánicos depositados en el suelo. Por estas razones, cualquier proceso que tienda a disminuir el contenido de materia orgánica y humus es francamente peligroso en lo que respecta a la estabilidad de los ecosistemas edáficos (pérdida de estructura, efecto protector frente a la erosión de la primitiva hojarasca, etc.).

La pérdida de la cubierta vegetal, incrementa el riesgo de aceleración de los procesos erosivos. La cubierta vegetal juega un papel muy importante en la estabilización de pendientes y en aumentar la estabilidad de agregados (Thorne, 1990; Da Silva & Mielniczuk, 1997).

En algunas comunidades, la mayoría de los incendios y los más importantes se producen en verano, mientras que las lluvias más intensas y de mayor volumen se producen en otoño. Esta coincidencia tiene una importante repercusión en nuestros ecosistemas, ya que episodios catastróficos como los de 1982 y 1987 pueden dar lugar a la pérdida de una parte relevante de la cubierta edáfica (Calvo, 1987).

El efecto principal de una estructura pobre sobre un suelo, se manifiesta por las consecuencias sobre la inestabilidad de la superficie, la compactación del suelo y la presencia de zonas anaeróbicas. La importancia de la estructura es considerable: una estructura adecuada, no solamente favorece la aireación y permeabilidad del suelo permitiendo la penetración de sus raíces, sino que también juega un papel importante en la resistencia del suelo a la erosión. Esto resulta evidente, y un suelo cuyas partículas estén adecuadamente ligadas entre sí resistirá mejor los efectos mecánicos de disgregación y arrastre provocados por la erosión hídrica y eólica. Los incendios forestales pueden provocar que los horizontes superficiales del suelo sean más frágiles (Úbeda et al., 1990; Cerdá, 1993b).

Al hablar de la estabilidad de la estructura nos referimos a la resistencia de los agregados del suelo frente a acciones desintegradoras. Un aumento de la proporción de agregados estables se refleja en una mayor capacidad de retención de agua y por otra parte, la mejora de la estructura se traduce en una mayor resistencia del suelo frente a los agentes erosivos.

En relación a la fertilidad del suelo conviene recordar que ésta depende de múltiples factores. No es suficiente que el suelo disponga de gran cantidad de nutrientes en formas disponibles para las raíces de forma inmediata; es indispensable una reserva de elementos movilizables a medio y largo plazo a efectos del mantenimiento de la fertilidad y ello exige la presencia de una proporción equilibrada de materia orgánica, de valores adecuados para las propiedades físicas del suelo y del mantenimiento adecuado de sus propiedades biológicas.

El fuego modifica las propiedades del suelo, en mayor o menor grado, dependiendo de su intensidad y estas alteraciones repercuten en la fertilidad natural. La intensidad del fuego juega un papel en la liberación de nutrientes, y puede ser importante su repercusión a largo plazo en la productividad del suelo (Johnston & Elliott, 1998).

4.3. Efectos sobre el suelo

4.3.1 Introducción

Cuando se produce un incendio, los efectos más evidentes se observan sobre la vegetación, que resulta totalmente destruida, al menos en su biomasa aérea. Sin embargo, su capacidad de recuperación suele ser muy notable, sobre todos en los ecosistemas de tipo mediterráneo, en los que el fuego constituye un factor ecológico bastante frecuente. Por otra parte, los efectos de los incendios sobre el suelo pueden ser menos espectaculares, pero modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste, en función de las características edáficas y de la intensidad y duración del fuego, por lo que condicionarán la regeneración de la comunidad vegetal.

Podemos dividir el impacto del fuego sobre el suelo en dos fases:

1. Una primera fase correspondería al momento del incendio, en la que se produce una brusca transformación del medio edáfico y que cambia las características físicas, química y biológicas simultáneamente.
2. Una segunda fase que comprende desde los momentos posteriores al incendio hasta que el suelo comienza a recuperarse. La duración de esta segunda fase puede ser muy variable, pudiendo incluso no haber punto de retorno si el proceso de degradación avanza de forma autoinducida.

El fuego afecta el ciclo de los nutrientes directa o indirectamente. Algunos nutrientes se pierden directamente durante la quema por el vuelo de cenizas acarreadas por el viento, o por su volatilización en forma gaseosa (N, S). Indirectamente, porque después del paso de las llamas, se incrementan erosión y lixiviación, se merma la materia orgánica, hay cambios en las comunidades microbianas, efectos en la habilidad de los árboles para competir exitosamente por ellos (Perry, S.F.; en Rodríguez, D.A., 1996).

Dependiendo de su severidad, el fuego puede alterar varias propiedades del piso forestal (materia orgánica parcial o totalmente descompuesta), y del suelo, que afectan al movimiento del agua dentro y sobre éste, y su susceptibilidad a la erosión (McNabb y Swanson, 1990; Beschta, 1990; en Rodríguez, D.A., 1996).

En términos simples, y con base en diversas investigaciones realizadas por otros autores, los incendios intensos y extensos aumentan el peligro de erosión, mientras que en los poco intensos y de menor extensión, así como en las quemaduras prescritas de baja intensidad, la erosión producida puede quedar dentro de límites aceptables.

Los sedimentos se incrementan debido a las cenizas (y partículas de suelo) transportadas, efecto que dura entre uno y tres años. El transporte de N se incrementa

de 0,01 a 5 kg/ha/año, hasta 2,1 a 16 kg/ha/año (Barney et al., 1984; en Rodríguez, D.A., 1996).

Cuando el piso forestal se quema, algunos compuestos orgánicos son parcialmente volatilizados; muchos se pierden en forma de humo, pero otros se mueven hacia abajo del suelo por convección, condensándose en la superficie de las partículas de suelo más frías. Los compuestos de hidrocarburos alifáticos de cadena larga, se cree causan repelencia al agua cuando se condensan en las partículas de suelo. Esta capa repelente reduce la infiltración e incrementa el potencial de escorrentía (y erosión) (De Bano, 1981; citando por McNabb y Swanson, 1990; en Rodríguez, D.A., 1996).

El impacto ecológico es complejo y se da en diversas características de suelo, agua, aire, vegetación y fauna silvestre, pues se alteran las propiedades físicas, químicas y la microbiología del primero, así como la cantidad de agua y su calidad.

La falta de cobertura vegetal implica mayores escorrentías, avenidas y erosión. El aire es contaminado por el humo, que contiene óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono, oxidantes e hidrocarburos, y el bióxido de carbono que producen los incendios, contribuye al cambio climático global. La vegetación es arrasada, si bien se encuentra adaptada al fuego, pero la mucha mayor frecuencia de siniestros originados por el hombre, deriva en su degradación (Rodríguez Tejero, 1996; en Rodríguez, D.A., 1996).

A pesar de que se ha detectado en muchos estudios que el suelo sufre cambios importantes por influencia del fuego: destrucción de materia orgánica, aumento del carbono y nitrógeno por la combustión incompleta, así como el pH por las bases incorporadas, erosión del horizonte superior, etc. también se ha detectado que tras un periodo de regeneración (en alguno casos 18 meses) no se pueden detectar diferencias entre el suelo incendiado y el suelo control (González et al., 1992; citado por Cerdá, 1993).

4.3.2 Efecto sobre las propiedades físicas y químicas

Los incendios forestales afectan a las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo, en función de factores tales como la intensidad del siniestro, humedad del suelo, cobertura vegetal remanente el paso de las llamas, pendiente del terreno, clima, así como las propias características físicas, químicas y biológicas del suelo.

El fuego condiciona la formación de los suelo al modificar el ciclo de los nutrientes (Raison et al., 2009), sus propiedades físicas y químicas (Badía y Martí, 2003a; Úbeda y Outeiro, 2009) y los procesos microbiológicos (Badía y Martí, 2003b; Mataix-Solera et al., 2009).

El efecto del fuego en el suelo va a depender de la temperatura que se alcance en la superficie, de la carga de combustible, del contenido de humedad en el suelo y del clima; antes y después del incendio (Ice et al., 2004). Además, la temperatura alcanzada en el suelo va a depender de la severidad del fuego que está relacionada con dos componentes, como intensidad y duración. La intensidad es la razón por la cual un fuego produce energía térmica y la duración es la que origina el efecto en profundidad en gran medida (Certini, 2005).

Cuando los suelos sufren un incendio, el equilibrio conseguido durante años en los ciclos biogeoquímicos se rompe y los ecosistemas entran en una fase de cambio. Para algunos esos cambios son de recuperación, para otros de degradación (Mataix-Solera y Cerdà, 2009). Estos cambios que se producen en el suelo dependen de un conjunto de propiedades físicas y químicas, ampliamente relacionadas con la movilidad y disposición de los elementos nutritivos, que serán clave en la recuperación del ecosistema a su estado natural.

A continuación se hace una revisión a las características más relevantes y que resultan más alteradas por el paso del fuego.

- a) Modificaciones en el pH.
- b) Modificaciones en la conductividad eléctrica.
- c) Modificaciones en la materia orgánica.
- d) Modificaciones en la capacidad de intercambio catiónico.
- e) Modificación en el contenido y formas de nitrógeno.
- f) Modificaciones en el contenido de fósforo.
- g) Modificaciones de los micronutrientes.
- h) Modificaciones en la textura del suelo y en la fracción mineral.
- i) Modificaciones en el contenido de agregados estables.

4.3.3 Efectos sobre el ciclo hidrológico

El agua que penetra en el suelo llena los huecos de los horizontes superficiales, cumplido lo cual, su velocidad de penetración dependerá de la velocidad con que puede moverse a través de su perfil. La infiltración disminuye rápidamente en relación directa con la profundidad del suelo, y es muy superior en suelos forestales que en los agrícolas. La permeabilidad está definida por los grandes poros a través de los cuales el agua puede moverse por acción de la gravedad. Las razones que favorecen la permeabilidad de los suelos que soportan bosques son, por una parte, la continua incorporación de la materia orgánica al suelo forestal, como consecuencia de la caída de hojas, ramillas, etc., lo que contribuye a que su estructura sea más granular, esta incorporación varía con el tipo de bosque y a lo largo de las estaciones del año (TRAGSA, 1998).

Una cubierta arbórea con tapiz natural no perturbado mantiene la máxima infiltración en una situación dada. La infiltración es mayor en masas arbóreas adultas que en las jóvenes, en los bosques sin pastoreo que en los pastados, en los montes claros que en los rasos.

En cuanto a la escorrentía, la vegetación desempeña un papel fundamental, disminuyéndola, e incrementando la dotación de agua en el suelo.

Además de la alteración de la infiltración y la escorrentía superficial provocada por la eliminación de la cubierta vegetal tras los incendios forestales, el efecto que éstos provocan en determinadas propiedades físico-químicas del suelo contribuye a esta alteración en el ciclo hidrológico de la zona afectada. La formación de sustancias hidrofóbicas y sus consecuencias sobre la disminución de la permeabilidad del suelo y aumento de la escorrentía superficial, consecuencia de la pérdida directa de la cubierta vegetal y de otros efectos indirectos son las más destacables.

a) Formación de sustancias hidrofóbicas

El acúmulo de cenizas minerales y la combustión de materia orgánica, produce una serie de sustancias hidrófobas, sustancias que básicamente son hidrocarburos alifáticos y que se obtienen en mayor proporción por encima de 300 °C. Este efecto contribuye a obturar adicionalmente los poros y potencian, por ello, la reducción de la infiltración y el aumento de la escorrentía superficial (Sanroque et al., 1985; Rubio, 1982; Savage et al., 1972; DeBano, 1981; Ubeda et al., 1990; Greene et al., 1990; Imeson 1992). Estas sustancias generalmente son lavadas en profundidad, y favorecen la formación de un horizonte hidrofóbico (DeBano et al., 1970; Savage, 1974; Giovannini et al., 1983; Scott & van Wyk, 1992; Midoun et al., 1998). Este efecto parece ser más acusado cuando los suelos tienen textura arenosa (Savage et al., 1969; DeBano et al., 1970, 1976). Este proceso contribuye al aumento de la repelencia de los suelos y con ello la reducción de la capacidad de infiltración (DeBano et al. 1967; DeBano, 1971; DeBano & Rice, 1973; Sánchez et al., 1994). En un trabajo realizado por Ruíz del Castillo en 1988, se comprobó tras 9 días de un incendio y justo después de un evento pluviométrico intenso que, comparando muestras de suelo no quemadas con quemadas, estas últimas estaban secas bajo los 3-5 primeros centímetros, mientras que en la zona no quemada el agua había penetrado profundamente hasta el sustrato rocoso de 35 cm.

Como consecuencia de estos hechos, disminuye la humedad del suelo disponible para las plantas (Boyer & Miller, 1994), y si la escorrentía es elevada, tiene lugar una pérdida de materiales (Gonzalez, 1998).

En los casos en los que no se produce la formación de sustancias hidrofóbicas, se ha encontrado que la disminución de la disponibilidad de agua en el suelo se reduce

al horizonte más superficial (Molina & Llinares, 1998), debido a las pérdidas por evaporación al absorber una mayor radiación como consecuencia de las cenizas de color oscuro, y de estar desprovisto de su cubierta vegetal (Muñoz, 1990).

b) Alteración de la infiltración y la escorrentía superficial

Los bosques, sobre todo de especies frondosas, aumentan la humedad ambiental disminuyendo a la vez sensiblemente la evaporación, facilitan la infiltración del agua en el suelo aumentando el caudal de los acuíferos y evitando su vaciado y salinización, evitan o aminoran las avenidas y riadas de agua y barro a consecuencia de las típicas y frecuentes precipitaciones torrenciales de final del verano y principios del otoño, disminuyendo notablemente sus efectos devastadores.

La vegetación determina la generación de la escorrentía al controlar la distribución de las tasas de infiltración (Cerdá, 1995b).

Si tras los efectos del fuego la cobertura vegetal no se recupera favorablemente antes de que se produzcan las primeras lluvias de carácter torrencial, (suele ser el caso de los fuegos típicos de nuestra comunidad), el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo contribuirá a destruir los agregados (Ellison, 1945; Marshall & Holmes, 1988; Moore & Singer, 1990). Las fracciones más finas obturarán los poros reduciendo la velocidad de infiltración (Ela et al; 1992), aumentando la escorrentía superficial (Swanson, 1981) y favoreciendo su arrastre, así como el de los nutrientes y por todo ello, la erosión superficial (Greene et al., 1990; Ubeda et al., 1990; Andreu et al., 1994).

La estabilidad de los agregados en la superficie del suelo es muy importante, ya que los de capas inferiores están protegidos de la humectación rápida por los situados en capas superiores. Los agregados inestables en superficie dan lugar a la formación de costras que inhiben el movimiento del agua y del aire en el suelo. Cuando un suelo pierde capacidad de infiltración de agua, paralelamente aumenta la proporción de agua de arrastre superficial o escorrentía (Llovet, 1994), con lo que pueden incrementarse notablemente los efectos de la erosión. En laderas de pendiente escarpada, la lluvia puede desencadenar un proceso erosivo que conduzca a la desaparición del suelo y deje al descubierto la roca subyacente.

Existen trabajos que indican que la orientación de las laderas también influye en las tasas erosivas en zonas afectadas por incendios forestales, siendo las situaciones de solana a medio plazo, las que experimentas una mayor erosión (Llovet & Ponce, 1996). La explicación a este hecho apunta en la dirección de la menor capacidad de recuperación de solanas.

La reducción de la velocidad de difusión del oxígeno puede ser crítica para la germinación de semillas y puede dar lugar a la formación de zonas anaeróbicas que alteren el estado químico y microbiológico del suelo. Las costras superficiales secas

pueden constituir una barrera mecánica de considerable importancia frente a la emergencia vegetal.

En relación con las propiedades físicas del suelo y conociendo su interrelación, la variación de una de ellas lleva consigo modificaciones en todas las demás. La pérdida de la estabilidad de agregados nos da una medida de la degradación de un suelo, ya que las otras propiedades (retención de agua, capacidad de aireación, resistencia a la erosión, etc.) sufren también pérdida. Por el contrario, una ganancia en la estabilidad de agregados es, a su vez, una medida del avance en cuanto a la regeneración de un suelo.

Los cambios en las tasas de escorrentía e infiltración (Tabla anterior) son principalmente determinados por la gradual restauración de la vegetación tras los incendios (Cerdá, 1998a; Marcos et al., 1996). La incidencia de la erosión hídrica dependerá también de las características intrínsecas del incendio, la lluvia y de las propiedades del perfil edáfico (Andreu et al., 1996).

5 – LA EROSIÓN DE LOS SUELOS

5.1 Introducción

La erosión es un proceso dinámico, complejo y endémico en la mayor parte de España, que se ha visto acelerado en diversas etapas históricas por una gestión y un uso deficientes o inadecuados de los sistemas vitales – suelo, agua y vegetación – así como también por los incendios forestales, que destruyen total o parcialmente la cubierta vegetal protectora. La pérdida de suelo puede ocasionar, por un lado, una moderada disminución del potencial biológico o productivo, y por otro lado, una moderada disminución del potencial biológico o productivo, y por otro lado, inducir a ecosistemas pobres y frágiles. La conjunción de ambos procesos puede ocasionar la ruptura del equilibrio ecológico y conducir inexorablemente a la desertificación del territorio (Bermúdez, 1993).

El proceso erosivo se caracteriza por un frágil equilibrio en los ambientes mediterráneos y desérticos, por la progresión del proceso, y la irreversibilidad de los efectos de la erosión (Roquero, 1987).

El nivel de erosión que sufren las áreas quemadas tras los incendios varía en función de múltiples parámetros. Entre ellos, la severidad del fuego, que describe el impacto de éste sobre la vegetación. Se relaciona, por tanto, con la capacidad del medio para recuperarse ya que afecta a la cantidad de semillas y órganos resistentes que puedan quedar tras el paso de las llamas, menor a mayor severidad (Ryan, 2002). La pendiente, que aumenta la fuerza de la escorrentía superficial, facilitando el

arrastre del suelo, y dificulta el asentamiento de las semillas (García-Fayos et al., 2000). La orientación, cuya influencia en el microclima es básica en zonas áridas (Pierson et al., 2002). Finalmente, el tipo de regenerado tras el fuego, proporción de herbáceas y leñosas.

Definición

Erosión es la pérdida de espesor del suelo con un deterioro y disminución de materia orgánica y arcilla, que son los componentes más finos y activos desde el punto de vista físico-químico. La erosión afecta a la física, a la química y a la biología del suelo.

El termino erosión, etimológicamente, proviene del verbo latino “erodere”, que significa roer. Se refiere al desgaste de la superficie terrestre bajo la acción de los agentes erosivos, siendo los principales, en muestras latitudes, el agua y el viento (Ortiz, 1990).

Erosión en España. Erosión en tierras marginales.

La erosión en estas tierras es muy importante. Las tierras marginales son aquellas donde la temperatura y condiciones geomorfológicas, así como las débiles precipitaciones, limitan la productividad biológica natural.

En el ámbito español, estos espacios con diversos grados de aridez se extienden por las zonas conocidas como secano. Son zonas ecológicamente frágiles, por tanto, éstas tierras marginales españolas, requieren una gestión particularmente atenta y cuidadosa (Bermúdez, 1993).

Magnitud del problema.

El fenómeno de la erosión afecta a todo el territorio español con un mayor o menor grado de severidad. Las variaciones en la amplitud e intensidad del proceso se deben por un lado a las condiciones climáticas, topográficas y edáficas, así como a la vegetación; mientras que por otro lado depende de los sistemas de explotación del suelo, y de la intensidad de la presión humana y animal que se ejerce sobre los recursos naturales.

Debido a la complejidad de los suelo y a las interrelaciones que tiene el recurso con los medios físico y biológico, ocurre que el fenómeno de la erosión es muy vulnerable al mal uso y gestión.

España ha sido calificada en repetidas ocasiones por las Naciones Unidas, como el único país europeo con muy alto riesgo de desertificación por erosión de sus suelos (Bermúdez, 1993).

Daños ocasionados por erosión.

Daños generales.

Los daños y pérdidas por erosión son múltiples, y pueden diferenciarse en daños en el sitio y daños fuera del sitio. Como daños más comunes pueden mencionarse:

- Pérdidas de nutrientes y mayor necesidad de fertilizante.
- Pérdidas de suelo, reducción y pérdida del horizonte A, con su alto contenido en materia orgánica.
- Daños en infraestructuras, por ejemplo en represas hidroeléctricas, carreteras, sistemas de drenaje, etc.
- Daños ecológicos; por ejemplo en ríos, lagos, litorales. Que se deben al aumento de la concentración de los sólidos en suspensión, así como mayores concentraciones de nutrientes y plaguicidas.
- Mayores problemas de inundaciones en las llanuras.
- Degradación general del ambiente.

Daños en el suelo

En la península ibérica se producen durante el verano la gran mayoría de los incendios forestales, en esta época la humedad del combustible es mínima y las temperaturas son elevadas. Durante el otoño las precipitaciones en forma torrencial son muy frecuentes, lo que facilita el hecho de sufrir procesos intensos de erosión, especialmente durante los dos primeros años tras el fuego. Lapso de tiempo en el cual no se desarrolla completamente una cobertura vegetal lo suficientemente extensa como para impedir dichos procesos (De las Heras et al, 1993).

Factores que influyen en la erosión

Los suelos afectados por el fuego sufren modificaciones macromorfológicas, éstas son más acusadas cuanto mayor ha sido la intensidad del fuego (González et al, 1991). Con lo cual, al sufrir la pérdida del recubrimiento vegetal y las capas de mantillo, el suelo queda desprotegido frente a la acción de agentes externos (Badía, 1994). Esto nos lleva a una pérdida de suelo que puede depender de varios factores, destacando la acción del agua y del viento. Esta pérdida se da por un movimiento de masas y disolución en pendientes pronunciadas, dependiendo de los distintos materiales litológicos, así como de la acción humana y del suelo (Hernando et al, 1991).

Existe también una influencia del clima sobre la erosión, debida a una importante irregularidad espacio-temporal de las precipitaciones, así como a la torrencialidad de éstas (Bermúdez, 1993).

Influencia del fuego

El fuego afecta a las propiedades físicas del suelo; aumenta la compactación, disminuyendo la capacidad filtrante, puesto que se genera una repelencia respecto al agua al formarse compuestos hidrófobos y al destruirse la estabilidad estructural.

Numerosos autores han detectado descensos importantes en los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total, y fósforo acumulable; debido a los intensos procesos de oxidación que tienen lugar durante el fuego, y que transforman la fracción orgánica del suelo en óxidos y carbonatos, que normalmente presentan reacción alcalina. Pudiendo verificarse en algunos casos ligeros incrementos en los valores de pH, y del contenido en sales durante los primeros meses tras el fuego.

La destrucción de los complejos arcillo-húmicos libera una gran cantidad de elementos finos, que durante los primeros años tras el fuego conforman el componente cuantitativo de la pérdida de suelos. Esta será de mayor o menor intensidad dependiendo de las características climáticas (cantidad, intensidad, y duración de las precipitaciones durante este periodo), topográficas (existencia de pendientes más o menos acusadas), y edafo-litológicas (diferentes tipos de sustrato) que van a coincidir en la zona afectada por el fuego (De las Heras et al, 1993).

La cubierta vegetal ejerce una acción protectora del suelo, potenciando su pérdida los fenómenos erosivos, con la eliminación de los elementos más finos (González et al, 1991).

La erosión es la forma de degradación del suelo que predomina en los climas áridos, con lluvias escasas, pero violentas y torrenciales y prolongados períodos secos, como ocurre en las regiones de clima mediterráneo.

Las rocas arcillosas y margosas evolucionan por abarrancamiento. Los relieves de cárcavas abundan por todo el ámbito mediterráneo donde falta el bosque, los barrancos progresan rápidamente y retroceden su cabecera a cada temporal importante (Gandullo, 1994).

