



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

Cartografía y análisis geoespacial del fenómeno de la defoliación en las masas forestales en Aragón.

Cartography and geospatial analysis of the phenomenon of defoliation in the forest masses in Aragon.

Autor

Gayà Garau, Cristina

Directores

Longares Aladrén, Luis Alberto  
Hernández Jiménez, Alvaro

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio  
Facultad de Filosofía y Letras  
Universidad de Zaragoza

2019

## Resumen

A partir de los años ochenta después de observar un continuo deterioro del estado de salud del arbolado, se inicia una preocupación global por si dicho deterioro hubiera sido causado por la contaminación atmosférica. Ante ello surgen diferentes programas a escala europea, nacional y provincial para desarrollar trabajos de seguimiento y control del estado de salud del arbolado.

La Red de Evaluación Fitosanitaria en las Masas Forestales de Aragón, dispone de datos generalizados desde el año 2007. En el presente trabajo se han analizado dichos valores de defoliación en el periodo comprendido entre los años 2007 y 2018, obtenidos en 322 distintos puntos de evaluación repartidos por la totalidad de la superficie de la CC.AA. Se ha analizado la evolución en los valores de defoliación, la incidencia sobre determinadas agrupaciones de especies como los pinares, las salicáceas, las cupulíferas, los sabinares y tejedas y otras frondosas, y los agentes que causan daños sobre el arbolado. Además, se ha realizado un análisis detallado de dos géneros como el *Pinus spp* y el *Quercus spp*, y dos especies el *Pinus halepensis* y el *Quercus ilex*. Dicho trabajo ha aportado un análisis geoespacial de dichos datos, aportando una cartografía asociada a dichos datos. Además, de comprobar si dichos valores de defoliación se relacionan con los procesos de sequía mediante la comparación con el índice de sequía SPEI. De manera, que se pueda mejorar la gestión de las masas forestales, gracias a dicho análisis de los datos y a la identificación de las zonas de actuación prioritarias.

A través de él se ha observado que en este periodo de tiempo la defoliación sigue una tendencia creciente, viéndose especialmente afectadas las especies de *Pinus spp*. En este periodo se observa como los años 2012 y 2017, son los que presentan unos valores de defoliación mayores, coincidiendo con dos fuertes periodos de sequía. Por otra parte, por lo que hace referencia a los daños por agentes abióticos, son los que más daños causan sobre el arbolado. Siendo estos los más relacionados con el régimen climático.

Palabras clave: defoliación, arbolado, sequía, pino, encina, daños, SPEI.

## Abstract

Since the eighties after seeing a continuous deterioration of woodland health status, it has started a global worry in case this deterioration has been caused by air pollution. Before it, different programs at European, national and provincial level arise to develop works of tracing and control of the woodland health status.

Phytosanitary Evaluation Network in the Forestry Masses of Aragon have the data generated from 2007 year. In this paper these defoliation values have been analyzed in the period between the years 2007 and 2018, obtained in 322 different tracking points spread over the entire area of the autonomous community. The evolution of the defoliation values, the incidence on certain groups of species like the pine forests, the salicáceas, the cupulíferas, the sabinares and tejedas and other leafy ones, and the agents that cause damage to the woodland have been analyzed. Also, in detail two genders like *Pinus spp* and *Quercus spp*, and two species *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* have been analyzed. This paper has provided an analysis geospatial of these data, providing a relation with the drought processes through the comparison with de drought index SPEI. So that, that forest management can be improved, thanks to such data analysis and identification of priority areas of action.

Through it has been observed that in this period the continuous defoliation is growing trend, seeing specialty affected the species of *Pinus spp*. In this period, it is noted as the years 2012 and 2017, they are those with the highest defoliation values, coinciding with two strong periods of drought. On the other hand, so it refers to abiotic agents, are the ones that cause the most damage to woodland. these being the most related to the climate regime.

**Key words:** defoliation, wooded, drought, pine tree, holm oak, damage, SPEI

## Índice

1.	Introducción y Justificación.....	8
1.1.	Justificación.....	8
1.1.1.	El decaimiento de los bosques .....	9
1.1.2.	La defoliación. Red de Evaluación Fitosanitaria en las Masas Forestales de Aragón. 10	
2.	Objetivos .....	19
3.	Área de estudio .....	20
3.1.	Objeto de estudio. La superficie forestal aragonesa. ....	21
4.	Metodología.....	24
5.	Resultados en la Comunidad Autónoma de Aragón.....	28
5.1.	Evaluación de la defoliación en el periodo 2007-2018. ....	28
5.1.1.	Análisis general de la evolución de la defoliación. ....	28
5.1.2.	Análisis de la defoliación según los distintos tipos de defoliación.....	29
5.1.3.	Análisis de la defoliación por grupos de especies. ....	31
5.1.4.	Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave .....	36
5.2.	Numero de pies con daños.....	40
5.3.	Extensión de los datos para la masa forestal de la CCAA .....	40
6.	<i>Pinus spp.</i> y <i>Quercus spp.</i> en la provincia de Zaragoza .....	43
6.1.	Análisis de la defoliación en el periodo 2007-2018 .....	43
6.1.1.	Análisis de la evolución de la defoliación por géneros. ....	43
6.1.1.1.	<i>Pinus spp.</i> .....	43
6.1.1.2.	<i>Quercus spp.</i> .....	44
6.1.2.	Análisis de la defoliación según los distintos tipos de defoliación.....	44
6.1.2.1.	<i>Pinus spp.</i> .....	44
6.1.2.2.	<i>Quercus spp.</i> .....	47
6.1.3.	Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave .....	49
6.1.3.1.	<i>Pinus spp.</i> .....	49
6.1.3.2.	<i>Quercus spp.</i> .....	49
6.2.	Número de pies con daños.....	50
6.2.1	<i>Pinus spp.</i> .....	50
6.2.2	<i>Quercus spp.</i> .....	50
7.	<i>Pinus halepensis</i> y <i>Quercus ilex</i> en la provincia de Zaragoza.....	51
7.1.	Evaluación de la defoliación en el periodo 2007-2018. ....	51
7.1.1.	Análisis de la defoliación por especies. ....	51
7.1.1.1.	<i>Pinus halepensis</i> .....	51

7.1.1.2.	<i>Quercus ilex</i> .....	51
7.1.2.	Análisis de la defoliación según los distintos tipos de defoliación.....	52
7.1.2.1.	<i>Pinus halepensis</i> .....	52
7.1.2.2.	<i>Quercus ilex</i> .....	54
7.1.3.	Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave .....	57
7.1.3.1.	<i>Pinus halepensis</i> .....	57
7.1.3.2.	<i>Quercus ilex</i> .....	57
7.2.	Numero de pies con daños.....	58
7.2.1.	<i>Pinus halepensis</i> .....	58
7.2.2.	<i>Quercus ilex</i> .....	58
7.3.	Intensidad media de daños.....	59
7.3.1.	Intensidad media de cada daño en la provincia de Zaragoza.....	59
7.3.2.	Como afectan los diferentes agentes a cada especie .....	64
7.3.2.1.	Daños por agentes abióticos.....	64
7.3.2.2.	Daños por insectos y ácaros .....	65
7.3.2.3.	Daños por hongos, bacterias, virus y fanerógamas parásitas.....	66
7.3.2.4.	Otros daños.....	67
7.4.	Extensión de los datos a la provincia de Zaragoza.....	68
7.4.1.	<i>Pinus spp.</i> .....	68
7.4.2.	<i>Pinus halepensis</i> .....	69
7.4.3.	<i>Quercus spp.</i> .....	70
7.4.4.	<i>Quercus ilex</i> .....	71
8.	Relación de los daños por agentes abióticos con anomalías climáticas (sequías).....	72
9.	Conclusión.....	79
10.	Agradecimientos .....	81
11.	Referencias.....	82

**Lista de figuras:**

Figura 1: Defoliación media de todas las especies en 2017. Red de evaluación de las condiciones forestales en Europa (ICP-Forest, 2018). .....	11
Figura 2: Red de puntos de evaluación en España. Red de Nivel I (AIEF, 2018).....	12
Figura 3: Proporción media anual de pies con daños para el periodo de 1992-2017 (Informe Técnico ICP Forest, 2017).....	14
Figura 4: Evaluación de la proporción de pies con daños en coníferas (Informe Técnico ICP Forest, 2017). .....	14
Figura 5: Evaluación de la proporción de pies con daños en frondosas (Informe Técnico ICP Forest, 2017). .....	14
Figura 6: Red Europea de daños en los bosques. Red de Nivel I.....	15
Figura 7: Pinus pinea. Defoliación 5% .....	16
Figura 8: Pinus halepensis. Defoliación 10%. .....	16
Figura 9: Quercus ilex. Defoliación 20% .....	16
Figura 10: Pinus halepensis. Defoliación 25% .....	16
Figura 11: Pinus halepensis. Defoliación 30% .....	17
Figura 12: Quercus ilex. Defoliación 55% .....	17
Figura 13: Quercus ilex. Defoliación 65% .....	17
Figura 14: Quercus ilex. Defoliación 80% .....	17
Figura 15: Quercus ilex. Defoliación 100% .....	17
Figura 16: Pinus Pinaster. Defoliación 100% .....	17
Figura 17: Red de parcelas de seguimiento de la Evaluación Fitosanitaria en las Masas Forestales de Aragón.....	20
Figura 18: Proporción de cada una de las formaciones arbóreas de Aragón (Servicio de Planificación y Gestión Forestal, 2018).....	21
Figura 19: Ranking de abundancia de las especies arbóreas dominantes en los bosques de Aragón (Servicio de Planificación y Gestión Forestal, 2018). .....	22
Figura 20: Esquema metodológico seguido en el presente trabajo .....	24
Figura 21: Evolución de la defoliación media en el total de parcelas de seguimiento de Aragón. ....	28
Figura 22: Proporción de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón.....	30
Figura 23: Evolución de la defoliación por grupos de especies. Periodo 2007-2018.....	32
Figura 24: Evolución de la defoliación de los pinares en Aragón.....	33
Figura 25: Evolución de la defoliación de los sabinares y tejedas en Aragón.....	33
Figura 26: Evolución de la defoliación de las Cupulíferas en Aragón. ....	34
Figura 27: Evolución de la defoliación de las salicáceas en Aragón. ....	34
Figura 28: Evolución de la defoliación del resto de frondosas en Aragón. ....	35
Figura 29: Número de pies muertos en el periodo 2009 a 2018 en la provincia de Zaragoza. ....	38
Figura 30: Número de pies muertos por cada causa en a provincia de Zaragoza en el periodo 2009-2018. ....	39
Figura 31: Interpolación de los valores de defoliación para la CC.AA. de Aragón .....	42
Figura 32: Evolución de la defoliación por años de Pinus spp. en Zaragoza. ....	43
Figura 33: Evolución de la defoliación por años de Quercus spp. en Zaragoza. ....	44
Figura 34: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón. ....	45
Figura 35: Evolución de la defoliación del género Pinus spp. ....	46

Figura 36: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón. ....	47
Figura 37: Evolución de la defoliación en el género <i>Quercus</i> spp. ....	48
Figura 38: Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave. Resaltados en rojo los años afectados por defoliación grave. ....	49
Figura 39: Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave. Resaltados en rojo los años afectados por defoliación grave. ....	49
Figura 40: Evolución de la defoliación por años de <i>Pinus halepensis</i> en Zaragoza. ....	51
Figura 41: Evolución de la defoliación por años de <i>Quercus ilex</i> en Zaragoza. ....	51
Figura 42: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón. ....	52
Figura 43: Evolución de la defoliación de la especie <i>Pinus halepensis</i> . ....	53
Figura 44: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón. ....	54
Figura 45: Evolución de la defoliación de la especie <i>Quercus ilex</i> . ....	56
Figura 46: Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave. Resaltados en rojo los años afectados por defoliación grave. ....	57
Figura 47: Evolución de la intensidad media de daños. ....	59
Figura 48: Evolución espacio-temporal de los daños por agentes abióticos. ....	60
Figura 49: Evolución espacio-temporal de los daños por insectos y ácaros. ....	61
Figura 50: Evolución espacio-temporal de los daños por hongos, bacterias, virus y fanerógamas parásitas. ....	62
Figura 51: Evolución espacio-temporal de los daños por otros daños. ....	63
Figura 52: Evolución de la intensidad media de daños por agentes abióticos. ....	64
Figura 53: Evolución de la intensidad media de daños por insectos y ácaros. ....	65
Figura 54: Evolución de la intensidad media de daños por bacterias, virus y fanerógamas parásitas. ....	66
Figura 55: Evolución de la intensidad media de los otros daños. ....	67
Figura 56: Extrapolación de los valores de defoliación en la provincia de Zaragoza. ....	68
Figura 57: Extrapolación de los valores de defoliación en la provincia de Zaragoza. ....	69
Figura 58: Extrapolación de los valores de defoliación en la provincia de Zaragoza. ....	70
Figura 59: Extrapolación de los valores de defoliación en la provincia de Zaragoza. ....	71
Figura 60: Daños por agentes abióticos en los años 2012 y 2017. ....	74
Figura 61: Índice de sequía a 6 meses. SPEI. Periodo 1950-2018 (Monitor de sequía global SPEI, 2019). ....	75
Figura 62: Índice de sequía a 12 meses. SPEI. Periodo 1950-2018 (Monitor de sequía global SPEI, 2019). ....	75
Figura 63: Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) a 2 meses. ....	77

**Lista de tablas:**

Tabla 1: Valores medios de la proporción anual de pies con daños frente al total de pies evaluados para el período 1992-2017 (Elaborado a partir del Informe Técnico ICP Forest, 2017). ....	13
Tabla 2: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón. ....	29
Tabla 3: Especies según su proporción de representatividad. ....	31
Tabla 4: Media de defoliación por años por agrupaciones de especies vegetales. ....	32
Tabla 5: Valores de tendencia de defoliación. ....	35

Tabla 6: Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave. Resaltados en rojo los años afectados por defoliación grave.....	36
Tabla 7: Causas de la defoliación grave en los puntos de evaluación forestal afectados .....	37
Tabla 8: Causas de la muerte del arbolado por especies en la provincia de Zaragoza. ....	39
Tabla 9: Proporción de árboles con daños.....	40
Tabla 10: Especies según su proporción de representatividad. ....	43
Tabla 11: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Pinus spp. en Zaragoza.....	44
Tabla 12: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Quercus spp. en Zaragoza. ....	47
Tabla 13: Proporción de árboles con daños de Pinus spp. ....	50
Tabla 14: Proporción de árboles con daños de Quercus spp. ....	50
Tabla 15: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Pinus halepensis. en Zaragoza.....	52
Tabla 16: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Quercus ilex. en Zaragoza.....	54
Tabla 17: Proporción de árboles con daños de Pinus halepensis. ....	58
Tabla 18: Proporción de árboles con daños de Quercus ilex. ....	58
Tabla 19: Evolución de la intensidad media de daños.....	59
Tabla 20: Evolución de la intensidad media de daños.....	64
Tabla 21: Evolución de la intensidad media de daños por insectos y ácaros. ....	65
Tabla 22: Evolución de la intensidad media de daños por bacterias, virus y fanerógamas parásitas. ....	66
Tabla 23: Evolución de la intensidad media de otros daños. ....	67
Tabla 24: Daños por agentes abióticos en la provincia de Aragón. Resaltado en amarillo los puntos de seguimiento dañados.....	74
Tabla 25: Coeficiente de correlación lineal de Pearson. Resaltados coeficientes de correlación lineal de Pearson menores de -0,5 y en negrita el mayor valor de correlación obtenido por cada agrupación de especies. ....	76
Tabla 26: Coeficiente de ajuste R <sup>2</sup> .....	77

## 1. Introducción y Justificación

El presente trabajo tiene como base los datos obtenidos mediante la Red de Evaluación Fitosanitaria de las Masas Forestales de Aragón (REFMFA), a partir de los cuales se va a realizar el análisis y la cartografía del estado fitosanitario general del conjunto de la red de puntos de evaluación forestal en la provincia de Aragón, para el periodo comprendido entre los años 2007 y 2018, exceptuando el año 2014 en el que no se realizaron las tareas de seguimiento por falta de presupuesto.

Para ello, se han usado los datos provenientes de la REFMFA proporcionados por la Diputación General de Aragón. Como punto de partida se dispone de información de un total de 300 puntos de evaluación mediante coordenadas UTM, junto a otros datos relacionados con la ubicación: provincia, comarca, término municipal, características del punto, así como las especies que se encuentran en dicho punto. Asociados a estos datos generales, se encuentra la recopilación de información relacionada con la evaluación a través de la metodología establecida en REFMFA como son la defoliación, la decoloración o los daños ocasionados sobre las especies localizadas en ese punto.

Del conjunto de datos disponibles, el estudio se centra en los valores de defoliación y de algunos de los agentes que causan daños sobre el arbolado, realizando un análisis evolutivo de ambas cuestiones. Con el estudio temporal de ambas variables, se ha podido correlacionar los resultados con el índice SPEI para comprobar la posible relación de estos datos con eventos climáticos de sequía. Los resultados obtenidos de todos los análisis realizados han permitido la elaboración de cartografía que permite espacializar la información y analizarla desde una perspectiva geográfica.

### 1.1. Justificación.

Este Trabajo Fin de Máster surge en el marco de colaboración entre los Técnicos del Servicio Provincial (en concreto Álvaro Hernández Jiménez, jefe de Sección de Sanidad Forestal del Servicio Provincial de Zaragoza de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón) e investigadores del Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza, derivado de la necesidad de analizar el estado actual de las masas forestales a nivel aragonés, en el contexto de los trabajos de seguimiento tanto a nivel regional, nacional como europeo, de las afecciones en las masas forestales, encaminado a una mejora de la gestión forestal. En este sentido, este TFM pretende dar un paso más centrandose su análisis en los datos de defoliación, aportando resultados espaciales a través de la cartografía que permita observar patrones espaciales en la información hasta el momento puntual de los datos.

Actualmente existe el conocimiento de que el proceso de defoliación en masas forestales se encuentra en aumento, pero a través de este trabajo se profundizará que especies y territorios se encuentran afectados en Aragón, además de cuáles son los agentes que están causando daños sobre el arbolado, pudiendo aumentar los niveles de defoliación del árbol. Esta información contribuirá a mejorar la gestión forestal de la CC. AA, de forma que se mitigue dicho proceso actuando sobre aquellas zonas más prioritarias, es decir aquellas más afectadas.

El trabajo parte desde una visión general de la defoliación en la CC. AA, siguiendo hacia la provincia de Zaragoza con el estudio de los géneros *Pinus* y *Quercus* y finalmente, se realiza un estudio detallado de dos especies *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*. El interés por el pino carrasco y la encina surge principalmente por ser las dos especies con mayor ocupación de superficie en la provincia, además de ser aquellas con mayor número de masas puras. Por lo contrario, otras especies como el pino silvestre o el pino laricio tienen menor continuidad y han experimentado



altas proporciones de repoblaciones. Siendo así, la representatividad sería mínima debido a esa falta de continuidad en el territorio, encontrándose en zonas más puntuales.

Así mismo, se conoce previamente que el pino carrasco, es aquel que ha experimentado unos niveles de defoliación mayores y continuados. Esta defoliación viene provocada por los daños sufridos por causas abióticas, consecuencia de sequías edafoclimáticas, es decir sequías climáticas y olas de calor, que al producirse sobre pinares que se encuentran en suelos escasos, la capacidad de retención de agua es menor. A esta causa, se le debe sumar el debilitamiento del muérdago y la aparición de perforadores (Comunicación personal, Álvaro Hernández, Jefe de Sección de Sanidad Forestal).

En cambio, los encinares muestran un estado de defoliación algo mejor, siendo la sequía y las altas temperaturas los agentes causantes de dicha defoliación (Comunicación personal, Álvaro Hernández, Jefe de Sección de Sanidad Forestal).

Por último, por lo que hace referencia al incremento de las temperaturas se cree que las especies *Pinus halepensis* (pino carrasco) y *Quercus ilex* (encina), van a poder adaptarse al cambio climático, pudiendo incluso ocupar zonas que quedarían libres debido a la desaparición de otras especies como sería el *Pinus sylvestris* (pino silvestre). (Comunicación personal, Álvaro Hernández, Jefe de Sección de Sanidad Forestal).

### **1.1.1.El decaimiento de los bosques**

Los ecosistemas terrestres se están viendo afectados por el cambio global, especialmente los bosques, que están sufriendo cambios bruscos, siendo una preocupación general de la comunidad científica y la sociedad.

Fue durante la década de los setenta del siglo pasado cuando se empezaron a observar unos procesos de degradación sobre los bosques de Europa Central y el Noreste de Norteamérica, en zonas muy pobladas y con una actividad industrializada muy intensa, que no pudieron explicarse satisfactoriamente mediante los conceptos clásicos de patología forestal (Oliva et al, 2013) y cuyo origen aún hoy es incierto. Esa degradación apareció en zonas muy diferentes tanto en condiciones geográficas como ecológicas. Se observaron síntomas como la defoliación y la decoloración de las copas, cambios en la arquitectura de las ramas, muerte de las raíces, menor crecimiento, senescencia prematura y una elevada mortalidad (Hertel, 1988). Dicho proceso se denomina “decaimiento del bosque”. Pudiéndose definir este como un fenómeno que se caracteriza por la pérdida de vitalidad de los bosques, defoliaciones severas y el incremento progresivo de la mortalidad de los árboles, no asociado directamente con factores biológicos como patógenos, defoliadores, hongos o plantas hemiparásitas (Manion, 1991).

En el complejo fenómeno del decaimiento actúan diferentes factores cuya interacción suele conducir a un fuerte descenso del crecimiento y en casos graves a la muerte de la vegetación y cuya explicación se basa en la actualidad, y no sin críticos (Ostry et al.,2011), en la teoría de la espiral de declive (Manion, 1991), que definió el síndrome de decaimiento como "causado por la interacción de factores abióticos y bióticos intercambiables, específicamente ordenados, que producen un deterioro general gradual, que a menudo termina en la muerte de los árboles” y que pueden resumirse (Oliva, 2013; Sangüesa-Barreda et al., 2015) como:

- Factores de predisposición, en general factores de cambio lento ligados a las condiciones de vida de la vegetación, como las características edafológicas, la genética de las poblaciones y las interacciones dentro de ellas (fundamentalmente la competencia), y factores antrópicos como la historia de usos o la contaminación ambiental.

- Factores de incitación, normalmente de actuación rápida y localizada, muy especialmente las sequías graves.
- Factores de contribución: normalmente desencadenados por la fuerte incidencia de los anteriores, suelen ser agentes bióticos que van a contribuir aún más a la pérdida de vitalidad de la vegetación, pudiendo causar su muerte, lo que no harían en condiciones normales; plantas hemiparásitas, especialmente los diferentes tipos de muérdago; hongos, especialmente patógenos de raíz, pero también foliares; e insectos floépagos (que se alimentan de la madera viva) y muy particularmente coleópteros escolítidos.

Como respuesta a ello, en 1985 se creó el Programa de Cooperación Internacional para la Evolución y Seguimiento de los Efectos de la Contaminación Atmosférica en los Bosques (ICP-Forests). Que tuvo como resultado la creación de un programa de seguimiento y análisis de la salud del arbolado europeo que funciona desde 1987.

Además del punto de vista del deterioro de las masas forestales, en la actualidad hay un segundo tema que forma parte de las principales preocupaciones a nivel mundial de la comunidad científica y gran parte de la sociedad, el cambio climático. Siendo un fenómeno que afecta mundialmente a través del aumento de los gases efecto invernadero en la atmósfera, principalmente el CO<sub>2</sub> emitido por las actividades humanas. Dicho proceso conlleva un aumento de las temperaturas globales, lo que afecta directamente en el decaimiento de los bosques.

En este contexto, la región mediterránea constituye un territorio donde los efectos del cambio climático parecen afectar con relativa frecuencia e intensidad, las olas de calor y sequías junto a la disminución de las precipitaciones (déficit hídrico), son fenómenos climáticos que tienen un fuerte efecto sobre los ecosistemas forestales incrementando la aridez del clima, generando en la vegetación una importante evapotranspiración y estrés hídrico.

Este aumento de aridez puede desembocar en mortalidades de arbolado en extensas superficies por decaimiento en zonas donde las especies viven en el límite de su distribución, y mortalidades individuales o por grupos en zonas más favorables climáticamente pero donde el decaimiento se ve catalizado por las condiciones locales del territorio (fisiográficas y/o edáficas), llevando a desestabilizar fisiológicamente a algunos individuos (Serrada, R., 2017).

### **1.1.2.La defoliación. Red de Evaluación Fitosanitaria en las Masas Forestales de Aragón.**

La defoliación es uno de los parámetros que estudia el aparente estado de salud del arbolado. Definido como el fenómeno que consiste en la caída prematura de las hojas de los árboles y plantas, producida por enfermedad, contaminación ambiental o acción humana (Real Academia Española, 2019).

El análisis de la defoliación surge en la década de los ochenta, tras observar un continuo y progresivo deterioro del estado de la salud de los bosques en amplias zonas de Europa. Ante la preocupación de que ese deterioro pudiera ser causado por la contaminación atmosférica, en 1985 se creó el Programa de Cooperación Internacional para la Evaluación y Seguimiento de los Efectos de la Contaminación Atmosférica en los Bosques (ICP Forests), dentro del Convenio sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia de la Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa (CEPE). Paralelamente en 1986, la Unión Europea (UE) aprobó el Programa de protección de los bosques contra la Contaminación Atmosférica: el Reglamento

(CEE) n° 3528/86 del Consejo, el cual sentó el fundamento jurídico para desarrollar los trabajos de seguimiento y control del estado de salud de los sistemas forestales en Europa.

Desde entonces se ha llevado a cabo un seguimiento del estado de los bosques con métodos normalizados de manera que se pueden intercambiar los conocimientos sobre el estado de salud de los bosques europeos. A su vez estos estudios sirven para realizar un análisis de los procesos relacionados con el cambio climático, la gestión forestal sostenible y la biodiversidad.

En Europa se cuenta con una red sistemática internacional, la Red de Nivel I, que cuenta con más de 7500 puntos de evaluación en cuadrículas de 16 x 16 km que cubren toda Europa, repartidos en 39 países. En estas se realiza un análisis del estado de la salud del arbolado y de los principales factores que afectan negativamente, pudiendo observar los valores de defoliación en el territorio europeo como por ejemplo el pasado año 2017 (Figura 1).