La erosionabilidad es una característica del suelo que nos refleja su susceptibilidad al arranque y transporte por los agentes de erosión. Está influida por propiedades del suelo tales como tamaño de partículas, estabilidad de agregados, materia orgánica, y por el tipo de arcillas o por características edáficas que afectan a la estructura del suelo, la dispersión y la transmisión de agua (Lal, 1994). El suelo, al formarse, queda expuesto a los agentes atmosféricos dotados de un alto poder erosivo, principalmente la lluvia y el viento. La intensidad de la erosión natural va a

depender de las características climáticas, de la naturaleza del suelo y del material litológico, de la topografía y de la vegetación.

Cuando sólo actúan fuerzas de la naturaleza, a esto fenómenos se les conoce como: erosión geológica, erosión normal o erosión natural. En ella la velocidad de arrastre del suelo es lo suficientemente lenta para que su velocidad de formación por descomposición de las rocas compense las pérdidas sufridas.

Pero si hay una ruptura del equilibrio a favor de las acciones erosivos, el fenómeno se incrementa enormemente. Esta acción acelerada, se debe, en la mayor parte de los casos a la acción humana. A este tipo d erosión se le denomina erosión acelerada o erosión antrópica (Ortiz, 1990). La erosión que durante mucho tiempo ha venido sufriendo el terreno por agresiones repetidas, deforestación, incendios, etc., hace que las condiciones edáficas no se correspondan en absoluto con las que habría de esperar en una situación normal.

La erosión de los suelos es uno de los problemas medioambientales más graves en nuestro país (figura 4). La erosión se ve favorecida por actividades extractivas, la pérdida de la cubierta vegetal como consecuencia inmediata de los incendios forestales (Inbar et al., 1998) y las lluvias torrenciales sobre estos suelos desprovistos de protección física, las talas abusivas, el sobrepastoreo, las quemas de rastrojos, la construcción de obras lineales no protegidas, la roturación y el cultivo en zonas marginales con excesiva pendiente o poco suelo y el laboreo a favor de pendiente.



Figura 12.- Superficie afectada por diversos niveles de erosión

Fuente: Estrategia Nacional para la Conservación de la Naturaleza-ENCINA-(MAPA)

La morfología de las laderas es también un factor muy importantes junto con la cubierta vegetal (Cerdá, 1998b) y la litología (Cerdá, 1997), para determinar la velocidad de erosión y la hidrología de la zona. Una cubierta vegetal consigue reducir considerablemente las pérdidas de suelo (Andreu et al., 1998a).

Las consecuencias de la erosión se manifiestan tanto en el lugar donde se produce como fuera de él (erosión difusa). La redistribución y pérdida de suelo, la degradación de su estructura y el arrastre de materia orgánica y nutrientes, llevan a la pérdida de espesor del perfil y el descenso de fertilidad (Morgan, 1997). La erosión también reduce la humedad disponible en el suelo acentuando las condiciones de aridez.

La pérdida de suelo se expresa, habitualmente, en unidades de peso o volumen por unidad de superficie y tiempo (t/ha/año). Teóricamente se juzga a la severidad de la pérdida de suelo relacionándola con la velocidad de formación de suelo. Si propiedades del suelo, como el nivel de nutrientes, la textura y la profundidad, se mantienen inalteradas a través del tiempo, se considera que la tasa de erosión está equilibrada con la velocidad de formación de suelo.

El proceso de erosión del suelo tiene dos fases consistentes en el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y su transporte por los agentes erosivos, como el agua y el viento. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente para el transporte de las partículas, se produce una tercera fase, su deposición.

El agente más importante para el desprendimiento de partículas es la salpicadura. Como resultado del golpeteo de las gotas de lluvia sobre la superficie de un suelo desnudo, las partículas pueden ser lanzadas por los aires a varios centímetros de distancia. La exposición continua a lluvias intensas debilita considerablemente el suelo.

El suelo también se disgrega por procesos de meteorización. Las corrientes de agua y el viento son otros contribuyentes al desprendimiento de partículas del suelo. Los agentes de transporte lo forman la salpicadura y la escorrentía superficial.

La elevada variabilidad de las cuencas de drenaje en ambientes semiáridos hace que en pocos metros encontremos respuestas hidrológico-erosivas muy diferentes, especialmente cuando la litología es muy fácilmente erosionable. Así, existen suelos con tasas de infiltración estable 20 veces mayores y tasas de erosión de hasta 16500 veces menores separados entre sí unos metros (Cerdá, 1995c).

La cubierta vegetal se presenta como un agente extraordinariamente eficaz en la disipación de la energía cinética de las gotas de lluvia, destacando en este papel, tanto la cubierta próxima al suelo, o en contacto con él, como los restos de vegetación,

ya que el dosel arbóreo, a partir de siete u ocho metros de altura, permite a las gotas recuperar parte de su velocidad terminal de caída y, con ella, energía cinética. La disipación de la energía cinética de las gotas reduce considerablemente la fragmentación de los agregados del suelo.

La pérdida de cubierta vegetal y de los horizontes orgánicos del suelo, como consecuencia de los incendios forestales, pueden acelerar estos procesos erosivos (Sala & Rubio, 1994; Dieckmann et al., 1992), ya que se produce un aumento de la precipitación neta que llega directamente al suelo (Soto, 1993).

5.2 Superficies afectadas por la erosión y su magnitud

Algunos datos son interesantes para tener una idea de la magnitud de este problema en nuestro país y más concretamente en la España mediterránea.

- El 18 % del territorio español se encuentra afectado por procesos erosivos muy graves (erosión alta, muy alta o extrema) (*Estrategia Nacional para la Conservación Integrada de la Naturaleza –ENCINA–* (MAPA, 1995).
- Se estima que anualmente se pierden 67 millones de toneladas de suelo.
- Más de 15 millones de hectáreas de cultivo de secano precisan de alguna técnica de conservación de suelos, siendo especialmente urgente en 6,1 millones de hectáreas.
- Existen problemas de erosión por encima de la media nacional, en Aragón, Extremadura, Madrid, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana, Andalucía y Canarias.
- La cuenca del Guadalquivir es la que presenta una pérdida media de suelo más elevada: casi 45 toneladas por hectárea y año.

La retirada de tierras de labor de la producción ha de realizarse con criterios de mantenimiento de su capacidad productiva, a largo plazo, y con las medidas de gestión adecuadas para evitar la aparición de procesos erosivos.

6 – TRATAMIENTOS DE REHABILITACIÓN POST-INCENDIO

En conclusión, lo que importa destacar es que los incendios forestales, al dejar los suelos desnudos, contribuyen de forma decisiva al incremento de la erosión hídrica, por lo que, además de los daños en la vegetación y en la fauna, al erosionar los suelos, causan daños irreversibles en el medioambiente, lo que, para evitarlos, obligaría a una adecuada gestión tanto para la protección del suelo, como para la restauración de los ecosistemas afectados por los incendios forestales.

6.1 Introducción

La erosión del suelo es, generalmente, el impacto más dramático y visible del fuego en los ecosistemas, después de la eliminación de la vegetación. Las tasas de erosión aumentan generalmente después de incendio debido a la reducción o eliminación de la cubierta vegetal y del suelo que expone el suelo mineral al impacto de la lluvia y reduce su capacidad de infiltración. El fuego puede también afectar a la densidad aparente del suelo, a su porosidad o incrementar la hidrofobicidad lo que contribuye al aumento de las pérdidas de suelo.

Debido a que las mayores pérdidas de suelo después de un incendio tienen lugar en los primeros meses después de éste, es prioritario actuar con rapidez en labores de restauración de la cobertura vegetal. Las medidas de rehabilitación tratan de estabilizar el suelo, controlar el movimiento de sedimentos, mitigando los posibles riesgos a propiedades e infraestructuras. Esos tratamientos no buscan la restauración del ecosistema, sino que son medidas de emergencia para proteger al suelo hasta que la cubierta vegetal se recupere.

En España, donde existe una amplísima experiencia técnica en restauración hidrológico-forestal también se cuenta con una gran cantidad de información y experiencia técnica en tareas de rehabilitación después de grandes incendios especialmente en Levante y Andalucía y también en Castilla-La Mancha y Galicia. Sin embargo, paradójicamente, la cantidad de información disponible sobre la eficacia de esos tratamientos en el control de la erosión post- incendio es muy escasa.

6.2 Eficacia de las técnicas de rehabilitación

Diversas técnicas han sido empleadas para la estabilización y reducción de pérdidas de los suelos quemados. Sin embargo, paradójicamente, hasta hace muy poco tiempo, no se había efectuado una recopilación de la información sobre la eficacia de las distintas técnicas empleadas en la restauración de incendios aunque este panorama está cambiando rápidamente.

Un análisis detallado de esa información muestra que la evaluación de la eficacia de esas técnicas se había realizado más bien por el grado de la cubierta de la vegetación obtenido que por mediciones rigurosas de la cantidad de sedimentos producidos.

La siembra de herbáceas, tanto aérea como desde el suelo, ha sido extensivamente usada durante muchos años después de incendios, especialmente en el Oeste de Estados Unidos.

Beyer y Peppin et al. han revisado extensamente las ventajas e inconvenientes de este tratamiento de rehabilitación, concluyendo que su efectividad es bastante limitada. Sin embargo, en zonas más húmedas, como

Galicia, Pinaya et al. encontraron un efecto positivo de la siembra. La falta de eficacia de la siembra, se atribuye al hecho de que usualmente no tiene un efecto significativo en los primeros meses tras el incendio, ni en la cantidad de cubierta superficial del suelo, ni en la velocidad de rebrote de la vegetación.

Además, la mayor parte de la erosión tiene lugar antes de que una cubierta suficientemente densa de plantas pueda ser establecida. La siembra resulta ser más efectiva cuando el fuego es seguido por una serie de eventos de lluvia de intensidad suave y bien espaciados y en lugares de clima templado. Por otro lado, existe el riesgo de que las gramíneas puedan desplazar a las plantas nativas herbáceas en la sucesión post-fuego y una alta cubierta de gramíneas puede limitar el reclutamiento de brinzales de árboles y de especies leñosas de matorral aparte del riesgo de introducción de especies alóctonas y favorecer un pastoreo excesivo que retarda la recuperación de las áreas quemadas.

Diversos materiales han sido empleados para mulching, principalmente restos agrícolas vegetales de trigo, cebada, centeno y arroz, aunque también materiales molidos de subproductos forestales (restos de podas, desbroces, virutas, astillas,...) y con distintas técnicas de aplicación (desde tierra, aire, proyectado con agua,...) y mezclado con polímeros sintéticos como la poliacrilamida, solos o con adición de semillas de gramíneas y leguminosas. Los datos disponibles de los estudios de Bautista et al. en la costa E de la Península Ibérica muestran una sustancial reducción de la erosión el primer año después de incendio, frente al suelo quemado no tratado, no mejorando la efectividad del mulching cuando se añadieron semillas (MacDonald y Larsen 2002) concluyen que para el Oeste de Estados Unidos, con fuertes tormentas convectivas al final de verano, el acolchado (mulching) de paja, aplicada directamente desde el suelo o desde el aire, fue el tratamiento más eficaz porque protegió el suelo del impacto de la lluvia, evitó el sellado de los poros y aumentó la rugosidad, ayudando todo ello a mantener la velocidad de infiltración.

El mulching de paja fue más efectivo que el hidromulch, en términos de aumentar la rugosidad superficial. En un reciente estudio, Fernández et al. compararon la eficacia de dos tipos de mulch en la reducción de las pérdidas de suelo por erosión tras un incendio de alta severidad en 2006 en un área de matorral en Galicia. El mulch de paja aplicado a una tasa de 2 Mg/ha consiguió cubrir el 80 % del suelo mientras que la aplicación de 4 Mg/ha de mulch de astilla sólo proporcionó una cobertura del 45 %. Ello, y posiblemente una mayor adherencia y contacto con el suelo que la astilla, dio como resultado que sólo el mulch de paja redujera significativamente las pérdidas por erosión (66 %) en comparación con un control no tratado durante el primer año post-incendio.

6.3 La vegetación como factor de protección del suelo

Una vez que el agua de lluvia llega al suelo produce erosión por el impacto y que al superar la capacidad de infiltración del suelo, el agua comienza a discurrir por la superficie formando al arroyada superficial, que tendrá mayor poder erosivo cuanto mayor sea la pendiente por la que discurre.

La vegetación natural es reflejo de los distintos tipos de zonas y pisos climáticos con adaptaciones y variaciones específicas al medio (Del Val, 1989). La cubierta vegetal frena la erosión.

Ventajas de la vegetación en el control de la erosión:

- La vegetación intercepta las gotas de lluvia con la consiguiente disminución de su energía cinética, amortiguando su impacto en el suelo, reduciendo su poder erosivo.
- La cubierta vegetal aumenta la capacidad de infiltración del suelo, siendo necesaria una mayor cantidad de agua para que se produzca la escorrentía.
- Además, la vegetación disminuye la velocidad de circulación del agua por la superficie y por tanto su capacidad de transportar partículas previamente erosionadas, a la vez que pierde parte de su poder abrasivo sobre el suelo.
- Las plantas aportan materia orgánica al suelo favoreciendo la formación de agregados entre partículas y estabilizando los ya presentes.
- El sistema radicular de las plantas supone una sujeción del suelo que se opone a ciertos movimientos de deslizamiento de laderas.
- La vegetación también crea situaciones de microclima favorables para la conservación del suelo, sobre todo las masas forestales arbóreas, al disminuir las temperaturas máxima y mínimas y menguar la radiación solar directa sobre el suelo.

6.4 Restauración de los montes afectados

La recuperación de los espacios forestales afectados de los incendios, como los acontecidos durante el verano de 2009, debería de comprender un conjunto de actuaciones cuyo objeto principal fuese la restauración de la cubierta vegetal existente para que esta cumpla sus funciones ecológicas, ambientales y económicas.

Del conjunto de todas estas actuaciones para acometer en la restauración de los grandes incendios de este verano en Aragón se citan las más importantes, inmediatas y de urgente ejecución.

-Extracción de la madera quemada, con objeto de favorecer y contribuir a la regeneración natural posterior y eliminar el riesgo de enfermedades y plagas.

-Ayudas a la regeneración, mediante la realización de tratamientos selvícolas sobre las masas menos afectadas, y masas próximas y el “recepe” y selección de brotes en masas pobladas por especies con capacidad de rebrote.

-Construcción de fajinas o albarradas mediante el troceado y acordonamiento de los restos vegetales para reducir la escorrentía y pérdida de suelo, así como para favorecer la regeneración.

-Regeneración natural o repoblación forestal. En los ecosistemas mediterráneos en los que el fuego es un factor ecológico más, las especies vegetales que los componen, presentan mecanismos adaptativos que facilitan la recuperación de la cubierta vegetal afectada por los incendios forestales, bien sea mediante brotes de cepa, tallo o raíz o por abundante diseminación de semillas (pinos mediterráneos y matorrales como los jarales).

En función de las características de las zonas quemadas y de la vegetación se optará por una de estas dos actuaciones, fomentando la regeneración natural, con el fin de salvaguardar la persistencia de las masas forestales y proteger al suelo frente a procesos erosivos.

Se favorecerá y respetará la vegetación natural que haya sobrevivido al incendio, empleando especies autóctonas y con diferentes estrategias de reproducción.

Se fomentarán paisajes en mosaico, con mezcla de especies favoreciendo la biodiversidad, así como en márgenes de cursos de agua se tratará de introducir especies de ribera.

Se planificarán estructura de defensa contra incendios, como áreas cortafuegos, caminos y vías forestales, puntos de agua, etc.

Creación y mejora de infraestructuras. Consistente en la reparación y creación de caminos y pistas forestales para la ejecución de los trabajos de, restauración y posterior de las masas, así como la mejora de las infraestructuras existentes que se vieron dañadas durante los incendios.

Corrección Hidrológico-Forestal dependiendo de la gravedad de los procesos erosivos, se estudiará la implementación futura de hidrotecnias de corrección mediante diques de retención y consolidación.

OBJETIVOS

Tras un fuego forestal, las especies vegetales en ambiente mediterráneo tienen estrategias para recolonizar el espacio como la germinación y el rebrote (autosucesión vegetal). En zonas reiteradamente quemadas y especialmente ante la ausencia de rebrotadores, la recuperación de la cubierta vegetal puede ser muy lenta. Es en estos casos en los que pueden aplicarse distintos tipos de técnicas para proteger al suelo de la erosión, como la siembra de herbáceas o la cubierta con astillas, métodos aplicados en este estudio.

Los objetivos perseguidos con este trabajo son:

- 1- Seguimiento de la erosión hídrica y recogida de sedimento a lo largo del periodo de estudio (entre noviembre 2009 y junio 2010) en parcelas sembradas de herbáceas o cubiertas con astillas para evaluar la efectividad de los distintos tratamientos de control de la erosión.
 - Control
 - Acolchado
 - Acolchado + Siembra
- 2- Evolución de las coberturas (suelo desnudo, pedregosidad, vegetación, acolchado de astillas) en este mismo periodo y en los diferentes tratamientos.
- 3- Análisis de la cantidad y de la calidad (C.E., pH, etc.) del agua de escorrentía.
- 4- Relacionar los citados parámetros con los parámetros climáticos, pluviometría...

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1- ACONDICIONAMIENTO DE LAS PARCELAS

Distribución de las parcelas en medio físico

El estudio tiene una fase previa de disposición de las parcelas. Esta fase consiste en localizar zonas con características similares (pendiente, orientación, altitud de ladera, pedregosidad, accesibilidad, etc.), con el fin de disminuir en lo posible la variabilidad de resultados debido al medio, teniendo en cuenta que deben representar el conjunto del área afectada.

Se seleccionaron dos zonas similares en cuanto a orientación, pendiente, pedregosidad, etc., en concreto:

- Orientación SUR (zona de solana).
- Posición media de la ladera.
- Pendiente similar, en torno a un 10 %.
- Altitud entre 680 – 700 metros.
- Pedregosidad mínima.
- Cobertura vegetal mínima.
- Accesibilidad, buen acceso a nuestras parcelas de muestreo.



Foto1.- Búsqueda y colocación de las parcelas experimentales

Acondicionamiento

El segundo paso es acondicionar nuestras parcelas de trabajo. Se construyeron parcelas de 6 m² (Figura 2). Cada una de las parcelas se ha dividido en dos subparcelas en las que se aplicaron los distintos tratamientos con seis réplicas cada uno.

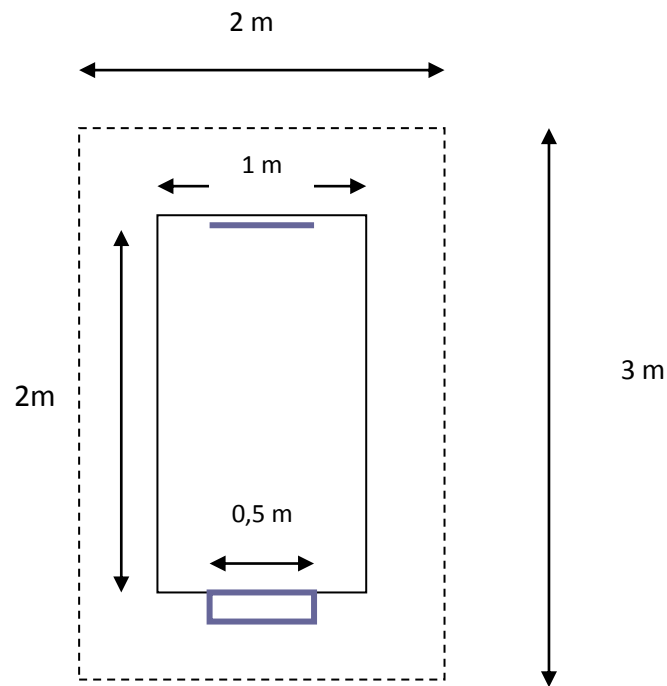


Figura 13.- Diseño de las parcelas experimentales

Dichas subparcelas tienen unas dimensiones de $3 \times 2 \text{ m}^2$, aunque los datos solo se han obtenido de los $2 \times 1 \text{ m}^2$ centrales, dejando 0,5 m a los lados con el fin de evitar el efecto “borde” y obtener mayor homogeneidad en la superficie estudiada.

Tras situar las parcelas en el medio físico, éstas han sido limitadas por una rejilla metálica sujeta con varillas de acero, con el fin de evitar que algunos animales coman el material vegetal del interior. Dicha rejilla la quitamos en el momento de efectuar mediciones en la parcela.



Foto 2.- Acondicionamiento de las parcelas

Tratamientos Post-incendio aplicados.

Como acolchado o “mulch” se aplicó una capa de astillas, resultantes de la tala de la madera quemada. Los tratamientos ensayados fueron: control (1), mulch (2), mulch y siembra (3).



Foto 3.- Final del acondicionamiento y comprobación de las parcelas.

La instalación de una vegetación herbácea acompañada de la adición de residuos orgánicos en una técnica de manejo de los suelos quemados eficaz. Después de ensayar numerosas plantas herbáceas anuales y perennes, se propone la siembra a voleo, sin preparación alguna del terreno, de una mezcla de leguminosa (*Medicago sativa*) y una gramínea (*Hordeum vulgare*), debido a que esta mezcla produce los mejores porcentajes de fitomasa aérea y radicular, y a que la gramínea absorbe más N de las cenizas que las leguminosas y retención en los órganos de las plantas de una gran cantidad de nutrientes procedentes de las cenizas.



Foto 4.- Tratamiento de mulch obtenido a partir de astillas de madera quemada de la zona.

Diseño experimental

Hemos visto que disponemos de tres parcelas para la caracterización del comportamiento de tres situaciones de campo diferentes, que son:

- Parcela de control (C): En ella no se realiza ninguna siembra, ni tratamiento, la vegetación autóctona evoluciona por sí misma. Nos servirá como referencia para comparar la evolución de las otras parcelas.

Las denominaremos como: C1, C2, C3, C4, C5, C6.

- Parcela de acolchado (A): Se añade un acolchado de finas astillas de pino (0,5-4 cm.) quemado de la zona que recubre toda la parcela con una densidad de 2,5 kg./ m² equivalente a 25 t./ha.

Las denominaremos: A1, A2, A3, A4, A5, A6.

- Parcela de acolchado y siembra (A+S): El tratamiento aplicado a esta parcela es semejante al anterior pero además se realiza una siembra de herbáceas.

La siembra (20/11/2009) se efectuó a voleo y posteriormente se recubrió por las astillas; esta siembra recompuso de una gramínea, la cebada, (*Hordeum vulgare*, variedad Volley, semilla certificada R2) y una leguminosa, la alfalfa, (*Medicago sativa*, variedad Aragón, semilla certificada R2) con densidad de 30 g./m². (en una relación 1:1 en peso) que serán cubiertas por las astillas, en igual dosis que el tratamiento anterior.

Las denominaremos: AS1, AS2, AS3, AS4, AS5, AS6.

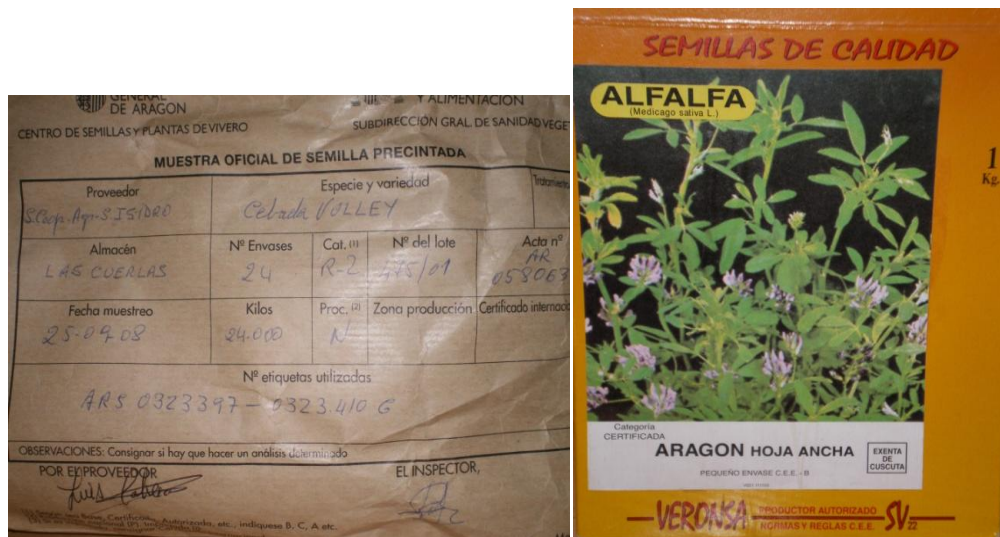


Foto 5.- Semillas para la de siembra de herbáceas

VARIABLES: 3 tratamientos.