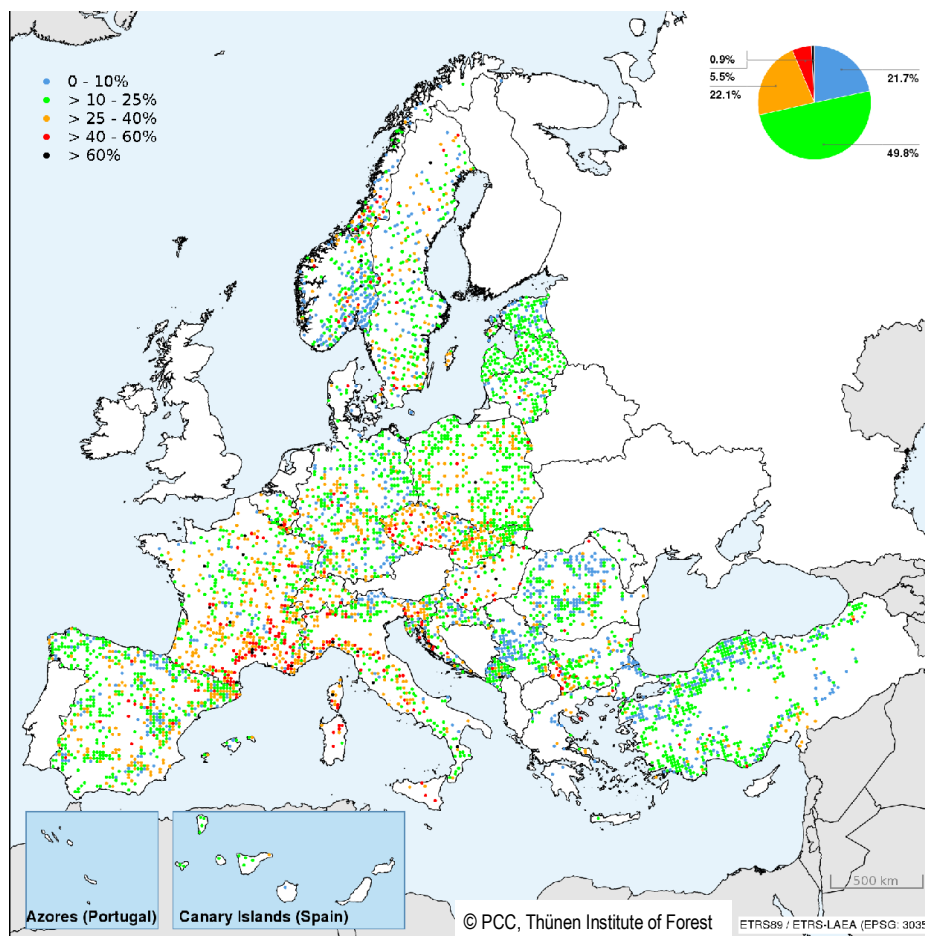
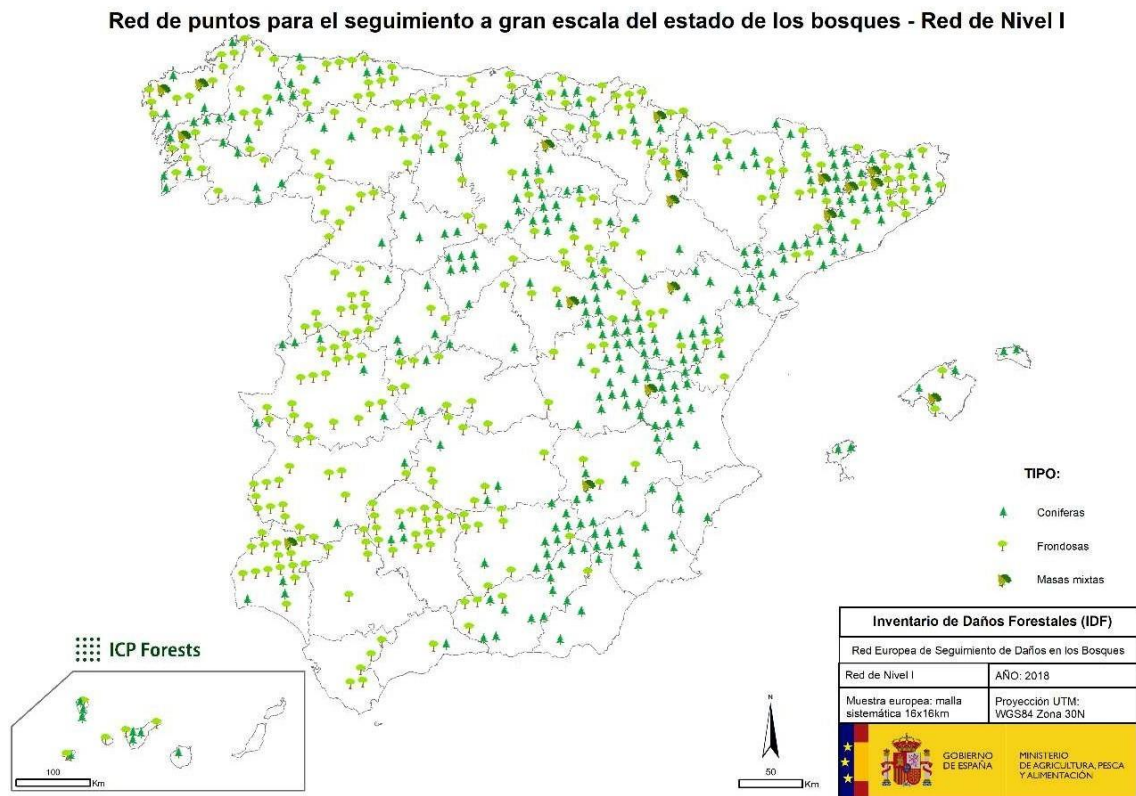


Figura 1: Defoliación media de todas las especies en 2017. Red de evaluación de las condiciones forestales en Europa (ICP-Forest, 2018).

En España, la Red de Nivel I se constituyó en el año 1986. De forma periódica se realiza un análisis del estado de salud del arbolado y de los factores que afectan negativamente al mismo. Se realizan estudios de la pérdida de follaje del arbolado (defoliación), la determinación de agentes causantes de daños en el arbolado o el nivel de fructificación entre otros factores. Está formada por 620 puntos de evaluación, en cada uno de los cuales se analiza el estado de 24 árboles vivos. El número de árboles incluidos en los análisis es de 14.880. En Aragón la Red de nivel I cuenta con 53 puntos de evaluación.

A continuación, se observa un mapa de la red de puntos de evaluación nacionales del año 2018.



*Figura 2: Red de puntos de evaluación en España. Red de Nivel I (AIEF, 2018).*

Uno de los grandes valores de la Red europea Nivel I es que permite la comparación de los daños en los bosques de hasta 38 países europeos, si bien no todos los años se ofrecen datos de todos los países.

A través de estos estudios en el contexto europeo se ha observado que los montes españoles y aragoneses muestran valores bajos o medios de proporción de pies dañados, considerando todos los pies con defoliaciones superiores al 25% (defoliación moderada, grave y completa).

Entre 1992 y 2017 los mayores valores de este indicador para el total de especies evaluadas se observan en Europa Central, en países como Chequia, Bulgaria y Eslovaquia. Además de estos, Italia, Moldavia, Polonia, Luxemburgo, Eslovenia, Francia, Croacia y Montenegro muestran proporciones medias de árboles con daños mayores del 25%. La media de proporción de pies dañados en España se sitúa en el percentil 39 del total de países estudiados (Aragón muestra valores equivalentes al percentil 20 y la provincia de Zaragoza se sitúa en el percentil 15).

En el caso de las coníferas los mayores valores de defoliación, además de en los países citados se presentan en Croacia, Moldavia, Eslovenia, Polonia, Holanda, Hungría y Montenegro, todos ellos con una proporción de pies dañados media para todo el período mayor del 25%.

En el caso de las frondosas los países que muestran proporciones de daños medias mayores del 25% son Luxemburgo, Noruega, Italia, Francia, Alemania, Moldavia, Polonia, Reino Unido, Bulgaria, Eslovaquia, Eslovenia y Montenegro.

Los valores medios de la proporción anual de pies con daños frente al total de pies evaluados para el período 1992-2017 y su desviación típica se muestran en la siguiente tabla:

	Coníferas		Fronosas		TOTAL	
	Media (%)	Desv. Típ.	Media (%)	Desv. Típ.	Media (%)	Desv. Típ.
Albania	14,1	3,0	10,4	3,9	12,2	3,8
Alemania	20,2	2,2	31,3	4,7	24,3	2,9
Andorra	13,9	13,8	11,3	10,4	13,9	13,8
Austria	9,6	3,2	10,6	3,2	9,7	3,0
Bélgica	18,7	4,5	22,0	5,2	20,6	4,3
Bielorusia	21,7	14,8	14,3	6,2	19,9	12,5
Bulgaria	40,5	9,5	26,9	10,0	33,6	9,3
Chequia	60,6	4,7	30,0	8,6	55,4	5,2
Chipre	18,4	11,4			18,4	11,4
Croacia	55,6	13,2	21,5	5,1	26,3	4,7
Dinamarca	12,0	11,2	17,8	9,1	14,5	9,8
Eslovaquia	42,7	4,5	26,5	8,4	32,9	6,0
Eslovenia	34,3	5,1	26,4	7,4	29,5	5,9
ESPAÑA	14,9	3,9	18,8	4,7	16,9	4,0
Estonia	9,8	5,5	4,3	3,4	9,6	5,2
Federación Rusa	8,2	2,4	17,0	16,2	9,0	2,9
Finlandia	11,9	1,9	9,5	2,0	11,6	1,8
Francia	21,9	10,3	32,3	13,5	28,9	12,6
Grecia	18,1	6,3	24,3	9,3	21,4	2,8
Holanda	25,8	12,3	23,5	12,8	24,8	6,7
Hungría	25,3	9,7	21,3	5,1	21,8	5,3
Irlanda	15,1	6,4			15,1	6,4
Italia	22,9	4,7	35,1	8,2	31,8	6,3
Letonia	17,1	10,3	11,8	4,3	15,7	8,4
Lituania	17,2	6,5	18,8	3,6	17,6	5,0
Luxemburgo	12,2	4,4	39,2	7,7	29,8	6,7
Moldavia	36,4	9,8	30,4	9,9	31,5	8,6
Montenegro	25,1	2,5	25,7	2,2	25,5	2,0
Noruega	20,7	3,8	36,0	6,7	23,3	4,6
Polonia	29,8	12,3	30,2	9,8	30,1	11,6
Portugal	7,3	3,6	14,0	6,9	11,8	5,6
Reino Unido	22,6	9,8	27,9	14,4	25,0	11,7
Rumanía	12,0	4,4	15,9	3,8	15,0	3,8
Serbia	13,6	7,2	10,7	4,4	11,3	4,2
Suecia	17,0	2,4	10,1	3,9	17,0	2,1
Suiza	22,9	5,6	22,7	6,8	22,8	5,8
Turquía	10,6	3,5	18,1	8,3	13,0	5,1
Ucrania	19,7	17,1	25,0	19,8	22,8	17,8
ARAGÓN	10,8	3,9	15,7	7,9	12,2	4,6
ZARAGOZA	11,0	5,2	13,6	8,6	11,9	5,5

Tabla 1: Valores medios de la proporción anual de pies con daños frente al total de pies evaluados para el período 1992-2017 (Elaborado a partir del Informe Técnico ICP Forest, 2017).



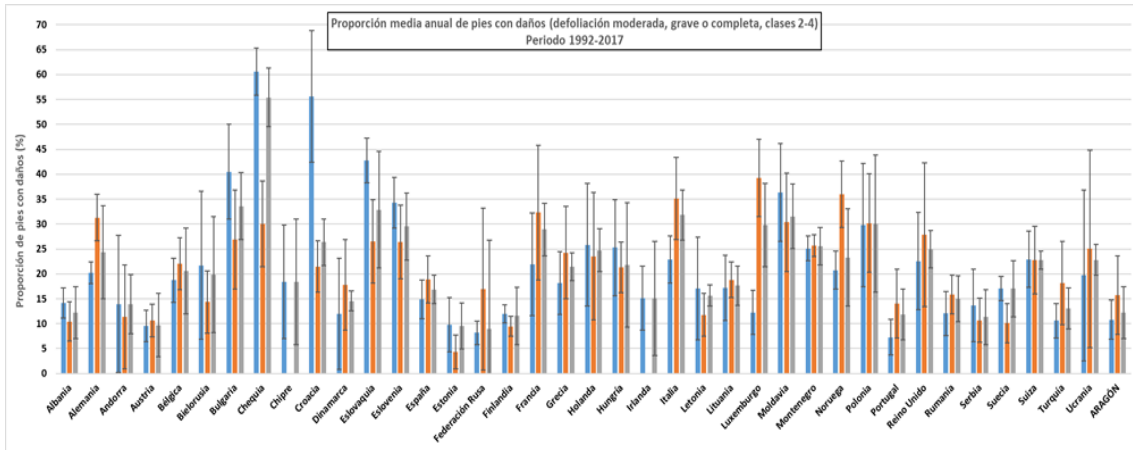


Figura 3: Proporción media anual de pies con daños para el periodo de 1992-2017 (Informe Técnico ICP Forest, 2017).

Este valor bajo-medio en cuanto a daños en los montes aragoneses y zaragozanos queda en cierto modo matizado al observar la evolución temporal de los mismos: en los años 2016 y 2017 el empeoramiento de los montes zaragozanos (en general españoles) ha hecho que en esos dos años los daños superen los valores medios europeos, alcanzando valores que sitúan en el percentil 66 de la distribución de daños en los países europeos.

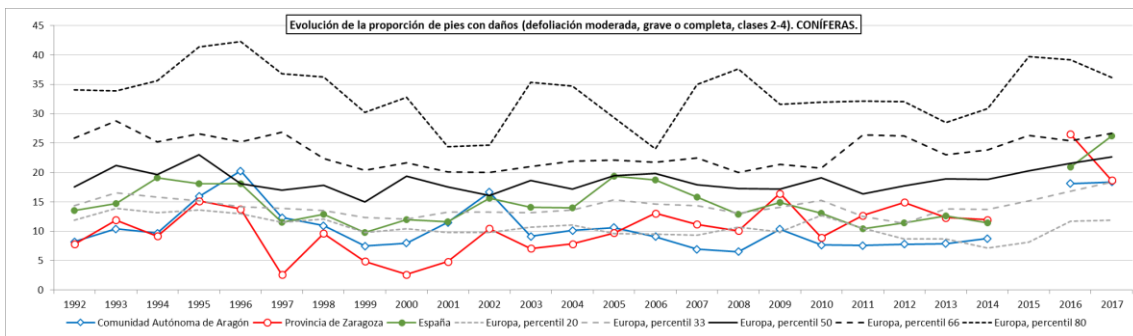


Figura 4: Evaluación de la proporción de pies con daños en coníferas (Informe Técnico ICP Forest, 2017).

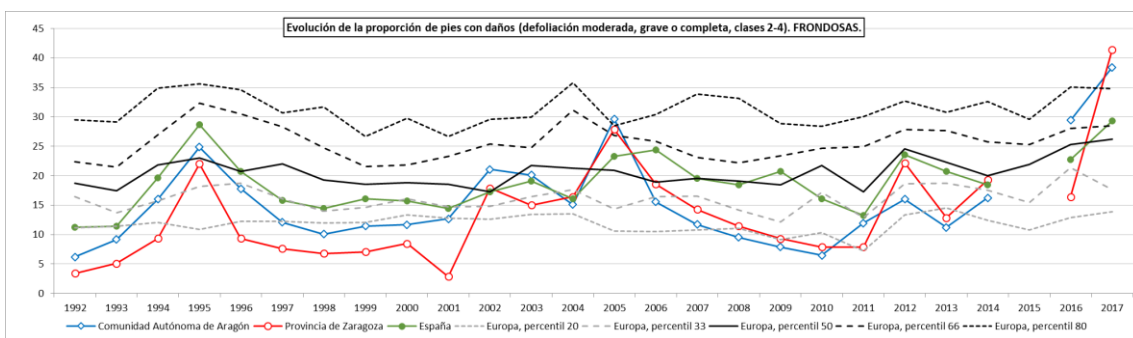


Figura 5: Evaluación de la proporción de pies con daños en frondosas (Informe Técnico ICP Forest, 2017).

Cabe destacar el hecho de que tanto la Red de seguimiento europea como la nacional, disponen de poca representatividad local (Figura 6). Por lo que cada comunidad autónoma, ha creado su propia red de seguimiento que funciona de forma paralela e independiente a la anterior.

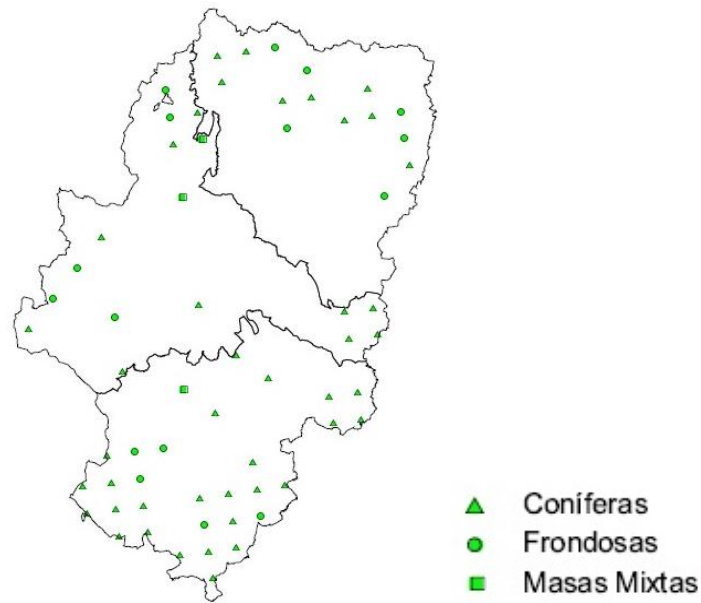


Figura 6: Red Europea de daños en los bosques. Red de Nivel I.

En la Comunidad Autónoma de Aragón primero la Asesoría Técnica de Plagas de Zaragoza, y después la Dirección General de Gestión Forestal establecieron una red propia, Red de Evaluación Fitosanitaria en las Masas Forestales de Aragón, constituida por una red de puntos de evaluación conforme a una cuadrícula sistemática en todo el territorio aragonés de 8 x 8 km (Rango I) y una red específica para los ENP vigentes en el momento de su creación (Rango II), que supuso intensificar en ellos los puntos a una red de 4 x 4 km. Esta red actualmente cuenta con 300 puntos, 256 de los cuales de rango I y 44 de los cuales de rango II (Figura 7).

En la Red autonómica se dispone de información generalizada desde el año 2007, y en algunos de los puntos zaragozanos se amplía la información hasta el año 2001. Exceptuando el año 2014, en el cual no se realizó el estudio por falta de presupuesto.

Los dos principales parámetros sobre el estado sanitario de los árboles que se evalúan son la defoliación y la decoloración. En el presente estudio se va a realizar un análisis detallado de la defoliación.

Debe tenerse en cuenta que la evaluación de la defoliación se realiza “de visu”, y que por más que se realicen cursos y jornadas de calibración, depende en cierta medida del evaluador. El estudio se realiza sobre 24 árboles, 6 en cada cuadrante definido por los puntos cardinales, desde un punto central. Por tanto, las “parcelas” o puntos de evaluación son la suma de cuatro sectores circulares, cada uno de ellos con radio igual a la distancia al sexto pie del cuadrante. En caso de muerte de árboles en la evaluación del año posterior se amplía el sector correspondiente hasta volver a incluir 6 árboles (Manual de campo REFMFA, 2017).

Se considera defoliación:

- La pérdida prematura de la hoja.
- Aquellos crecimientos que, debiendo portar hojas, carecen de ellas (ramillos portadores).
- Las hojas con microfília siempre que sea patente.

Los valores de defoliación se calculan en porcentajes del 5%, según la cantidad de hoja/acícula perdida del árbol estudiado, tomando como modelo o referente el árbol tipo local (mejor en el área), cuyo porcentaje de defoliación no necesariamente ha de ser del 0%, lo que correspondería a un árbol sin afección alguna y con plena disponibilidad hídrica, muy difícil de encontrar en nuestros ecosistemas.

A efectos estadísticos las clases de defoliación se agrupan en:

- 0 -10%, Clase 0, defoliación nula.



*Figura 7: Pinus pinea. Defoliación 5%*

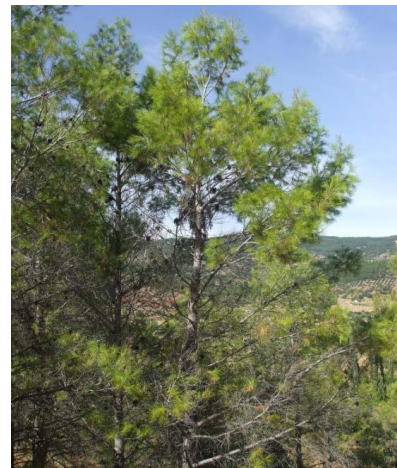


*Figura 8: Pinus halepensis. Defoliación 10%.*

- 11-25%, Clase 1, defoliación ligera.



*Figura 9: Quercus ilex. Defoliación 20%*



*Figura 10: Pinus halepensis. Defoliación 25%*



- 25-60%, Clase 2, defoliación moderada.



*Figura 11: Pinus halepensis. Defoliación 30%*



*Figura 12: Quercus ilex. Defoliación 55%*

- > 60%, Clase 3, defoliación grave.



*Figura 13: Quercus ilex. Defoliación 65%*



*Figura 14: Quercus ilex. Defoliación 80%*

- 100%, Clase 4, defoliación completa, árbol muerto o seco.



*Figura 15: Quercus ilex. Defoliación 100%*



*Figura 16: Pinus Pinaster. Defoliación 100%*

Por lo que hace referencia a los daños se distingue entre árboles:

- Árbol sin daños: defoliación menor del 25%, clases 0 y 1, con defoliación nula o ligera.
- Árbol con daños: defoliación mayor del 25%, sin incluir muertos, clases 2 y 3, con defoliación moderada, moderada grave o grave.

En este TFM se utiliza como indicador la defoliación media calculada para cada punto de evaluación como la media aritmética del porcentaje de defoliación evaluado en cada uno de los 24 árboles, y para cada agrupación de puntos como la media aritmética de los valores de dichos puntos.

En el estudio de la defoliación por especies, o por agentes de daños, se agrupan los árboles correspondientes en función de agrupaciones de especies, y se calcula la media aritmética de sus valores individuales de defoliación.

Se han realizado una agrupación de puntos de evaluación con igual especie principal, en función de los datos disponibles de la REFMFA, dividiendo las especies entre pinar, sabinar y tejedas, por lo que se refiere a las coníferas, y como cupulíferas, salicáceas y resto de frondosas por lo que se refiere a las frondosas.

Para el caso de la provincia de Zaragoza se ha realizado un análisis de mayor detalle para los pinares (*Pinus spp.*) y los encinares, quejigares y robledales (*Quercus spp.*) y se ha particularizado el análisis para las masas de pino carrasco (*Pinus halepensis*) y de encina (*Quercus ilex*), que son las que ocupan la mayor parte de la superficie y además las zonas más xéricas.

## 2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es elaborar una cartografía y análisis geoespacial del estado de salud de las masas forestales de forma general en Aragón y en detalle en la provincia de Zaragoza para el periodo comprendido entre 2007 al 2018. De manera que se pueda conocer la tendencia del estado fitosanitario de las masas forestales, detectando aquellas áreas con mayores niveles de defoliación y, por tanto, aquellas cuyo vigor del arbolado se ha visto debilitado.

Para ello se han establecido una serie de objetivos específicos, de manera que sea más fácil alcanzar ese objetivo general.

- Comprender la evolución de la defoliación en las masas arbóreas de la CC.AA. de Aragón.
- Establecer una jerarquización de los puntos de evaluación más dañados y analizar espacialmente los datos obtenidos para la totalidad de la CC. AA.
- Cartografiar la dinámica espacio-temporal de la afección por defoliación de la provincia de Zaragoza en dos de sus géneros, *Pinus* y *Quercus*.
- Elaborar un análisis geoespacial de la dinámica espacio-temporal de la afección por defoliación sobre *Pinus halepensis* (pino carrasco) y *Quercus ilex* (encina).
- Analizar la relación entre los procesos de sequía, mediante el índice de sequía SPEI, con los valores de defoliación para la provincia de Zaragoza.



### 3. Área de estudio

El presente estudio se realiza sobre Aragón, una comunidad autónoma del norte de España, situada en el noreste de la península Ibérica, a una latitud entre los 39° y los 43° N. Limita con Francia al norte, con Cataluña y Valencia por el este y con Castilla-La Mancha, Castilla y León, La Rioja y Navarra por el oeste.

Aragón posee una extensión de 47.719 km<sup>2</sup>, de los cuales 15 636 km<sup>2</sup> pertenecen a la provincia de Huesca, 17 274 km<sup>2</sup> a la provincia de Zaragoza y 14 808 km<sup>2</sup> a la provincia de Teruel.

En este espacio se localizan un total de 322 parcelas de la Red de Seguimiento Fitosanitario tanto nacionales como autonómicas, y que son la base de este TFM.

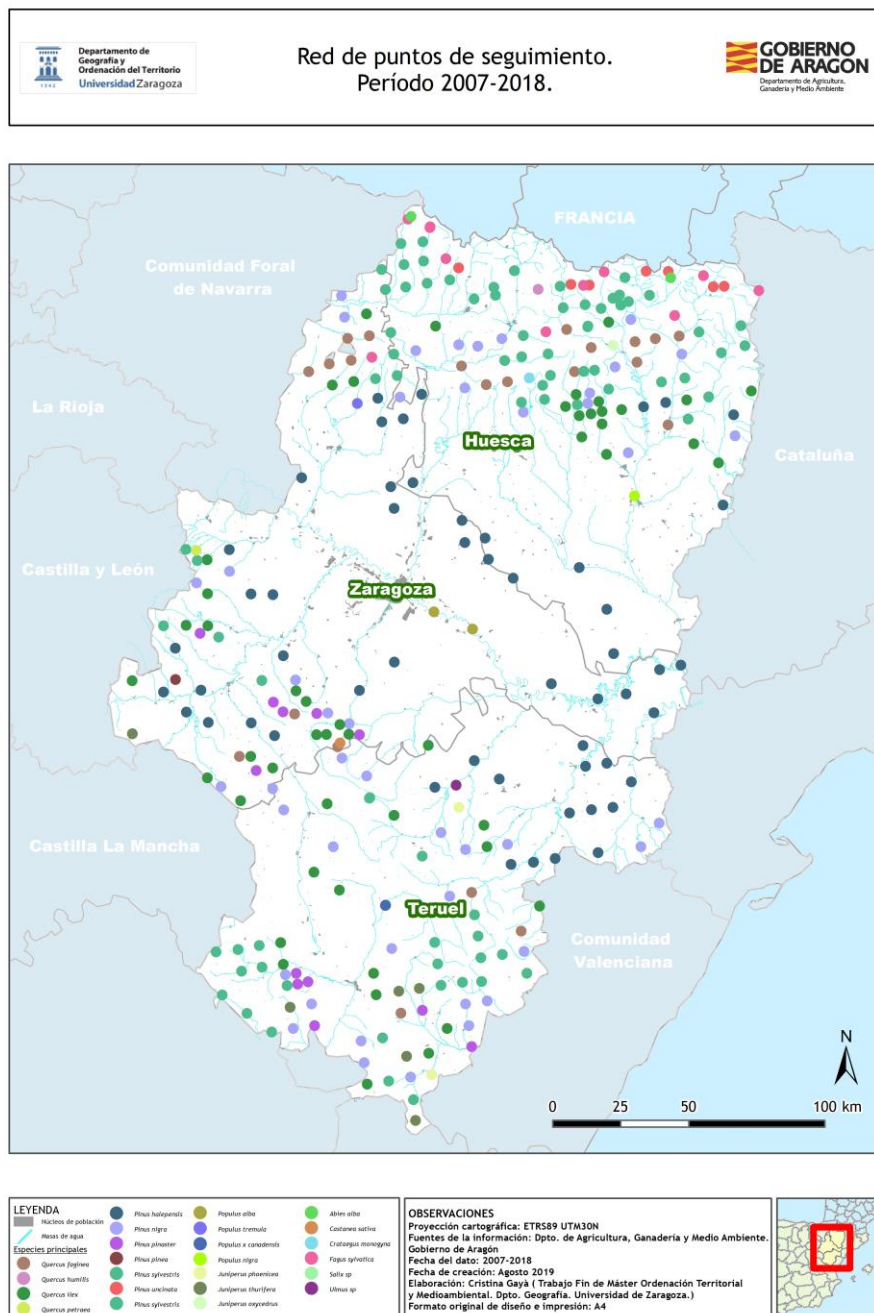


Figura 17: Red de parcelas de seguimiento de la Evaluación Fitosanitaria en las Masas Forestales de Aragón.

### 3.1. Objeto de estudio. La superficie forestal aragonesa.

El territorio aragonés ocupa 4.77 millones de hectáreas, de las cuales 2.6 millones de hectáreas son de naturaleza forestal, es decir el 54% del territorio aragonés, el cual está ocupado por vegetación arbórea, arbustiva, de matorral y herbácea, o una mezcla de ellas. En dicha superficie se debe destacar el hecho de que Teruel y Huesca poseen la mayor extensión forestal, mientras que Zaragoza, la provincia con mayor superficie total, posee menos de la mitad de su superficie como forestal.

Observando las cifras de superficie forestal de estas últimas décadas, estas muestran que durante la primera década del siglo XXI se produjo un aumento de la superficie forestal de apenas 5 mil hectáreas, debido a las medidas de forestación de tierras agrícolas introducidas por la Política Agrícola Común de la Unión Europea. Sin embargo, a partir del año 2009 la tendencia se invirtió hacia el decrecimiento perdiéndose casi 22 mil hectáreas desde ese mismo año hasta el 2015, un ligero descenso de menos de un punto porcentual. Dichos cambios se producen a raíz de los incendios, deforestaciones y reforestaciones (Hernandez,2018).

De estas formaciones arbóreas más de la mitad, el 51.5% son formaciones arbóreas con presencia de coníferas, mientras que tan solo el 22% son formaciones arbóreas con presencia de frondosas. El resto supone formaciones arbóreas mixtas, la mayoría con una mezcla de coníferas y frondosas.

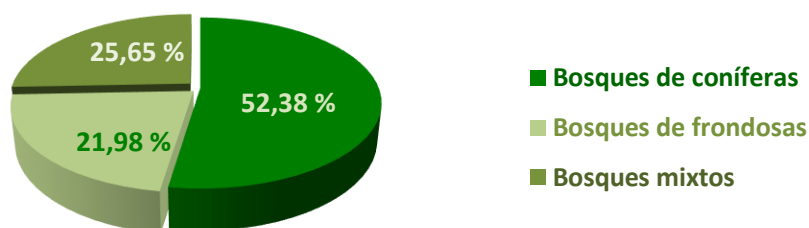


Figura 18: Proporción de cada una de las formaciones arbóreas de Aragón (Servicio de Planificación y Gestión Forestal, 2018).

En Aragón se pueden encontrar dos tipos de bosques, el bosque pirenaico de influencia eurosiberiana y los bosques de influencia mediterránea, en función de las características geomorfológicas y fisiográficas de los terrenos, y su capacidad bioclimática y edáfica.

Entre los bosques pirenaicos eurosiberianos aparecen los bosques subalpinos de coníferas (abetos y pino negro), y el hayedo-abetal, los pinares musgosos del piso montano y los hayedos, robleales y bosques mixtos caducifolios con diversas especies como el abedul, tilo, acebo, arce, serbal, tejo, álamo, o fresno, combinadas con coníferas.

Por otra parte, el bosque propio de la zona de influencia mediterránea está formado por bosques de especies hegemónicas como quercíneas esclerófilas (carrascas y coscojas), o marcescentes (rebollo y quejigo) y coníferas de carácter xérico (pino carrasco y laricio o salgareño) así como enebros y sabinas.

El Inventario Forestal Nacional clasifica el territorio forestal aragonés en 34 formaciones forestales dominantes arbóreas y de matorral, de las cuales 24 son arbóreas.

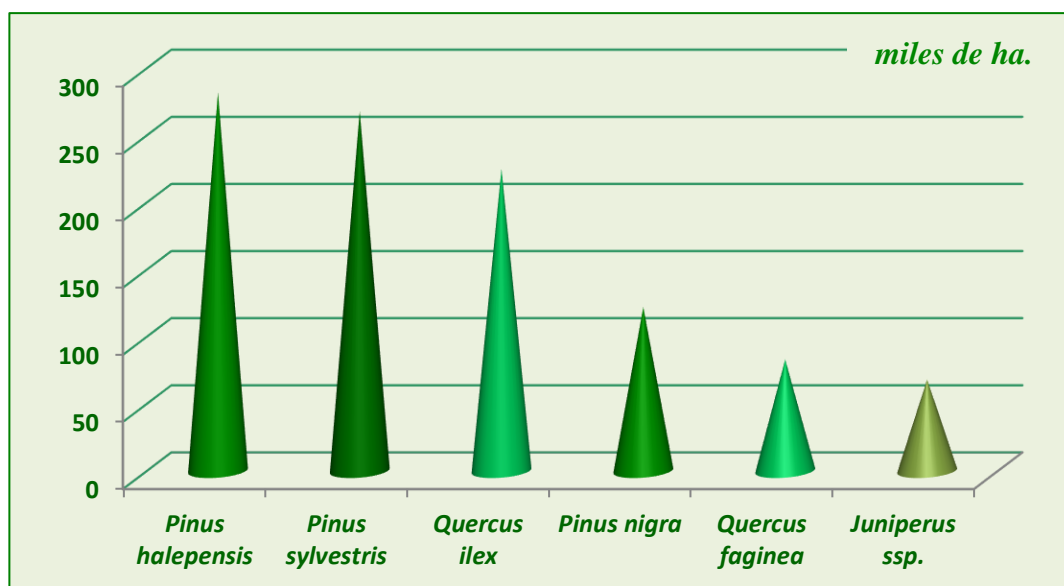


Figura 19: Ranking de abundancia de las especies arbóreas dominantes en los bosques de Aragón (Servicio de Planificación y Gestión Forestal, 2018).

Los pinares son la formación más representada, ya que constituye el 58% de la superficie arbolada aragonesa. Se puede encontrar formaciones puras de pinos en casi 728 mil hectáreas (MFE50-FF15). Siendo los bosques más extensos los de pinos carrascos (*Pinus halepensis*) ocupando más de 282 mil hectáreas (MFE50-FF15) en masas puras. Por extensión le siguen en orden el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) con formaciones puras de 268 mil hectáreas, el pino laricio (*Pinus nigra*) con una extensión de 122 mil hectáreas, el pino rodeno (*Pinus Pinaster*) con más de 32 mil hectáreas, el pino negro (*Pinus uncinata*) con unas 23 mil hectáreas, y el pino piñonero (*Pinus pinea*) el cual tiene una presencia testimonial en Aragón con unas 700 hectáreas en masas puras. El resto de las especies de *Pinus spp.* son menos abundantes.

Por lo que hace referencia al resto de coníferas destacan los sabinares albares de *Juniperus thurifera* el sabinar de *Juniperus phoenicea*, los enebrales (*Juniperus communis* y *Juniperus oxcedrus*) y los abetales (*Abies alba*).

La tercera especie más abundante es la encina (*Quercus ilex*) que ocupa casi 225 mil hectáreas (MFE50-FF15) en masas puras. Siendo los bosques de frondosas más extensos de la comunidad autónoma, presentes en somontanos, páramos o piedemontes.

En referencia a las frondosas, en Aragón se encuentran quejigares (*Quercus faginea*), rebollos (*Quercus pyrenaica*) con una escasa representación en la CC. AA, alcornoques (*Quercus suber*) también muy escasos, hayas (*Fagus sylvatica*), abedulares (*Betula spp.*), madroñales (*Arbutus unedo*), fresnedas (*Fraxinus spp.*), álamos (*Populus alba*), chopos (*Populus nigra*), olmos (*Ulmus spp.*), alisos (*Alnus glutinosa*) y tamarices (*Tamarix spp.*). Por último, las choperas que se encuentra en los suelos aluviales de las riberas del Ebro y sus afluentes, los ríos Guadalaviar y el Turia. Dichas choperas están formadas por clones híbridos de chopos (*Populus deltoides*).

Las repoblaciones según interpretaciones de los datos del Mapa Forestal de Aragón (Escudero & Franchés, 2004) en Aragón superan las 280.000 ha, siendo las especies más utilizadas el pino carrasco (*Pinus halepensis*), el pino negral (*Pinus nigra*) y el pino albar (*Pinus sylvestris*), lo que, en adición a sus masas naturales, explica la alta ocupación de estos pinares en el paisaje forestal

aragonés. Dichas repoblaciones se llevaron a cabo en la segunda mitad del siglo XX, con una finalidad restauradora. Estas se realizaron con elevadas densidades arbóreas para asegurar el éxito, dando así problemas de decaimiento, falta de vigor y resiliencia debido a la elevada competencia entre dichos árboles.

#### 4. Metodología

Para el desarrollo del presente TFM se ha seguido una serie de pasos que se pueden observar en el esquema que se encuentra en la parte inferior (Figura 20), los cuales se explican a continuación.

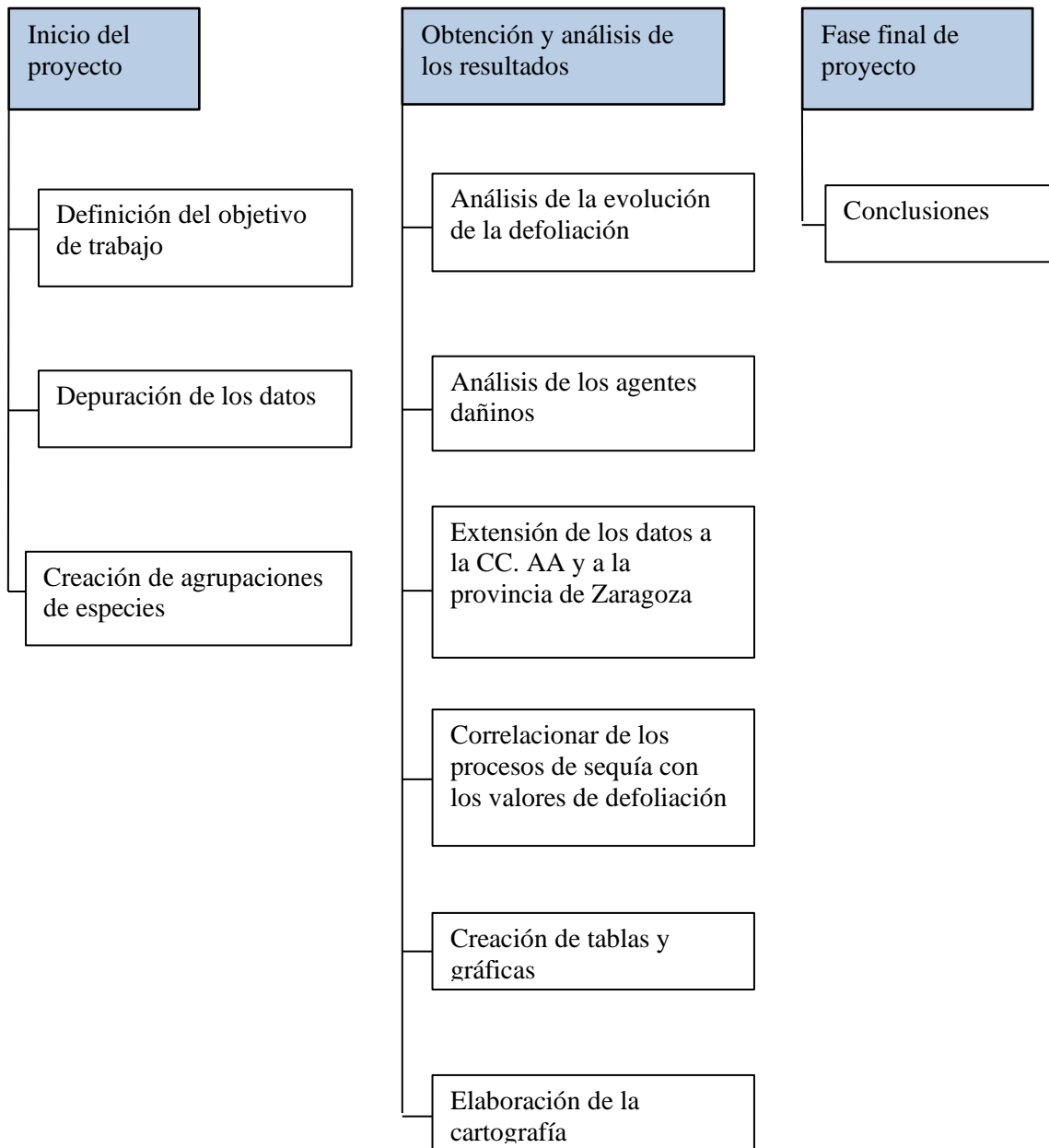


Figura 20: Esquema metodológico seguido en el presente trabajo

Se parte de una tabla con todos los datos obtenidos de los distintos puntos de evaluación de la CC. AA del Servicio Provincial de Zaragoza de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, la cual ha sido proporcionada por el Servicio Forestal del Gobierno de Aragón, a partir de dicha información ha comenzado el trabajo de este TFM iniciándose con el proceso de depuración de la información.

Cabe destacar, que el estudio de la defoliación se ha realizado en primer lugar de forma general para toda la Comunidad Autónoma de Aragón y posteriormente, se ha procedido a un análisis más detallado de dos géneros en la provincia de Zaragoza, *Pinus spp.*, y *Quercus spp.* y una vez



conocida la situación para ambos géneros, se ha procedido al estudio en detalle de las especies más características y relevantes de la provincia de Zaragoza *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*.

Para comenzar con el análisis se ha localizado la totalidad de los puntos de evaluación permitiendo conocer su ubicación en la CC. AA y la distribución espacial que presentan.

Una vez conocida la ubicación de las parcelas se ha realizado un análisis estadístico de la defoliación en la comunidad autónoma, observando la evolución de la defoliación total a lo largo de los años, por tipo de defoliación, (nula, ligera, moderada, grave y completa), y la evolución de la defoliación por distintas agrupaciones de especies. Prestando una especial atención a aquellas parcelas afectadas por defoliación grave. En el caso de la cartografía realizada para observar la evolución de la defoliación se ha usado unas tipologías de defoliación más específicas, ya que se ha considerado que la defoliación moderada abarca unos porcentajes muy amplios de defoliación, pudiéndose dividir estos para un mayor detalle del análisis. Siendo así la cartografía quedara dividida en:

- 0 -10%, Clase 0, defoliación nula.
- 11-25%, Clase 1, defoliación ligera.
- 25-40%, Clase 2, defoliación moderada.
- 40-60%, Clase 3, defoliación moderada grave.
- > 60%, Clase 4, defoliación grave.
- 100%, Clase 5, defoliación completa, árbol muerto o seco.

Por lo que hace referencia a las especies arbóreas analizadas en la totalidad de la comunidad autónoma se han realizado cinco agrupaciones de especies para ello.

- Agrupación de pinares donde se encuentran representados todas las especies del género *Pinus* (*Pinus sylvestris*, *Pinus pinaster*, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus uncinata* y *Pinus pinea*).
- Agrupación de sabinar y enebreal donde se encuentran representados las especies del género *Juniperus* (*Juniperus phoenicea*, *Juniperus thurifera* y *Juniperus oxycedrus*).
- Agrupación de cupulíferas donde se encuentran representadas las especies del género *Quercus* (*Quercus ilex*, *Quercus faginea*, *Quercus humilis*, *Quercus petraea* y *Quercus pyrenaica*).
- Agrupación de las salicáceas donde se encuentran representadas las especies de los géneros *Populus* (*Populus x canadensis*, *Populus nigra* y *Populus tremula*) y *Salix sp.*
- Agrupación del resto de frondosas donde se representan las especies *Fagus sylvatica*, *Crataegus monoguna*, *Castanea sativa* y *Ulmus sp.*

Además, del análisis de la evolución defoliación media, se ha utilizado otro parámetro clásico en este tipo de estudios como es la proporción de árboles con daños, entendidos estos como los que presentan defoliación moderada (25-60%) o grave (60-95%), siendo por tanto los árboles sin daños los que presentan defoliaciones nulas (0-10%) o ligeras (10-25%). Para cada punto de evaluación, dicho porcentaje se calcula como 100 por el número de pies con defoliación moderada (25-60%) más el número de pies con defoliación grave (60-95%) entre los 24 árboles que forman una parcela. A través de este cálculo se han podido conocer cuáles son las parcelas con daños y sin daños.

Por último, dichos datos de defoliación se han espacializado mediante un método de interpolación para obtener valores para toda la superficie de la comunidad autónoma. De este modo se genera cartográfica temática que representan la distribución espacial la defoliación. Para el cálculo de la

interpolación se ha usado la herramienta IDW, en lugar del método Kriging, que según bibliografía ofrece un amplio margen de error (Estudios medioambientales S.L. ,2014).

La interpolación mediante el método IDW determina los valores de cada celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. En este caso, se supone que a mayor distancia la influencia entre puntos disminuye. Dicha herramienta se ha usado tanto para la CC. AA de Aragón como para la provincia de Zaragoza, en estos dos casos se han usado parámetros distintos debido a la diferencia de amplitud entre los dos casos. Para el caso particular de Zaragoza, se ha usado una potencia de 3, es decir un valor que aumenta la influencia en los puntos más cercanos. A la hora de limitar los puntos utilizados en la interpolación se ha usado un radio de búsqueda fijo con una distancia de vecindad de 30 km y una cantidad mínima de puntos de 5. Dicha distancia se ha considerado desde el punto de vista que, a una distancia mayor de 30 km, la similitud entre puntos de evaluación sería demasiado baja o nula. Mientras que para la interpolación de los datos de la comunidad autónoma se ha usado una potencia de 3, y un radio de búsqueda de 12 puntos.

Por tanto, para el caso de Zaragoza se ha usado como herramienta de búsqueda una distancia máxima desde cada punto, mientras que para el caso de Aragón se ha usado un radio de búsqueda por puntos. Se ha usado una potencia de 3 en ambos casos, ya que para este caso se ha considerado que, a menor distancia, mayor será la influencia entre puntos de evaluación, por tanto, se ha aumentado un punto al valor predeterminado, siendo este 2. En referencia a los puntos de búsqueda, para el caso de Zaragoza se han usado 5 puntos, ya que al tratarse de una superficie de menor tamaño el número de puntos también es menor, en cambio para el caso de Aragón se han usado 12 puntos. Dichos parámetros han sido elegidos en base a una búsqueda de los parámetros idóneos que muestren unos resultados cercanos a la realidad.

Por otra parte, para el caso de Zaragoza se han realizado los mismos análisis, añadiendo algunos más. Siendo estos el estudio de la intensidad media de daños causados sobre las parcelas. Se ha realizado un estudio de la evolución de cuatro tipos de daños, daños por insectos y ácaros (Defoliaciones, perforaciones...), daños por hongos, bacterias, virus y fanerógamas parásitas, daños por agentes abióticos (Ramas partidas por viento o nieve, decoloraciones debidas a heladas, sequías, granizo...) y daños por otras causas (Problemas de competencia o dominancia, aparición de ramas secas en el árbol, daños de origen desconocido).

Estos daños se evalúan en cuatro niveles de daños.

NIVEL DE DAÑO	CÓDIGO
Sin Daño	0
Daño leve	1
Daño moderado	2
Daño Importante	3

Entrando más en detalle se observan 14 posibles tipos de daños de carácter abiótico, siendo estos:

- Desórdenes nutricionales
- Rayo
- Avalancha
- Deslizamientos de tierra o lodo
- Sequía
- Nieve/Hielo
- Oscilación nivel freático
- Viento/Tornado
- Heladas
- Daño invernal-deseccación
- Granizo
- Suelo somero o poco profundo
- Golpe de calor
- Otros

El conjunto de otros daños puede ser:

- Falta de iluminación
- Competencia en general (espesura)
- Interacciones físicas
- Otros

Asimismo, para el caso de Zaragoza, se estudiará detalladamente si en cada parcela aumenta o disminuye la defoliación año a año. En este caso, se va a dividir los datos obtenidos en disminución significativa para una disminución mayor al 5% en valores absolutos, o disminución no significativa para el caso de aquellas parcelas cuya defoliación disminuya en menos de un 5% en valores absolutos respecto al año anterior. De igual modo, para las parcelas que aumenten la defoliación respecto al año anterior, se dividirán en aumento significativo para un aumento mayor al 5% en valores absolutos, o aumento no significativo si dicho aumento no supera ese 5%.

Por lo que hace referencia al análisis de la relación entre la defoliación y las anomalías climáticas (sequías), se usará un índice de sequía, el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI). Además, de dos índices de correlación como son el Índice de correlación de Pearson, un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente y en Índice de correlación de ajuste  $R^2$ , el cual mide la varianza total de las variables.

Por último, cabe mencionar los parámetros que se han usado para la elaboración de la cartografía. Para ello se ha seguido la Norma Cartográfica de Aragón (ORDEN de 20 de febrero de 2014, del Consejero de Política Territorial e Interior, por la que se publica el Acuerdo adoptado por el Gobierno de Aragón, en su reunión celebrada el día 18 de febrero de 2014, por el que se aprueba la Norma Cartográfica de Aragón (B.O.A. nº 50, de 12 de marzo de 2014) y ORDEN VMV/65/2019, de 18 de enero, por la que se publica el Acuerdo adoptado por el Gobierno de Aragón, en su reunión celebrada el día 15 de enero de 2019, por el que se aprueba la modificación de la Norma Cartográfica de Aragón (B.O.A. nº 32, de 15 de febrero de 2019), definida por el Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR), organismo responsable de la armonización y normalización, en el marco del Sistema Cartográfico de Aragón, de la información geográfica oficial (DECRETO 81/2015, de 5 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Reglamento del Instituto Geográfico de Aragón y del Sistema Cartográfico de Aragón. B.O.A. nº 87, de 11 de mayo de 2015). Para los mapas de defoliación y de pies con daños realizados sobre la CC. AA de Aragón se ha usado una escala de 1: 100.000 km y para el caso de la extensión de datos para la masa de forestal de Aragón se ha usado una escala 1:300.000 km. En cambio, para los mapas de defoliación y pies con daños de la provincia de Zaragoza se ha usado una escala de 1:60.000 km y para la extensión de datos para la masa de forestal a la provincia de Zaragoza 1: 200.000 km.

## 5. Resultados en la Comunidad Autónoma de Aragón

### 5.1. Evaluación de la defoliación en el periodo 2007-2018.

La Red de Evaluación Fitosanitaria de las Masas Forestales de Aragón con su estudio de la defoliación en la Comunidad Autónoma de Aragón se viene realizando desde el año 2007 con un total de 286 parcelas repartidas en 118 en Huesca, 92 en Teruel y 76 en Zaragoza. De estas parcelas algunas han sido eliminadas por distintos motivos y otras han sido introducidas nuevas durante estos años.

En 2018 se realizó el estudio sobre parcelas repartidas en 127 en Huesca, 94 en Teruel y 101 en Zaragoza. En 226 de estas parcelas la especie principal es una conífera, y en 95 una frondosa. En concreto, se realiza el seguimiento de 209 parcelas de pinar, 11 de sabinar y tejedas, 78 de cupulíferas, 7 de salicáceas, y 16 como resto de frondosas.

A continuación, se van a analizar la defoliación en tres apartados distintos, un primer apartado donde se analiza la defoliación de forma general sobre el total de la CC. AA y cada una de sus especies, a continuación, se va a analizar la defoliación según cuatro distintos tipos de defoliación, la defoliación nula, ligera, moderada, grave y completa, y por último se va a analizar la defoliación según las cinco agrupaciones de especies que se han explicado anteriormente.

#### 5.1.1. Análisis general de la evolución de la defoliación.

Por lo que hace referencia a la defoliación en el total de parcelas analizadas en Aragón y, por tanto, el total de especies, podemos observar en la figura 21 que la defoliación en el total de especies en este periodo de tiempo estudiado sigue una tendencia positiva, aumentando sus cifras prácticamente 10 puntos en once años. Según publicaciones europeas en materia de redes forestales, variaciones superiores a los cinco puntos porcentuales en la defoliación implicarían cambios significativos en el estado fitosanitario de la vegetación (ICP-Forests, Forest Condition in Europe. 2004 Technical Report, Hamburgo 2004).

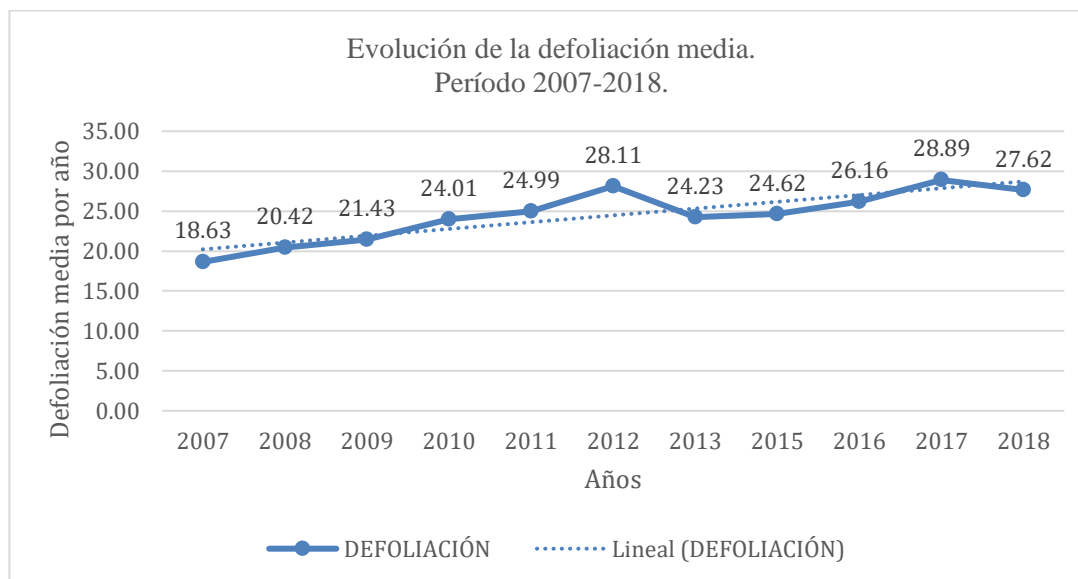


Figura 21: Evolución de la defoliación media en el total de parcelas de seguimiento de Aragón.