Control x Acolchado de astillas x Acolchado con siembra de herbáceas

RÉPLICAS: 6 .

ES DECIR, 3 tratamientos x 6 réplicas = 18 parcelas.

DISTRIBUCIÓN. 2 cuencas distintas (9+9 parcelas).

Zona 1: Barranco de la Casa de Pola (Monte de Pola): 659282/4639208.

Zona 2: Barranco de Valdelafuente (Cerro de Pinatonar): 660129/4639816

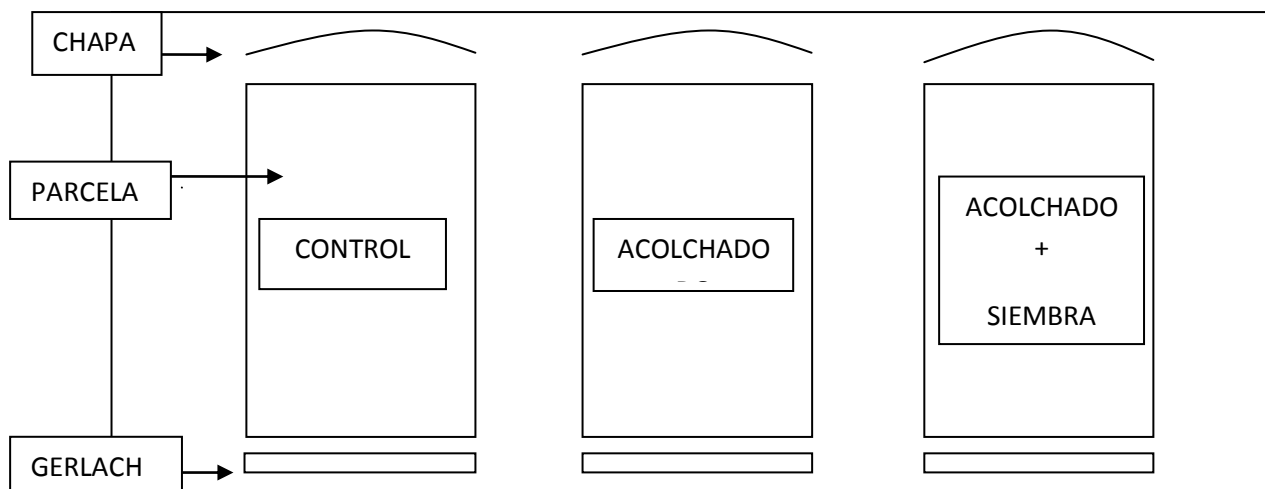


Figura 14.- Esquema de la distribución de tratamientos en una parcela tipo



Foto 6.- Distribución de las parcela en campo

3.2- CONTROL DE LA EROSIÓN

Para la realización del seguimiento de la erosión se situaron 18 parcelas de 2 m² (m² + m²) de superficie.

Cada una de estas parcelas de 2 m² de superficie, se encontraba repartida a lo largo de la pendiente y al azar dentro de cada subzona aunque todas las parcelas seguían la misma orientación.

El sedimento arrastrado por la esorrentía se recogía en un “Gerlach” o trampa de sedimento procediéndose a una recogida periódica y a su cuantificación en laboratorio.

La parte superior de las parcelas se limitaba con una chapa, para que la erosión recogida se debiera únicamente a la superficie contenida por la parcela. En la parte inferior de cada parcela se situaba un “ Gerlach” o trampa de sedimentos, de dimensiones 50 x 16 x 16 cm, para la retención de elementos sólidos, fruto de la erosión hídrica, limitando a 3 metros la superficie de influencia con una lámina de 1 m de longitud y 15 cm. de ancho. Esta tiene la función de evitar que la esorrentía de aguas arriba altere los parámetros obtenidos y poder cuantificar la superficie de recogida.

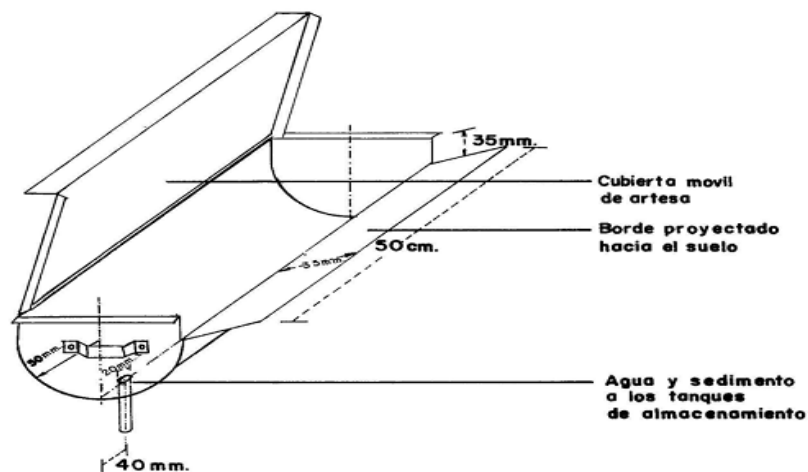


Figura 15.- Detalle de una trampa de sedimento o caja "Gerlach".

Las cajas Gerlach son empleadas para superar problemas asociados a la utilización de parcelas de escorrentía. Su principal ventaja es que se instalan con bastante facilidad y tienen un bajo costo, pueden usarse a efectos del muestreo de pérdidas de suelo en un gran número de sitios seleccionados en un área extensa, siendo por tanto apropiadas para estudios de erosión a una escala de cuenca hidrográfica (Morgan, 1986).

Después de un incendio forestal es muy importante conocer la respuesta en términos erosivos de las primeras lluvias; y los Gerlach son el método más rápido de instalación y obtención de esos datos. Con los canales Gerlach nos aseguramos que podemos tenerlos instalados un día después del fuego. Cuantos más Gerlach podamos instalar, mejor; deben disponerse en diferentes pendientes, orientaciones, intensidades, etc. Los Gerlach nos proporcionan: cantidad de escorrentía (l), cantidad de sedimento erosionado (g), relación de escorrentía (% sobre la precipitación) y la erosión a una lluvia determinada (g/mm) (siempre es importante contar con un pluviógrafo en la zona de estudio), y relación del total de escorrentía con la erosión o concentración de sedimentos (g/l). Los canales Gerlach pueden tener un área abierta de captación o cerrada. Si el área de la parcela es cerrada podemos relacionar los datos de escorrentía y erosión con el área de suministro de estos parámetros (g/l m²).



Foto 7.- Recogida de escorrentía y de sedimento.

Cada vez que se hacía un muestreo en el campo y se recogía el sedimento y la escorrentía conjuntamente en los recipientes, se procedía a su separación en el laboratorio. Por un lado, se extraía la parte líquida (escorrentía). Para separar la parte líquida del sólido, utilizamos unos filtros de papel, que sirven para que pase la disolución y se queden retenidas las impurezas o partes sólidas.

Con la parte sólida recogida (sedimento) se procedía de la siguiente manera. Se pesaba húmedo, luego se paso por la estufa (a una temperatura de 105 °C, temperatura elegida en función de la no presencia de yesos en las muestras a secar), durante 24-48 horas.



Foto 8.- Estufa del laboratorio de la E.P.S.Huesca con muestras

Estas muestras ya en seco son pesadas en la báscula de precisión. Con estos datos obtenidos del sedimento recogido se procede a la cuantificación de la erosión experimental.



Foto 9.- Báscula de precisión del laboratorio de la E.P.S.H. con muestra.

El valor obtenido como suma de los calculados para las distintas superficies homogéneas que forman el mosaico, puede considerarse una evaluación aproximada del suelo movilizado por estos tipos de erosión dentro de la cuenca.



Foto 10.- Proceso de filtrado.

Finalmente se medía el líquido en la probeta de vidrio, para así poder calcular su cantidad en ml/m^2 .



Foto 11.- Medición de la cantidad de escorrentía con la probeta en laboratorio.

Luego, con esta escorrentía, se analizaba su calidad. Por un lado se medía el pH, y por otro, la conductividad eléctrica.

El pH, lo medimos con el pH-metro, que es un sensor que se utiliza en el método electroquímico para medir el pH de una disolución. La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones.

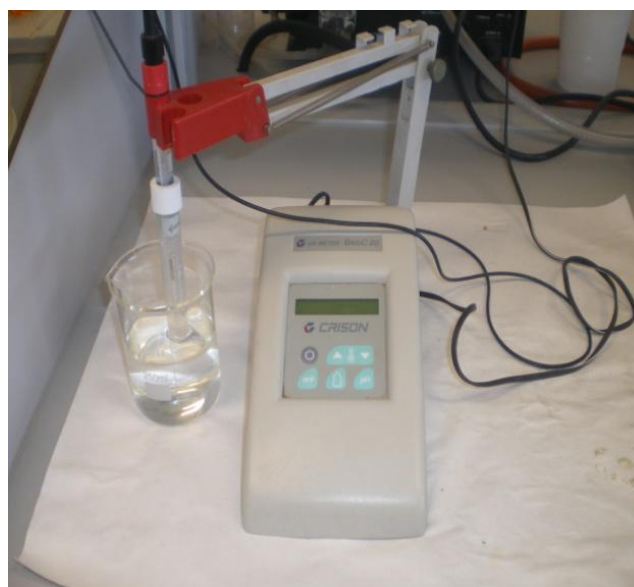


Foto 12.- Medición del pH.

Por otro lado, la conductividad eléctrica, la medimos con el conductímetro.

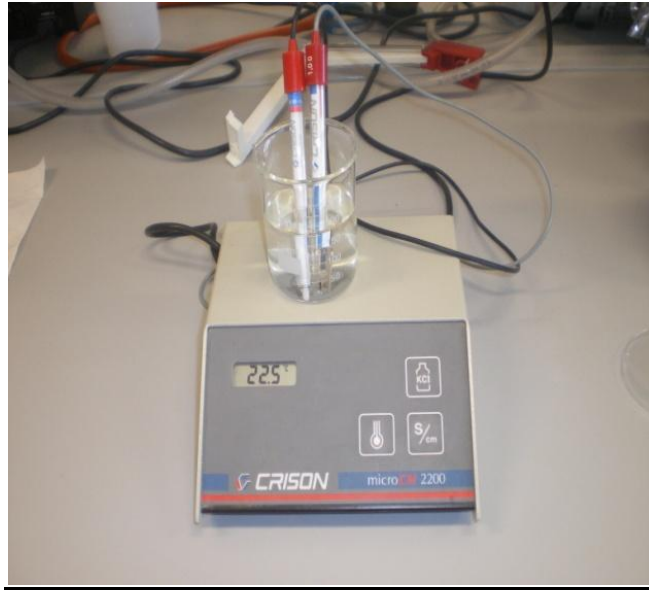


Foto 13.- Medición de la Conductividad eléctrica.

3.3- SEGUIMIENTO DE LA VEGETACIÓN

Para el estudio de la vegetación se dispuso en el perímetro de la parcela (2x1 m.), una cuerda soportada por seis postes y suspendida a unos 30 cm. del suelo, para apoyar sobre ella una malla metálica constituida por 100 puntos por cada m², puntos que se contabilizan en cada muestreo. En cada una de las dos subparcelas experimentales se obtuvo la cobertura mediante la proyección de una malla cuadrículada (10 x 10 cm. y 1 m² de tamaño) sobre la superficie del suelo (*point quadrat method*).



Foto 14.- Rejilla en parcela experimental (izda.). Detalle de variables estudiadas (dcha.)

Se tomaron, en cada subpacela, dos medidas de 100 puntos cada una; se ofrece en este trabajo el valor medio de ambas (en porcentaje). Se diferenci3 entre suelo sin cobertura, pedregosidad superficial, recubrimiento vegetal y recubrimiento de acolchado (esquema anterior). Estas medidas se efectuaron durante los ocho meses despu3 de la siembra.

Para el seguimiento de la cobertura vegetal se sitúa sobre cada una de las parcelas una malla de un metro cuadrado de superficie, que consta de 100 puntos, midiéndose la cantidad de puntos ocupados por las plantas contenidas en cada parcela.



Foto 15.- Parcelas experimentales al principio (izda.) y varios meses despu3 (dcha.)

3.4- ESTUDIO CLIMÁTICO

En referencia al estudio climático y para su realizaci3n, se utilizaron dos series de datos pluviométricos. Unos datos provenían de los dos pluvi3metros instalados en cada una de las subzonas, que actuaban a modo de totalizadores mensuales. Estos datos se obtenían en cada evento de lluvia y posteriormente eran vaciados para un nuevo registro.



Foto 16.- Totalizador mensual de precipitación (izda.) y pluviómetro (dcha.)

Por otro lado y para mayor exactitud, también se utilizaron unos medidores pluviométricos digitales utilizados en la zona para otros estudios y que recogen todos los eventos de precipitación en intervalos de tiempo para así poder conocer la intensidad de la precipitación. Se instalaron dos pluviógrafos para la monitorización de los episodios de lluvia durante el período de estudio.

Con todo esto, se hizo una serie de datos.

La otra serie de datos climáticos, se obtuvo de las siguientes estaciones pluviométricas, situadas en las cercanías de la zona de estudio en la provincia de Zaragoza.

-REMOLINOS

-ZUERA Estación Pluviométrica

-ZUERA “ASPASA” Estación Termopluviométrica

-ZUERA “CASA PÉREZ” Estación Pluviométrica

-ZUERA “EL VEDADO” Estación Termopluviométrica

-ZORONGO

-VILLANUEVA DE GALLEGO

En resumen, para el estudio pluviométrico se utilizaron dos series de datos, unos se recogieron de los pluviómetros instalados en campo y los otros provenientes de las estaciones climatológicas situadas en la cercanía de la zona de estudio.

DATOS DE INTERÉS

- A su vez los datos termométricos fueron obtenidos, al igual que ocurría con los pluviométricos, de las mismas estaciones meteorológicas.
- Los tratamientos estadísticos aplicados a los datos recogidos, han sido realizados mediante el programa Excel (Office 2007).
- Los muestreos se realizaron unas dos veces por mes, salvo al final del periodo de estudio cuando la cantidad de sedimento recogido era suficiente para su estudio en laboratorio, por lo que se alargó en este último periodo el intervalo de muestreo.
- En cada muestreo se recogía el contenido de las trampas (para su posterior cuantificación y siendo posteriormente analizado en laboratorio) y se contabilizaba el número de puntos

ZONA DE ESTUDIO

1- SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El trabajo se realiza en una zona recientemente quemada dentro del campo de maniobras de San Gregorio, en los Montes de Zuera y Castejón de Valdejasa. En concreto, el último incendio tuvo lugar el 18 de agosto de 2009, durante unas maniobras militares y afectó a unas 6.700 ha de matorral – aliaga (*Genista scorpius*), retama (*Retama sphaerocarpa* L.) y romero (*Rosmarinus officinalis*)- y pequeños bosquetes de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) y coscoja (*Quercus coccifera*). Este incendio se localiza muy próximo a otro sucedido en los mismos montes el año anterior, y que afectó a unas 2800 ha.

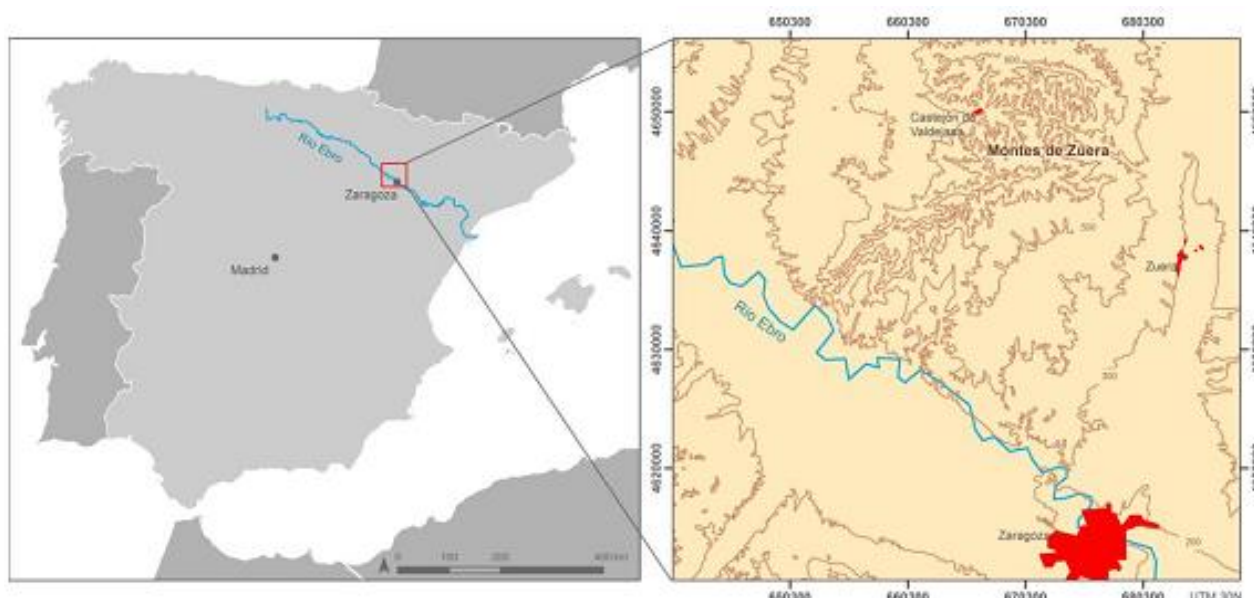


Figura 16.- Localización de la zona de estudio en los Montes de Zuera y Castejón de Valdejasa

El área de estudio se localiza en los Montes de Castejón, en la margen izquierda del río Ebro, a unos 50 km al noroeste de la ciudad de Zaragoza, en torno a las coordenadas UTM 658881 W, 4638913 N.

Se trata de una zona de topografía alomada, con una altitud media de 600 m., con divisorias de aguas poco pronunciadas orientadas en dirección N-NW a S-SE, separadas por fondos de valles, generalmente cultivadas. La pendiente media es del 10 % y la longitud media de las laderas oscila entre 200-300 m. aproximadamente.

En esta zona se distinguen dos sectores topográficos, separados por una divisoria de aguas situada en la zona conocida como “Vértice San Esteban”, que es el punto de mayor altitud de todo el entorno y separa las cuencas de los ríos Gállego y Arba.



Foto 17.- Imagen del Vértice San Esteban. Punto más alto de la zona

Como zona experimental para realizar el estudio, se han tomado dos laderas situadas en la zona Norte (zona de solana) de los montes de Castejón. Las parcelas se sitúan en una posición media de la ladera. Presentan bastante regularidad, una mínima pedregosidad y están desprotegidas de vegetación a su alrededor. Ambas presentan una altitud (en torno a 680 m.) y unas pendientes similares.

Las laderas seleccionadas se sitúan entre el “Monte de Pola” y el “Cerro de Pinatonar”.

- 1- (Monte de Pola) Casa de Pola, coordenadas 659282/4639208.
- 2- (Pinatonar) Valdelafuente, coordenadas 660129/4639816.

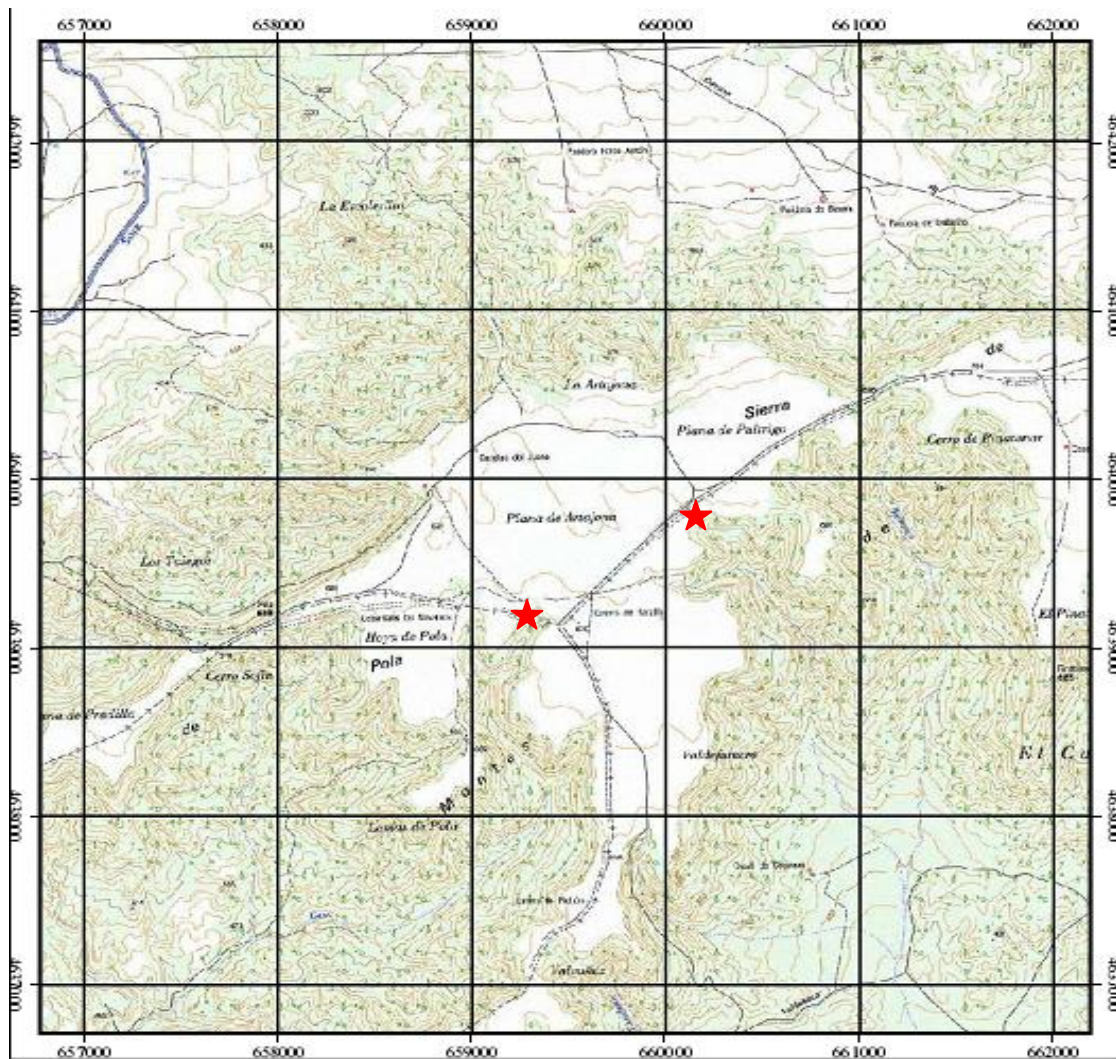


Foto 18.-Localización de las dos zonas de estudio ★

El clima de la zona es un clima continental mediterráneo, con precipitaciones anuales entre 300 y 500 mm, máximos pluviométricos equinocciales, y temperaturas extremas que pueden oscilar entre los -7,1 °C y los 36,5 °C; el relieve se identifica con plataformas escalonadas (300-700 m), muelas, de estratos calcáreos, margo-arcillosos y yesosos, incididos por valles de fondo plano, vales, con un desarrollo de glacis de pie de muela.