La defoliación en este periodo de tiempo ha seguido una tendencia general clara al crecimiento (figura 21). Se observa que para el año 2007 el valor de defoliación medio era de 18.63% mientras que el valor para el año 2018 es de 27.62%, un valor muy por encima de ese valor inicial. Es preciso señalar el hecho de la existencia de dos puntos pico ocurridos en el año 2012 y 2017 con

valores de defoliación media que superan el 28%. Estos dos valores de aumento se pueden relacionar claramente con las dos sequías registradas en esos dos mismos años.

El análisis se inicia en el año 2007, año en el que se alcanzó el mejor estado del arbolado aragonés. Se aprecia un primer aumento desde el año 2007 hasta el año 2012 donde se observa uno de los valores mayores de defoliación con 28.11% debido a la fuerte sequía producida en dicho año, siendo uno de los episodios de sequía más duraderos en los últimos años, al prolongarse un total de 22 semanas (Salinas et al,2018), y un año después se recuperan valores del pasado año 2011 y desde allí se tiende nuevamente al aumento hasta el año 2017 con un nuevo máximo de 28.89% debido nuevamente a un episodio de sequía, por último destacar el pequeño descenso ocurrido hacia el año 2018, pasando de valores del 27.62% frente al 28.89% del 2017, debido al cese de la sequía del año anterior, aunque dicho valor sigue siguiendo la tendencia general hacia el aumento registrada en este periodo ya que todavía no se ha producido una recuperación desde esa primera sequía de 2012. Por tanto, se podría decir que, con estas cifras de defoliación, se aprecia una clara pérdida del vigor del arbolado.

### 5.1.2. Análisis de la defoliación según los distintos tipos de defoliación.

Como se ha mencionado en el apartado anterior (Introducción) a efectos estadísticos la defoliación se puede dividir en diferentes tipologías. En este apartado se va a analizar la defoliación en cinco tipologías según el porcentaje de defoliación:

- Nula (0-10%),
- Ligera (10-25%)
- Moderada (25-60%)
- Grave (> 60%)
- Completa (100%)

MEDIA DE DEFOLIACIÓN POR AÑOS					
AÑO	DEFOLIACIÓN NULA	DEFOLIACIÓN LIGERA	DEFOLIACIÓN MODERADA	DEFOLIACIÓN GRAVE	DEFOLIACIÓN COMPLETA
2007	0.26	23.02	0.70	0.003	0.00
2008	0.54	21.69	1.49	0.10	0.15
2009	0.26	20.44	3.04	0.16	0.08
2010	0.46	18.52	4.27	0.32	0.40
2011	0.39	17.61	5.57	0.23	0.19
2012	0.37	13.85	9.18	0.37	0.21
2013	1.01	17.15	5.49	0.14	0.19
2015	0.87	17.30	5.34	0.20	0.28
2016	0.94	15.36	7.16	0.34	0.19
2017	0.27	12.82	10.31	0.40	0.18
2018	0.5	14.23	8.59	0.34	0.32

Tabla 2: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón.

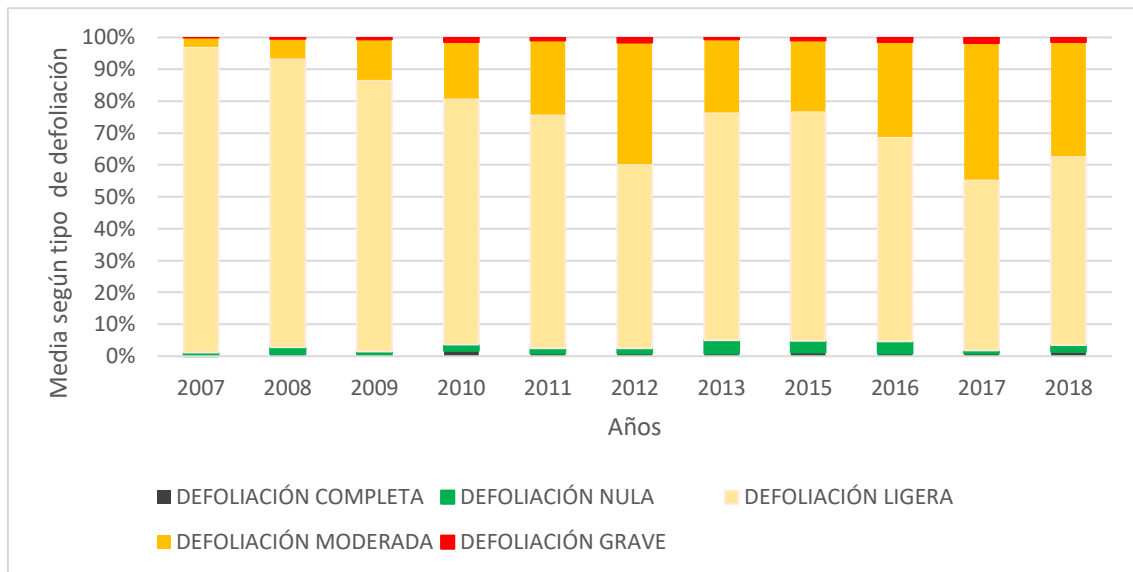


Figura 22: Proporción de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón.

A estos efectos como se observa en la tabla 2 y la figura 22 sobre los diferentes tipos de defoliación, destaca siempre muy por encima la defoliación ligera, presentando los mayores porcentajes. Pero cabe destacar el hecho de que en este periodo de tiempo la defoliación ligera ha experimentado un descenso en el porcentaje que representa sobre el total, ya que en el año 2007 la defoliación ligera representaba una media de 23%, y este último año 2018 representaba tan solo 14%. Por el contrario, la defoliación moderada ha experimentado una tendencia contraria, aumentando de forma progresiva con un valor medio de 0.70% en el año 2007 y en el año 2018 una media de 8.59%, un valor 8 puntos mayor al del año 2007. Si se observan las clases de defoliación extremas como la defoliación completa, nula y grave han seguido la misma tendencia hacia el aumento en este periodo de tiempo, pero sin experimentar grandes oscilaciones en estos años. En cuanto a la evolución de la defoliación con los valores más altos, es decir defoliaciones graves en general responden a situaciones puntuales, que van a ser definidas en este mismo TFM. Si bien hay que destacar el hecho, de que, en el año 2018, esta tendencia general en todo el periodo no se aprecia, sino que la defoliación ligera aumenta con valores del 12.82 % a 14.23 % y la defoliación moderada disminuye en valores de 10.31% a 8.59%.

A través del estudio de estos valores se puede observar como la defoliación tiende al incremento, y que dicho incremento se produce en valores de defoliaciones moderadas, disminuyendo así los valores de defoliación ligera.

Esta evolución, permite observar como en el año 2007 se parte de una situación “ideal” donde todos los puntos de evaluación presentan valores de defoliación ligeros o moderados, siendo en su mayoría ligeros. Hasta el año 2010 se mantiene una situación muy similar, pero a partir de dicho año la situación empieza a empeorar encontrando algunos puntos de evaluación con valores de defoliación moderados graves, pero todavía escasamente. En el año 2012, se observa un empeoramiento claramente, ya que la mayoría de los puntos de evaluación presentan valores de defoliación moderados principalmente en la provincia de Zaragoza y Teruel. Para el año siguiente la situación mejora, mostrando una situación similar al año 2011, hasta el año 2017 en que la situación empeora, incrementando los valores de defoliación incluso por encima del año 2012 y este último año 2018 mejora ligeramente.

En el anexo 1 de este TFM podemos ver una serie de mapas que muestran la evolución de la defoliación mediante unos símbolos circulares que dividen la defoliación en seis tipologías, nula, ligera, moderada, moderada grave y completa.

### 5.1.3. Análisis de la defoliación por grupos de especies.

Entre el total de 322 parcelas que se han estudiado en este periodo de tiempo se ven representadas un total de 23 especies vegetales (Tabla 3), entre las que se encuentran bien representadas 3 especies del género *Pinus* (*Pinus sylvestris*, *Pinus halepensis* y *Pinus nigra*) y una especie del género *Quercus* (*Quercus ilex*), algunas especies se ven suficientemente representadas como son *Quercus faginea*, *Pinus Pinaster*, *Fagus sylvatica*, *Juniperus thurifera* y *Pinus uncinata*, y algunas otras especies se ven insuficientemente representadas al sumar un total de menos de 5 parcelas como son *Juniperus phoenicea*, *Populus x canadensis*, *Populus alba*, *Quercus humilis*, *Abies alba*, *Pinus pinea*, *Juniperus oxycedrus*, *Populus nigra*, *Populus tremula*, *Salix sp.*, *Ulmus sp.*, *Quercus petraea* y *Crataegus monogyna*. Dicha representatividad se ha calculado en función de la especie principal de cada uno de los puntos de evaluación o parcelas, y no en función del número de árboles de dicha especie.

Especies bien representadas			Especies suficientemente representadas			Especies insuficientemente representadas		
Especies	Nº	%	Especies	Nº	%	Especies	Nº	%
<i>Quercus ilex</i>	52	16	<i>Quercus faginea</i>	24	7	<i>Juniperus phoenicea</i>	4	1
<i>Pinus sylvestris</i>	80	24	<i>Pinus pinaster</i>	13	4	<i>Populus x canadensis</i>	2	0.62
<i>Pinus halepensis</i>	60	18	<i>Fagus sylvatica</i>	11	3	<i>Populus alba</i>	2	0.62
<i>Pinus nigra</i>	48	14	<i>Juniperus thurifera</i>	6	1	<i>Quercus humilis</i>	2	0.62
			<i>Pinus uncinata</i>	7	2	<i>Abies alba</i>	2	0.62
						<i>Pinus pinea</i>	1	0.31
						<i>Juniperus oxycedrus</i>	1	0.31
						<i>Populus nigra</i>	1	0.31
						<i>Populus tremula</i>	1	0.31
						<i>Salix sp.</i>	1	0.31
						<i>Ulmus sp.</i>	1	0.31
						<i>Quercus petraea</i>	1	0.31
						<i>Crataegus monogyna</i>	1	0.31
						<i>Castanea sativa</i>	1	0.31

Tabla 3: Especies según su proporción de representatividad.



Para realizar el estudio de la defoliación de estas especies se han realizado cinco distintas agrupaciones de especies, ya mencionadas en la metodología del presente trabajo.

Teniendo en cuenta las agrupaciones de especies realizadas con el total de parcelas se puede observar la media de defoliación según estas diferentes agrupaciones de especies vegetales.

Año	Pinares	Sabinar y tejedas	Cupulíferas	Salicáceas	Resto de frondosas
2007	18.62	18.62	18.95	18.54	16.79
2008	20.73	19.77	19.70	22.46	19.29
2009	21.89	22.14	20.29	22.43	19.87
2010	24.50	22.95	22.40	24.93	25.86
2011	24.90	24	23.73	40.83	26.74
2012	27.70	27.64	28.25	30.54	32.86
2013	24.30	23.54	23.27	26.00	28.22
2015	24.42	23.27	24.50	25.93	28.19
2016	26.34	25.10	25.73	26.94	26.23
2017	28.50	25.70	29.45	28.12	33.63
2018	28.09	25.14	26.45	27.29	28.76

Tabla 4: Media de defoliación por años por agrupaciones de especies vegetales.

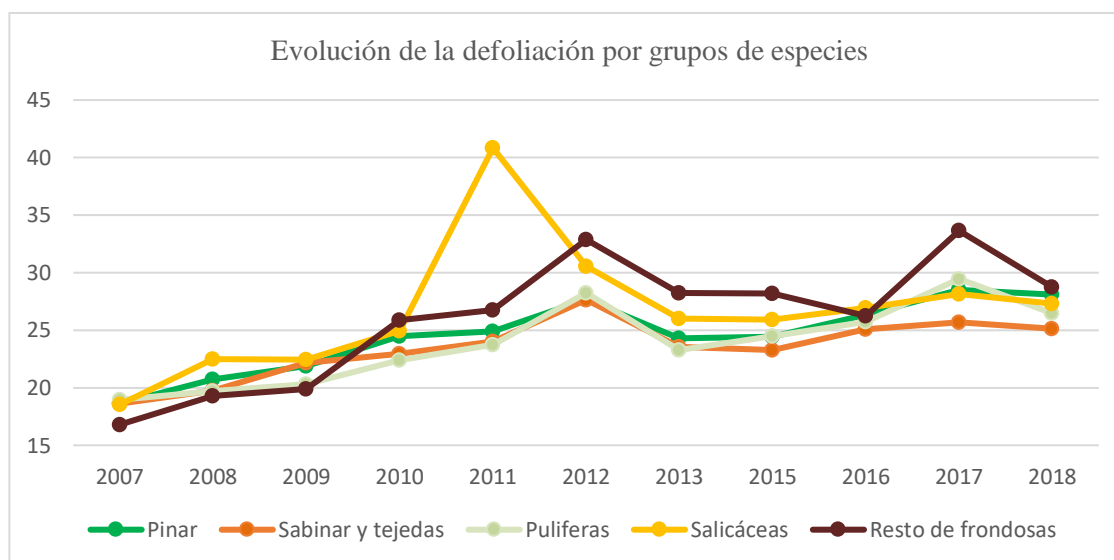


Figura 23: Evolución de la defoliación por grupos de especies. Periodo 2007-2018.

Por lo que hace referencia a las distintas agrupaciones de especies, se observa una clara tendencia creciente. Siendo el periodo comprendido entre 2007 y 2010 el que presenta un mejor estado, para posteriormente ir empeorando, con máximos de defoliación en los años 2011, 2012 u 2017. Destacan por los valores de defoliación más elevados las salicáceas y el resto de frondosas.

Se observa que la agrupación que sufre un mayor empeoramiento es el pinar, con un aumento de la defoliación de más de 10 puntos.

A continuación, se muestra la evaluación de la defoliación en las distintas agrupaciones de especies.



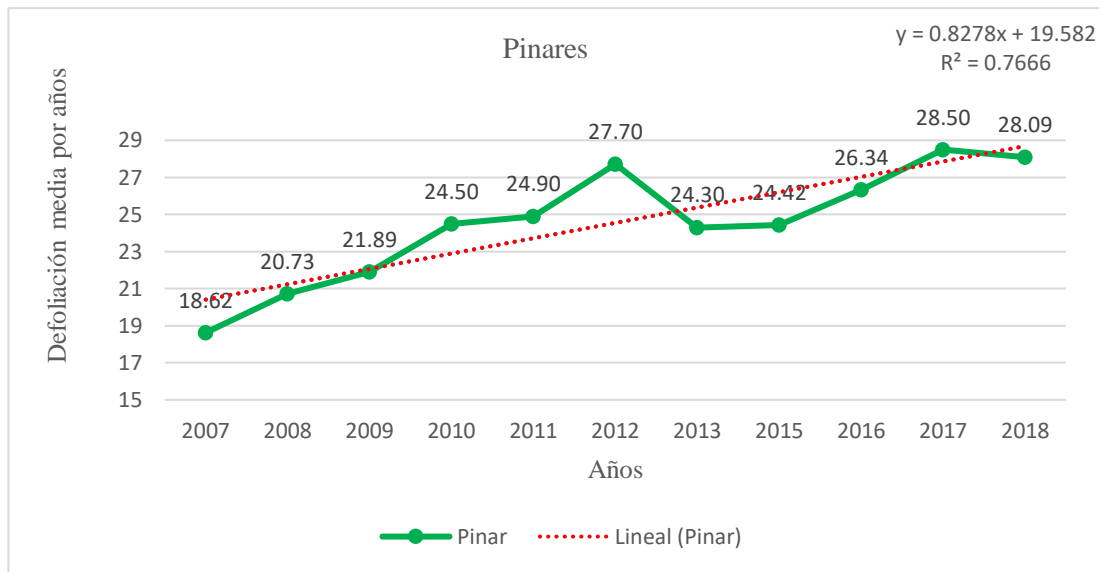


Figura 24: Evolución de la defoliación de los pinares en Aragón.

En el caso de los pinares la defoliación sigue una tendencia general hacia el aumento, con oscilaciones de hasta 10 puntos, variando entre valores de 18 y 28% de defoliación. Se observa que hasta el año 2011, la defoliación se había mantenido con valores por debajo del 25%, pero a partir de dicho año se produce un empeoramiento que alcanza valores de defoliación superiores al 28%. Destaca el año 2012, por el aumento de la defoliación con valores de 27.70%. Seguidamente, destaca el año 2017 con valores máximos de 28.50%. Ambos años presentan valores muy elevados de defoliación, coincidiendo con periodos de sequía y los elevados niveles de procesionaria.

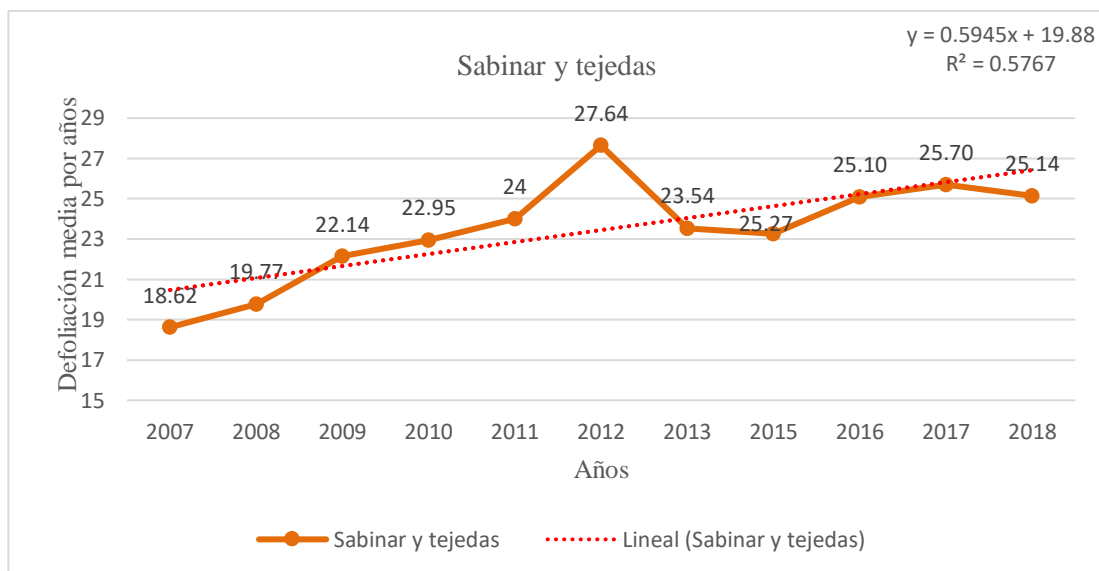


Figura 25: Evolución de la defoliación de los sabinares y tejedas en Aragón.

En segundo lugar, haciendo referencia al sabinar y a las tejedas, estas siguen una tendencia muy similar a los pinares. En este caso, la defoliación no supera el 25% en todo el periodo estudiado, con la excepción del año 2012 con un valor de 27.62%.

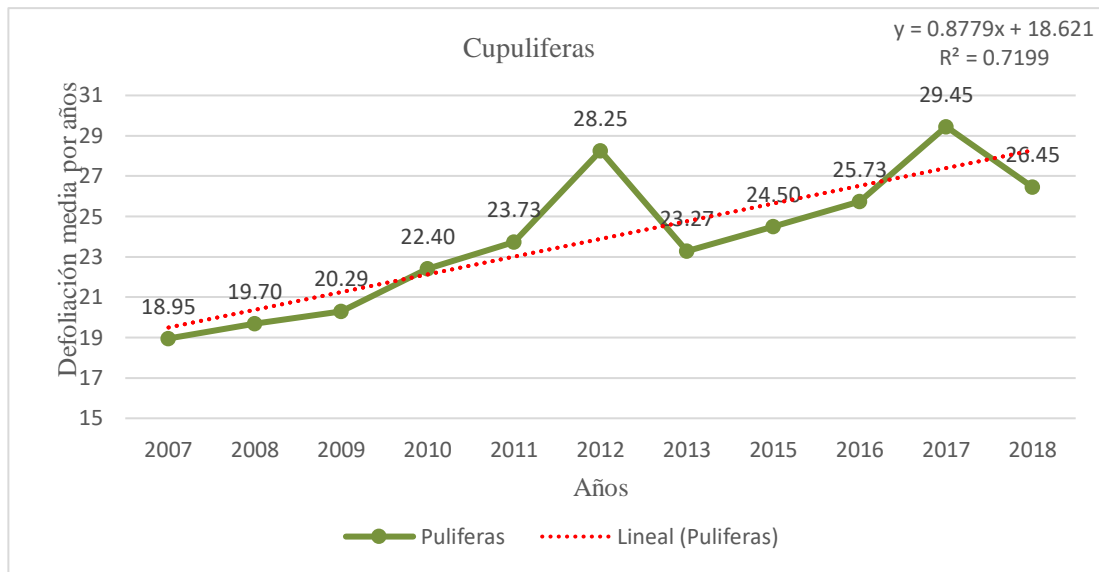


Figura 26: Evolución de la defoliación de las Cupulíferas en Aragón.

En tercer lugar, las cupulíferas siguen una tendencia similar a las dos anteriores, con unos valores de defoliación que van de 18.95 a 26.45%, destacando los años de 2012 y 2017 con valores de 28.25 y 29.45 % respectivamente.

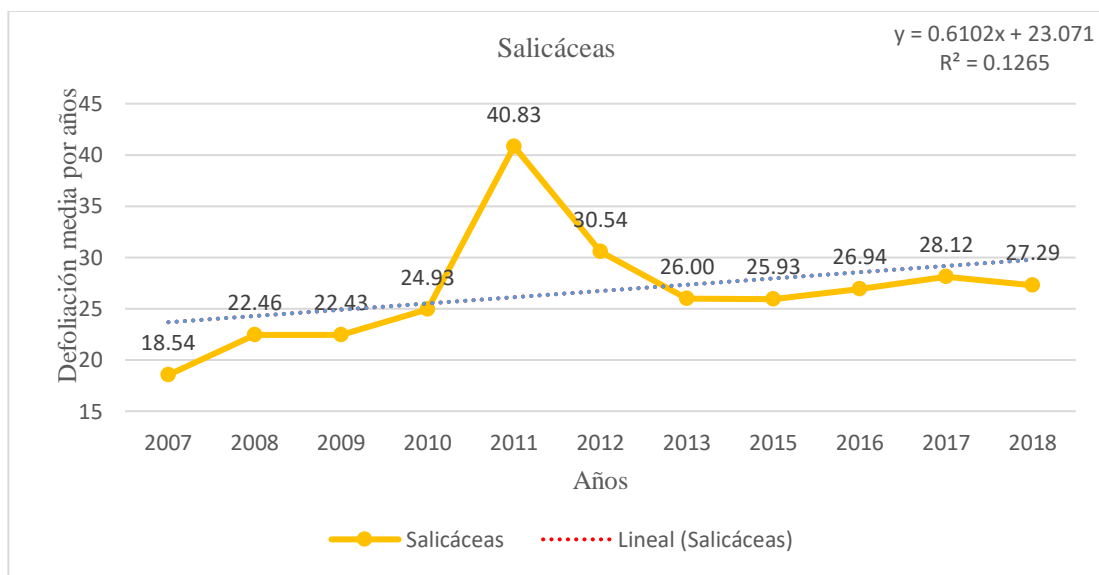


Figura 27: Evolución de la defoliación de las salicáceas en Aragón.

Por lo que hace referencia a las salicáceas, la tendencia general es hacia el aumento con valores de 18.54% en 2007 y 27.29% en 2018 pero destaca claramente el año 2011 con unos valores de 40.83% y el año 2012 con 30.54%. En relación con la evolución de la defoliación, hasta el año 2011 se ve una tendencia al aumento, pero sin sobrepasar el 25% de defoliación, hasta que se sufren dos máximos de defoliación en el 2011 y 2012, para luego estabilizarse con valores entre los 26 y 28%, pero siempre por encima de ese 25%.

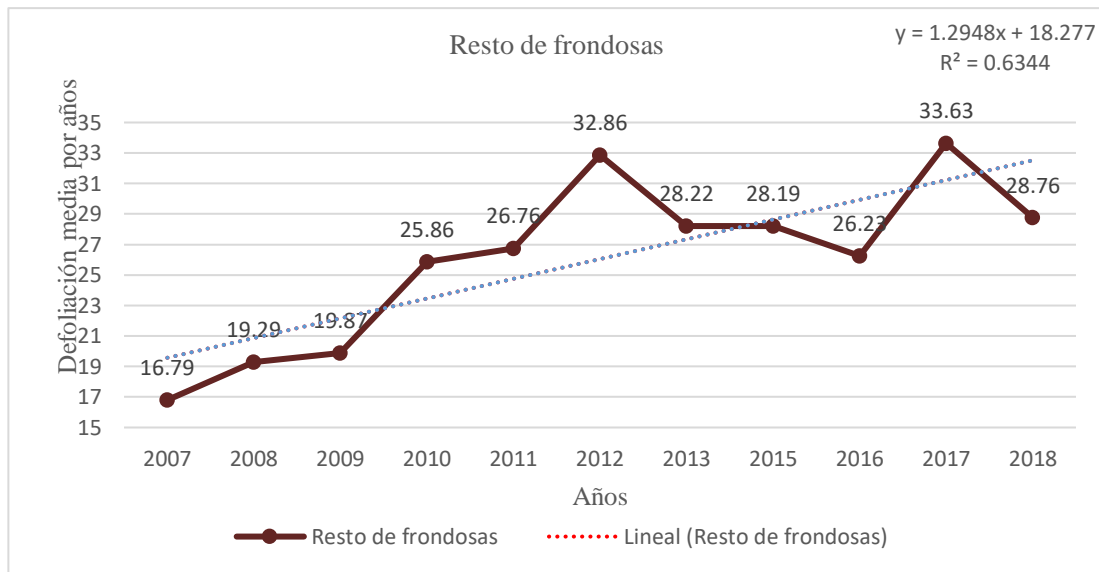


Figura 28: Evolución de la defoliación del resto de frondosas en Aragón.

Con respecto al resto de frondosas, es el grupo de especies que presentan más oscilaciones ya que se incluyen especies con diferentes características, como son *Fagus sylvatica*, *Crataegus monogyna*, *Ulmus sp.* y *Castanea sativa*. Asimismo, también destacan los años 2012 y 2017 con valores de defoliación de 32.86% y 33.63% respectivamente.

Por último, por lo respecta a la evolución de la defoliación, se observa una tabla (Tabla 5) con los valores de tendencia de la defoliación de cada una de las agrupaciones de especies.

Agrupación	Ecuación	Valor R
Pinares	$y = 0.8278x + 19.582$	0.7666
Sabinas y tejedas	$y = 0.5945x + 19.88$	0.5767
Cupulíferas	$y = 0.8779x + 18.621$	0.7199
Salicáceas	$y = 0.6102x + 23.071$	0.1265
Resto de frondosas	$y = 1.2948x + 18.277$	0.6344

Tabla 5: Valores de tendencia de defoliación.

A través de ella, podemos observar que cada una de las agrupaciones presentan una tendencia positiva, por tanto, hacia el aumento de la defoliación. Siendo los pinares y las cupulíferas, las agrupaciones que presentan un valor de tendencia más elevado (0.8278 y 0.8779 respectivamente), por tanto, el aumento de la defoliación habrá sido mayor en estos dos casos. Por lo que hace referencia al valor R, en el caso de los pinares y las cupulíferas, son igualmente aquellos con un valor mayor, por tanto, son aquellos que se ajustan más a la línea de tendencia y presentan valores similares a lo largo de los años, en cambio las salicáceas son aquellas que se ajustan menos a la línea de tendencia y experimentando más oscilaciones.

#### 5.1.4. Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave

CODIGO PARCELA	PROV.	TÉRMINO MUNICIPAL	ESPECIE	GRUPO	GRUPO	2008	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
221552.1.A	Huesca	Monesma y Cajigar	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	100								
221730.2.A	Huesca	Las Peñas de Riglos	<i>Pinus sylvestris</i>	Conífera	Pinar	20	23.54	22.70	23.12	20	17.70	16.45	18.12	75.41
221908.1.A	Huesca	El Pueyo de Araguás	<i>Quercus faginea</i>	Froncosa	Cupulifera	17.70	16.87	20.62	79.79					
229074.2.B	Huesca	Aínsa-Sobrarbe	<i>Pinus sylvestris</i>	Conífera	Pinar	15	100							
222277.1.A	Huesca	Tella-Sin	<i>Pinus sylvestris</i>	Conífera	Pinar	17.08	18.54	20.83	22.5	20.41	25.62	60.20	24.79	22.5
440178.1.A	Teruel	Aliaga	<i>Pinus nigra</i>	Conífera	Pinar	18.54	18.12	18.95	28.75	24.58	61.04	25.83	26.04	22.5
440511.1.A	Teruel	Calanda	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	23.12	93.75	21.04	20.41	19.58	17.91	19.37	19.37	18.33
441829.1.A	Teruel	Perales del Alfambra	<i>Populus x canadensis</i>	Conífera	Salicáceas	15	15.62	100						
502506.1.A	Zaragoza	Talamantes	<i>Pinus nigra</i>	Conífera	Pinar	43.33	44.58	49.16	50.20	100				
501494.2.A	Zaragoza	Luesma	<i>Castanea sativa</i>	Resto de frondosas	Resto de frondosas	35.20	51.45	57.5	80.41	70.83	65.62	56.87	65	56.66
502758.1.A	Zaragoza	Valmadrid	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	30.41	66.25	47.70	55.20	41.04	39.58	32.5	35.20	36.04

Tabla 6: Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave. Resaltados en rojo los años afectados por defoliación grave.

CODIGO PARCELA	PROV.	TÉRMINO MUNICIPAL	% DEF.	TIPOLOGÍA DE AFECCIÓN	ABANDONO	CAUSA
221552.1.A	Huesca	Monesma y Cajigar	100%	Antrópica	Sí	Los árboles fueron apeados para abrir un camino cortafuegos. Todos los árboles desaparecieron.
221730.2.A	Huesca	Las Peñas de Riglos	75%	Antrópica	NS	17 de los 24 árboles de la parcela fueron apeados por tratamiento selvícola, se realizó una clara del arbolado.
221908.1.A	Huesca	El Pueyo de Araguás	70.79%	Antrópica	Sí	Gran parte de los árboles fueron cortados, ya que dicha parcela se encuentra bajo un tendido eléctrico, y en ese año se limpió la calle de dicho tendido
229074.2.B	Huesca	Aínsa-Sobrarbe	100%	Antrópica	Sí	Se cortaron todos los árboles al ensanchar un camino cercano a la parcela.
222277.1.A	Huesca	Tella-Sin	60.20%	Antrópica	No	Tratamiento selvícola (clara), cortando 12 de los 24 árboles de la parcela.
440178.1.A	Teruel	Aliaga	61.64%	Antrópica	No	13 de los 24 pinos laricios de la parcela fueron cortados por tratamiento selvícola (clara)
440511.1.A	Teruel	Calanda	93.75%	Antrópica	No	Se cortaron 22 de los 24 pinos carrascos de la parcela, al abrirse un camino cortafuego.
441829.1.A	Teruel	Perales del Alfambra	100%	Antrópica	Sí	Todos los chopos fueron cortados. Dichos chopos fueron plantados con fines comerciales.
502506.1.A	Zaragoza	Talamantes	100%	Antrópica	Sí	Se calcinó en el incendio producido en el verano de 2012. Todos los árboles se quemaron.
501494.2.A	Zaragoza	Luesma	Varios	Natural	No	Se encuentra un castañar repoblado. Dichos árboles se encuentran gravemente afectados por el hongo <i>Cryphonectria parasitica</i> , el cual causa la enfermedad conocida como el chancro del castaño, provocando la muerte de algunos pies en años secos.
502758.1.A	Zaragoza	Valmadrid	66.25	Antrópica	Sí	Esta se vio afectada por un incendio en el mes de julio del año 2009, quedando algunos árboles quemados y otros muy afectados por el fuego, los cuales han ido muriendo los años siguientes por efecto del viento o por escolitidos del género <i>Tomicus</i> .

Tabla 7: Causas de la defoliación grave en los puntos de evaluación forestal afectados

En las tablas superiores (Tabla 6 y 7) aparecen aquellas parcelas que han sido afectadas por defoliación grave, es decir una defoliación superior al 60% o bien que los árboles han desaparecido indicándose esa cifra de 100% de defoliación, a lo largo de estos once años. Siendo Huesca la provincia más afectada con un total de 5 parcelas, y Teruel y Zaragoza presentan 3 parcelas afectadas por dicha defoliación en ambos casos.

Como se ha visto, salvo en el caso del castaño, las defoliaciones graves por agentes no antrópicos se pueden considerar anecdóticas, ya la muerte de árboles en Aragón se debe principalmente a cortas y afección de incendios, lo que se corrobora estudiando con detalle las causas de la muerte de cada uno de los pies muertos. Por ejemplo, en la provincia de Zaragoza en los últimos 10 años (2009-2018) han muerto en la REFMFA de la provincia un total de 255 árboles, entendiendo estos como los que alcanzan una defoliación del 100%.

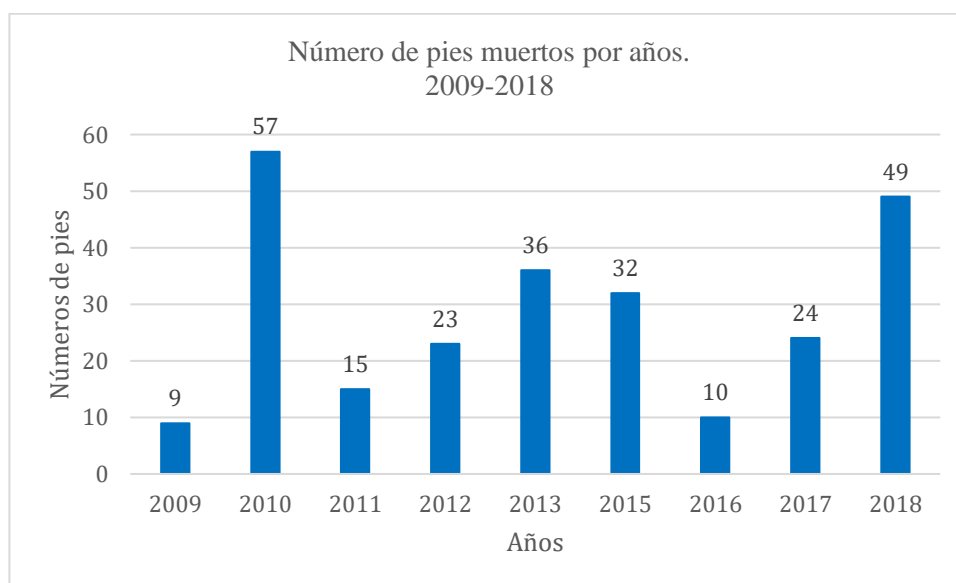


Figura 29: Número de pies muertos en el periodo 2009 a 2018 en la provincia de Zaragoza.

Estudiados los datos de todos ellos se comprueba que la principal causa de mortalidad en los puntos de evaluación es el apeo de árboles, que fue responsable de la mortalidad del 37,3% del total de pies muertos. En el caso de pinos, encinas y quejigos este porcentaje se dispara, llegando las cortas en algunas de las especies a ser responsables del 87% de los pies muertos.

La segunda causa de mortalidad es la afección de incendios, que se relaciona con la muerte del 20% de los pies, bien de forma directa (9,4% de los árboles muertos), bien perturbando y debilitando árboles que después se ven afectados por agentes secundarios como escolítidos o bien por viento (10,6% de los pies). Destacan en este sentido los puntos de evaluación de Talamantes, en el que el incendio de 2012 supuso su desaparición; de Valmadrid, en el que el incendio de 2009 afectó a los árboles, que han venido muriendo en años posteriores en alto número, afectados por escolítidos del género *Tomicus sp.* y por roturas de viento.

La mortalidad debida a la competencia es el siguiente gran grupo de causas de mortalidad, responsable de la desaparición del 11,4% de los pies muertos.

Los escolítidos suponen la causa de la muerte del 9,0% del total de pies muertos, porcentaje que en el caso de los pinos se incrementa al 11,7% del total de pies muertos. Es de destacar que en el 40% de las muertes de pinos debidas a escolítidos aparecía también la competencia como factor causante de daños moderados o graves.

Con casi igual peso que los insectos se encuentran los daños abióticos como factor de mortalidad, ya que en conjunto causaron el 8,6% del total de pies muertos, con una incidencia muy similar de las muertes por sequía y por derribos o roturas debidas al viento y a la nieve.

El muérdago es la causa principal de la muerte de un 3,6% del total de pies muertos, porcentaje que se eleva al 4,5% en el caso de los pinos. En el 50% de los casos, además de los daños graves por muérdago se registraron daños graves por *Tomicus sp.* y/o por sequía.

Los hongos son prácticamente anecdóticos como causa de mortalidad, salvo en el caso del castaño, puesto que los castaños del punto de evaluación de Luesma sufren graves daños por *Cryphonectria arasítica*.

En la tabla y figura siguiente se recoge el número de pies muertos en el período estudiado, tanto por grandes grupos de causas como detallando las causas por especie:

Causa	<i>Pinus spp.</i>	<i>Juniperus spp.</i>	<i>Quercus spp.</i>	Salicáceas	Otras frondosas	Total
Corta	60	0	12	21	1	94
Fuego	51	0	0	0	0	51
Competencia	17	0	1	10	1	29
Insectos	21	0	0	2	0	23
Factores abióticos	15	0	1	6	0	22
Hongos	1	0	0	2	16	19
Muérdago	8	0	0	0	0	8
Desconocida	6	1	1	1	0	9
<b>TOTAL</b>	<b>179</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>42</b>	<b>18</b>	<b>255</b>

Tabla 8: Causas de la muerte del arbolado por especies en la provincia de Zaragoza.

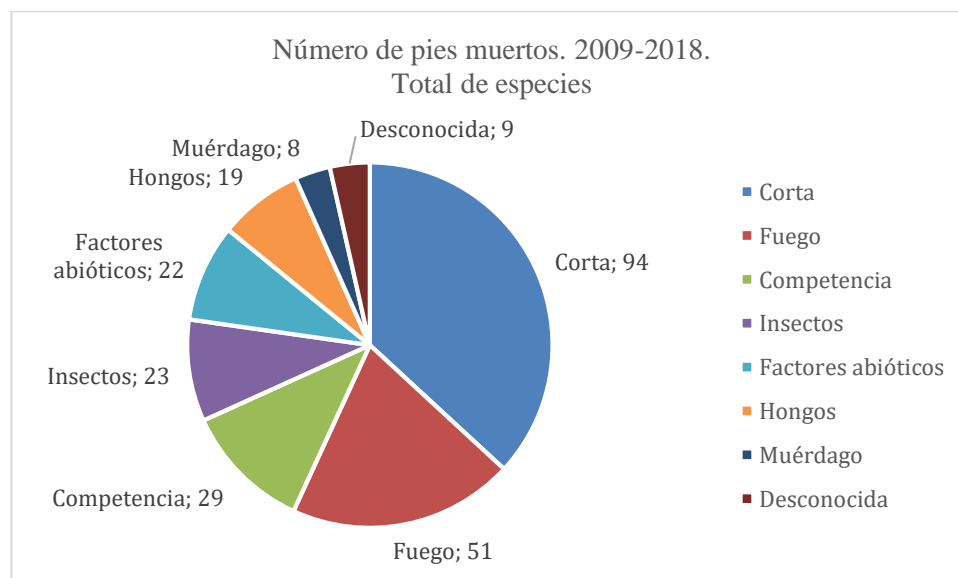


Figura 30: Número de pies muertos por cada causa en a provincia de Zaragoza en el periodo 2009-2018.

## 5.2. Numero de pies con daños

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
Sin daños (%)	98.95	93.31	79.26	70.56	60.86	36.45	62.87	64.54	52.5	27.75	40.13
Con daños (%)	1.04	6.68	20.73	29.43	39.13	63.54	37.12	35.45	47.49	72.24	59.86

Tabla 9.: Proporción de árboles con daños.

Observando la evolución de los árboles dañados, se aprecia que siguen una tendencia similar a la defoliación. Los árboles dañados en este periodo de once años han pasado de tan solo un 1.04% a un 59.36% en 2018. Se observa que los años con mayores niveles de defoliación, 2012 y 2017, se corresponden con los años que presentan un mayor número de árboles dañados con cifras de un 28.11% de defoliación y un 63.54% de árboles dañados y 28.89% de defoliación y un 72.24% de árboles dañados respectivamente.

En el anexo número 2 se encuentran una serie de mapas que muestran la evolución de los daños en la CC. AA en cada uno de sus puntos de evaluación. A través de estos se puede observar como en el año 2007, apenas 4 puntos de evaluación se encontraban dañados. Y a partir de este año han ido aumentando el número de puntos de evaluación dañados hasta alcanzar cifras de un 60% en el año 2018. En esta evolución destacan 3 años, por el alto porcentaje de parcelas dañadas, siendo estos el 2012, 2017 y 2018.

## 5.3. Extensión de los datos para la masa forestal de la CCAA

A través de la figura 31, se puede observar la evolución que ha seguido la defoliación en la CC. AA de Aragón. Gracias a los valores de defoliación de los distintos puntos de evaluación se ha podido extrapolar la información de defoliación en cada año a todo el territorio aragonés, en el periodo estudiado de 2007 a 2018.

A través de esta interpolación se puede observar cómo los años 2012 y 2017 son aquellos años más afectados por defoliaciones elevadas, coincidiendo con esos dos máximos de sequía como se mostrará en un capítulo posterior.

En el año 2007 todas las masas forestales de Aragón presentaban defoliaciones ligeras, salvo algunas localizaciones puntuales en la Sierra de Alcubierre, Valmadrid y Alcañiz, con defoliaciones moderadas, en general masas de pino carrasco con afecciones moderadas de insectos chupadores o defoliadores y muérdago.

En 2008 las masas aragonesas continuaban presentando un estado favorable, con defoliaciones mayoritariamente ligeras, si bien se produce un ligero agravamiento, debido en general a condiciones puntuales. Así existe una pequeña extensión de las masas con defoliaciones moderadas en Valmadrid y la cuenca del Huerva (Zaragoza), las cuencas del Manubles y el Monegrillo (afluentes del Jalón, Zaragoza), y los montes de Zuera y la cuenca baja del Gállego (Zaragoza-Huesca). En general se debió a daños puntuales de muérdago en *Pinus halepensis*, de procesionaria en *Pinus sylvestris*, de perforadores en *Pinus nigra* y de hiedra en *Populus nigra*. Además, aparecieron localizaciones puntuales con defoliaciones moderadas-graves en Talamantes y Zuera (Zaragoza), en masas con problemas derivados de la afección de incendios en 1993 y 2004 respectivamente; en Aínsa-Sobrade (Huesca), con fuerte afección de la procesionaria, y en Monesma-Cajjigar (Huesca), donde se produjeron cortas.

En 2009 se produce un ligero empeoramiento más generalizado, pasando a ser mayoritarias las defoliaciones moderadas, salvo en el Pirineo, Hoya de Huesca y Ribagorza, Hoya de Teruel y Gúdar-Javalambre, donde se mantienen ligeras. Únicamente aparecen defoliaciones moderadas-



graves en Talamantes y Zuera (Zaragoza) y La Fueva (Huesca), siendo esta última afectada por un fuerte ataque de procesionaria.

En 2010 se experimenta una mejoría también generalizada, particularmente en la provincia de Teruel, y en el oriente de la de Huesca, en parte enmascarada por los efectos de los grandes incendios del verano de 2009, que dejaron sentir sus efectos en Valmadrid y Talamantes (Zaragoza). Otros daños graves se debieron a cortas, como en Calanda (Teruel). Aparecieron defoliaciones moderadas-graves en el Prepirineo (Bailo, Sabiñánigo, Aínsa, la Fueva), en general causadas por la procesionaria.

En 2011 no se produjeron cambios significativos, con defoliaciones moderadas en el Valle del Ebro, y las cuencas de los ríos Arba, Gállego y Cinca y ligeras en el resto del territorio. Aparecieron defoliaciones moderadas-graves en Talamantes y Valmadrid, con muerte de pies afectados por incendios anteriores, y en Sástago y Mequinenza (Bajo Ebro, Zaragoza) donde aparecen por primera vez daños graves por sequía, agravados por la procesionaria y el muérdago. En Perales de Alfambra (Teruel) aparece un punto de defoliación grave, motivado por la corta de una chopera comercial.

En 2012 empeora el estado de la vegetación: las defoliaciones ligeras disminuyen, pasando a ser moderadas en la mayor parte del territorio aragonés, salvo en el Pirineo y el Prepirineo Oriental (comarcas de Sobrarbe, Ribagorza y Somontano de Barbastro), el Moncayo y el Jiloca turolense, donde mantienen ligeras. Se amplían también las superficies afectadas por defoliaciones moderadas-graves, que persisten en el Bajo Ebro y aparecen en los montes de Zuera y la Sierra de Alcubierre, nuevamente asociadas a sequía, procesionaria y muérdago.

En 2013 mejora el estado de las masas turolenses y del pirineo occidental, apareciendo defoliaciones moderadas en el Valle del Ebro, las cuencas bajas del Gállego y el Cinca, y las cuencas del Aguas Vivas y el Martín. Aparecen defoliaciones moderadas-graves puntuales en Valmadrid, Sástago, Mequinenza y Zuera (Zaragoza), y defoliación grave en Talamantes a causa del incendio de agosto de 2012 que mató todos los pies del punto de evaluación.

En 2015 la situación es muy similar, prácticamente sin cambios respecto a 2013. Aparece un punto de evaluación con defoliación grave en Aliaga (Teruel) como consecuencia de cortas por tratamiento selvícola de clara.

En 2016 se mantiene también una situación similar, con un ligero empeoramiento en la cuenca alta del Jiloca y la cuenca del Guadalaviar-Turia en Teruel, y en el río Cinca (Huesca). Aparecen defoliaciones moderadas-graves en Zuera, Sierra de Alcubierre y Bajo Ebro, así como en la baja Jacetania, en este último caso por ataques fuertes de procesionaria.

En 2017 se dejan sentir los efectos de la sequía y se mantiene el empeoramiento iniciado el año anterior, de forma que la mayoría del territorio aragonés presenta defoliaciones moderadas, además de aumentar las zonas en las que aparecen defoliaciones moderadas-graves: en Huesca en la Jacetania y el Alto Gállego son causadas por estrés hídrico y procesionaria, en Fiscal por estrés hídrico y heladas tardías, y en Graus debida al paso de un incendio, y Estopiñán del Castillo, por roturas y derribos provocados por la nieve; en Zaragoza en Zuera y Sástago, con daños por sequía, muérdago y procesionaria, y Torralba de los Frailes con daños por sequía y perforadores; en Teruel en Bueña, con afecciones por sequía y golpes de calor, en Albarracín (entre Rubiales y Bexas) y Mora de Rubielos afectados por sequía y procesionaria. Se produjo defoliación grave en Luesma en la parcela poblada por castaños debido a los daños del hongo *Cryphonectria parasítica*.

En 2018 se mantienen la situación del año anterior, con una ligera mejoría únicamente en el Pirineo y las Cinco Villas zaragozanas. Vuelven a aparecer afecciones por procesionaria en el prepirineo, que provocan defoliaciones moderadas-graves en Sabiñánigo, Aínsa y La Fueva, en los montes de Zuera y Sástago (Zaragoza) afectados además por muérdago, y en Teruel en

Valacloche y Rubielos de Mora. Aparece un punto de defoliación grave en Las Peñas de Riglos (Huesca) como consecuencia de la realización de una clara.

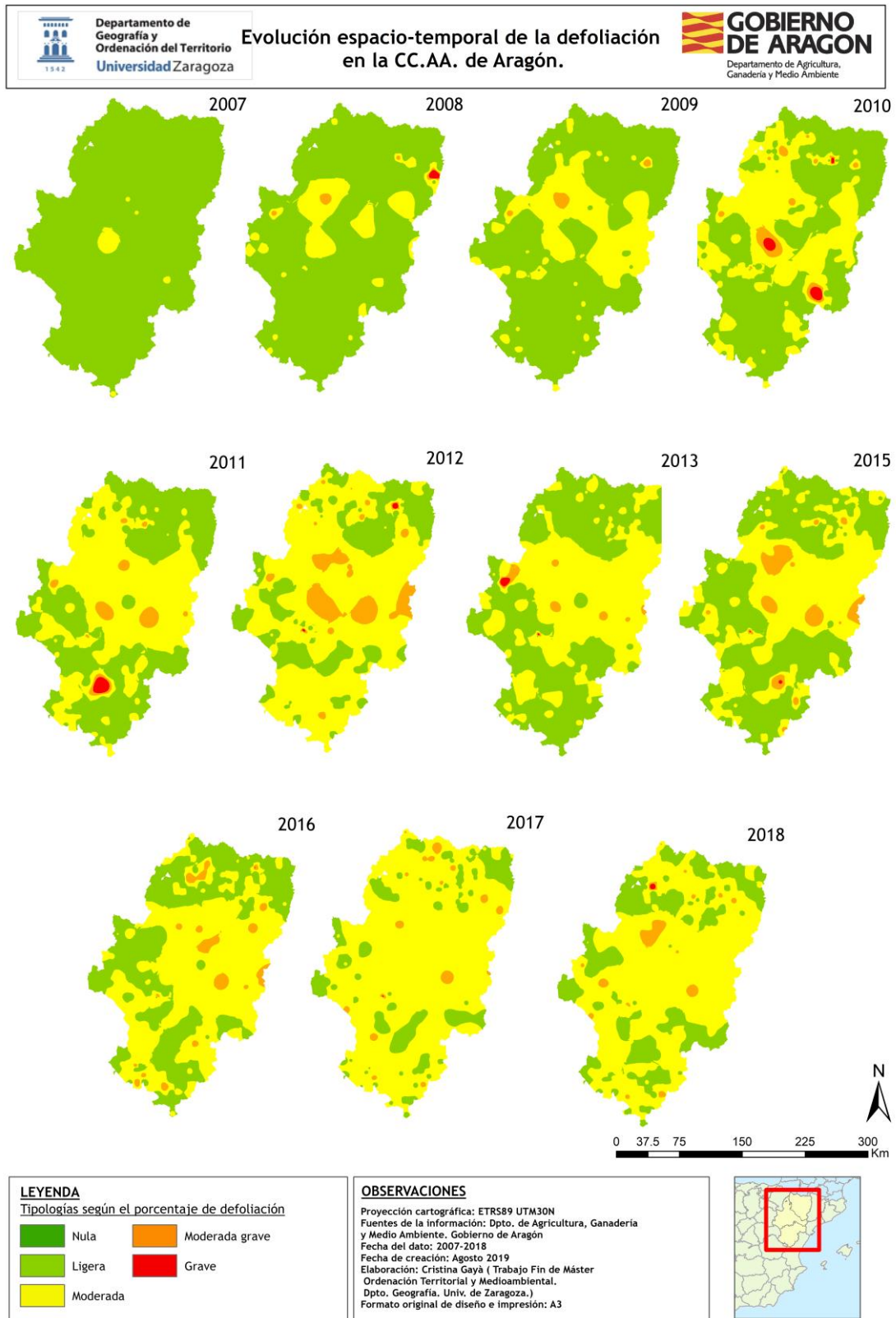


Figura 31: Interpolación de los valores de defoliación para la CC.AA. de Aragón

## 6. *Pinus* spp. y *Quercus* spp. en la provincia de Zaragoza

En esta segunda parte, se va a realizar un estudio específico para la provincia de Zaragoza para el periodo de 2007 a 2018.

A continuación, se observa una tabla con las especies representadas en la provincia, entre las que destacan el *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* como aquellas mayormente representadas, a la vez que suponen aquellas con una mayor extensión de superficie forestal en la provincia.

Especies bien representadas			Especies suficientemente representadas			Especies insuficientemente representadas		
Especies	Nº	%	Especies	Nº	%	Especies	Nº	%
<i>Pinus halepensis</i>	32	31.68	<i>Pinus nigra</i>	10	9.90	<i>Juniperus phoenicea</i>	2	1.98
<i>Quercus ilex</i>	20	19.90	<i>Pinus pinaster</i>	10	9.90	<i>Populus alba</i>	2	1.98
			<i>Pinus sylvestris</i>	9	8.91	<i>Fagus sylvatica</i>	1	1
			<i>Quercus faginea</i>	9	8.91	<i>Pinus pinea</i>	1	1
						<i>Populus tremula</i>	1	1
						<i>Salix sp.</i>	1	1
						<i>Quercus petraea</i>	1	1
						<i>Castanea sativa</i>	1	1
						<i>Juniperus thurifera</i>	1	1

Tabla 10: Especies según su proporción de representatividad.