Foto 19.- Imagen del relieve de la zona, cerca de Castejón de Valdejasa

Estos extraordinarios ecosistemas compuestos por pinares, zonas esteparias y sotos de ribera, están incluidos dentro de la declaración de la Red Natura 2000, como LIC (Lugar de Interés Comunitario) y ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves). Con esto se pretende conservar la enorme riqueza biológica que hay en la zona y compatibilizarlo con los usos del espacio.

ES0000293 ZEPA Montes de Zuera, Castejón de Valdejasa y El Castellar

1.- DATOS GENERALES

SUPERFICIE (Has):	25542,06723
CREACIÓN:	01/07/200
AMPLIACIÓN:	
MUNICIPIO	SUP (has)
Castejon de Valdejasa	2763,06
Gurrea de Gallego	1047,33
Las Pedrosas	2,75
Pradilla de Ebro	321,2
Remolinos	1115,9
Sierra de Luna	2,02
Tauste	1896,67
Torres de Berrellen	3034,64
Villanueva de Gallego	79,08
Zaragoza	1336,55
Zuera	13942,88

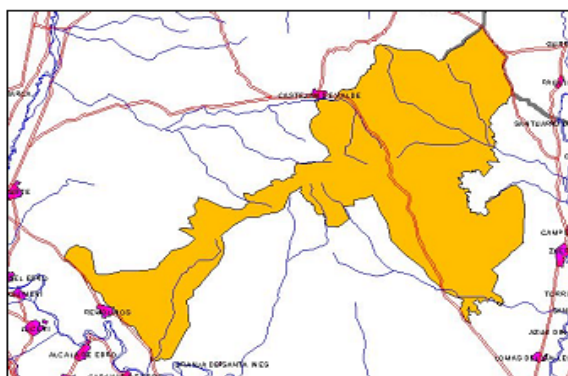


Figura 17.- Localización de la Z.E.P.A.

Breve descripción incendio

El fuego se inició el 18 de agosto de 2009 en los terrenos vallados del campo de maniobras, en un paraje conocido como Puig Amarillo, que se emplea como zona de caída de proyectiles durante las maniobras militares. Comenzó sobre las 13:05, en ese momento había 31 grados de temperatura, una humedad del 19% y la velocidad del viento era de 14 kilómetros por hora, condiciones muy favorables para la propagación del fuego.

Las llamas se extendieron muy rápidamente y arrasaron 2.300 hectáreas fuera del recinto militar que afectaron a cinco localidades cercanas (Tauste, Torres de Berrellén, Remolinos, Pradilla de Ebro y Zaragoza).

Finalmente el incendio calcinó cerca de 7.000 hectáreas, de las que unas 3.000 eran arboladas. Fue sofocado tres días después del inicio.

1- FISIOGRAFÍA

El municipio de Zuera se encuentra situado en el sector central de la Depresión del Ebro, al norte de la ciudad de Zaragoza y al sur de Huesca; en el valle del río Gallego. Se trata de una extensa llanura fluvial constituida en su lecho por depósitos terciarios (Mioceno), parcialmente cubiertos por materiales de aluviones (Plioceno y Cuaternario), vertido por los ríos que descienden desde los sistemas Pirenaicos e Ibéricos hacia la zona central de la cuenca, además del generado por la acción antrópica.

El relieve que presenta el territorio no es muy abrupto, con el río Gallego como elemento modelador.

La zona más elevada del municipio corresponde a las estribaciones de los Montes de Castejón y la Muela de El Castellar. Se trata de un terreno surcado por vaguadas poco desarrolladas por las que discurre agua hacia el río únicamente en caso de lluvias excepcionales.

Sobre los materiales del Mioceno (calizas y margas terciarias con presencia puntual de yesos) se depositaron conglomerados y arcillas como resultado de la acción del río.

La cuenca del Ebro, que actúa como centro de depósito de los materiales continentales procedentes del desmantelamiento de las cordilleras colindantes como Pirineo y a la Sierra Ibérica.

En cuanto a la edad de los materiales presentes en toda la zona, cabe señalar que pertenecen al Terciario (Mioceno) y Cuaternario.

Los materiales del Terciario muestran una amplia variabilidad composicional.

Durante el Cuaternario se realiza la erosión de estos materiales terciarios.

En el tránsito Mioceno-Plioceno (Terciario-Cuaternario) se produce un fuerte cambio en las condiciones de sedimentación. Desde este momento y durante todo el Cuaternario, se produce una alternancia de etapas de erosión y sedimentación en la región, relacionadas con los cambios climáticos acaecidos.

Si atendemos a los aspectos litológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos de los materiales que constituyen la zona se distinguen tres áreas de comportamiento geotectónico diferente. El área en el que se encuentra ubicado Zuera pertenece, mayoritariamente a la denominada Área III, constituida por depósitos cuaternarios, formados por gravas, arenas, limos y arcillas. Concretamente con las zonas III₁ y III₃.

La zona III₁ está constituida por bloques y cantos redondeados de rocas ígneas y metamórficas, fundamentalmente, y arenas, con morfología de terraza. Se trata de materiales generalmente permeables, donde el drenaje actúa por filtración.

La zona III₃ está constituida por limos, arcillas, gravas angulosas, con estructura típica de glacia, pendientes de 5 a 10 grados, que convergen con niveles de terrazas. En este caso la permeabilidad es muy baja mientras que la ripabilidad es alta.

Zuera se encuentra enclavado dentro del sistema morfoestructural que forma la Depresión del Ebro, más concretamente en su zona central, caracterizada por plataformas estructurales.

Los materiales geológicos existentes, básicamente de constitución carbonatada y yesífera con una disposición prácticamente horizontal, resultado de la sedimentación.

La alternancia de calizas, resistentes a la erosión, con materiales blandos margoyesíferos da lugar a una erosión diferencial en toda el área.

Si el estudio se centra en los distintos elementos geomorfológicos de la zona se pueden diferenciar los siguientes:

- Modelo fluvial
- Laderas
- Formas endorreicas
- Formas kársticas
- Formas poligénicas

La disolución de los yesos origina numerosos problemas geotectónicos sobre las construcciones, obras lineales y agricultura. Un buen ejemplo es el caso del poblado de nueva construcción de Puilatos que tuvo que ser abandonado tras las numerosas grietas y asentamientos que afectaron a los edificios, como consecuencia de la disolución de los yesos infra-yacentes al nivel de terraza sobre el que estaba asentado el municipio.

Los suelos de estas zonas se ven influenciados en gran medida por la mayor o menor correspondencia con el material de origen y las condiciones climática, así como por la geomorfología.

La fragilidad de algunos ecosistemas de Zuera, aconseja la adopción de estrategias de identificación de suelos proclives a la degradación para el establecimiento de criterios de uso racional y de sostenibilidad de los recursos que permita la conservación de este ecosistema de gran singularidad e indudable interés paisajístico y medioambiental.

A pesar de la cercanía existente entre la zona central de la depresión del Ebro y el cauce del río, nos encontramos en esta zona un relieve relativamente abrupto. La zona central del valle está recorrida de SO a NE por los montes de Castejón de Valdejasa, estos alcanzan en el norte la cota de 756 metros, y la mínima de 230 m. en el vértice SO.

Geología

Los materiales aflorantes son los depositados en la cubeta sedimentaria durante el terciario, con la posterior erosión de los mismos durante el pliocuaternario.

La serie terciaria presenta en su base yesos, limos, arenas y margas yesíferas con algunos niveles de halita pertenecientes a la formación Zaragoza (Aquitaniense-vindoboniense).

Encima de estos niveles evaporíticos aparecen las alteraciones de calizas, limos, margas y algunos niveles yesíferos de la formación Castejón (Vindoboniense-pontiense), que al tener disposición subhorizontal (son como un domo postmioceno) y haber sufrido una erosión diferencial han originado los relieves tabulares de los montes de Castejón de Valdejasa. La potencia de estas series terciarias supera ampliamente los 500 m.

Los cuaternarios existentes son fundamentalmente glaciares de los terrenos yesíferos (Caso de las cuevas Garcés) ó glaciares normales (El Castellar). Los primeros están formados por limos yesíferos, yesos pulverulentos y arcillas yesíferas; y los segundos por gravas monogénicas sencillas, arenas y limos;

2- EDAFOLOGÍA

Los tipos de suelos que se encuentran en la zona son los siguientes:

Entre los epipediones domina el ócrico ya que la aridez del clima manifestada a través de la vegetación xerofítica proporciona escasa materia orgánica; en cuanto a los endopediones, existe una mayor diversidad, siendo frecuente el “gípsico” sobre materiales yesosos, y el cálcico en materiales carbonatados. Estos se dan en casos en que ha sido posible un desplazamiento en profundidad del yeso o cal respectivamente, lo que exige cierto tiempo y condiciones favorables, pues, en general, no se lleva a la cementación propia del horizonte “petrocálcico”, sino en contadas ocasiones muy favorables y en condiciones suficientemente viejos.

Características edáficas

Los Montes de Castejón son relieves alomados originados por la erosión del agua en el Mioceno, que han dado lugar a depósitos aluviales cuaternarios, correspondientes a las terrazas fluviales del río Gállego y Arba. En la sección de Esteban, la conformación de este intervalo corresponde a calizas bioclásticas bioturbadas que alternan con margas y lutitas, afectadas por karstificación (Arenas et al., 1999).

La formación del suelo está fuertemente influenciada por su posición sobre la ladera, así como por las características climáticas y por la abundante cubierta vegetal. Los principales procesos que tienen lugar en la formación de estos suelos son: melanización, descarbonatación incipiente, procesos coluviales y de bioturbación. El proceso de melanización es el más general en los perfiles, y abarca la incorporación de material vegetal a los procesos orgánicos y de humificación (Gisbert & Ibáñez, 2002).

El proceso de melanización está muy implicado en la formación y espesor de los horizontes superficiales o epipediones, ricos en materia orgánica, de color oscuro y bien estructurados que se clasifican como móllico. Mientras que los endopediones están ausentes, o pueden ser clasificados como cálcicos, ya que se estructuran en horizontes mostrando signos de acumulación de carbonatos (Badía et al., 2010).

Según la STS (SSS, 2006), los suelos pertenecen al suborden Xerolls, pudiendo clasificarse la mayoría como Haploxerolls, excepto un perfil clasificado como Calcixeroll a pie de ladera. Si empleamos la clasificación WRB (SIU, 2006), los perfiles se denominarían Phaeozems debido a su alto contenido de carbonato primario, que los clasificaría como Rendzic Phaeozems. En los perfiles a pie de ladera cuando aparecen carbonatos secundarios, el suelo se clasificaría como Calcic Chernozems (Badía et al., 2010).

La presencia de piedra caliza (R) a poca profundidad, el espesor del horizonte Mólico, el alto número de piedras en profundidad y el alto contenido de carbonato o limo, hacen incluir en la fase de clasificación de la WRB los términos de Leptic, Pachic, Skeletic y Siltic. Del mismo modo, en la clasificación STS se incluyen los términos Lithic, Pachic, Entic y Fluventic (Badía et al., 2010).

Riesgos naturales: erosión

En Zuera el riesgo de erosión es medio (areniscas y arcillas) y bajo (conglomerados) en la mayoría del término municipal a excepción de la zona este donde nos encontramos con una geología a base de arcillas y limonitas más erosionables.

3- VEGETACIÓN

Descripción de especies vegetales predominantes.

La zona de estudio está ubicada en un bosque de tipo mediterráneo en el que predominan especies arbóreas de hoja perenne, pequeñas y coriáceas; que ayudan a soportar mejor las sequías estivales y a generar un microclima más húmedo y fresco.

La especie arbórea predominante es el pino carrasco (*Pinus halepensis*), el cual se encuentra acompañado por especies arbóreas destacables por su abundancia, como el quejigo (*Quercus faginea*) y la encina (*Quercus ilex subsp. Rotundifolia*), que se encuentran principalmente en barrancos umbrosos y frescos del pinar. También podemos encontrar arces (*Acer monspessulanus*) de manera aislada y en lugares con más humedad.

En el sotobosque aparece principalmente la gayuba (*Arctostaphylos uvaursi*), importante por su capacidad de acumulación de suelo y por su función de lucha contra la erosión. Otras especies que acompañan a la gayuba en este hábitat, son el madroño (*Arbutus unedo*), el boj (*Buxus sempervirens*), el rusco (*Ruscus aculeatus*) y la trepadoramadreselva (*Lonicera implexa*).

El sotobosque enmarañado y espinoso está formado por una gran variedad de especies arbustivas, como la coscoja (*Quercus coccifera*), el enebro (*Juniperus oxycedrus*), la aliaga (*Genista scorpius*), el lentisco (*Pistacea lentiscus*), la sabina (*Juniperus phoenicea*) y la jara (*Cistus albidus*).

Entre las plantas aromáticas destacamos el romero (*Rosmarinus officinalis*), la salvia (*Salvia lavandulifolia*), el tomillo (*Thymus vulgaris*), la oreja de liebre (*Phlomis lychnitis*) y el abrotano hembra (*Santolina chamaecyparissus*).

Gran parte de la superficie total afectada por el incendio, es de pino carrasco (*Pinus halepensis*) con sotobosque de coscoja (*Quercus coccifera*) especie arbustiva predominante.

Esta circunstancia motivada por la propagación del incendio por convección a través de las copas de los árboles, ha causado un desastre natural en el pinar que tardará muchos años en volverse a recuperar.

Valle del Ebro

El paisaje de la zona de estudio es el propio del área que circunscribe el núcleo central de la depresión del Ebro. El carácter mediterráneo-estepario de este paisaje resulta llamativo para los visitantes de la Europa húmeda y para los acostumbrados a los paisajes mediterráneos típicos

Esta afinidad respecto a las tierras mediterráneas meridionales se debe principalmente a la existencia de una serie de plantas comunes que determinan el aspecto del paisaje; entre ellas cabe destacar *Lygeum spartum* (Albardín), *Salsola vermiculata* (Sisallo), *Artemisia herba-alba* (Ontina), *Rhamnus lycioides* (Escambrón), etc. Una parte de estas especies posee un área de distribución más amplia, existiendo también en el oriente de Europa ó en Asia. Podemos ver como se da una relación florística entre las llanuras del Ebro medio y las regiones Irano-Turaniana y centro asiática.

Por otro lado, la presencia de especies centroeuropeas es rara en las llanuras del Ebro medio. El clima muy seco y con fuertes contrastes térmicos les resulta hostil. Están representadas por pocas especies del bosque de hoja caduca y de los humedales que se encuentran en las orillas de los ríos. Sin embargo las especies mediterráneas dominantes en casi todas las comunidades vegetales son plantas poco exigentes, de gran amplitud ecológica y geológica. Son plantas como: *Quercus coccifera*, *Pinus halepensis*, *Brachypodium retusum*, *Rosmarinus officinalis*, *Genista scorpius*, etc.

Dejando a un lado los relieves marginales, la depresión del Ebro en sentido estricto comprende dos dominios climáticos: El del *Rhamno-Quercetum cocciferae* y el del *Quercetum rotundifoliae* (Alcaraz et al, 1987).

Estos dos dominios presentan una distribución zonal que se distribuye de forma concéntrica, el primero ocupa la zona interna del valle y el segundo se sitúa alrededor hasta alcanzar los somontanos pirenaicos e ibéricos (Braun-Blanquet et Bolós, 1957; Bolós, 1987).

Dominio del Rhamno-Quercetum cocciferae

La vegetación perteneciente al dominio *Rhamno-Quercetum cocciferae* se desarrolla en unas condiciones extremas muy alejadas de las que se dan en las tierras mediterráneas europeas.

Debido a estas condiciones mesológicas no cabe esperar que aún cesando la actividad humana, se produzca un aumento importante de la superficie foliar transpirante en esta llanura.

Podemos resumir su composición florística básica y su estructura de la siguiente forma

Estrato arbóreo	
altura	2-5 m.
recubrimiento	10-30(60)%
Composición	<i>Pinus halepensis</i>
Estrato arbustivo	
altura	1-2 m.
recubrimiento	75-100%
composición	<i>Quercus coccifera</i>
	<i>Rhamnus lycioides</i>
	<i>Pistacia lentiscus</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>J. phoenicea ssp. phoenicea</i>
	<i>Rosmarinus officinalis</i>
Estrato herbáceo	
altura	10-30 cm.
recubrimiento	5-30%
Composición	<i>Brachypodium retusum</i>

Tabla 9.- Composición *Rhamno-quercetum cocciferae*

En las zonas más continentales la coscoja (*Quercus coccifera*), se hace dominante al desaparecer el lentisco (*Pistacia lentiscus*) y el *Pinus halepensis*. Hablamos pues, en este caso, de la subasociación *cocciferetosum*, en la que se llega a encontrar alguna especie como *Arctostaphylos uva-ursi*. Enriqueciéndose la maquia de coscoja con la presencia de la subasociación *Thuriferetosum*.

Esta asociación se encuentra situada básicamente en la zona central del valle del Ebro (de Tudela al Segre), aunque la parte catalana es muy marginal.

Dentro del dominio climácico del *Rhamno-Quercetum cocciferae* se reconocen distintas comunidades vegetales según su constitución florística.

En la parte marginal del dominio y en las zonas de monte interiores (Sierra de Alcubierre y montes de Zuera), donde el relieve es más o menos abrupto, se da con frecuencia la existencia de un pinar "claro" de *Pinus halepensis*, bajo el cual el matorral

oscila entre la maquia poco densa del *Rhamno-Quercetum cocciferae* y las poblaciones muy heliófilas del *Rosmarino-Ericion* (Conesa, 1997).

Dominio del Quercetum-rotundifoliae

El dominio climático de los encinares está situado de forma concéntrica alrededor del dominio de *Rhamno-Quercetum cocciferae*. En toda la depresión del Ebro los encinares reciben el nombre de carrascales, debido a que en ellos el árbol predominante se denomina carrasca (*Quercus ilex ssp. Rotundifolia*), árbol que se caracteriza por ser bastante resistente a la sequía. La vegetación de la zona de los carrascales (*Quercetum rotundifoliae*), tiene un carácter mediterráneo boreal aunque puede recibir irradiaciones submediterráneas (en la proximidad de las montañas marginales) y con mucha mayor frecuencia irradiaciones austromediterráneas de la vegetación xerofítica que tiene su óptimo en la parte central de la depresión.

El área de distribución de la superficie que ofrecen Bolós et Vigo, 1990 en el valle del Ebro resulta ilustrativa de este dominio climático.

Como características de la autoecología de *Quercus ilex ssp. ballota*, que por ende se podría extender a la asociación, se podrían destacar las siguientes:

- Las carrascales son indiferentes a la naturaleza del suelo, ya sea este tanto silíceo como calcáreo. Se desarrollan bien en suelos jóvenes ó pobres y escasamente evolucionados. No tolera el hidromorfismo ni los suelos salinos.
- Resultan muy resistentes al frío y a la sequía, pudiendo adaptarse a precipitaciones mínimas del orden de los 350 mm anuales. Pueden soportar precipitaciones muy elevadas siempre que el medio edáfico y el ambiente climático sean secos.
- Los carrascales son florísticamente pobres. En general existen en ellos pocos arbustos y plantas herbáceas (Conesa, 1997).

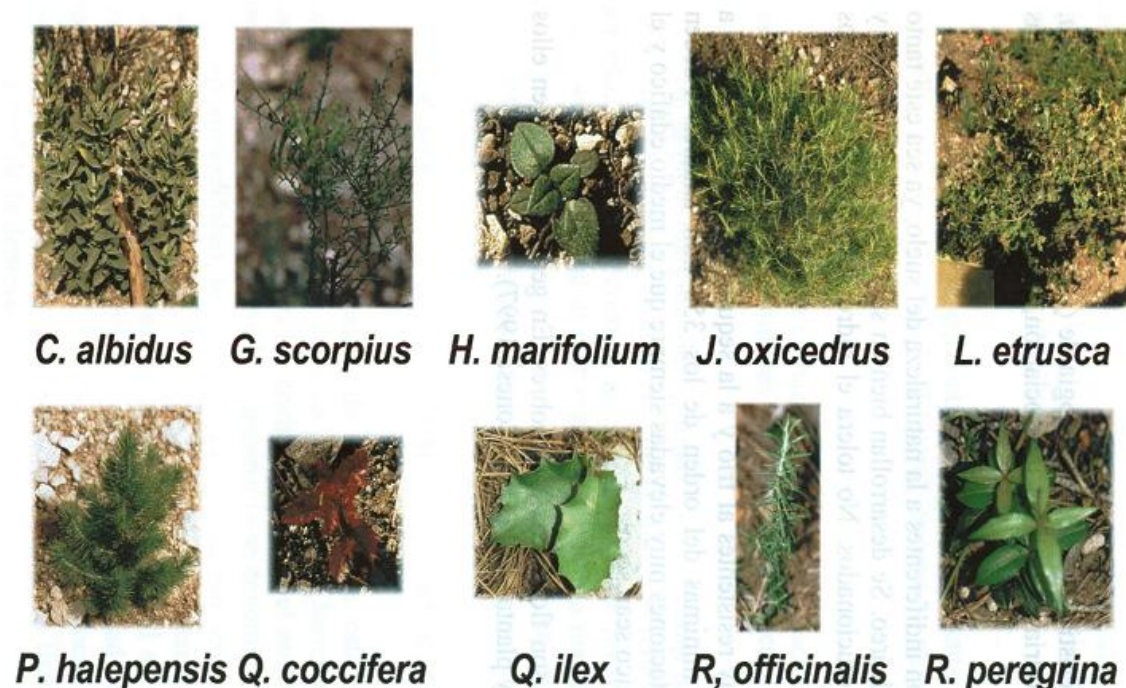


Foto 20.- Varias especies de la zona de estudio

OTRAS ASOCIACIONES NO CLIMATICAS QUE OCUPAN TAMBIÉN EL ÁREA

Las principales zonas ocupadas por estas asociaciones son las siguientes: Zona de maquia y espinares, vegetación de ribera y lacustre, actividad agrícola y vegetación arvense, vegetación nitrófila.

Las asociaciones encontradas en cada una de estas zonas son las expuestas a continuación:

- *Rosmarino-Ericion*

Se encuentra en zonas ligadas a la degradación de la maquia continental, son comunidades calcícolas y poseen especies más o menos xerófitas.

Las comunidades más importantes son:

Genisto-Cistetum clusii, *Rosmarino-Linetum suffruticosi*, y *Fumano Stipetum tenacissimae*.

- *Gypsophilion*

Se encuentra en zonas cuya degradación es debida a los afloramientos de yeso. Estos son típicos en diversas zonas del valle del Ebro.

La vegetación esperada se ve sustituida por la presencia de *Gypsophila hispanica*, *G. Struthium*, así como por otras plantas gypsícolas.

Tanto *G. hispánica*, como *G. Struthium* se encuentran en la zona de Monegros.

En función del grado de degradación del suelo debido a la presencia de yeso encontramos las siguientes comunidades:

Ononidetum tridentatae para suelos menos degradados, y la del *Helianthemum squamati* para suelos más degradados (poseen mayores vetas de yeso).

- Pinares (*Pinus halepensis*)

En zona de maquia se pueden encontrar pinares de *Pinus halepensis*, siendo estos raros en los espinares y casi siempre debidos a repoblaciones.

La mayoría de los pinares secundarios en zonas de maquia provienen casi siempre de repoblaciones. Aunque no siempre sea así, al ser corriente que el *Pinus halepensis* forme parte de la misma maquia (en una maquia con claros el pino carrasco no tiene problemas para germinar).

4- CLIMA.

5.1 Valle del Ebro

El clima es mediterráneo muy seco y de tendencia continental. En toda la parte central del llano la precipitación anual apenas supera los 300 mm, no estando únicamente limitado el déficit de humedad tan solo al verano como ocurre en todos los países del área mediterránea, sino que se extiende a una gran parte del año.