### 6.1. Análisis de la defoliación en el periodo 2007-2018

#### 6.1.1. Análisis de la evolución de la defoliación por géneros.

##### 6.1.1.1. *Pinus* spp.

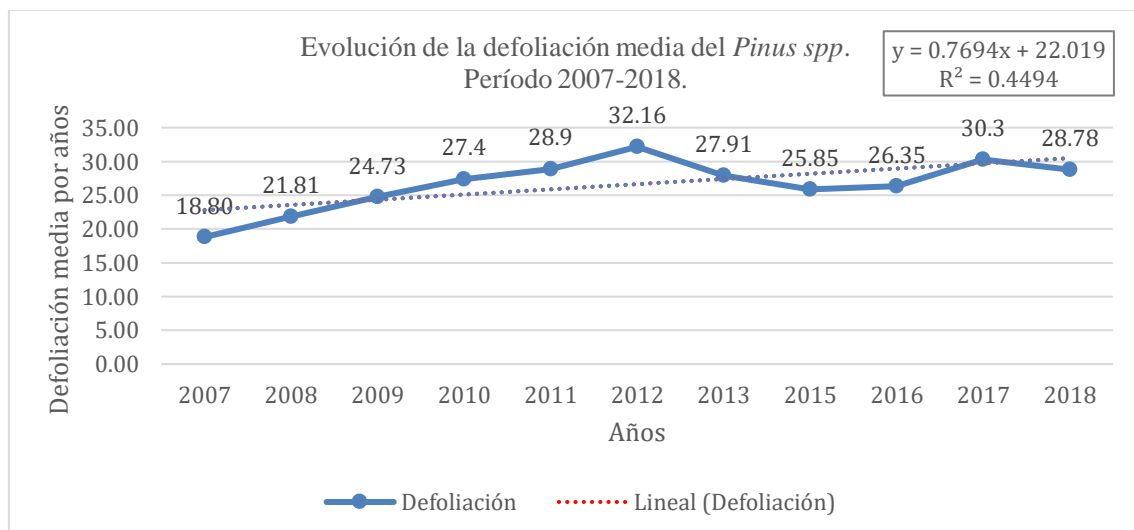


Figura 32: Evolución de la defoliación por años de *Pinus* spp. en Zaragoza.

El *Pinus* spp. en este periodo de tiempo, sigue una tendencia hacia el ascenso pasando de cifras de 18.80 a 28.78 en once años, un aumento de casi 10 puntos. Se observa que las defoliaciones medias hasta el año 2009 se habían mantenido por debajo del 25% (defoliación ligera), pero a

partir del 2010 estas empeoran incluso llegando a superar valores del 30% de media. En este periodo de tiempo se ha producido un marcado máximo de defoliación en el año 2012 con un valor de defoliación media de 32.17%, tras el cual se produce una ligera recuperación, pero en el año 2017 la defoliación vuelve a sufrir un máximo de 30.30, para volver a disminuir el pasado año 2018.

#### 6.1.1.2. *Quercus spp.*

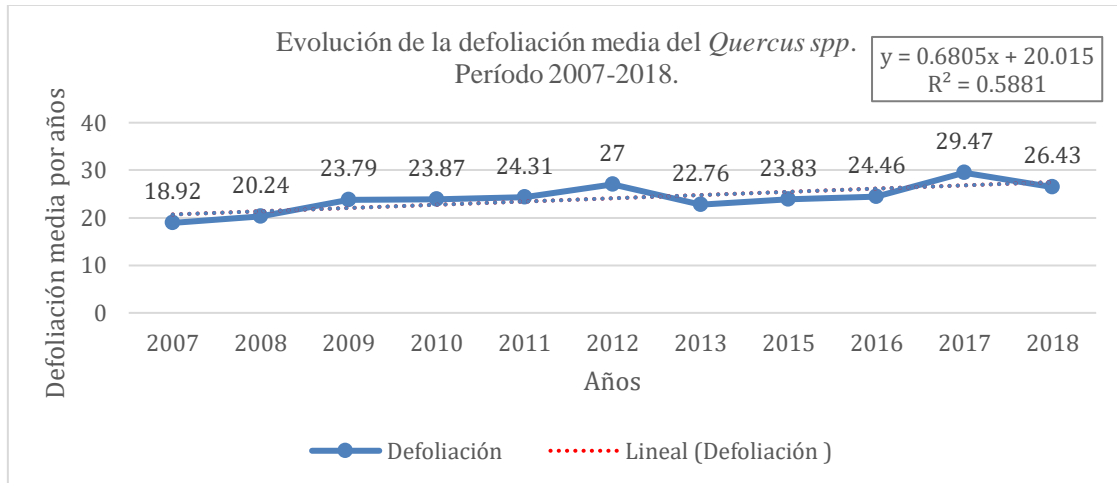


Figura 33: Evolución de la defoliación por años de *Quercus spp.* en Zaragoza.

Para el caso del *Quercus spp.*, el género ha sufrido un aumento de la defoliación de manera que en el año 2007 era el 18.92% la media de defoliación y en 2018 esa media había ascendido a 26.43, una de las cifras más altas en los últimos once años, además de los dos máximos producidos en 2012 con 27 y en 2017 con 29.48 muy relacionados con la sequía y la pérdida de hojas.

### 6.1.2. Análisis de la defoliación según los distintos tipos de defoliación

#### 6.1.2.1. *Pinus spp.*

	Nula	Ligera	Moderada	Grave
2007	0.17	23.17	0.65	0
2008	0.41	20.83	2.25	0.30
2009	0.01	17.89	5.58	0.4
2010	0.61	14.87	7.14	0.4
2011	0.58	13.4	9.49	0.30
2012	0.36	10.65	12.30	0.4
2013	0.71	13.96	8.62	0.14
2015	0.67	15.43	7.29	0.12
2016	0.65	14.41	8.61	0.16
2017	0.10	10.54	12.83	0.29
2018	0.29	12.61	10.63	0.16

Tabla 11: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de *Pinus spp.* en Zaragoza.

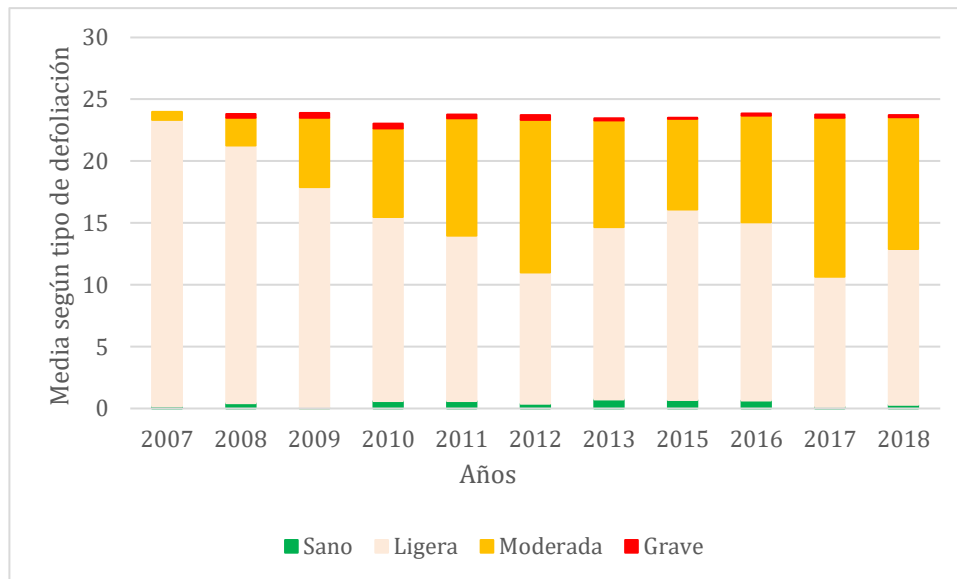


Figura 34: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón.

En cuanto al género *Pinus* se observa un claro deterioro del estado sanitario. Por lo que hace referencia a las defoliaciones moderadas estas han aumentado considerablemente pasando de un valor de 0.65 en 2007 a un valor de 10.63 en 2018, disminuyendo así las defoliaciones ligeras. Observamos una vez más, que los años con unos niveles de defoliación medios más elevados, se corresponden al 2012 y al 2017, siendo a su vez aquellos años que presentan un mayor valor de defoliaciones graves, y dos de los valores de menores defoliaciones nulas o sanas. Las defoliaciones nulas en todo el periodo analizado son muy escasas, sin llegar a superar en ningún momento el 1%.

En el anexo número 3 se encuentran una serie de mapas que muestran la evolución de la defoliación de los pinares año a año en el periodo estudiado. En ellos se puede observar la tendencia hacia el aumento de la defoliación, puesto que en 2007 solo se encontraban cifras de defoliación ligera y moderada, pero solo un año después ya son algunos los puntos de evaluación que presentan valores de defoliación moderados graves. A su vez se pueden observar los años 2012 y 2017 una vez más como los que presentan mayor porcentaje de puntos de evaluación con defoliación moderada grave.

A continuación, un mapa donde se puede observar la evolución de la defoliación en el género *Pinus* spp. año a año.

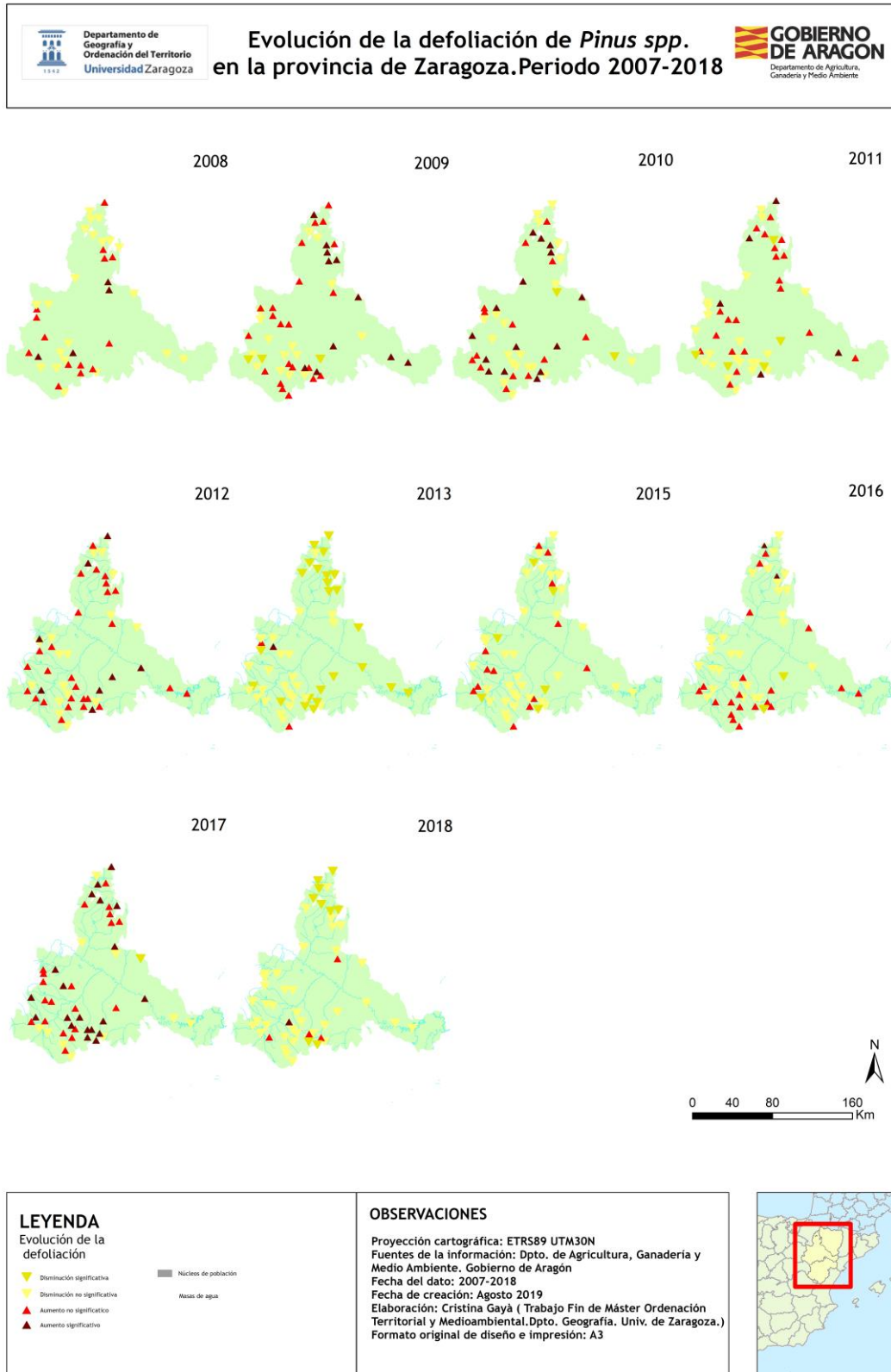


Figura 35: Evolución de la defoliación del género *Pinus* spp.



6.1.2.2. *Quercus spp.*

	Nula	Ligera	Moderada	Grave
2007	0.79	22.62	0.58	0
2008	0.80	21.30	1.88	0
2009	0.80	17.96	5.15	0.07
2010	1.03	15.76	7.03	0.15
2011	0.65	17.15	6.03	0.11
2012	0.38	14.15	9.15	0.30
2013	1.03	18.96	3.92	0.03
2015	1.03	17.5	5.42	0
2016	1.07	16.73	6.15	0.03
2017	0.07	11.61	12.19	0.03
2018	0.65	15.30	7.65	0.07

Tabla 12: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de *Quercus spp.* en Zaragoza.

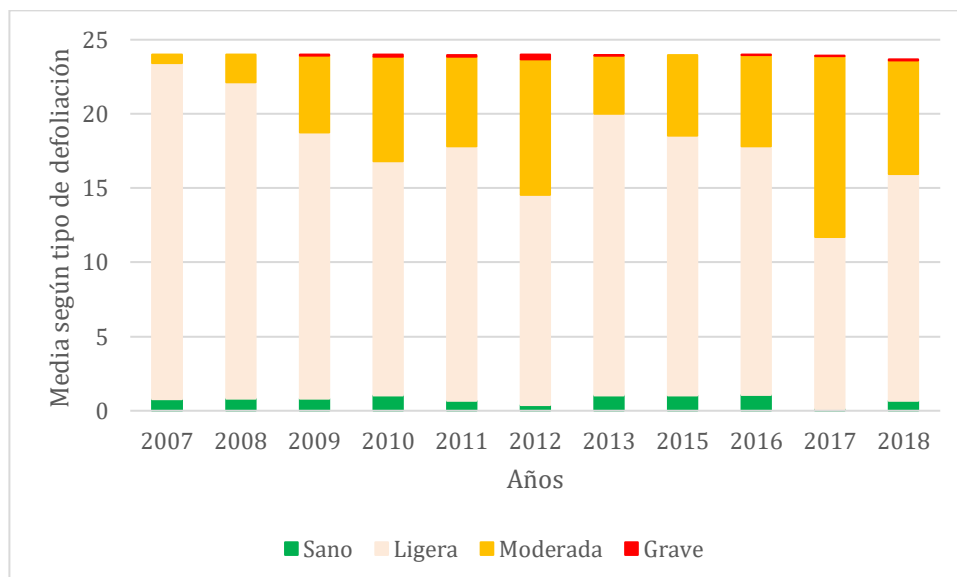


Figura 36: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón.

Al igual que en el caso de los pinares, en este caso se observa también como la defoliación ligera ha experimentado una disminución pasando de valores de un 21.30% en 2007 a un 15.30% en 2018, dándose a la vez un aumento de las defoliaciones moderadas. En el periodo de 2013 a 2016, los niveles de defoliación no son muy elevados, ya que se estaban recuperando después de un valor medio de defoliación de 27% ocurrido en 2012 después de una fuerte sequía. Para los *Quercus spp.* la defoliación nula o sana si llega a alcanzar valores de 1% algunos años.

En el anexo número 5 se observan una serie de mapas que corresponden a la evolución de la defoliación de las encinas, quejigos y rebollos. A través de ellos se observa que se parte de una situación “ideal” en el año 2007 con valores de defoliación ligeros, y que tan solo un año después ya aparecen puntos de evaluación con valores de defoliación moderados y moderados graves.

Aunque siempre parecen dominar los valores de defoliación ligera. Si bien, en este caso en los mapas correspondientes a 2012 y 2017, se muestra un aumento en los valores de defoliación.

A continuación, un mapa donde se puede observar la evolución de la defoliación en el género *Quercus spp.* año a año.

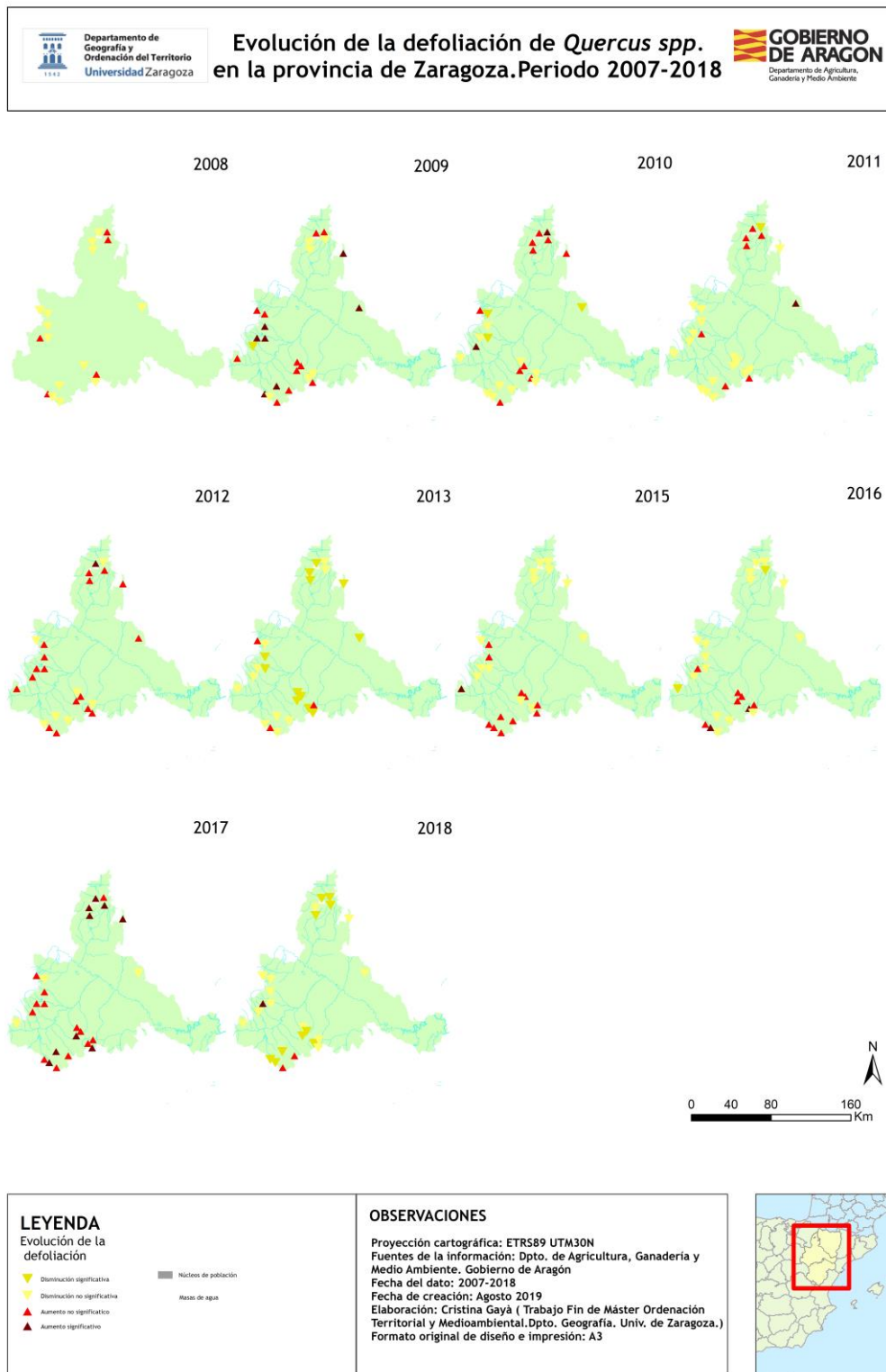


Figura 37: Evolución de la defoliación en el género *Quercus spp.*

### 6.1.3. Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave

#### 6.1.3.1. *Pinus* spp

CODIGO PARCELA	PROV.	TÉRMINO MUNICIPAL	ESPECIE	GRUPO	GRUPO	2008	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
221552.1.A	Huesca	Monesma y Cajigar	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	100								
221730.2.A	Huesca	Las Peñas de Riglos	<i>Pinus sylvestris</i>	Conífera	Pinar	20	23.54	22.70	23.12	20	17.70	16.45	18.12	75.41
229074.2.B	Huesca	Aínsa-Sobrarbe	<i>Pinus sylvestris</i>	Conífera	Pinar	15	100							
222277.1.A	Huesca	Tella-Sin	<i>Pinus sylvestris</i>	Conífera	Pinar	17.08	18.54	20.83	22.5	20.41	25.62	60.20	24.79	22.5
440178.1.A	Teruel	Aliaga	<i>Pinus nigra</i>	Conífera	Pinar	18.54	18.12	18.95	28.75	24.58	61.04	25.83	26.04	22.5
440511.1.A	Teruel	Calanda	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	23.12	93.75	21.04	20.41	19.58	17.91	19.37	19.37	18.33
502506.1.A	Zaragoza	Talamantes	<i>Pinus nigra</i>	Conífera	Pinar	43.33	44.58	49.16	50.20	100				
502758.1.A	Zaragoza	Valmadrid	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	30.41	66.25	47.70	55.20	41.04	39.58	32.5	35.20	36.04

Figura 38: Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave. Resaltados en rojo los años afectados por defoliación grave.

#### 6.1.3.2. *Quercus* spp.

CODIGO PARCELA	PROV.	TÉRMINO MUNICIPAL	ESPECIE	GRUPO	GRUPO	2008	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
221908.1.A	Huesca	El Pueyo de Araguás	<i>Quercus faginea</i>	Frondosa	Cupulifera	17.70	16.87	20.62	79.79					

Figura 39: Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave. Resaltados en rojo los años afectados por defoliación grave.

## 6.2. Número de pies con daños

### 6.2.1 *Pinus* spp.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
Sin daños (%)	100	88.1	60	58.18	38.18	32.72	50.9	54.54	47.27	20	36.36
Con daños (%)	0	10.9	40	41.81	61.81	67.27	49.09	45.45	52.72	80	63.63

Tabla 13.: Proporción de árboles con daños de *Pinus* spp.

Analizando los árboles con daños sorprende el hecho de que la defoliación nula media y los árboles no dañados no presentan una evolución similar. Cuando en 2007 el 100% de los árboles no presentaban daños solo el 0.17 de los árboles presentaban defoliaciones nulas, o por ejemplo en el año 2013 se produce el máximo en el que hay un mayor número de árboles con defoliaciones nulas con un 0.71, pero no se corresponde con una cifra de mayor número de árboles sin daños. Si bien, en el año 2017 se produce el menor número de árboles sin daños, con tan solo un 20% y si se corresponde con la cifra de menor número de árboles con defoliaciones nulas, tan solo un 0.10%.

En el anexo número 4 aparecen una serie de mapas que muestran los puntos de evaluación con o sin daños desde el año 2007 hasta el 2018. En ellos se observa como el año 2007 presenta un 100% de las parcelas sin daño, pero solo un año después aparece ya un 10% de las parcelas dañadas, cifra que va aumentando año a año, pero sobre los que destaca el año 2017 con un 80% de las parcelas dañadas.

### 6.2.2 *Quercus* spp.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
Sin daños (%)	100	90.09	61.53	38.46	61.53	15.38	76.92	65.38	53.84	19.23	50
Con daños (%)	0	90.9	38.46	61.53	38.46	84.61	23.07	34.61	46.15	80.76	50

Tabla 14.: Proporción de árboles con daños de *Quercus* spp.

*Quercus* spp. en el año 2017 presentaba un estado ideal con un 100% de árboles sin daños, la cual que ha ido disminuyendo hasta alcanzar una cifra de un 50% de árboles sin daños en 2018, pasando por cifras mínimas de árboles sin daños del 15.38 en 2012 o cifras de 19.23% en 2017. Cifras que se corresponden con un 0.30% de defoliación nula y 0.07% respectivamente. Comparando los árboles no dañados con los que poseen una defoliación nula se observa que, en los años 2013, 2015 y 2016 se alcanzan las mayores cifras de árboles con defoliación nula con un 1.03, 1.03 y 1.07, cifras que se traducen con años con más de un 50% de los árboles sin daños, con cifras de 76.92%, 65.38% y 53.84%.

En el anexo número 8 aparecen los mapas que se corresponden con la evolución de los puntos de evaluación en función del número de pies dañados. Al igual que los pinares se parte de una cifra de un 100% de los árboles sin daños en 2007 y poco a poco se van viendo dañadas un mayor número de puntos de evaluación, destacando por mayores valores de defoliación los años 2012 y 2017.

Una vez observados los datos de árboles dañados en estas dos distintas especies, se aprecia que las encinas, quejigos y rebollos presentan un mejor estado sanitario que los pinares.

## 7. *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* en la provincia de Zaragoza

### 7.1. Evaluación de la defoliación en el periodo 2007-2018.

#### 7.1.1. Análisis de la defoliación por especies.

##### 7.1.1.1. *Pinus halepensis*

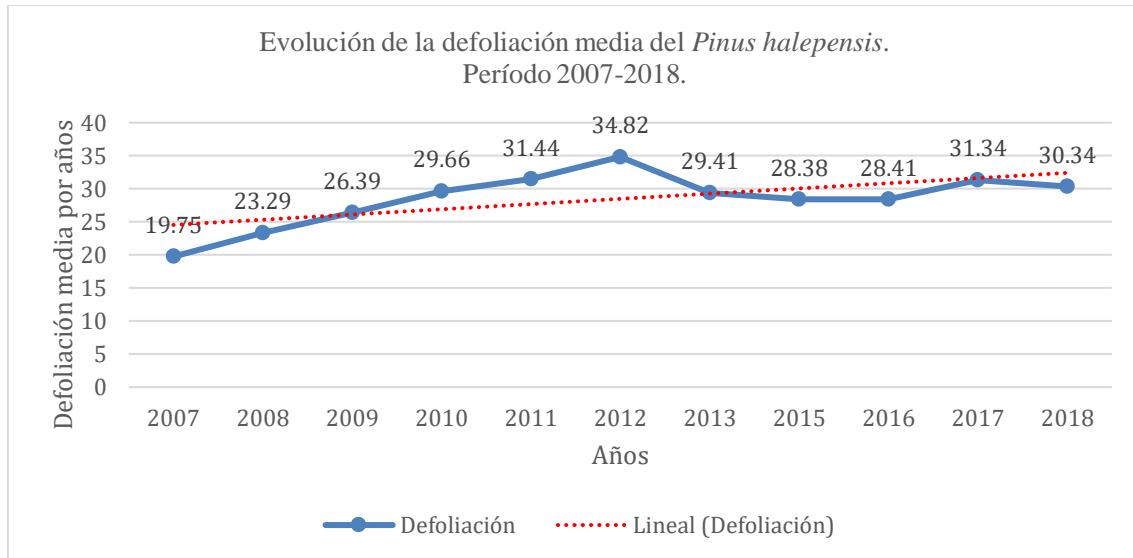


Figura 40: Evolución de la defoliación por años de *Pinus halepensis* en Zaragoza.

El pino carrasco en este periodo de tiempo de 11 años sigue una tendencia al aumento pasando de cifras de 19.75% en 2007 a 30.35% en 2018, un aumento de más del 20%. En el periodo de 2007 al 2012 va aumentando progresivamente hasta alcanzar un máximo de 34.83% de defoliación, año a partir del cual va disminuyendo hasta alcanzar un nuevo máximo en 2017 con un valor de 31.34% de defoliación y un año después, en 2018 vuelve a disminuir. Dichos valores de defoliación coinciden con los años con mayores niveles de procesionaria en la provincia.

##### 7.1.1.2. *Quercus ilex*

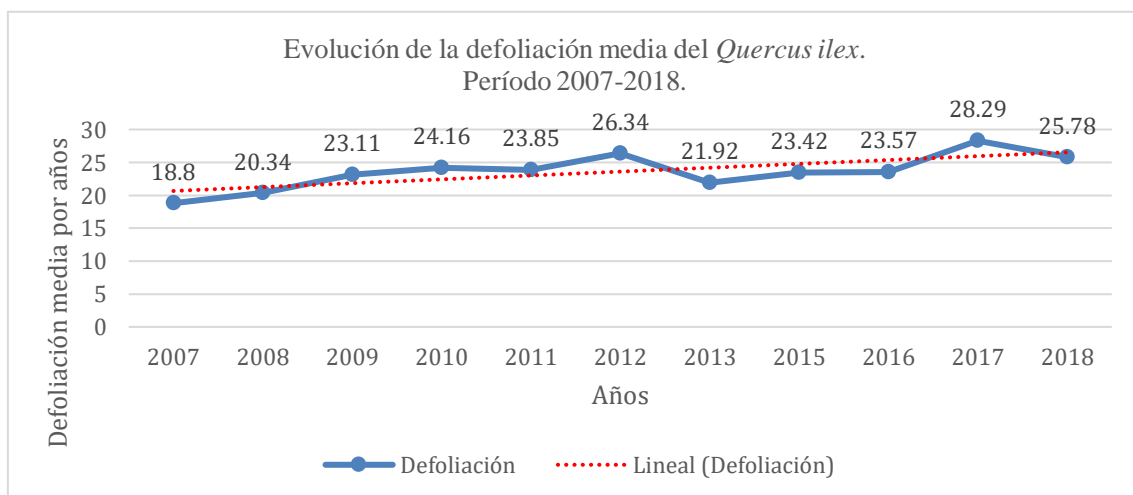


Figura 41: Evolución de la defoliación por años de *Quercus ilex* en Zaragoza.

El caso de los encinares muestra una tendencia hacia el aumento al igual que el resto de las especies o géneros analizados. Los encinares en el año 2007 presentaban un valor de defoliación de un 18.80%, un valor que ha ido empeorando de manera progresiva hasta alcanzar cifras de

25.78% en 2018. Al igual que los pinos carrascos los años 2012 y 2017, fueron los años con mayor índice de defoliación con valores de 26.34 y 28.29 respectivamente.

### 7.1.2. Análisis de la defoliación según los distintos tipos de defoliación

#### 7.1.2.1. *Pinus halepensis*

	Nula	Ligera	Moderada	Grave
2007	0.24	22.68	1.08	0
2008	0.12	20.19	3	0.35
2009	0	16.16	7.12	0.51
2010	0	12.58	10	0.32
2011	0	9.64	13.64	0.38
2012	0	5.54	17.54	0.58
2013	0	10.06	13.54	0.19
2015	0.12	12.45	10.67	0.19
2016	0.03	11.41	12.22	0.22
2017	0.03	8.25	15.22	0.29
2018	0.09	10.64	12.90	0.22

Tabla 15: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de *Pinus halepensis*. en Zaragoza

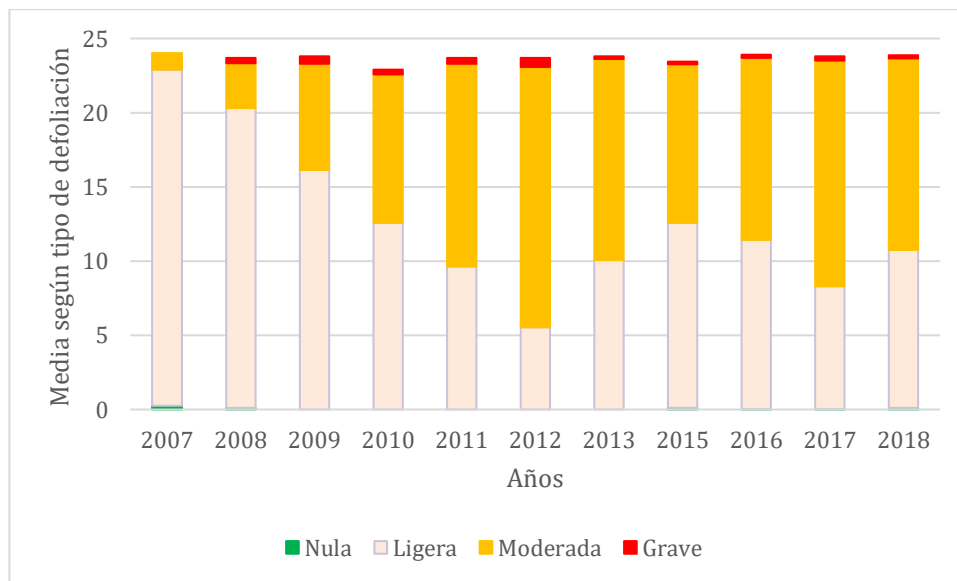


Figura 42: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón.

Por lo que hace referencia a los diferentes tipos de defoliación en el caso del pino carrasco se observa que los árboles sanos o con defoliaciones nulas son prácticamente inexistentes, con cifras que no superan el 0.24%. Seguidamente por lo que se refiere a la defoliación ligera en este periodo experimenta un descenso muy acusado pasando de cifras del 22.68% a cifras de tan solo un 8.25%, dicho descenso se debe al aumento de los árboles que sufren defoliaciones moderadas, por tanto, se observa que, al contrario de la defoliación ligera, la defoliación moderada sigue una tendencia clara al aumento pasando de cifras del 1.08% a cifras 15.22%. Por último, hablando de las defoliaciones graves estas aumentan en el periodo estudiado, pero sufriendo pequeñas oscilaciones cada año, pero nunca suponen un 1% de los árboles.



El anexo número 5 aparecen los mapas que se corresponden con la evolución defoliación del pino carrasco. A través del cual se puede ver como a partir del 2010 se da un empeoramiento en los valores de defoliación, pasando por dos máximos en el año 2012 y 2017.

A continuación, un mapa donde se puede observar la evolución de la defoliación de la especie *Pinus halepensis* año a año.

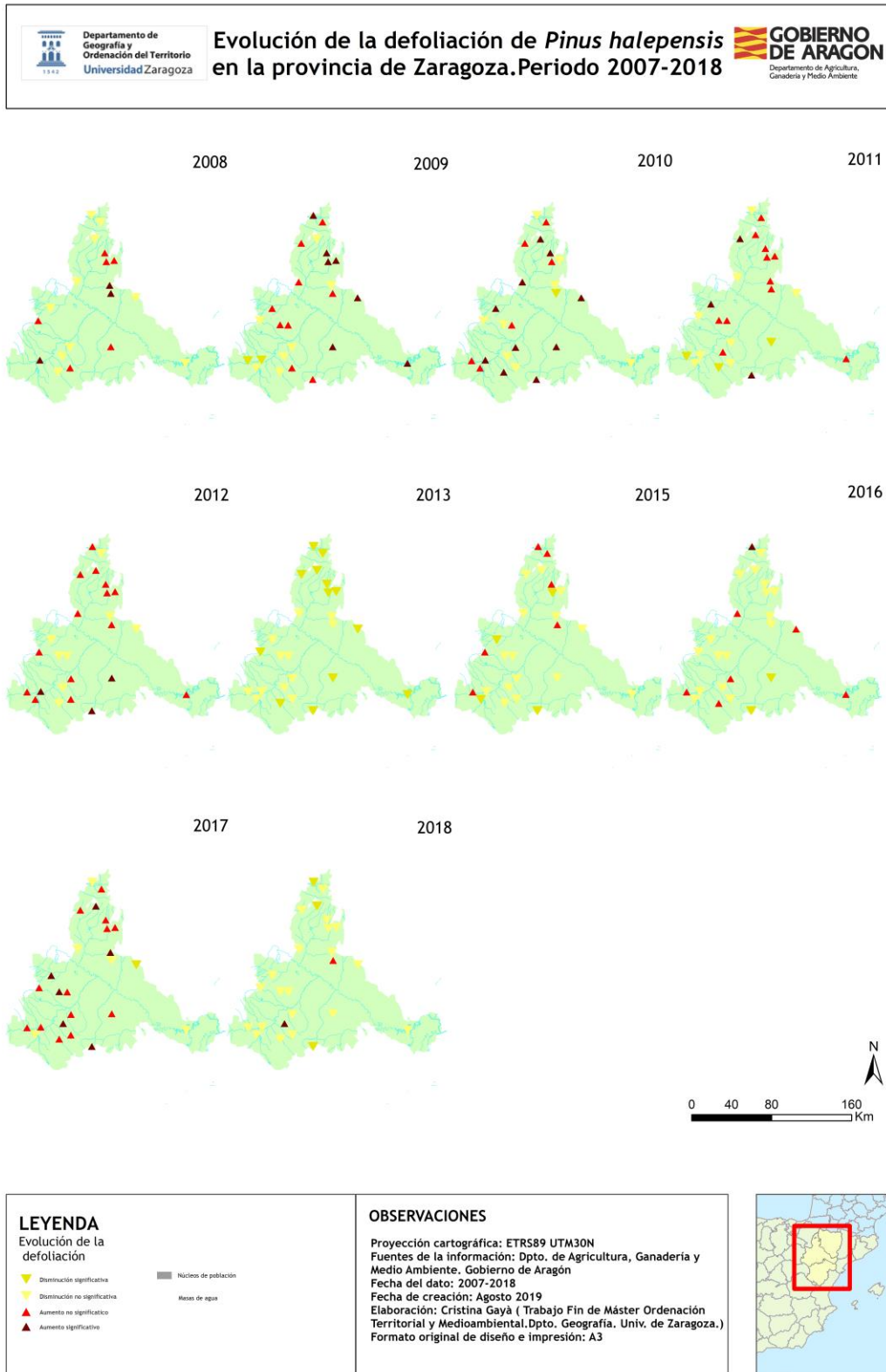


Figura 43: Evolución de la defoliación de la especie *Pinus halepensis*.

7.1.2.2. *Quercus ilex*

	Nula	Ligera	Moderada	Grave
2007	0.93	22.53	0.53	0
2008	0.82	21.11	2.05	0
2009	0.64	17.64	5.70	0
2010	1.47	15.52	6.94	0.058
2011	0.88	17.82	5.17	0.058
2012	0.52	15.52	7.94	0
2013	1.52	18.52	3.94	0
2015	1.52	16.23	6.23	0
2016	1.41	15	7.58	0
2017	0.11	11.17	12.64	0.05
2018	0.94	13	9.52	0.05

Tabla 16: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de *Quercus ilex*. en Zaragoza

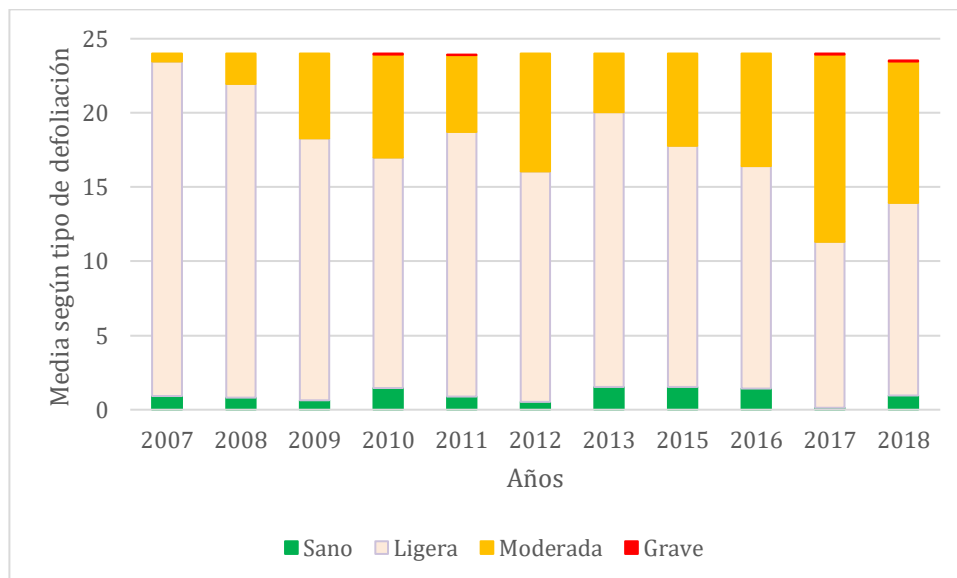


Figura 44: Media de los distintos tipos de defoliaciones en el total de parcelas de seguimiento de Aragón.

Observando los diferentes tipos de defoliación para la encina, se observa que al igual que el pino carrasco la defoliación ligera ha experimentado un descenso, mientras que la defoliación moderada ha experimentado un aumento bastante elevado, pasando de cifras de un 0.53% en 2007 a cifras de un 9.52 en 2018. De todos modos, cabe destacar que, aunque en el caso del encinar, las defoliaciones nulas o sanas son escasas, estas si llegan a superar el 1%, al contrario del pinar.

Por otra parte, se observa que en 2007 los árboles con defoliación nula o sanos, suponen un 0.93%, un valor que, tras ir variando durante estos once años, en el año 2018 se sitúa en un valor muy similar con un 0.94. Aunque eso no se puede asociar a unos valores de defoliación similares, ya que la defoliación en el año 2007 era mínima con un valor de 18.85, mientras que en 2018 dicho valor ha ascendido a 25.78%. De la misma forma, se observa que el año que presenta una mayor proporción de árboles con defoliación nula, el año 2010, no supone un año con un valor de defoliación mínimo, sino que se sitúa en una media de un 24.16%. Si bien, los años con menor proporción de árboles con defoliación nula se asocian con los años con mayor media de

defoliación, los años 2012 y 2017 con valores de defoliación de 26.34% y 28.29% respectivamente.

En el anexo 9 encuentran los mapas que corresponden a la evolución de la defoliación de la encina. Donde se parte de una situación ideal en el año 2007 y poco a poco los valores de defoliación van aumentando.

A continuación, un mapa donde se puede observar la evolución de la defoliación de la especie *Quercus ilex* año a año.

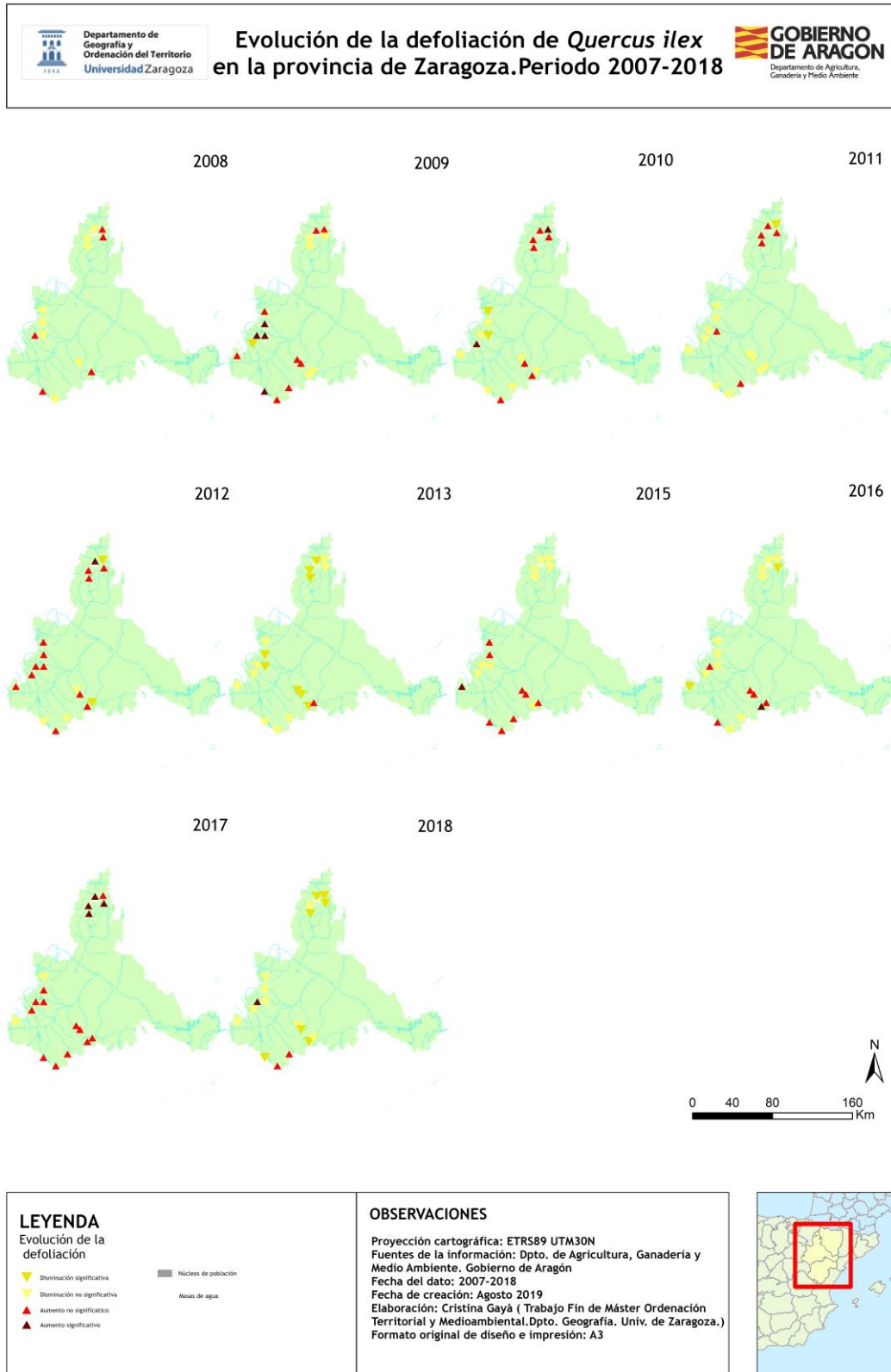


Figura 45: Evolución de la defoliación de la especie *Quercus ilex*.

### 7.1.3. Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave

#### 7.1.3.1. *Pinus halepensis*

CODIGO PARCELA	PROV.	TÉRMINO MUNICIPAL	ESPECIE	GRUPO	GRUPO	2008	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
221552.1.A	Huesca	Monesma y Cajigar	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	100								
440511.1.A	Teruel	Calanda	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	23.12	93.75	21.04	20.41	19.58	17.91	19.37	19.37	18.33
502758.1.A	Zaragoza	Valmadrid	<i>Pinus halepensis</i>	Conífera	Pinar	30.41	66.25	47.70	55.20	41.04	39.58	32.5	35.20	36.04

Figura 46: Puntos de evaluación forestal afectados por defoliación grave. Resaltados en rojo los años afectados por defoliación grave.

#### 7.1.3.2. *Quercus ilex*

La especie no se ha visto afectada por defoliación grave en este periodo de tiempo del año 2007 al 2018.

## 7.2. Numero de pies con daños

Por otra parte, se ha realizado un estudio del porcentaje de árboles con daños, es decir el porcentaje de árboles con defoliación moderada o grave.

### 7.2.1. *Pinus halepensis*

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
Sin daños (%)	92	80.64	58.06	61.29	12.9	9.67	22.58	32.25	32.25	16.12	35.48
Con daños (%)	8	19.35	41.93	38.7	87.09	90.33	77.41	67.74	67.74	83.87	64.51

Tabla 17.: Proporción de árboles con daños de *Pinus halepensis*.

Por lo que se refiere a los árboles dañados en 2007 se aprecia un máximo de árboles no dañados (Defoliación nula o ligera, es decir una defoliación menor al 25%), con un total del 92% de las parcelas no afectadas por daño, posteriormente los árboles dañados han ido aumentando hasta alcanzar cifras del 64.51%, pasando por cifras máximas de un 87.09% en 2011, un 90.33% en 2012 o un 83.87% en 2017. Se debe destacar el hecho de que en el periodo de 2009 a 2013 los árboles con defoliación nula suponen un 0%, lo que, si se compara con las cifras de árboles dañados, se observa que ese periodo supone un incremento de los árboles dañados continuó llegando a alcanzar cifras de un 90.33% de los árboles dañados en el año 2012.

En el anexo 6 se observa cómo ha evolucionado la proporción de pies con daños. Donde se observa que los años 2007 y 2008, mayoritariamente presentan pocos puntos de evaluación dañados, pero a partir del año 2009 esas cifras tienden a aumentar, incluso llegando en el año 2012 a cifras de más de un 90%.

### 7.2.2. *Quercus ilex*

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
Sin daños (%)	100	98.24	52.94	41.17	58.82	17.64	76.47	58.82	35.29	23.52	29.41
Con daños (%)	0	11.76	47.05	58.82	41.17	82.35	23.52	41.17	64.7	76.47	70.58

Tabla 18.: Proporción de árboles con daños de *Quercus ilex*.

Por otra parte, los árboles que pertenecen a la especie de *Quercus ilex* en 2007 presentan un estado sanitario ideal, con un 100% de árboles sin daños, lo que se corresponde con un 0.93% de árboles con defoliación nula, pero a partir de ese año incrementan el número de árboles dañados, hasta alcanzar un 70.58% de árboles dañados en 2018, lo que se corresponde con el máximo número de árboles con defoliación nula, el 0.94%. Por otra parte, se observa que los dos años con menor número de árboles con defoliación nula con 0.52% en 2012 y 0.11% en 2017, se corresponde con los años con mayor proporción de árboles dañados con cifras de un 82.35% y 76.47% respectivamente.

En el anexo 10 aparecen una serie de mapas que se corresponden con la evolución de los números de pies dañados de encina. De igual modo que el pino carrasco en los primeros dos años de análisis la mayoría de los puntos de evaluación no se encontraban dañados, pero a partir del año siguiente, 2009 las cifras de pies dañados aumentan.

En general, se puede decir que los *Quercus spp* presentan un mejor estado sanitario que los *Pinus spp*. Pero si se observan los datos de estas dos especies en concreto, los pinares presentan un estado algo mejor que los encinares por lo que hace referencia a los daños.



### 7.3. Intensidad media de daños

#### 7.3.1. Intensidad media de cada daño en la provincia de Zaragoza

A continuación, se observa una tabla (tabla 19) donde aparece la intensidad media de cuatro de los posibles agentes que pueden generar daños sobre el arbolado. De manera general, se ha observado que los daños causados por agentes abióticos son aquellas que han experimentado un mayor aumento en este periodo de tiempo, siendo el agente con menor afección en el año 2007 se ha convertido en el agente con mayor incidencia después de once años, siendo uno de los principales causantes de la pérdida de vigor del arbolado zaragozano. Por otro lado, cabe destacar los daños causados por insectos, precisamente por tratarse del caso prácticamente opuesto, ya que se trata del único agente de los estudiados, que ha sufrido una disminución a lo largo de los años.

		Intensidad media de daño										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
Otros daños		0.315	0.403	0.640	0.387	0.387	0.361	0.343	0.373	0.329	0.362	0.391
Abióticos		0.029	0.027	0.184	0.044	0.078	0.415	0.151	0.295	0.346	0.755	0.423
Insectos		0.483	0.417	1.092	0.583	0.608	0.408	0.433	0.492	0.783	0.217	0.392
Hongos		0.067	0.108	0.199	0.145	0.166	0.181	0.186	0.188	0.186	0.200	0.210

Tabla 19: Evolución de la intensidad media de daños.

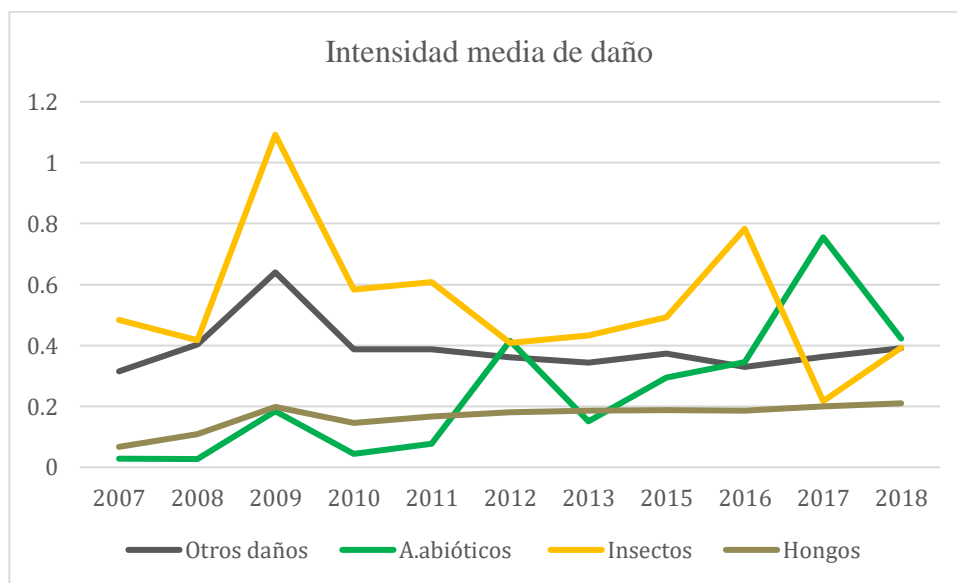


Figura 47: Evolución de la intensidad media de daños.

A continuación, se observan unos mapas que se han realizado mediante interpolación, para poder extender los datos de intensidad de daños a la totalidad de la provincia de Zaragoza, para poder observar cual sería una posible situación respecto a los daños.