La irregularidad interanual es muy importante, siendo esta muy grande. No son extraños los años en los que las condiciones hídricas son las propias de un semidesierto (en Zaragoza se han llegado a recoger tan solo 171 mm en un año).

Este severo régimen de lluvias va unido a unas condiciones térmicas de carácter mediterráneo continental, con fuertes contrastes diarios y estacionales.

En Zaragoza la temperatura media está comprendida entre los 5 y 10 °C durante cinco meses, y entre los 20 y 25 °C durante cuatro meses; sólo cinco meses de mayo a septiembre inclusive, están exentos de peligro de helada. Importantes inversiones de temperatura, que afectan en general a las hondonadas y a las porciones más bajas de la depresión, agudizan todavía el carácter duro del clima, que es poco favorable a la vida vegetal.

En la depresión del Ebro se puede decir que un invierno bastante frío y prolongado, es sucedido por un verano muy caluroso y seco. La época en la cual las condiciones son favorables para el desarrollo de las plantas, se reduce a un corto periodo de tiempo; incluso no son raros los años en los que este periodo de tiempo apenas existe (F. Alcaraz, 1987).

5.2 Caracterización climática de Zuera y Castejón de Valdejasa

El municipio de Castejón de Valdejasa está situado en el punto geográfico con coordenadas 666300/4652850 y a una altitud de 571 metros sobre el nivel del mar.

El clima es mesomediterráneo superior, caracterizado por un ombroclima seco, con escasas precipitaciones localizadas en primavera y otoño y un claro ritmo térmico anual, con veranos cálidos e inviernos frescos.

Las temperaturas mensuales muestran que el mes más frío es enero, seguido de diciembre y febrero, y el más caluroso julio, seguido de agosto y junio. La temperatura anual se sitúa en 12,5 °C.

Las precipitaciones mensuales indican que el mes más húmedo es mayo, seguido de octubre y noviembre, y el más seco julio, seguido de agosto y marzo. La precipitación media anual se encuentra en 558,9 mm/año (media de 40 años).

Si comparamos la evapotranspiración potencial es mucho mayor que las precipitaciones durante la mayor parte del año y de manera global al cabo del año.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Temperatura (° C)	4,8	6,3	8,8	10,6	14,3	18,9	22,3	22,2	18,8	13,7	8,7	5,7	12,5
Precipitación (mm)	40	40,1	35,4	53,3	71,4	51,7	27,4	32,0	42,1	57,4	56,2	51,8	558,9
E.T.Potencial (mm)	20	33,1	59,7	87,3	131	165	192	162	104	55,6	26,2	18,7	1055

Tabla 10.- Temperatura y precipitaciones medias de los últimos 40 años

A continuación se muestra el diagrama ombrotérmico, en el que se observa que la precipitación es superior a la temperatura la mayor parte del año a excepción

desde primeros de Junio hasta Septiembre, lo que nos indica un déficit de régimen hídrico durante los meses de verano.

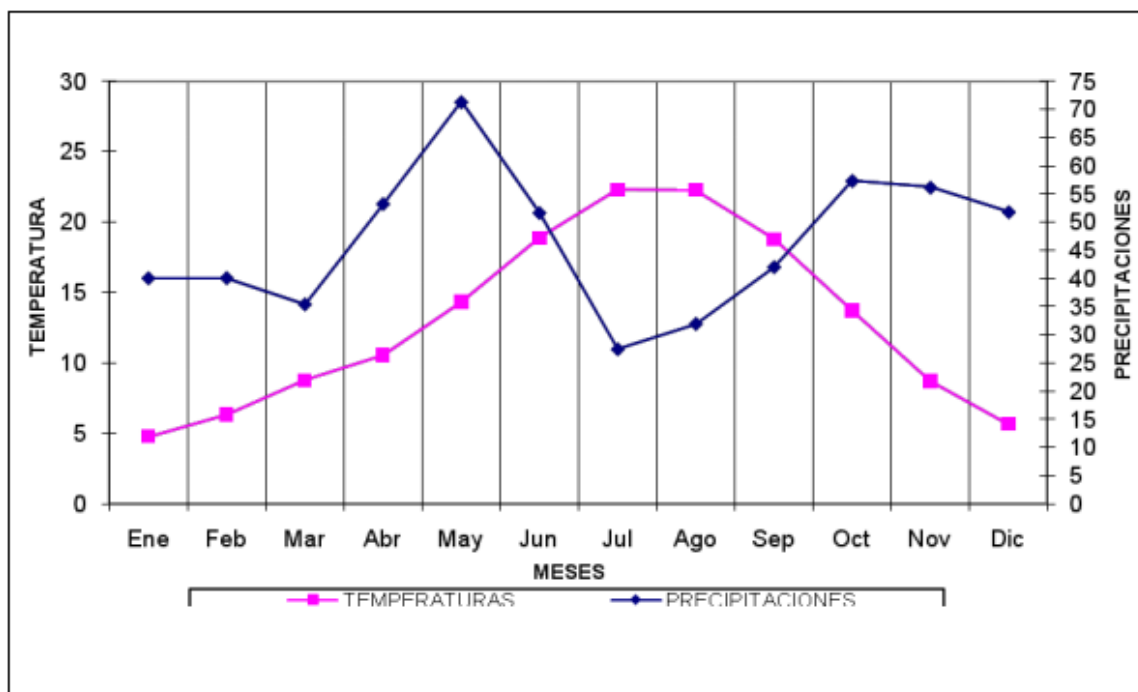


Figura 18.- Diagrama ombrotérmico de Castejón de Valdejasa

El mesoclima de esta zona situada en Zuera, se caracteriza por poseer una precipitación media anual de 348,54 y por tener una temperatura media anual de 15°C. 13,6 °C

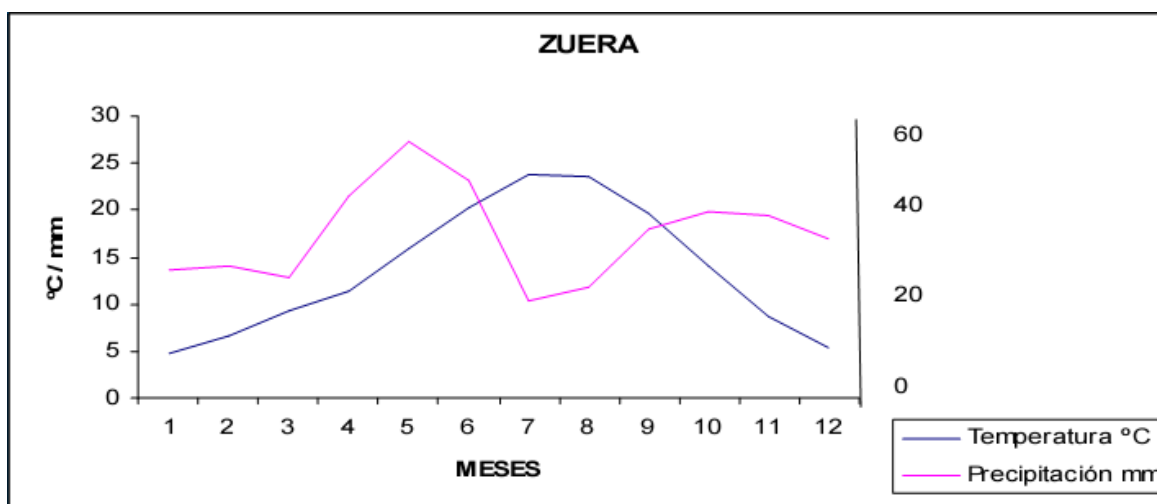


Figura 19.- Diagrama ombrotérmico de Zuera

Mediciones realizadas para la serie de los últimos años, con datos elaborados a partir de los obtenidos en los centros meteorológicos de Zuera, Remolinos, Zorongo y Villanueva de Gállego.

Para realizar la distribución estacional de la precipitación, hemos tomado los siguientes meses por estación:

- Primavera - Comprendido por los meses de: Marzo, abril y mayo.
- Verano- Comprendido por los meses de: Junio, julio y agosto.
- Otoño- Que comprende los meses de septiembre, octubre y noviembre.
- Invierno- Con los meses de diciembre, enero y febrero.

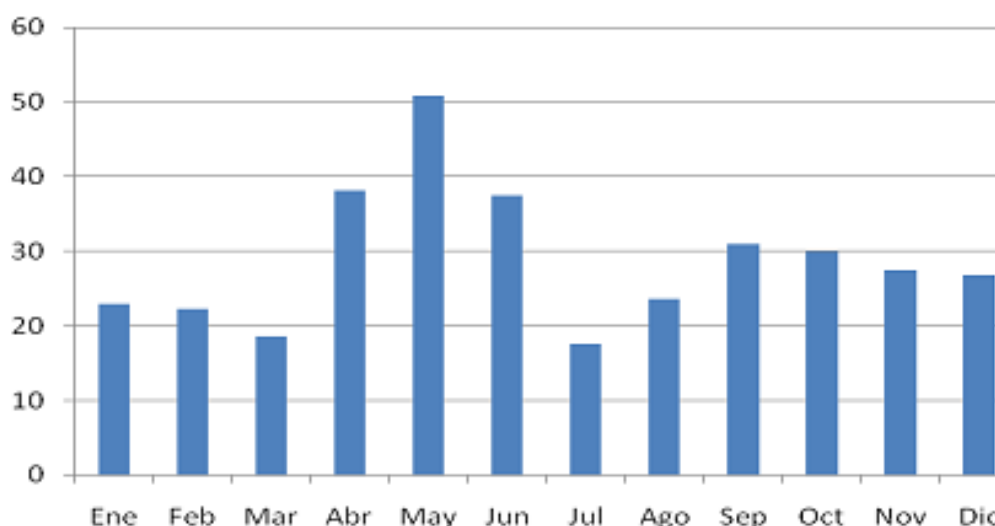


Figura 20.- Precipitación media mensual en Zuera

La distribución estacional queda de la siguiente manera contando de mayor a menor pluviometría: Otoño, primavera, invierno y verano.

El mes con la máxima pluviometría es abril, siendo marzo el mes de menor pluviometría. Los máximos y mínimos secundarios están situados en los meses de mayo (máximo) y julio (mínimo) (Centro meteorológico de Aragón).

Se encuentra situado en Mediterráneo templado con ciertos grados de continental, siendo los valores medios de sus variables climáticas las que figuran en el siguiente cuadro:

VARIABLE CLIMÁTICA	VALOR MEDIO
Temperatura media anual	14 a 15 °C
Temperatura media mes más frío	4 a 6 °C
Temperatura media mes más cálido	23 a 25 °C
Duración media periodo de heladas (según criterio de L. Emberger)	5 a 6 meses
ETP. Media anual	800 a 900 mm
Precipitación media anual	350 a 500 mm
Déficit medio anual	400 a 500 mm
Duración media periodo seco	4 a 5 meses
Precipitación invierno	22 %
Precipitación primavera	28 %
Precipitación otoño	30 %

Tabla 11.- Resumen de las precipitaciones y de las temperaturas de la zona

Desde el punto de vista de la ecología de los cultivos (J.PAPADAKIS), la zona queda caracterizada por un invierno tipo Avena fresco y un verano tipo Arroz.

En cuanto al régimen de humedad, la duración, intensidad y situación estacional del periodo árido, lo califica como Mediterráneo seco (Mapa de clases agrogeológicas, 1987).

El régimen de temperaturas oscila alrededor de los cero grados centígrados en los meses de invierno y hasta un máximo de treinta y cinco grados centígrados en verano con los típicos contrastes día/noche.

Este régimen es típico de estas zonas mediterráneas con inviernos fríos con heladas frecuentes y veranos muy calurosos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- pH

Transcurridos ocho meses después del incendio (a partir de abril), al comparar las muestras no se observan cambios estadísticamente significativos en el pH (agua) entre los tres tratamientos. Si que existen unas pequeñas variaciones de pH en los primeros meses de nuestro estudio, que corresponden entre los 4-7 meses después del incendio.

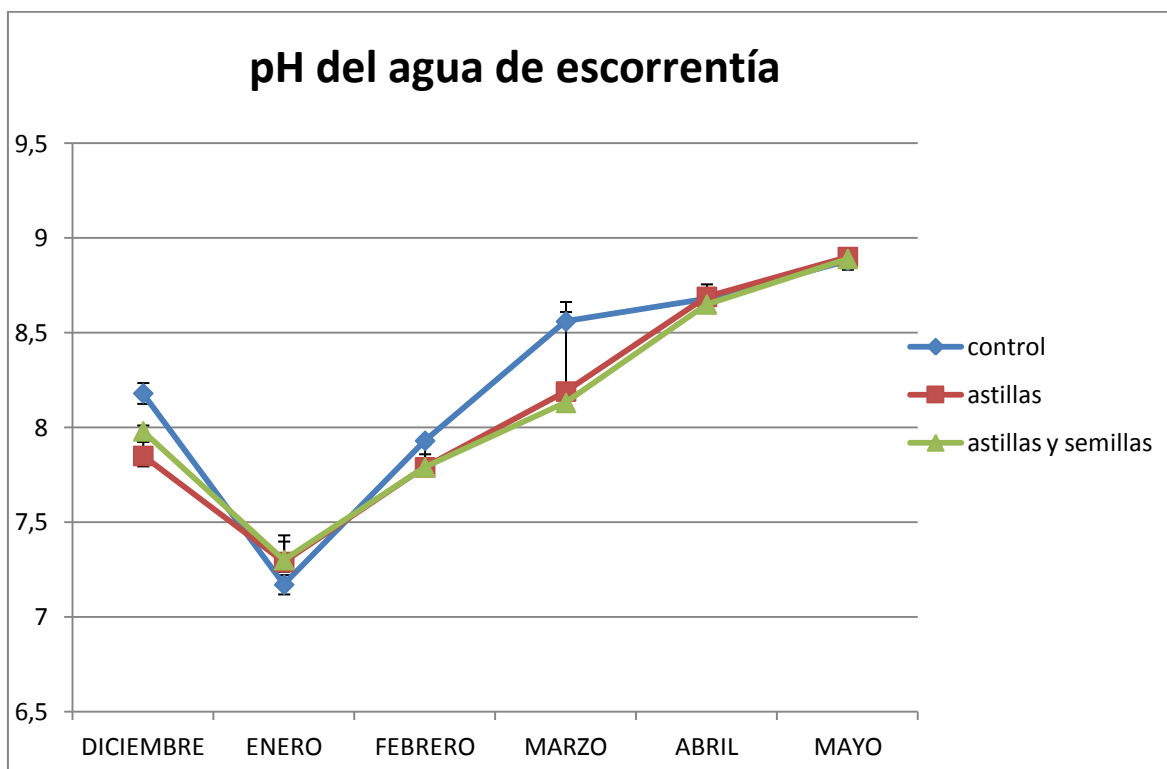


Figura 21.- Variación del pH del agua de escorrentía en cada uno de los tratamientos en los meses siguientes al incendio

Se puede destacar del análisis, que los dos tratamientos de acolchado, tanto el de astillas, como el de astillas con semillas, mantienen unos valores de pH similares. El control sí que varía mínimamente respecto a los otros dos tratamientos.

Existe una disminución del pH en el mes de enero, que se debe probablemente a la alta precipitación que hubo durante los meses de diciembre y enero y que provocó un arrastre de las cenizas. Luego los siguientes meses, esta precipitación fue menor y hace que el pH tras varios meses vuelva a recuperarse a los valores que tenía antes de que se produjera el incendio.

Generalmente la variación de pH del suelo irá relacionada a la intensidad del incendio. En incendios de baja intensidad, donde la combustión de la materia orgánica es muy baja, los cambios en el pH son insignificantes (Owensby y Wyrill, 1973). Se ha observado en algunos casos que se puede producir una disminución del pH de algunas décimas (Giovannini, 1989, 1990; Sertsu, 1978). Este hecho se atribuye a una disminución del poder amortiguador del suelo como consecuencia de la deshidratación de los coloides (Coles & Morrison, 1930). En los casos que la intensidad del incendio es alta, y se produce una gran combustión de la materia orgánica del suelo, el pH del suelo puede llegar a aumentar mucho (4 o 5 unidades) (Ulery et al., 1993) debido, fundamentalmente a la pérdida de grupos OH de los minerales de la arcilla y la formación de óxidos (Giovannini, 1989, 1990).

Según Giovannini (1994), los cambios en el pH se deben a la pérdida de grupos hidrófilos por parte de las arcillas y a la formación de óxidos derivados de la disolución de carbonatos, pero afirma que es necesaria una temperatura superior a 450 °C para que este incremento sea notable. Este incremento de pH no es persistente, por la formación de nuevo humus, y el lavado de iones básicos, pero en algunos casos se han necesitado años para recuperar el pH inicial (Khanna y Raison, 1986; Mataix-Solera et al., 2009).

Son muchos los investigadores que muestran un aumento significativo del pH en los suelos incendiados (Raison, 1979; Dimitrakopoulus et al., 1994; Romanyá et al., 1994; Giovannini, 1997; Úbeda, 2001; Marcos et al., 2007; González-Vila et al., 2008).

Aunque, otros investigadores al someter a los suelos a diferentes temperaturas en experimentos de laboratorio han encontrado resultados diferentes, que evidencian un descenso significativo del pH hasta 250 °C, obteniendo después un aumento significativo hasta los 500 °C (Badía y Martí, 2003^a, 2009; Úbeda et al., 2009).

Los incrementos observados en los valores de pH de los suelos quemados (SA-Pinar, A- Monte, A-Maíz) pueden ser debido a la desnaturalización de los distintos ácidos orgánicos presentes en el suelo. Se puede asumir que en esas zonas la temperatura del fuego alcanzó valores elevados (450 a 500° C) debido a que a partir de esa temperatura ocurre una combustión completa de los restos vegetales presentes en las muestras y la consecuente liberación de bases.

Úbeda et al. (2005) observaron un incremento significativo estadísticamente del pH justo después del fuego, atribuido al incremento de cationes y a los ácidos orgánicos procedentes de la oxidación de la materia orgánica del suelo. Aunque, un año después del fuego ya no existen diferencias significativas y los valores que se obtienen son muy parecidos a los anteriores al fuego. Como indican Úbeda et al. (2005) en su trabajo: Antos et al. (2003) observaron que el pH del suelo permanece

alto en el área de estudio hasta que la vegetación (coníferas) regenera su dominancia en el sitio.

El pH de los lixiviados generados en las simulaciones de lluvia, refleja los mayores valores en las muestras sometidas a temperaturas de 400°C, seguido por los suelos sometidos a temperaturas inferiores (200°C), y poniendo en evidencia que los suelos sometidos a choques térmicos presentan pH proporcionales a la temperatura. Este comportamiento se debe a la acción del fuego sobre la propia composición del suelo, y ha sido mostrado en diversos estudios como los de Giovannini.

Este autor, sometiendo los suelos a diferentes temperaturas llega a la conclusión de que existen dos umbrales fundamentales: el calentamiento por debajo de los 220°C, donde comienza la destrucción de la materia orgánica, que hace descender la CIC del suelo y como consecuencia de la liberación de los iones acidificantes disminuye el pH del suelo y, por encima de los 440°C donde sigue disminuyendo la CIC, pero ahora el pH aumenta, como consecuencia de la formación de óxidos y pérdida del grupo hidroxilo.

Por otro lado diversos autores (Debano y Conrad, 1978; Díaz-Fierros et al., 1982; Marcos et al., 1999; Carballas et al., 2009) señalan que en quemas de baja intensidad no se detectaron variaciones en el pH o, si se detectan, estas son muy pequeñas. En ocasiones, estas recuperaciones relativamente rápidas de parámetros como el pH son producto simplemente de la desaparición de las cenizas por erosión, es decir el agente que podría continuar causando la modificación (cenizas) ha sido eliminado (Mataix-Solera, 1999).

Autores como Mataix-Solera et al., (2002b), reportan una estabilización del pH en tan sólo 6-7 meses después del incendio. La capacidad de intercambio catiónico del suelo también se ve afectado, según algunos autores (Carballas et al., 1993) en forma directamente proporcional al descenso en los porcentajes de materia orgánica. Esto es debido a que parte de los cationes liberados no pueden ser retenidos por el complejo absorbente siendo lixiviados hacia horizontes más profundos en el perfil del suelo o, arrastrados sobre el suelo desnudo por el agua de lluvias posteriores (Uribe et al., 1967); Mataix-Solera et al., 2002a). Esto puede generar un empobrecimiento del suelo, ya que se pierde la capacidad para retener nutrientes, incrementando el riesgo de erosión y posterior pérdida de nutrientes en el suelo (Kelsall, 1977).

Los cationes de cambio Ca^{2+} y K^+ aumentan, con resultados estadísticamente significativos después del incendio, fundamentalmente en horizontes superficiales, lo que podría indicar que la vegetación incinerada (mayoritariamente *Pinus pinaster*) es más rica en Ca^{2+} y K^+ , que en Mg^{2+} y Na^+ . Las bases quedan retenidas por el complejo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

adsorbente y no se han lixiviado en los primeros meses transcurridos desde el incendio.

El incremento en el pH suele favorecer la actividad de los microorganismos, especialmente las bacterias, y por lo tanto todos los procesos relacionados con estos, entre otros la fijación de nitrógeno (Vélez, 2000). Sin embargo estos incrementos suelen ser efímeros, ya que el pH tiende a bajar hasta estabilizarse.

Entre los hechos destacables del análisis, decir que los suelos tienen un pH básico con unos valores bastante estables, debido a la capacidad tampón del suelo por el alto contenido en carbonatos y en sales solubles.

A los 18 meses los suelos impactados tienden a recuperar los valores que poseían antes de sufrir el percance (González et al, 1991).

En suelos muy quemados se produce un aumento de cationes divalentes (Mg^{2+}), ocasionado por el aporte de cenizas, mientras que los monovalentes (K^+) varían poco.

También hay que tener en cuenta, que los suelos calcáreos presentan una alta capacidad de tampón y las variaciones en el pH que se registran debido al aporte de cenizas suele ser inferior a la registrada en suelos de pH ácidos (Mataix-Solera et al., 2009).

Transcurrido un año del incendio, al comparar las muestras control y las quemadas no se observan cambios estadísticamente significativos en el pH (H_2O).

	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
CONTROL	8,18 \pm 0,055	7,17 \pm 0,051	7,93 \pm 0,020	8,56 \pm 0,006	8,68 \pm 0,015	8,88 \pm 0,047
ASTILLAS	7,85 \pm 0,075	7,29 \pm 0,141	7,79 \pm 0,134	8,19 \pm 0,473	8,69 \pm 0,066	8,9 \pm 0,017
ASTILLAS Y SEMILLAS	7,98 \pm 0,031	7,30 \pm 0,098	7,79 \pm 0,069	8,13 \pm 0,480	8,65 \pm 0,035	8,89 \pm 0,031

Tabla 12.- Valores medios de pH del agua de escorrentía en cada uno de los tratamientos

En cualquier incendio, la acidez del suelo se ve reducida debido al aporte de cationes, fundamentalmente Ca, Mg, K, Si y P así como determinados microelementos (Khanna & Raison, 1986; Etiégni & Campbell, 1991; Khanna et al., 1994; Gonzalez et al., 1996; Mataix Solera et al., 1996b), óxidos y carbonatos contenidos en la cama de cenizas. El humedecimiento de la misma produce la hidrólisis de los cationes básicos contenidos en ellas y, consecuentemente, la elevación del pH (Bará, 1982; Dyrness,

1983; Ellis, 1983; Rashid 1987; Kutiel et al; 1990; Tomkins et al; 1991; Fritze et al., 1994; Ulery et al., 1995).

El pH influye en la actividad de los microorganismos de tal modo que en los suelos con pH ácido, la materia orgánica se descompone más lentamente y disminuye el aporte de los nutrientes en ella retenidos por su baja velocidad de mineralización.

La variación de pH también puede dar lugar a problemas de nutrición vegetal, al impedir la asimilación de algunos nutrientes.

El aumento en la alcalinidad de la capa superficial del suelo y en la conductividad eléctrica se explica porque, al quemarse la materia orgánica, las sustancias minerales son liberadas en forma de óxidos o carbonatos que usualmente tienen relación alcalina, aumentando la concentración de sales del suelo (Kutiel et al. 1990, Andreu et al. 1996). La magnitud y duración del cambio depende del pH original y contenido de materia orgánica del suelo, la cantidad y composición química de la ceniza así como la precipitación local (Black 1975, Printchett 1986, Chandler et al. 1991) pero en general disminuye con el tiempo (Iglesias et al. 1997).

- Conductividad eléctrica

Inmediatamente después del incendio (año 0), se obtienen diferencias estadísticamente significativas entre muestras control y quemadas. Esto es debido al aporte de sales solubles a la superficie del suelo procedentes de la disolución de las cenizas, cuya CE (1:1) es de 4,89 dS/m.

Transcurrido un año las sales procedentes de las cenizas y de la materia vegetal quemada se han incorporado en profundidad, mostrando diferencias significativas.

Estas sales de los suelos quemados se han incorporado progresivamente al suelo con la infiltración del agua, mayor tras el incendio.

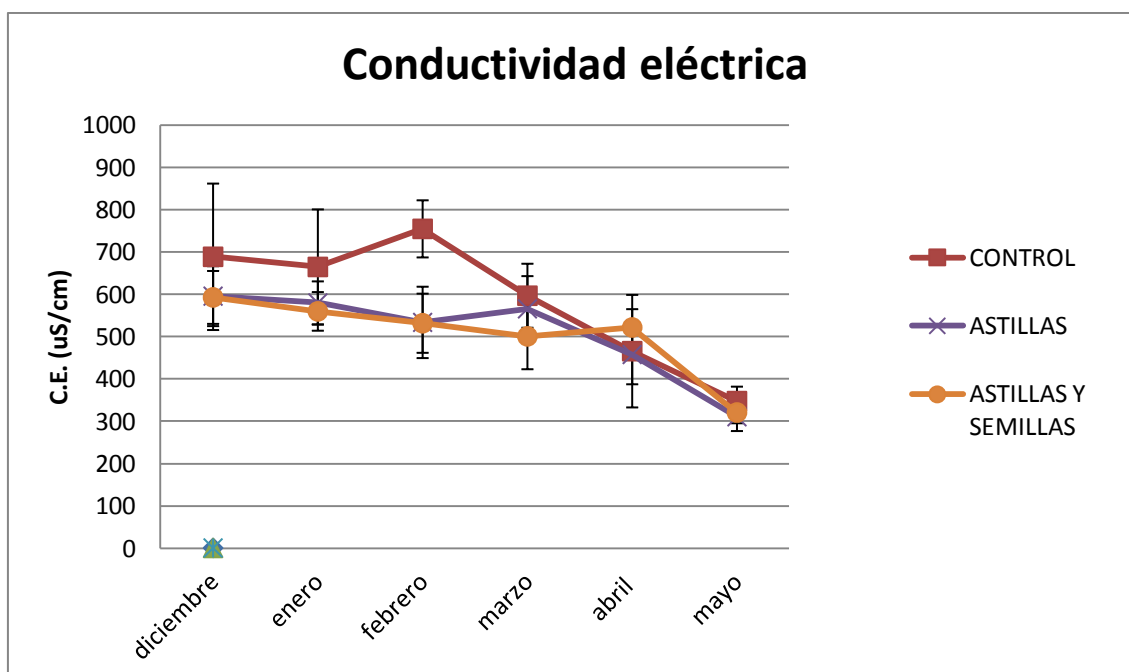


Figura 22.- Variación de la C.E. del agua de escorrentía en cada uno de los tratamientos en los meses siguientes al incendio

Pero podemos suponer que hay una parte de estas sales que se han perdido con las cenizas arrastradas por erosión hídrica y eólica. En este sentido se observa como la conductividad eléctrica del agua de escorrentía desciende con el tiempo en parcelas quemadas y no tratadas en los montes de San Gregorio. Al analizar los resultados obtenidos, cuatro meses después del incendio la conductividad eléctrica era de 0,689 dS/m y tres meses más tarde ese valor descendió hasta 0,597 dS/m, pero transcurridos otros dos meses más el valor registrado era de 0,348 dS/m.

Son varios los autores que coinciden en un incremento de la conductividad eléctrica, relacionada con el aumento de iones inorgánicos procedentes de las cenizas originadas tras la combustión de la vegetación y la hojarasca (Ulery et al., 1995; Hernández et al., 1997; Carballas et al., 2009). Circunstancia producida por la solubilización de las cenizas y su incorporación al suelo por medio de la infiltración (Mataix-Solera y Cerdà, 2009). Aunque con el paso del tiempo (uno o dos años), Mataix-Solera et al. (2009) han observado que la conductividad eléctrica vuelve a los valores de antes del incendio, o incluso presenta valores más bajos, debido a la erosión posterior del suelo y las cenizas, al lavado de sales a través del perfil y también por la absorción de nutrientes por la vegetación que coloniza de nuevo el área afectada.

El aporte de cenizas como consecuencia directa de la combustión de la vegetación, así como la de la materia orgánica del horizonte más superficial del suelo, en el caso de incendios intensos, provoca un incremento en el contenido de sales en el suelo inmediatamente después del incendio. La medida de la conductividad eléctrica, nos cuantifica esta alteración.

La persistencia de la modificación de la conductividad eléctrica dependerá de los mismos factores que los del pH.

En incendios de intensidad alta y moderada se producen incrementos en la conductividad eléctrica del suelo tras el paso del fuego (Kwari & Batey, 1991). Las condiciones climáticas y en especial el régimen pluviométrico de la zona afectada, así como las condiciones geográficas, van a marcar la evolución del contenido en sales tras el incendio.

En condiciones de pluviometrías elevadas y pendientes acusadas, la exportación de estas sales hacia cotas de nivel más bajas condicionan un empobrecimiento de nutrientes en el medio edáfico. Por este motivo consideramos esta determinación interesante para evaluar si existe una pérdida de sales a corto y medio plazo.

No se han obtenido diferencias significativas, a pesar del aporte de sales por las cenizas. La explicación pensamos que debe buscarse en el arrastre de éstas por el viento (erosión eólica) y las lluvias (erosión hídrica), favorecido por la elevada pendiente del terreno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
CONTROL	689 \pm 0,055	665 \pm 0,051	755 \pm 0,020	597 \pm 0,006	466 \pm 0,015	348 \pm 0,047
ASTILLAS	596 \pm 0,075	580 \pm 0,141	534 \pm 0,134	566 \pm 0,473	458 \pm 0,066	311 \pm 0,017
ASTILLAS Y SEMILLAS	593 \pm 0,031	560 \pm 0,098	532 \pm 0,069	501 \pm 0,480	522 \pm 0,035	321 \pm 0,031

Tabla 13.- Valores de C.E. (us/cm) del agua de escorrentía en cada uno de los tratamientos

Se observa al principio, un ligero aumento en la conductividad eléctrica del control respecto al suelo quemado, aunque no es significativa, después de varios meses, disminuye posiblemente debido a la erosión que se ha llevado parte de esas cenizas y esas sales.

Aparecen diferencias en los primeros muestreos, sobre todo en el segundo y el tercero, que es cuando la situación superficial del suelo ha podido ser modificada por la cantidad de sales aportadas, justo antes de apreciarse éste incremento.

Tras el incendio se producen aumentos en la conductividad eléctrica del suelo que ya se manifiestan al día siguiente a éste, debido a los iones provenientes de las cenizas vegetales. Estas diferencias desaparecen a los 4 meses del incendio entre el suelo control y el quemado; resultados que concuerdan con los obtenidos para el pH, que también se recuperaba a los 4 meses.

Con el paso de los meses, en la zona control, hay una disminución por arrastre y lavado del suelo por las lluvias en el periodo en que se registra un aumento de pluviosidad.

Aquí podemos comprobar que si el estudio lo hubiésemos comenzado a los siete u ocho meses después del incendio, no encontraríamos apenas diferencias significativas en cuanto a conductividad eléctrica del suelo. Lo cual nos hace pensar que estamos en lo correcto en las interpretaciones y suposiciones que hemos realizado para el estudio.

Las diferencias significativas se manifiestan entre los tratamientos, pero ya en los últimos muestreos desaparecen, recuperándose el nivel de conductividad eléctrica original del suelo, siendo este hecho muy importante, ya que la aplicación de compost como ayuda a la regeneración de la cubierta vegetal, no va a suponer un aumento de salinidad del suelo de forma permanente.

El pH y la conductividad eléctrica (que indica directamente el contenido de sales) de los suelos quemados, por lo general, crecen como consecuencia de la reducción de ácidos orgánicos y de la acumulación de cenizas, ricas en óxidos y en carbonatos de iones básicos. Dependiendo de la lluvia que caiga después del incendio,

los altos valores de estos parámetros pueden persistir o disminuir, debido al lavado de cationes, particularmente en la capa superficial. La recuperación de la materia orgánica también disminuye el incremento del pH.

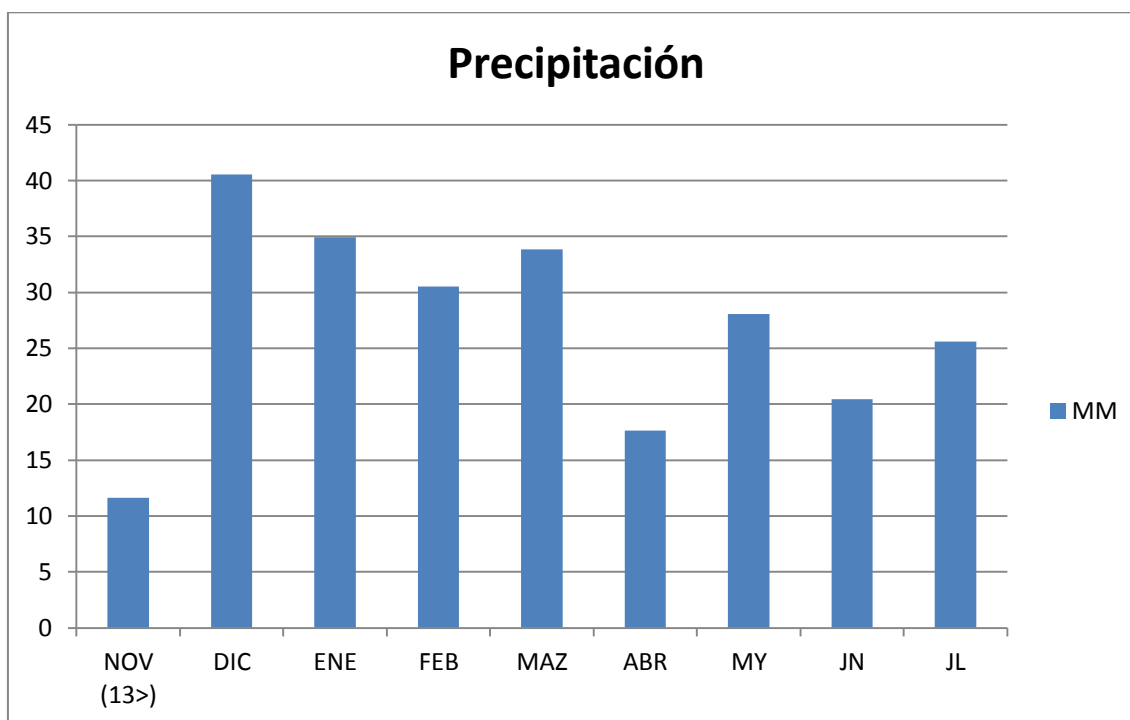


Figura 23.- Precipitación (mm.) recogida durante el periodo de estudio

La incorporación y el incremento de cenizas minerales produce un aumento notable de la salinidad del suelo (DeBano et al; 1977; Kutiel & Naveh, 1987; Kutiel & Shaviv, 1989; Hernández et al., 1997), ya que solubiliza iones que previamente estaban inmovilizados (Kwari & Batey, 1991; Carballas et al., 1993; Kutiel & Inbar, 1993; Mataix Solera et al., 1996b). Como no suele alcanzarse niveles excesivos de salinidad, podría suponerse que ello mejora la fertilidad mineral del suelo; sin embargo existen niveles máximos de nutrientes utilizables de la disolución del suelo, por encima de los cuales la absorción de nutrientes puede ser inhibida por problemas antagónicos surgidos de la acumulación de elementos minerales.

También hay que considerar el equilibrio iónico en la disolución del suelo puede verse alterado al incrementarse selectivamente la concentración de algunos de ellos. Por ello, el aumento de salinidad, dentro de límites no fitotóxicos, no puede considerarse por sí mismo como una indicación de aumento de fertilidad. Además, estas sales, al encontrarse en la disolución del suelo, pueden ser lavadas fácilmente por el agua de lluvia (Ruiz del Castillo, 1988) y, probablemente, en un plazo más o menos largo, disminuirá su proporción en el suelo (Ludwig et al., 1998).

- Erosión

Pérdidas de suelo por erosión y cambios en el régimen hidrológico

La alteración de las propiedades físicas del suelo, en conjunción con la disminución de la cubierta vegetal y de la protección directa del suelo producidas por el incendio, conducen a un incremento notable de su susceptibilidad a la erosión pluvial. La pérdida de suelo es quizá el impacto ecológico más grave del incendio por su carácter prácticamente irreversible y su influencia en otros componentes del ecosistema.

La destrucción de los complejos arcillo-húmicos libera una gran cantidad de elementos finos (arcillas y limos fundamentalmente) que, durante los primeros años tras el incendio, conforman el componente cuantitativo de la pérdida de suelos referida.

Esta será de mayor ó menor intensidad dependiendo de las características climáticas (cantidad, intensidad y duración de las precipitaciones durante este periodo), topográficas (existencia de pendientes más o menos acusadas), y edáfico-litológicas (existencia de pendientes más o menos acusadas), y edáfico-litológicas (diferentes tipos de sustrato) que van a concurrir en la zona afectada por el fuego (Heras, 1993).

La información disponible sobre la erosión post-incendio se ha incrementado notablemente en los últimos decenios gracias a las aportaciones de varios grupos de investigación. Se ha observado, en primer lugar, que las pérdidas de suelo tienen lugar básicamente en el primer año tras el incendio y particularmente entre el 70-80 % de ellas en los meses de otoño e invierno cuando se concentra la mayor cantidad de precipitación. Por tanto, las medidas de corrección de la erosión deben acometerse en los primeros días tras el fuego si se quiere que sean efectivas.

En incendios de áreas forestales se han observado pérdidas de suelo bastante variables entre 15 y 170 t/ha (Díaz-Fierros et al., 1982) o entre 1,5 y 21,7 t/ha (Vega et al., 1982) el primer año tras el fuego. Estas últimas cifras en comparación con las cantidades prácticamente nulas en terrenos arbolados colindantes no incendiados.

En fuegos experimentales las pérdidas observadas fueron más pequeñas de 3t/ha (Soto y Díaz-Fierros, 1998) a 0,6-0,2 t/ha (Vega et al., 2005). Esta última cantidad incluso comparable a las de los testigo. Sin embargo, las tradicionales estivadas generaron niveles de erosión muy elevados 45,7-57,2 t/ha (Soto et al., 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

AUTOR	MÉTODO	TASA DE EROSIÓN (Mg/ha año) ANTES	TASA DE EROSIÓN (Mg/ha año) DESPUÉS
Soler y Sala, 1990	Parcelas abiertas	0,006	0,27
Soler et al., 1994	Parcelas abiertas	2,7	34,9
Úbeda y Sala, 1996	Parcelas abiertas	0,03	32,5
Rodríguez et al., 1999-2000	Parcelas abiertas	0	2-11
Soto et al., 1994	Parcelas 4 x 20 m	1,5	24,8
Sánchez et al., 1994	Parcelas 4 x 20 m	3,9	0,007
Gimeno et al., 2000	Parcelas 4 x 20 m	0,05	2,89
Belillas, 1994	Cuencas	4,3	3,8
Mayor et al., 2007	Cuencas	0,0	0,65
Cabrera 2009-2010	Parcelas abiertas	-	2-3,1

Tabla 14.- Tasas de erosión según los estudios de varios autores

Por otro lado, los estudios desarrollados han puesto de manifiesto el papel esencial jugado por la cubierta orgánica del suelo remanente después del incendio en el proceso erosivo.

Otros estudios posteriores (Fernández et al., 2004; Vega et al., 2005) han subrayado como las condiciones de humedad del suelo y mantillo, al controlar el régimen térmico en el suelo durante el fuego, condicionan también el espesor de la cubierta remanente del suelo y cómo ese factor afecta notablemente a la cantidad de suelo perdido.

Lo anterior pone en evidencia que se precisa distinguir después del incendio dos situaciones claramente diferentes: la desprotección total del suelo (zonas de matorral y áreas arboladas con fuegos de copa) de aquellas otras donde las áreas arboladas han sido afectadas con menor severidad a la hora de priorizar las actuaciones de mitigación del proceso erosiva.

Control de la erosión

Observando los datos de erosión total obtenidos durante el periodo de estudio, se observa globalmente, la microparcela control, presenta mayores niveles erosivos,

siendo el tratamiento de astillado con semillas el que ha conseguido reducir la erosión total. La comparación global, muestra que hay un descenso de la erosión en las microparcelas donde se ha realizado la siembra de herbáceas.

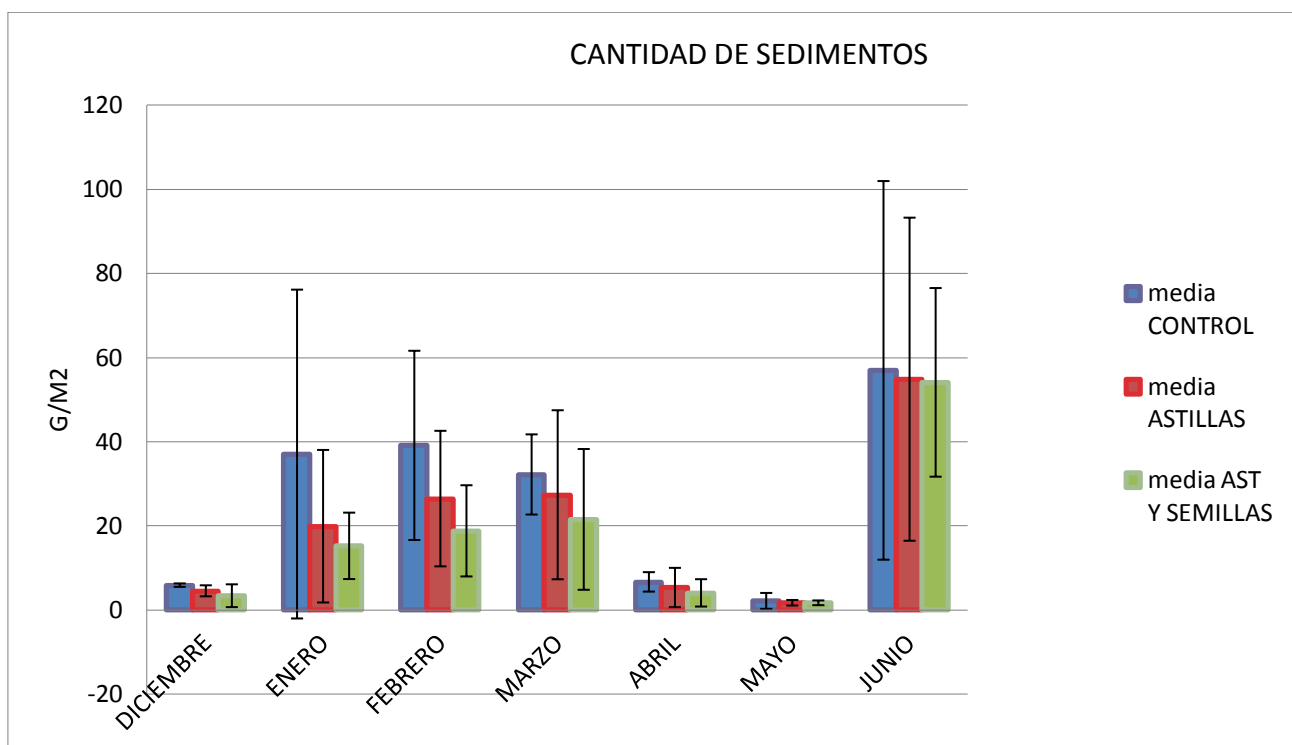


Figura 24.- Cantidad de sedimento recogido (g/m²) durante el periodo de estudio en los tres tratamientos

El tratamiento de astillas con semillas, en líneas generales, ha dado una erosión total inferior respecto a los otros tratamientos. El acolchado se ha descrito como un método efecto para disipar la energía cinética de las gotas de lluvia (Morgan y Davidson, 1993), y para disminuir la erosión laminar (Thompson et al., 1988). La introducción de herbáceas ha supuesto reducir la erosión en un 34 %, mientras que en el caso del acolchado ha supuesto reducirla a un 22 %. Esto confirma la observación realizada por López (1987a), que comenta que la erosión más severa se produce cuando el suelo está desprotegido de vegetación.

Aunque las diferencias significativas han sido pocas, hay que destacar que la hallada en el muestreo (C4, A6), es la más significativa y relevante, ya que es la que muestra el efecto de los tratamientos en las condiciones más adversas que se han sucedido, y en donde las medidas pueden reducir los errores relativos debido al método y manejo de muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
CONTROL	58,8 \pm 2,9	370,4 \pm 356,8	390,9 \pm 205,3	321,9 \pm 87,0	66,5 \pm 20,6	21,4 \pm 13,6	569,2 \pm 410,8
ASTILLAS	45,3 \pm 10,7	198,8 \pm 165,5	264,5 \pm 147,0	273,6 \pm 183,4	53,2 \pm 42,6	16,9 \pm 5,9	548,2 \pm 350,6
ASTILLAS Y SEMILLAS	33,6 \pm 22,2	152,2 \pm 72,0	187,9 \pm 98,9	215,0 \pm 152,7	40,4 \pm 29,0	16,8 \pm 5,0	540,8 \pm 204,6

Tabla 15.- Cantidad de sedimento recogido (kg/ha) durante el periodo de estudio en los tres tratamientos

La erosión total media durante el transcurso del estudio en los 7 meses ha sido de 1,462 tn/ha (1,7991 tn/ha en parcelas control, 1,4005 tn/ha en parcelas de astillado y 1,1867 tn/ha en parcelas de astillado y siembra de semillas) equivalente a 2,506 tn/ha y año. Aunque dicho valor no represente la erosión anual de la zona, da una idea de la magnitud a la que se podría llegar, ya que engloba los periodos más frecuentes de lluvia. Según López (1987b), dicho valor corresponde a un nivel erosivo 1, poco grave, el cual representa un umbral de 0 a 500 gr/m² y año.

SUPERFICIES SEGÚN NIVELES EROSIVOS

Nivel erosivo (t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)		Superficie geográfica		Pérdidas de suelo		Pérdidas medias (t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)
		ha	%	t·año ⁻¹	%	
1	0-5	229.656,51	45,51	491.901,31	7,80	2,14
2	5-10	94.593,45	18,75	680.105,53	10,79	7,19
3	10-25	100.622,27	19,94	1.595.441,03	25,30	15,86
4	25-50	44.077,79	8,74	1.527.656,49	24,24	34,66
5	50-100	18.451,87	3,66	1.247.097,16	19,78	67,59
6	100-200	4.435,09	0,88	577.131,99	9,15	130,13
7	>200	617,58	0,12	185.515,90	2,94	300,39
SUPERFICIE EROSIONABLE		492.454,56	97,60	6.304.849,41	100,00	12,80
8	Láminas de agua superficiales y humedales	2.404,59	0,48			
9	Superficies artificiales	9.667,76	1,92			
TOTAL		504.526,91	100,00			

Tabla 16.- Superficie de suelo por niveles erosivos

Hay que contrastar el valor obtenido, con el nivel estimado según los mapas de estados erosivos publicados por el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (1987), el cual estaría próximo a los 12.000 gr/m².

Comparación de comportamiento entre ambas zonas

Podemos deducir que los valores de la erosión en ambas subzonas han sido prácticamente iguales.

Influencia de la pluviometría y el recubrimiento sobre la erosión.

La pérdida de suelo es el resultado de diferentes factores, destacando entre otros la acción del agua y del viento, así como también la densidad de la cubierta vegetal (Hernando et al, 1991).

Esto indica que existe una mayor influencia sobre la erosión por parte de los máximos puntuales de precipitación registrados en una serie temporal (lluvias torrenciales), que por parte del valor acumulado de pluviometría para la misma serie temporal.

Una elevada intensidad de precipitación, produce un gran arrastre de suelo. Lo que se traduce en una mayor cantidad de sedimento recogido (Andreu et al, 1990).

En los suelos afectados por incendios, y por tanto sin cubierta vegetal y alterados los primeros centímetros superficiales, la escorrentía superficial es muy elevada (aproximadamente el 90 % del agua aplicada) y también la erosión laminar, con 850 g/m². H (10 veces más que la original). Cuando se trata de suelos incendiados pero que poseen una cubierta de piedras la escorrentía es muy elevada. Sin embargo la erosión es escasa porque las pérdidas de tierra fina se establecieron previamente.

La importancia de la cubierta vegetal has sido puesta también en evidencia mediante la instalación de trampas de sedimentos (Gerlach) bajo diferentes formaciones vegetales afectadas o no por el incendio, tanto en Fraga como en Castejón de Valdejasa. En ambos montes, las tasas de pérdida de suelo en zonas de testigo es mínima (alrededor de 0,2 Mg/ ha año) mientras que en las zonas quemadas los primeros años supone la pérdida de entre 2 a 20 Mg/ ha año. La variabilidad está muy relacionada con la diferente evolución de la cobertura vegetal tras el fuego.

En otros estudios realizados en la zona de Castejón de Valdejasa, sobre la evolución de la erosión con la cobertura de suelo tras un incendio forestal existen dos zonas bien diferenciadas: Varillo Largo (ladera norte con coscojar denso) y Palomera (ladera sur con pinar aclarado). Tras recordar que en las parcelas testigo, con coberturas próximas al 100 % apenas se recogen sedimentos, hay que resaltar que en el coscojar quemado la erosión media es 7 veces superior a la de su parcela testigo y en el pinar, es unas 36 veces superior en los primeros años (Rodríguez et al., 2000). La erosión acumulada en las parcelas de pinar es significativamente mayor que en las de coscojar y está relacionada con la capacidad de la vegetación para cubrir la superficie

edáfica. A su vez, se observan algunos puntos de inflexión tanto en la evolución tanto de la cobertura como de la erosión, lo cual se relaciona con las condiciones ambientales. Así en primavera la tasa de cobertura vegetal se ve acelerada para disminuir en periodo estival, especialmente donde predominan terófitos; la erosión muestra algunos pulsos relacionados con momentos de mayor intensidad de la lluvia.

Se valoran los efectos del fuego y la lluvia torrencial sobre el comportamiento hidrológico y la erosión de suelos calizos en bosques de pino carrasco en el ambiente semiárido del Valle Medio del Ebro.

Entre los resultados obtenidos hay que destacar, que el fuego incrementó significativamente la pérdida de suelo; 18,5 veces con lluvia de baja energía y 33,6 con alta energía. La pérdida de sedimentos se dio tanto por disolución de solutos, especialmente en parcelas no quemadas, como en forma de partículas en suspensión, mayoritariamente en parcelas.

- Coberturas

1- Cobertura vegetal

La evolución del recubrimiento vegetal total, como media de seis replicas por tratamiento, es muy semejante para los tres tratamientos estudiados. Resulta evidente la lentitud con que la vegetación va recuperando su composición previa al incendio en estas condiciones semiáridas.

La evolución de la cobertura vegetal sigue una evolución muy similar en las dos zonas estudiadas, los primeros meses se produce una recuperación lenta (cobertura del 2-4 % al 8-10 %), pero luego se produce un aumento exponencial a partir de este momento y que dura otros cuatro meses alcanzando niveles por encima del 50 %. Estos datos coinciden con los observados por otros autores en comunidades vegetales Mediterráneas (Morey y Trabaud, 1988).

Tratamiento	NOV	DIC	ENE	FEB	MZ	ABR	MY	JN
CONTROL	4,3	6,7	9,6	10,3	23,3	30,5	53	52,5
ASTILLAS	2,2	2,3	6,8	8,2	20,1	28,5	49	49
ASTILLAS Y SEMILLAS	1,2	2,8	6,8	8,4	21,7	29,7	50,8	51,2

Tabla 17.- Resumen del porcentaje de cobertura vegetal durante el periodo de estudio

La recuperación natural de la vegetación después del incendio fue muy baja. Después de 8-9 meses tras el fuego el recubrimiento vegetal en las parcelas quemadas control (sin tratamiento) fue del 52 %. El tratamiento de siembra más cubierta de mulch (astillas de pino) fue del 51 % y el tratamiento de mulch sin siembra del 49 %. Con estos resultados, ni la siembra ni el mulch por sí solos incrementaron significativamente la recuperación de la vegetación.

Hay un ligero aumento del recubrimiento en parcelas de mulch con tratamiento de siembra con respecto a las que no lo tienen, debido a la germinación e instalación de las especies sembradas (cebada y alfalfa).

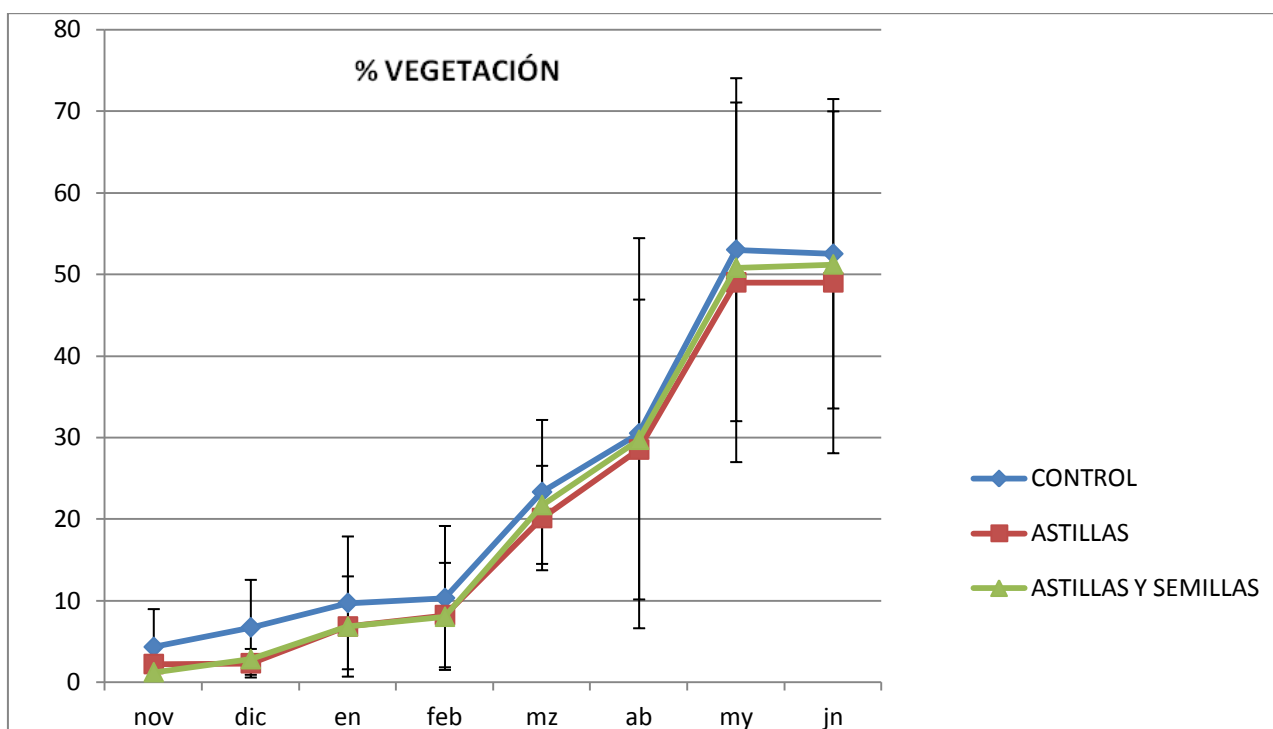


Figura 25.- Gráfico del porcentaje de cobertura vegetal durante el periodo de estudio

Consideraciones

Para resumir los puntos anteriores podemos decir; los montes donde dominan plantas herbáceas, tienen una respuesta post-incendio más lenta y dependiente del régimen de lluvias que en la zona donde dominan las plantas rebrotadoras. Este aspecto fue puesto de ya en evidencia en matorrales del Valle Medio del Ebro por Badía (1994).

La capacidad de regeneración de los ecosistemas terrestres tras una perturbación, como es un incendio, depende de la biología de las especies vegetales que los integran y, más concretamente, de los mecanismos de regeneración que estas especies poseen. Se pueden distinguir dos grandes grupos de especies vegetales según los mecanismos de regeneración que presentan: las especies rebrotadoras, a través de formas de reproducción vegetativas (en las que se incluyen rebrotes de cepa, de bulbos, de rizomas o raíces napiformes) y las germinadoras, reproducidas a partir de semillas. Lógicamente todas las plantas superiores en condiciones normales se pueden reproducir por semillas, aunque también pueden presentar formas de reproducción vegetativa; por lo tanto esta agrupación se establece dentro del marco de este proceso regenerativo postincendio, tal y como establecen diversos autores (Cucó, 1987; Terradas, 1996; Trabaud, 1998).

Hay una contribución muy desigual de las distintas especies a la recuperación de la cobertura, tanto en lo referente al tiempo que tardan en instalarse de nuevo en el área (esto depende de su capacidad de rebrote ó de germinación), como a la cobertura que alcanzan (que depende de su capacidad de competencia con las demás especies).

En cuanto a lo primero, el tipo de estrategia es esencial siendo siempre más tardía la implantación de las especies que solo pueden regenerarse por semillas (como *Pinus halepensis*, *Dorycnium pentaphyllum*, *Helianthus* sp., etc.), que no aparecen hasta varios meses después del incendio (Morey y Trabaud, 1988).

2- Acolchado de astillas

El porcentaje del astillado sigue un descenso progresivo durante todo el periodo de estudio. Cuando se instalaron las parcelas en el mes de noviembre había un porcentaje de más de un 90 % de astillas sobre el total del suelo. Este porcentaje fue disminuyendo a lo largo del periodo hasta llegar a un poco más del 20 % a los 7 meses del estudio.

Tratamiento	NOV	DIC	ENE	FEB	MZ	ABR	MY	JN
CONTROL	-	-	-	-	-	-	-	-
ASTILLAS	90,3	88,3	69,4	59,8	43,8	33,9	25,2	21,2
ASTILLAS Y SEMILLAS	90,6	89,1	75,1	64,3	46,2	36,8	26,5	23,5

Tabla 18.- Resumen del porcentaje de acolchado de astillas durante el periodo de estudio

Se observa que entre los dos tratamientos (astillado y astillado con semillas), existe una pequeña diferencia. El tratamiento de astillas sin semillado, tiene un porcentaje un poco menor que el tratamiento con semillado.

Esta disminución del astillado viene influenciada sobre todo por la precipitación, tanto de la precipitación total acumulada en dicho periodo, como de su intensidad (erosión hídrica). También está influenciada por los vientos de la zona (erosión eólica).

Otro factor que determina el porcentaje de astillado es la cobertura vegetal, aunque en este caso, la disminución de astillas en los primeros meses y la poca vegetación hacen que esta vegetación apenas ayude a retener las astillas.

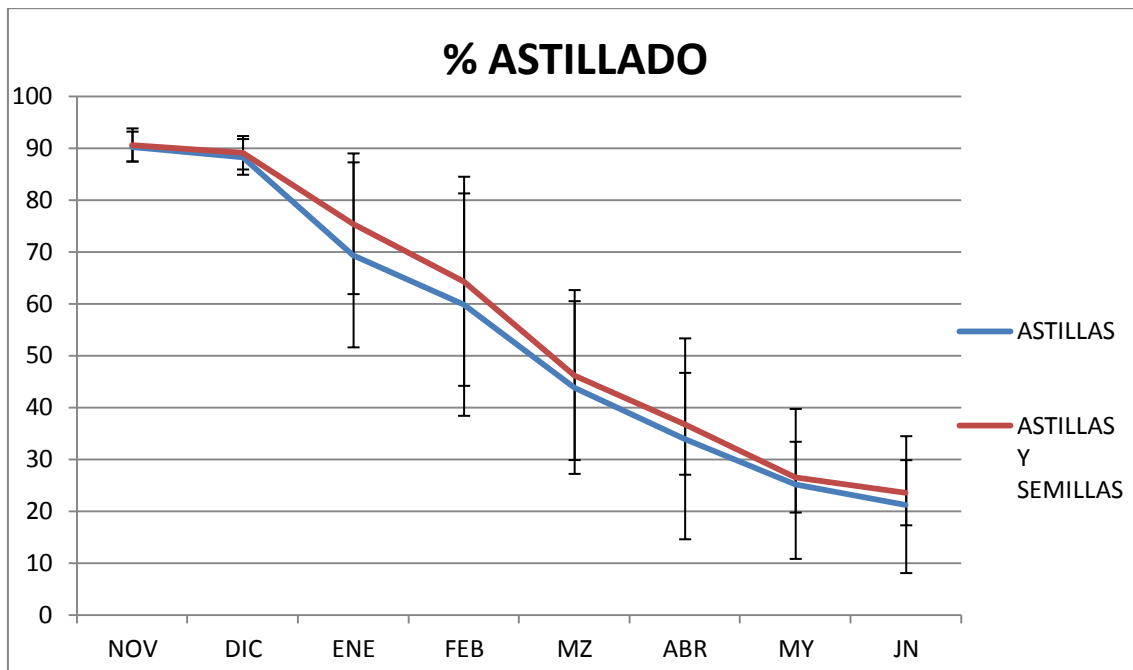


Figura 26.- Gráfico con la evolución del porcentaje de astillado durante el periodo de estudio

3- Pedregosidad

La pedregosidad durante el periodo de estudio se mantiene bastante constante. Al ser una zona con poca pedregosidad, los porcentajes son bastante bajos, entre el 4-5 % de piedra en las parcelas con acolchado de astillas y entre el 11-12 % en las parcelas de control.

Tratamiento	NOV	DIC	ENE	FEB	MZ	ABR	MY	JN
CONTROL	12,3	12,2	12	11,8	11,6	11,5	11,2	11,5
ASTILLAS	4,5	4,2	4,0	4,0	3,8	3,8	3,8	4,0
ASTILLAS Y SEMILLAS	5,2	4,3	4,2	4,0	4,1	4,0	4,2	4,5

Tabla 19.- Resumen del porcentaje de pedregosidad durante el periodo de estudio

Estas diferencias entre los tratamientos, de control y los astillados, viene dada porque en las parcelas con acolchado de astillas se cubre parte de este pequeño porcentaje de piedras.

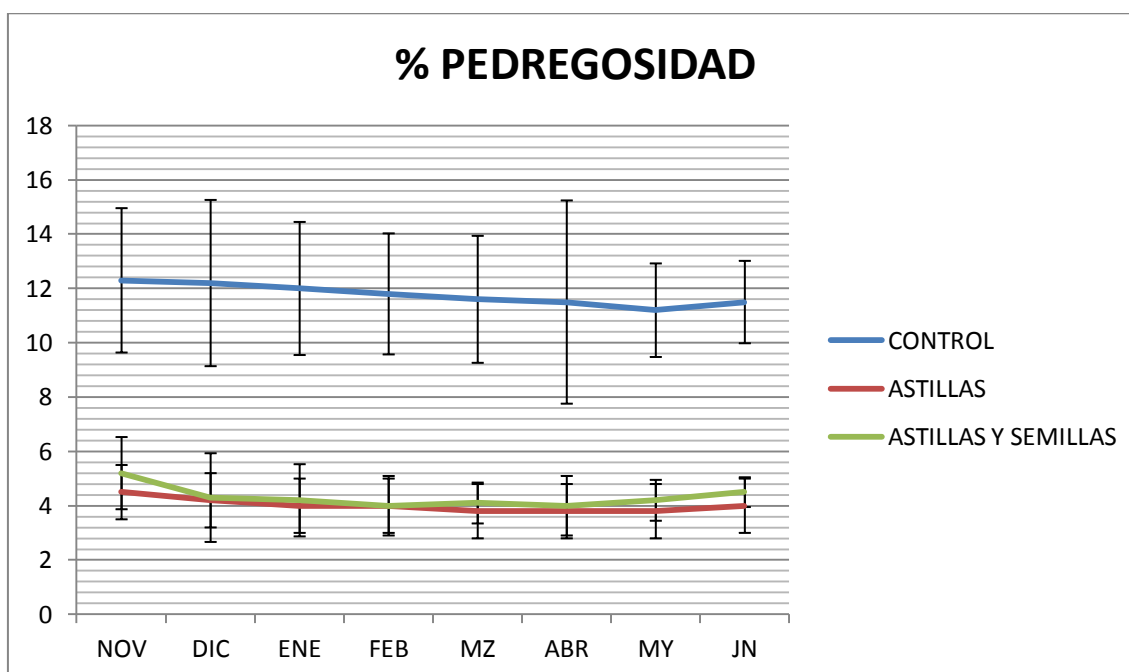


Figura 27.- Gráfico con el porcentaje de pedregosidad durante el periodo de estudio

4- Suelo desnudo

El porcentaje de suelo desnudo tiene sigue un descenso progresivo durante todo el periodo de estudio en las parcelas control. Al instalar las parcelas el porcentaje se situaba por encima del 80 % (83,4 %). Con el paso de los meses este porcentaje fue disminuyendo hasta llegar al 35,8 % debido al aumento de la cobertura vegetal, ya que la pedregosidad permanece bastante constante.

Esta disminución del astillado viene influenciada sobre todo por la precipitación, tanto de la precipitación total acumulada en dicho periodo, como de su intensidad. También está influenciada por los vientos de la zona.

Otro factor que determina el porcentaje de astillado es la cobertura vegetal, aunque en este caso, la disminución de astillas en los primeros meses y la poca vegetación hacen que esta vegetación apenas ayude a retener las astillas.

Tratamiento	NOV	DIC	ENE	FEB	MZ	ABR	MY	JN
CONTROL	83,4	81,1	78,3	77,9	65,1	58,0	35,8	36,0
ASTILLAS	3,0	5,2	19,8	28,0	32,3	33,8	22,0	27,0
ASTILLAS Y SEMILLAS	3,0	3,8	13,6	23,3	27,2	30,2	18,5	20,8

Tabla 20.- Resumen del porcentaje de suelo desnudo durante el periodo de estudio

En las parcelas con tratamiento, el porcentaje de suelo desnudo al inicio del estudio es bajo 3 %. Este porcentaje va aumentando con el paso de los meses llegando a alcanzar más del 30 %. En los últimos meses de estudio se sitúa entre el 20-30 %. Este aumento de suelo desnudo se debe principalmente a la pérdida del astillado por erosión hídrica y eólica, y al aumento de la cobertura vegetal.

Se observa que entre los dos tratamientos (astillado y astillado con semillas), existe una pequeña diferencia entre un 4-7 %. El tratamiento de astillas sin semillado, tiene un porcentaje un poco mayor que el tratamiento con semillado. Esto es debido a que el acolchado de semillas ha protegido más las astillas, además de la propia siembra, y con ello ha disminuido el porcentaje de suelo desnudo.

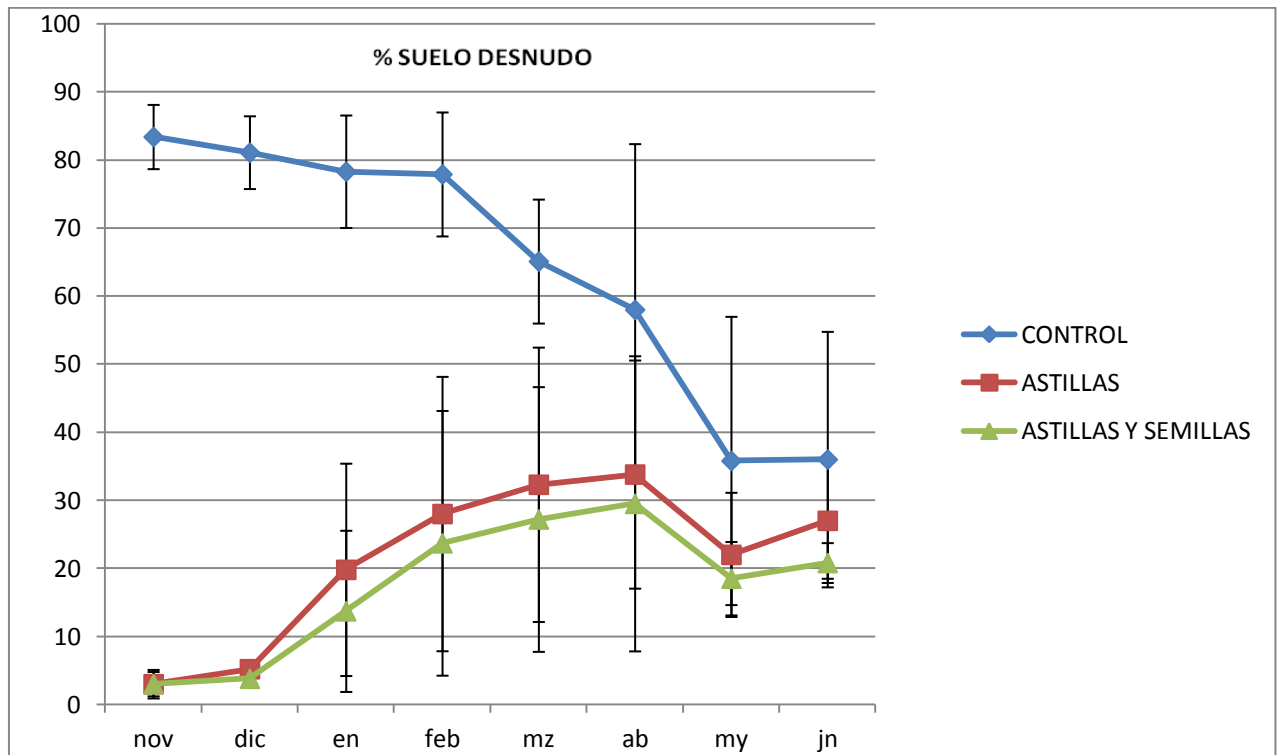


Figura 28.- Gráfico con el porcentaje de suelo desnudo durante el periodo de estudio

CONCLUSIONES

- En los primeros meses hay pequeñas variaciones en los valores de pH entre los tres tratamientos (en el astillado y el astillado con semillas son muy similares) después esa pequeña diferencia tiende a estabilizarse y recupera los valores que tenía antes de que se produjera el incendio.
- Los valores de conductividad eléctrica van disminuyendo a medida que transcurre el tiempo de lluvia. Parte de las sales de las cenizas se van perdiendo por erosión hídrica y eólica.
- Los primeros meses después del incendio hay una acumulación de lluvia entre 30-40 mm/ mes, distribuida en varias precipitaciones intensas que hace que la cantidad de sedimentos recogidos sea mayor. Luego los siguientes meses la precipitación disminuye, y la vegetación aumenta por lo que se recogen menos sedimentos (exceptuando junio).
- La aplicación de medidas protectoras como la siembra de herbáceas e incluso el acolchado supone una sensible reducción de la erosión en los primeros meses tras el incendio forestal.
- El astillado ha supuesto una disminución de la erosión en un 22 % y junto a la siembra en un 34 %. Este acolchado ha comportado un aumento en la producción de la vegetación. El desarrollo de biomasa de las plantas en la parcela de acolchado es mayor que el observado en las otras parcelas.
- La siembra de herbáceas ha sido extensivamente usada durante muchos años después de incendios. Se han revisado extensamente las ventajas e inconvenientes de este tratamiento de rehabilitación, concluyendo que su efectividad es bastante limitada. La falta de eficacia de la siembra, se atribuye al hecho de que usualmente no tiene un efecto significativo en los primeros meses tras el incendio, ni en la cantidad de cubierta superficial del suelo, ni en la velocidad de rebrote de la vegetación. Además, la mayor parte de la erosión tiene lugar antes de que una cubierta suficientemente densa de plantas pueda ser establecida. La siembra resulta ser más efectiva cuando el fuego es seguido por una serie de eventos de lluvia de intensidad suave y bien espaciados y en lugares de clima templado.
- La tasa de erosión media de los tratamientos nos indica que el nivel erosivo es bajo.

- La pedregosidad se mantiene constante durante el periodo de estudio entre el 4-12 %. El porcentaje es bajo porque se buscaron zonas con mínima pedregosidad para facilitar el estudio de la erosión.
- El porcentaje de suelo desnudo en parcelas control disminuye progresivamente desde más del 80 % hasta un 36 % debido al aumento del porcentaje de vegetación.

En parcelas con tratamientos de astillado y astillado con semillas, el porcentaje aumenta desde el 3 % hasta el 35%. Los últimos meses se sitúa entre el 20-30 % debido a la pérdida de las astillas por erosión hídrica y eólica, y al aumento de la vegetación.

Conclusiones generales:

- Con los métodos de control de la erosión pretendemos ayudar a la naturaleza en su trabajo de recuperación del suelo tras el incendio, no dejarlo perfectamente estructurado. Se pretende controlar la erosión y la escorrentía y prevenir el impacto de la sedimentación y de las inundaciones aguas abajo.
- El proceso de recuperación ha de iniciarse inmediatamente o poco tiempo después del incendio para evitar que con las primeras lluvias después de la quema se inicien el lavado de nutrientes de la capa de cenizas y/o los procesos de erosión.
- Es importante retener, mediante la implantación temporal de una vegetación que, lógicamente, ha de ser herbácea, los nutrientes acumulados en la capa de cenizas para evitar la pérdida de éstos.
- Ante la gran amplitud de especies utilizables para rehabilitar suelos, es necesario profundizar en el conocimiento del comportamiento de estas especies.
- Siempre que sea posible, la recuperación del monte afectado por incendios forestales debe tender a la restauración del bosque, el sistema natural más evolucionado, en sus tres estratos: herbáceo, arbustivo y arbóreo, para garantizar su estabilidad, utilizando especies, aunque preferentemente autóctonas, que se adapten al medio físico, para poder garantizarles los recursos que necesitan para su desarrollo.

- Por último, el fomento de la investigación científica en todos los campos que incidan en el origen, desarrollo y efectos de los incendios forestales ha de ser promocionada y financiada, propiciando la formación de equipos de investigación multidisciplinarios. Si bien en algunas áreas existe una gran cantidad de información, todavía quedan muchos aspectos sin explorar.

Conclusión final del trabajo

- El acolchado, con o sin herbáceas, aplicado en los montes de Castejón como medida post-incendio resultó temporalmente eficaz debido a la acción erosiva del viento que eliminó gran parte del mismo.
- En definitiva, estos tratamientos podrían ser eficaces para aplicarlos en alguna zona concreta y durante un periodo corto de tiempo, en el que no haya unas condiciones atmosféricas muy adversas, es decir, ni grandes vientos ni precipitaciones intensas, que los eliminen.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es investigar la aplicación de medidas protectoras de rehabilitación, en este caso, acolchado de astillas y siembra de herbáceas, para controlar o disminuir los efectos de la erosión después del incendio de Castejón.

El estudio varios meses después del incendio, compara la efectividad de los tratamientos aplicados para el control de la erosión. Además en cada evento de lluvia se analizaron varios parámetros relacionados, como la calidad del agua de escorrentía, las coberturas vegetales, los sedimentos recogidos, la cantidad de precipitación, etc.

El estudio ha consistido en comparar tres tratamientos, las parcelas control sin ningún tratamiento, parcelas en las que hemos aplicado un acolchado de astillas de madera y otras parcelas en las que aplicamos el acolchado de astillas más una siembra de herbáceas.

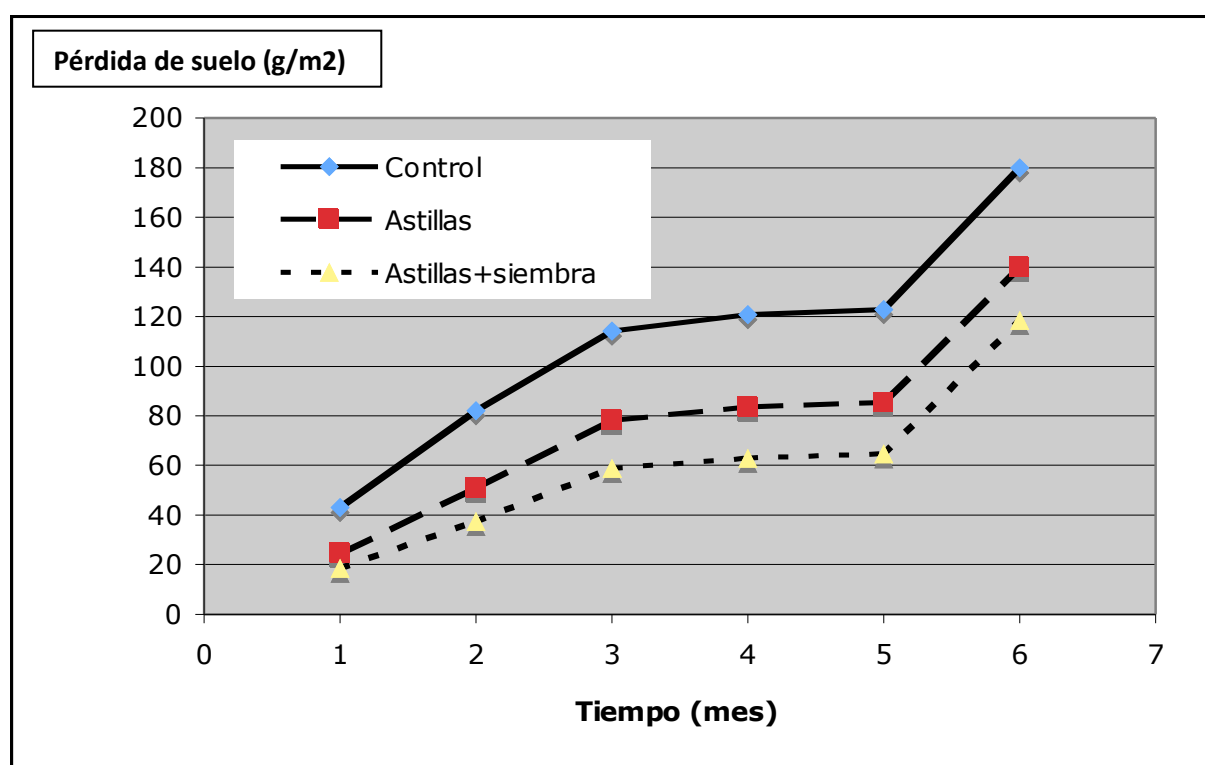


Figura 29.- Gráfico con la evolución de la pérdida acumulada de suelo (g/m^2) con los diferentes tratamientos post-incendio

Con las primeras lluvias se observó como la aplicación del acolchado de astillas reducía la pérdida de suelo (Fig. 1). El porcentaje desnudo de suelo en el momento del ensayo se situaba en el 80% en promedio, reduciéndose a menos del 3% con la

aplicación del acolchado de astillas de pino. Sin embargo, este porcentaje se redujo drásticamente a causa del cierzo, viento del NE, en los inmediatos meses, lo que conllevó a una homogeneización de resultados entre tratamientos.

En zonas áridas del Valle del Ebro, Badía y Martí (2000) aplicaron las técnicas del acolchado (paja de cebada) y la siembra de herbáceas, en pinares y matorrales gipsícolas quemados en el año 1992. La pérdida de suelo se redujo entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$ en las parcelas sembradas y hasta $\frac{1}{4}$ en las sembradas y acolchadas tras dos años de seguimiento, siendo más efectiva en los suelos más frágiles, los yesosos frente a calizos. La introducción de herbáceas supuso aumentar la cobertura vegetal en un 30% en ambos suelos.

Otros autores como Beyers, Bautista o Robichaud realizaron estudios con acolchados en diferentes lugares para ver la efectividad frente a la erosión y la escorrentía.

Beyers et al (2006) evidencian la eficacia del astillado en zonas quemadas de Arizona. De forma similar, Bautista et al (2009) indican que una mezcla de astillas, ramilla y acículas de pino, aplicada como acolchado, redujo la erosión en zonas quemadas en Alicante en el año 2002, sin alterar la autosucesión vegetal. Sin embargo, Robichaud (2005) remarca que el acolchado puede resultar ineficaz para reducir la escorrentía y la erosión si las lluvias son intensas. El mismo autor observa como el acolchado de paja aplicado en el sur de California tras el incendio de finales del año 2003 fue arrastrado por los fuertes vientos (Bautista et al, 2009).

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a los investigadores, Miranda, J., Badia, D., Echeverría, M.T., por el trabajo previo realizado después del incendio para la búsqueda de la zona y la instalación de las parcelas de estudio.

De modo especial expresar mi agradecimiento a mi director, el Dr. David Badia Villas por su eficaz dirección, disponibilidad permanente, seguimiento del trabajo, aclaración de cualquier duda, y sobre todo, por su paciencia durante todo el tiempo que he me ha costado la realización del trabajo.

Agradecer también de forma muy especial a Javier León por su eficaz ayuda en el muestreo de las parcelas de estudio. Por su buena disponibilidad para acompañarme en los desplazamientos a las zonas de estudio, y toda su implicación e interés mostrado en mi trabajo.

También agradecer a Clara Martí, por su simpatía y por su buena disponibilidad para la aclaración y explicación en el tema de estadística. A Belén Aguado y Asunción Callizo por su disponibilidad en el laboratorio y por la aclaración de dudas sobre las máquinas y el material del mismo.

Quisiera agradecer a los compañeros con los que he compartido horas de investigación en el laboratorio, por hacerlo más ameno y más entretenido.

Para terminar, quiero agradecer el apoyo mostrado por mi familia durante la realización de este trabajo, que me ha ayudado para que lo llevara hacia delante. Y a mis amigos, mención especial, a mis compañeros de trabajo de la BRIF de Daroca, con los que llevo bastantes años trabajando, por el interés que han mostrado en mi trabajo, preguntándome constantemente, y por los ánimos recibidos en todo momento.

BIBLIOGRAFÍA

Badía, D., Martí, C. 1994. Mejora del valor pastoral y medio-ambiental de zonas semiáridas degradadas mediante técnicas de revegetación, remicorrización y acolchado: I. Aplicación en suelos yesosos (Gypsic Regosol). 17-35. Departamento de Agricultura. Escuela Universitaria Superior de Huesca.

Badía, D., Martí, C. 1994. Mejora del valor pastoral y medio-ambiental de zonas semiáridas degradadas mediante técnicas de revegetación, remicorrización y acolchado: II. Aplicación en suelos margosos (Calcaric Regosol). 37-53. Departamento de Agricultura. Escuela Universitaria Superior de Huesca.

Badía, D., Martí, C. 2000. Seeding and mulching treatments as conservation measures of two burned soils in the Central Ebro Valley, NE Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13: 219-232.

Badía, D.; Martí, C. (2003a). Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*, 17: 23-41. ISSN: 1532-4982 Artículo.

Badía, D.; Martí, C. (2003b). Effect of simulated fire on organic matter and selected microbiological properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*, 17: 55-69.

Badía, D., Martí, C. (2009). Zonas afectadas por incendios forestales. Estudio de casos en el Valle Medio del Ebro, Capítulo 3.3, 158-183 pp.

Badía, D., Martí, C., Aznar, J.M., León, J. Influence of slope and parent rock on soil génesis and classification in semiarid mountainous environments. *Geoderma* 193-194 (2013) 13-21.

Badía, D., Martí, C., León, J., Ibarra, P., Echeverría, M. 2010. Soil toposequence (Xerolls) in the Montes de Zuera (Zaragoza, NE-Spain). Libro de Actas del IV Congreso Ibérico de la Ciencia del Suelo, 20 al 24 de Octubre 2010, pp. 784-795. Granada. ISBN 978-84-15026-39-6.

Badía, D., Sánchez, C., Aznar, Javier M., Martí, C. Post-fire hillslope log debris dams for runoff and erosion mitigation in the semiarid Ebro Basin. *Geoderma* 237-238 (2015) 298-307.

Bautista, S., Robichaud, P.R., Bladé, C. 2009. Post-fire mulching, pp. 351-372. En: Fire effects on soils and restoration strategies (Cerdà, A., Robichaud, P.R. Eds.). Science Publishers. USA, 589 pp.

Beyers, J.L., 2003. Post-fire seeding for erosion control: effectiveness and impacts on native plant communities. *Conservation Biology* 18, 947-956.

Beyers, J.W., Christensen, P. Wohlgemuth, P, Gubert, K. 2006. Effects of postfire mulch treatments on vegetation recovery in the southwestern US. *Proceedings Annual Meeting of the ESA*, Washington.

Carballas, T. Los incendios forestales. Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Pp 363-415.

Casermeiro, M.A., (1995). Degradación de suelos por erosión hídrica en la cuenca del Duero. Estabilidad estructural y estimación de la escorrentía superficial. Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.

Cerdà, A., Mataix-Solera, J., (eds) 2009. Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Cátedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València. 529 pp. ISBN: 978-84-370-7653-9.

Cerdà, A., Navarro, R. Tasas de erosión en una solana de la Serra Grossa. La Costera. Departamento de Geografía. Universidad de Valencia.

Cerdà, A., Rochibaud, P.R. (2009). Fire effects on soils and restoration strategies. Series Editor: Martin J. Haigh. Science Publishers. 5: 197-223.

Cervigon, N., La-Roca, La erosión por arroyada en una estación experimental (Requena, Valencia). Departamento de Geografía General. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Valencia.

De Las Heras, J., Martínez, J.J., Herranz, J.M. Impacto ecológico de los incendios forestales. Pp 105-117. Cátedra de Botánica Forestal y Ecología y Medio Ambiente. Escuela Universitaria Politécnica de Albacete. Universidad de Castilla-La Mancha.

DeBano, L.F., Neary D.G., Folliott, P.F. 1998. Fire's effects on ecosystems. New York. USA. 333 p.

D.G.G.F. (2008). Memoria Charlie 1. Coordinación de medios aéreos. Dirección General de Gestión Forestal. Servicio de defensa contra incendios forestales. 16-51.

D.G.G.F (2009). Campaña de prevención y extinción de los incendios forestales en Aragón. Informe de situación 2009. Dirección General de Gestión Forestal. Servicio de gestión de incendios forestales y coordinación. Ed. Gobierno de Aragón. 34 pp. Zaragoza.

Díaz-Fierros, F., Gil, V.F., Cabaneiro, A., Carballas, T., Leiros, M.C., Villar, M.C. (1982). Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia.

Díaz-Fierros, F., Pérez, R. Valoración de los diferentes métodos empleados en Galicia para la medida de la erosión de los suelos, con especial referencia a los suelos afectados por incendios forestales. Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Santiago de Compostela.

Díaz-Raviña, M., Benito, E., Carballas, T., Fontúrbel, M.T., Vega, J.A. (eds). Fuegoed 2010. Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales. 334 pp. Santiago de Compostela.

Díaz-Raviña, M., Martín, A., Barreiro, A., Lombao, A., Iglesias, L., Díaz-Fierros, F., Carballas, T. Mulching and seeding treatments for post-fire soil stabilisation in NW Spain: Short-term effects and effectiveness. Departamento de Bioquímica del Suelo, Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (IIAG-CSIC). Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela. 2012.

Fernández, C. Rehabilitación de suelos quemados para el control de la erosión en un área incendiada de Galicia (NW España). 5º Congreso forestal español. 2009. Xunta de Galicia.

Fernandez, P., Navarro, R., Del Valle, G. Estudio de la regeneración post-incendio en masas de *Pinus pinaster* Ait. en Andalucía. Departamento Ingeniería Forestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

Fernández, C., Vega, J.A., Fonturbel, T., Pérez-Gorostiaga, P., Jimenez, E. Erosión después de incendio en un pinar del SE de Galicia. Departamento de Protección ambiental. Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán. Pontevedra.

Ferreira, A.J.D., Prats, S.A, Ferreira, C.S.S., Malvar, M.C., Coelho, O.A., Carreiras, M. y Esteves, T. (2009). Los incendios forestales en Portugal. Aportes para la comprensión del impacto en la degradación de suelos y agua. Capítulo 2.2, 78-103 pp. En Cerdà, A. y

Mataix, J. (Eds.). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. Universidad de Valencia. 529 pp. Valencia.

Fos, S., Calatayud, A., Barreno, E. Diversidad líquénica asociada a fenómenos post-incendio en los alcornocales valenciano-castellonenses. Pp 103-113. Departamento de Biología Vegetal. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Valencia. 2001.

Gimeno, T., Blade, C., Kribeche, H., Bautista, S. Tratamientos de rehabilitación post-incendio en áreas sensibles a la degradación del suelo. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante.

Giovannini G., 1994. The effect of fire on soil quality. En: Soil erosion as a consequence of forest fires, Geoderma, Logroño, España. pp. 15-27.

González, J.L., Valdés, A., Molina, R. Influencia antrópicas sobre vegetación halófila: primeros efectos de los incendios en los Saladares de Cordovilla (T.M. Tobarra, Albacete, SE de España). Departamento de Ciencia y Tecnología Agroforestal. Universidad de Castilla-La Mancha.

Gracia, C. (2005). La flora de Zuera y sus pinares. Ed. Prames. 223 pp. Zaragoza.

Iglesias, M.T. (1993). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo en un pinar de repoblación (*pinus pinaster*), en Arenas de San Pedro (Avila). Tesis doctoral. Departamento de edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.

Iglesias, T., Fernández, C., González, J. Modificaciones en algunas características del suelo a causa del fuego. Pp 41-47. Departamento de edafología. Facultad de Farmacia. U.C.M. Madrid.

Lázaro, M.A. Reconstrucción histórica y tipificación de los incendios forestales en el prepirineo central y occidental de Aragón. Trabajo práctico tutorado de Ingeniería Técnica Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de Lleida. Diciembre 2009.

León Peláez, J.D. Métodos experimentales para el seguimiento y estudio de la erosión hídrica. Artículo. 23 pp. Universidad Nacional de Colombia.

Llovet López, J., (2005). Degradación del suelo posterior al fuego en condiciones mediterráneas. Identificación de factores de riesgo. Tesis doctoral. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante.

Madrigal, J., Hernando, C., Martínez, E., Guijarro, M., Díez, C. Regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en la Sierra de Guadarrama (Sistema Central, España): modelos descriptivos de los factores influyentes en la densidad inicial y la supervivencia. Investigación Agraria. 2005. Pp 36-51. INIA-CIFOR. Madrid.

M.A.G.R.A.M.A. Incendios forestales en España. Estadística.

Marañón, S. Efecto del manejo de la madera quemada después de un incendio sobre el ciclo del carbono y nutrientes en un ecosistema de montaña mediterránea. Tesis doctoral. Grupo de Investigación Ecología Terrestre. Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada. Pp 43-49.

Martí, C., Miranda, J., Badía, D., Ibarra, P., Echevarría, M.T., Pérez, F. y Usón, E. (2009). Influencia del fuego sobre las propiedades físico-químicas de los suelos en los Montes de Zuera (Zaragoza). Actas Congreso FuegoRed, Sevilla.

Martínez-Sánchez, J.J, Herranz, J.M^a. Importancia de las leguminosas en las primeras etapas de la sucesión vegetal en un pinar quemado de la provincia de Albacete (España). Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. ETS de Ingenieros Agrónomos. Campus Universitario Albacete.

Mataix-Solera, J. (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universida de Alicante. 330 pp.

Mataix-Solera, J., Cerdà, A. (2009). Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. Capítulo 1.1, 26-53 pp. En Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (Eds.). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. Universidad de Valencia. 529 pp. Valencia.

Mataix-Solera, J., Cerdà, A. (2009). Los efectos de los incendios forestales en los suelos. Síntesis y conclusiones. Nuevos retos en la investigación y en la gestión. Capítulo 4.1, 493-529 pp. En Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (Eds.). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. Universidad de Valencia. 529 pp. Valencia.

Mataix-Solera, J., Cerdà A., 2009. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. Efectos de los incendios forestales sobre los suelos de España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Cátedra Divulgación de la Ciencia. Universitat de València.

Notario, J.S. (2009). Los incendios forestales en Canarias: una revisión. Causas, particularidades e impactos sobre el suelo. Capítulo 3.13, 469-489 pp. En Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (Eds.). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. Universidad de Valencia. 529 pp. Valencia.

Olarieta, J.R., Lizano, J., Rodríguez-Ochoa, R., Alcarria, Z. Efectos de un incendio sobre diversas propiedades físico-químicas del suelo y procesos de erosión hídrica en medio semiárido (La Granja d'Escarp, Lleida). Departamento de Medio Ambiente y Ciencias. Universidad de Lleida.

Pérez-Cabello, F., Echevarría, M.T., Ibarra, P., Riva, J., García-Martín, A., Montorio, R., Lasanta, T., Palacios, V., León, F.J. y Tanase, M. (2009). Procesos ambientales ligados a incendios forestales. Planteamientos, métodos y resultados en Aragón. Capítulo 3.11, 405-441 pp. En Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (Eds.). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. Universidad de Valencia. 529 pp. Valencia.

Robichaud, P.R., Beyers, J.L., Neary, D.G. 2000. Evaluating the effectiveness of post-fire rehabilitation treatments. General Technical Report RMRS-GTR-63. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, Colorado, USA.

Robichaud, P.R., Jordan, P., Lewis, S.A., Ashmun, L.E., Covert, S.A., Brown, R.E., Evaluating the effectiveness of wood shreds and agricultural straw mulches as a treatment to reduce post-wildfire hillslope erosion in southern British Columbia, Canada, *Geomorphology* (2013).

Rodríguez-Avellanas, J.M.; Vicén F.J.; Badía, D.; Ascaso, J. (2000). Efecto del incendio forestal sobre la sucesión vegetal y erosión en los montes de Castejón de Valdejasa (Zaragoza). *Georgica*, 7: 55-68. ISSN: 1132-8096 Artículo.

Úbeda, X., Mataix-Solera, J., 2008. Fire effects on soil properties: A key issue in forest ecosystems. *Catena* 74: 175-176.

Urretavizcaya, M.F. Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina. 2010. Centro de Investigación y Extensión Forestal Patagónico (CIEFAP). Argentina.

Vega, J.A. (2007). Impacto de los incendios sobre suelo y vegetación forestales en Galicia y desarrollo de una selvicultura preventiva. Centro de investigación e información ambiental. Lourizán. Xunta de Galicia.

Vega, C., Sánchez, J., Pineda R. Efecto de 3 tipos de mulch sobre rendimiento y economía de agua en el cultivo de maíz en Piura. Manejo Ecológico de Suelos.

Yves Birot (ed.). Convivir con los incendios forestales: Lo que nos revela la ciencia. EFI Discussion Paper 15, 2009. Una aportación al Diálogo Político-Científico. EUROPEAN FOREST INSTITUTE.

Jornadas internacionales. Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales. Guía de campo. Santiago de Compostela. 2010.