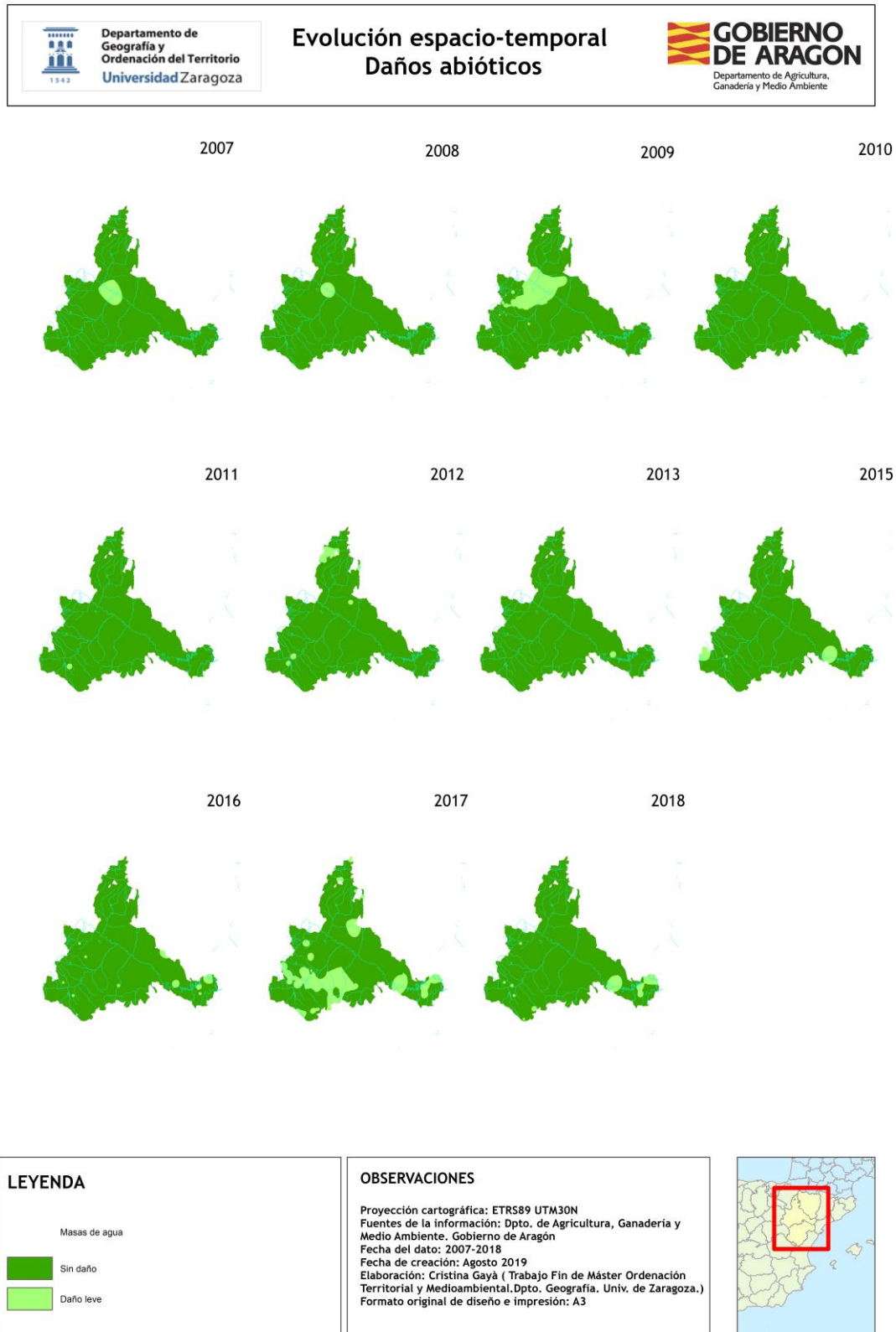


Figura 48: Evolución espacio-temporal de los daños por agentes abióticos.

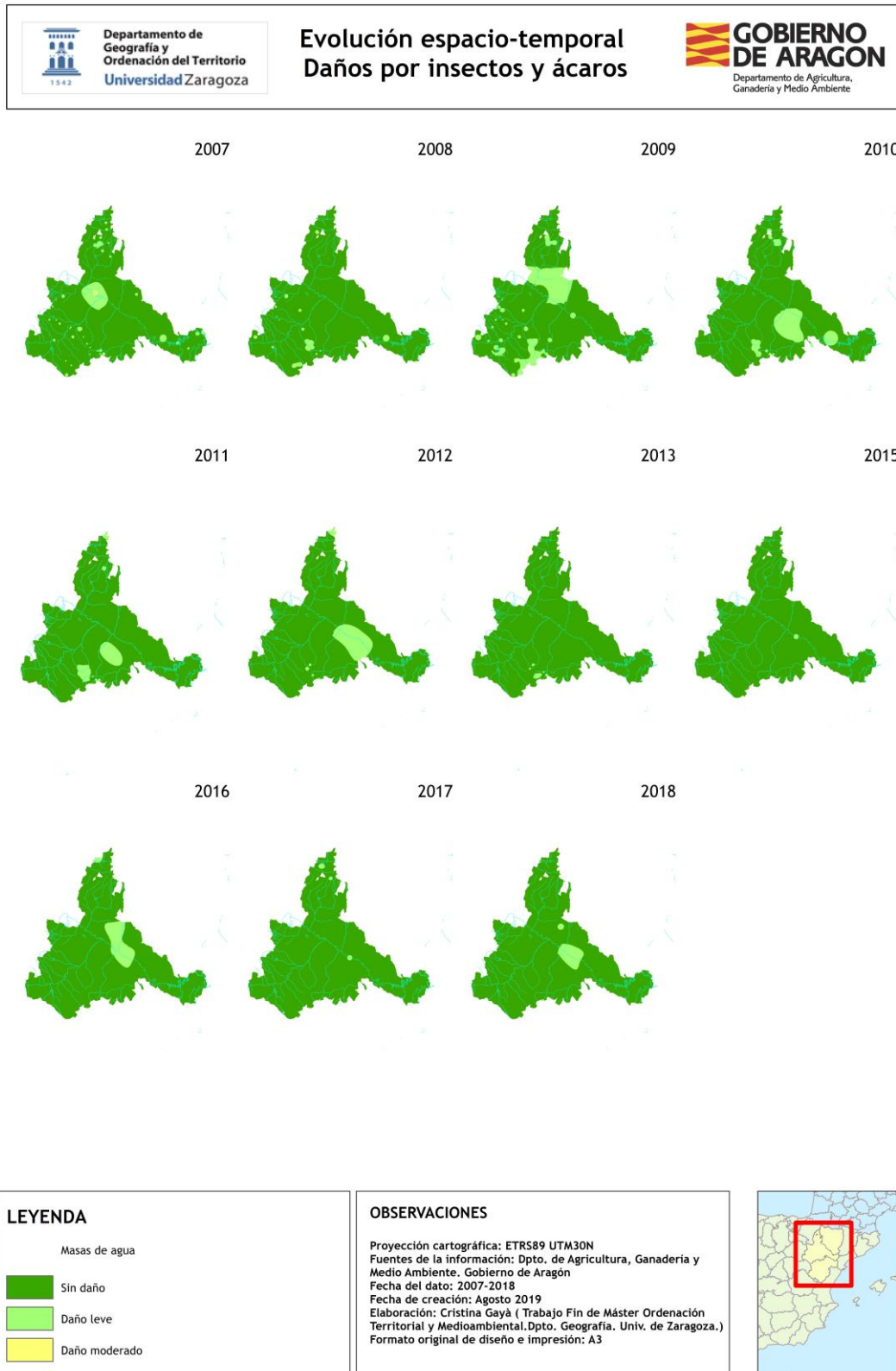


Figura 49: Evolución espacio-temporal de los daños por insectos y ácaros.

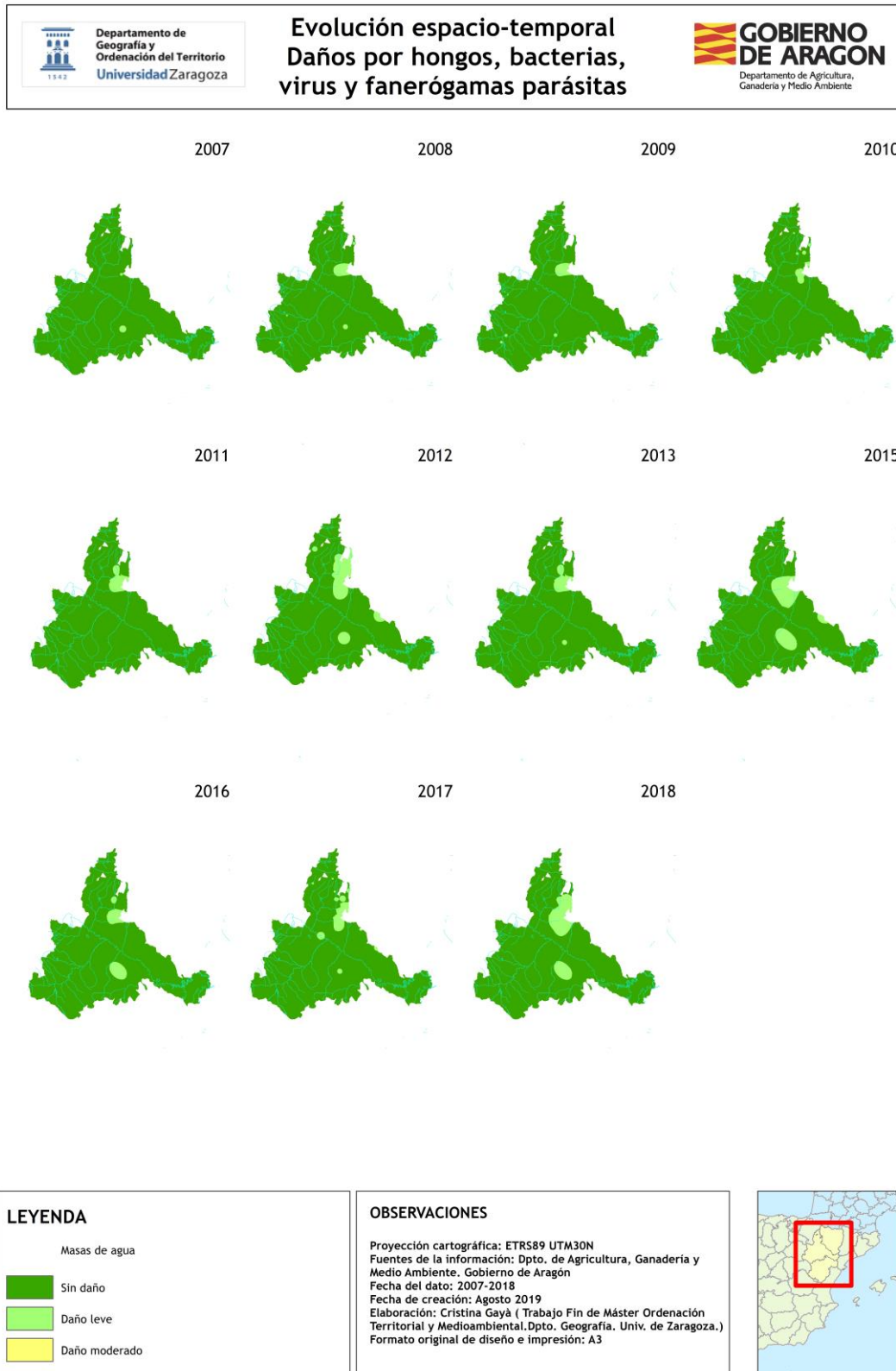


Figura 50: Evolución espacio-temporal de los daños por hongos, bacterias, virus y fanerógamas parásitas.

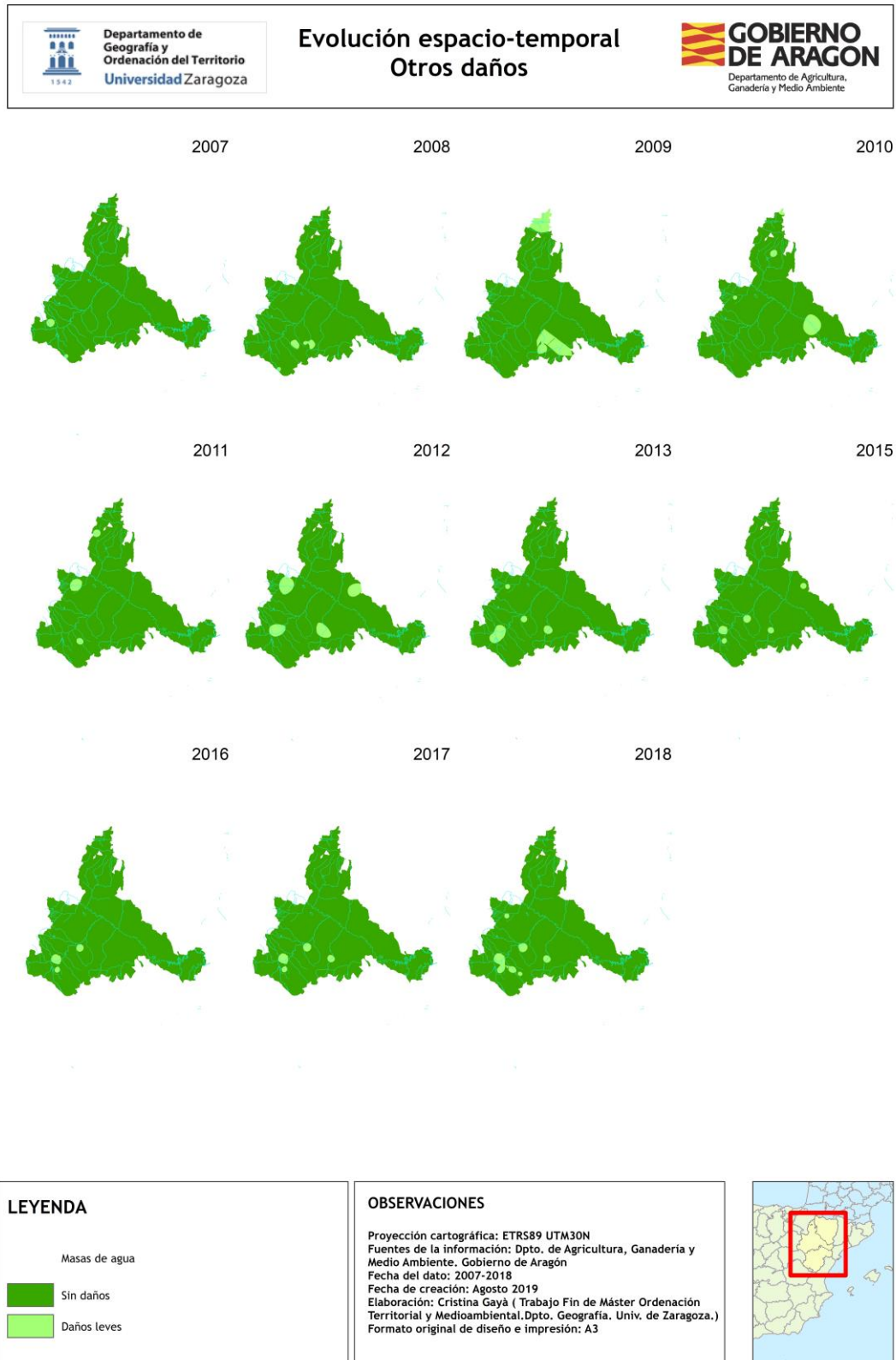


Figura 51: Evolución espacio-temporal de los daños por otros daños.

### 7.3.2. Como afectan los diferentes agentes a cada especie

#### 7.3.2.1. Daños por agentes abióticos

	Intensidad media de daño										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
<i>Pinus spp.</i>	0.026	0.027	0.193	0.044	0.077	0.411	0.150	0.295	0.346	0.755	0.423
<i>Quercus spp.</i>	0.003	0.022	0.178	0.010	0.135	0.454	0.120	0.340	0.248	0.803	0.429
<i>Pinus halepensis</i>	0.026	0.027	0.193	0.044	0.077	0.411	0.150	0.295	0.346	0.755	0.423
<i>Quercus ilex</i>	0.006	0.034	0.272	0.007	0.059	0.368	0.164	0.461	0.328	0.799	0.461

Tabla 20: Evolución de la intensidad media de daños.

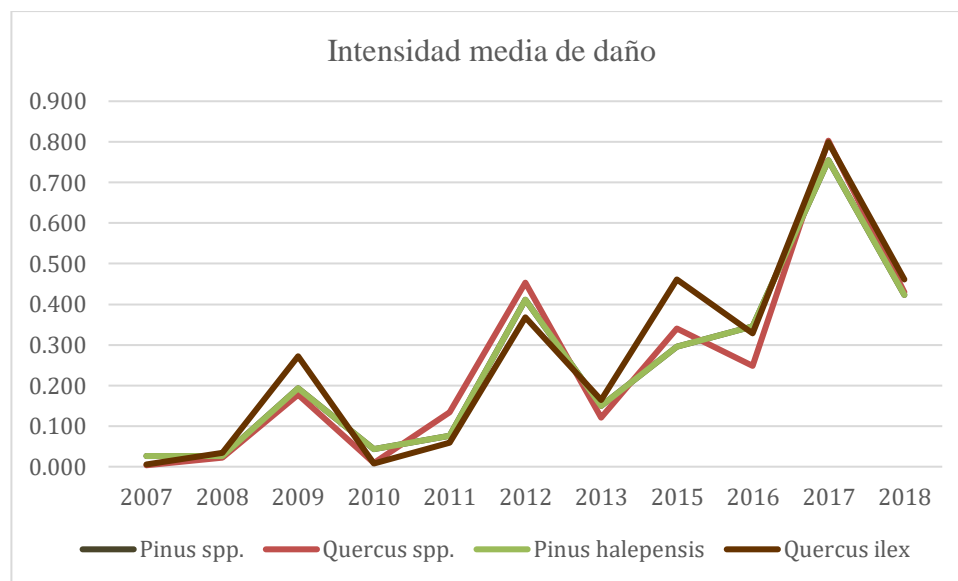


Figura 52: Evolución de la intensidad media de daños por agentes abióticos.

En este caso se ha analizado la intensidad de los daños por agentes abióticos en los dos géneros, *Pinus spp* y *Quercus spp*, y para dos especies en concreto de esos dos géneros, *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*.

Los daños por agentes abióticos son los provocados por estrés hídrico debido a la sequía, olas de calor, o falta de suelos. Dichos daños son los más relacionados con el régimen climático. En general, se puede observar cómo en cada una de las especies o géneros, los daños abióticos han experimentado un considerable aumento. En este caso, para las especies estudiadas, observamos que la afección es mayor sobre las encinas que sobre los pinos. Se ha observado que todas las especies o géneros han experimentado un repunte en los años 2009, 2012 y 2017. Se conoce que dentro de este tipo de daño los que han causado una mayor afección han sido provocados por el estrés hídrico, debido a las sequías y las olas de calor, por tanto, relacionadas con el régimen climático, cuyas consecuencias se ven agravadas y extendidas en zonas con suelos escasos o con poca capacidad de retención. En cambio, otro tipo de daños como los causados por el viento, granizadas, heladas o nevadas son de menor intensidad, pudiendo generar la rotura de algunas ramas. En este caso, dicha afección se puede agravar por otro tipo de daños, pudiendo provocar la muerte del árbol.



**7.3.2.2. Daños por insectos y ácaros**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
<i>Pinus spp.</i>	0.681	0.577	0.755	0.470	0.442	0.347	0.355	0.237	0.305	0.272	0.285
<i>Quercus spp.</i>	0.913	0.955	1.054	0.744	0.707	0.607	0.623	0.362	0.340	0.404	0.356
<i>Pinus halepensis</i>	0.681	0.577	0.755	0.470	0.442	0.347	0.355	0.237	0.305	0.272	0.285
<i>Quercus ilex</i>	0.931	0.949	1.086	0.679	0.686	0.498	0.574	0.294	0.331	0.284	0.199

Tabla 21: Evolución de la intensidad media de daños por insectos y ácaros.

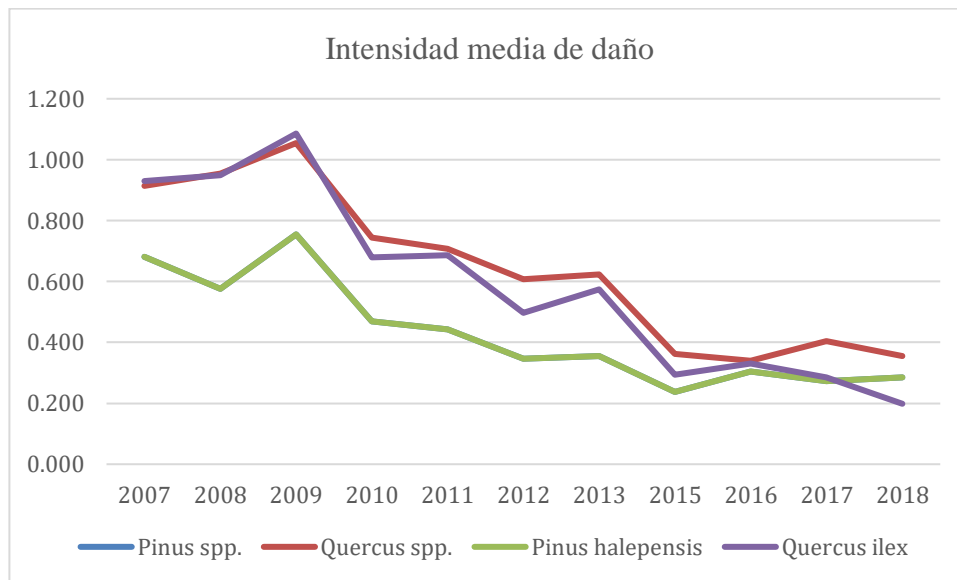


Figura 53: Evolución de la intensidad media de daños por insectos y ácaros.

Los daños causados por insectos y ácaros pueden causar defoliaciones o perforaciones en los árboles. Tradicionalmente, los insectos defoliadores y los gallícolas son aquellos insectos que han causado un mayor daño. En el gráfico (Figura 53) que se observa en la parte superior, se puede apreciar una tendencia clara a la disminución de este tipo de daños desde el año 2009 en cualquiera de las especies, resultado que parece estar en consonancia con la disminución global de insectos detectada en los últimos años (Sánchez-Bayo et al,2019).

Tradicionalmente, los insectos defoliadores son aquellos insectos que han causado un mayor daño sobre los pinares. Sin embargo, dicha afección ha disminuido a nivel global como consecuencia de la fuerte disminución de insectos defoliadores como *Brachyderes sp.* o los cóccidos chupadores del género *Leucaspis* (*Leucaspis pussilla* y *Leucaspis pini*). En el caso de la procesionaria (*Thaumetopea pityocampa*) su tendencia es contraria, siendo el insecto que causa daños más graves y generalizados en los pinares en la actualidad.

En el caso de los encinares dichos daños muestran al igual que los pinares una disminución desde el año 2009, siendo los defoliadores los que vienen causando mayores daños, pero en estos últimos años se ha dado una importante disminución. Los insectos gallícolas como el cecidómido *Dryomyia lichtensteinii* o los ácaros *Aceria ilicis* y *Eryophies ilicis*, que producen cecidios o pequeñas agallas en las hojas, han disminuido muy significativamente sus niveles de afección. Son pocos los insectos perforadores que provocan daños, de poca gravedad, en encinares y rebollares. En el monte en los últimos años se comprueba el aumento de la presencia del bupréstido *Coroebus florentinus*, cuya larva anilla ramas, que se secan (Comunicación personal, Alvaro Hernández, Jefe de Sección de Sanidad Forestal).

### 7.3.2.3. Daños por hongos, bacterias, virus y fanerógamas parásitas

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
<i>Pinus spp.</i>	0.085	0.119	0.227	0.139	0.176	0.209	0.202	0.186	0.211	0.230	0.249
<i>Quercus spp.</i>	0.042	0.090	0.157	0.115	0.109	0.075	0.107	0.139	0.138	0.093	0.106
<i>Pinus halepensis</i>	0.147	0.196	0.379	0.230	0.282	0.305	0.328	0.298	0.333	0.367	0.388
<i>Quercus ilex</i>	0.006	0.059	0.157	0.115	0.113	0.088	0.120	0.184	0.123	0.105	0.147

Tabla 22: Evolución de la intensidad media de daños por bacterias, virus y fanerógamas parásitas.

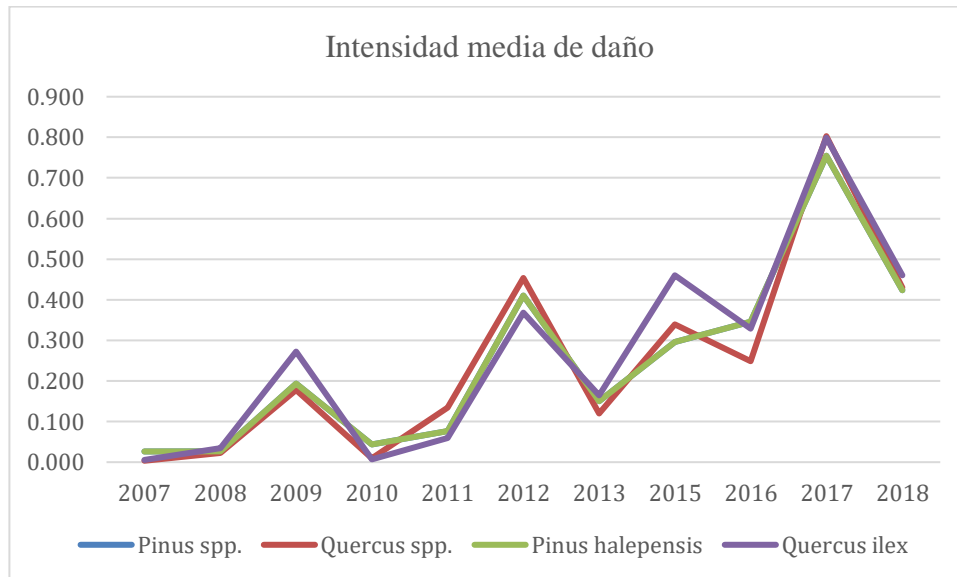


Figura 54: Evolución de la intensidad media de daños por bacterias, virus y fanerógamas parásitas.

En el gráfico (Figura 54) que se observa en la parte superior se observa la evolución de la intensidad de daños por hongos, bacterias, virus y fanerógamas parásitas. Tradicionalmente, los daños por hongos nunca han causado una gran intensidad de daños sobre el arbolado.

Se observa que durante el periodo estudiado los daños por hongos han experimentado un ligero aumento, siendo el pino carrasco aquel que ha experimentado un mayor aumento, pero ligero, como consecuencia principalmente del incremento de la presencia de muérdago. Las bacteriosis, por su parte, tienen una incidencia mínima en los pinares.

En la actualidad es mayor la afección por muérdago que por hongos debido a la extensión del muérdago que se está produciendo en toda la CC. AA Aragón. La extensión se ha producido fundamentalmente en la zona oriental del Pirineo y el Prepirineo, el Bajo Aragón zaragozano y turolense, el Matarraña y Montes Universales-Sierra de Albarracín. Tal es ese incremento que en los últimos años se ha doblado el número de pies afectados (Comunicación personal, Alvaro Hernández, Jefe de Sección de Sanidad Forestal).

Los encinares muestran también una baja afección de enfermedades, destacando únicamente la presencia de algunas bacteriosis que causan tumores y chancros en ramas (*Agrobacterium sp.* y *Brenneria quercinea*) y del oídio *Micosphaera alphitoides*, de escasa gravedad salvo en plántulas.

#### 7.3.2.4. Otros daños

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018
<i>Pinus spp.</i>	0.342	0.466	0.739	0.414	0.414	0.461	0.435	0.375	0.417	0.500	0.500
<i>Quercus spp.</i>	0.240	0.285	0.458	0.279	0.317	0.160	0.171	0.271	0.175	0.173	0.199
<i>Pinus halepensis</i>	0.253	0.331	0.616	0.418	0.445	0.503	0.512	0.485	0.485	0.515	0.539
<i>Quercus ilex</i>	0.258	0.311	0.505	0.203	0.255	0.120	0.110	0.233	0.132	0.113	0.135

Tabla 23: Evolución de la intensidad media de otros daños.

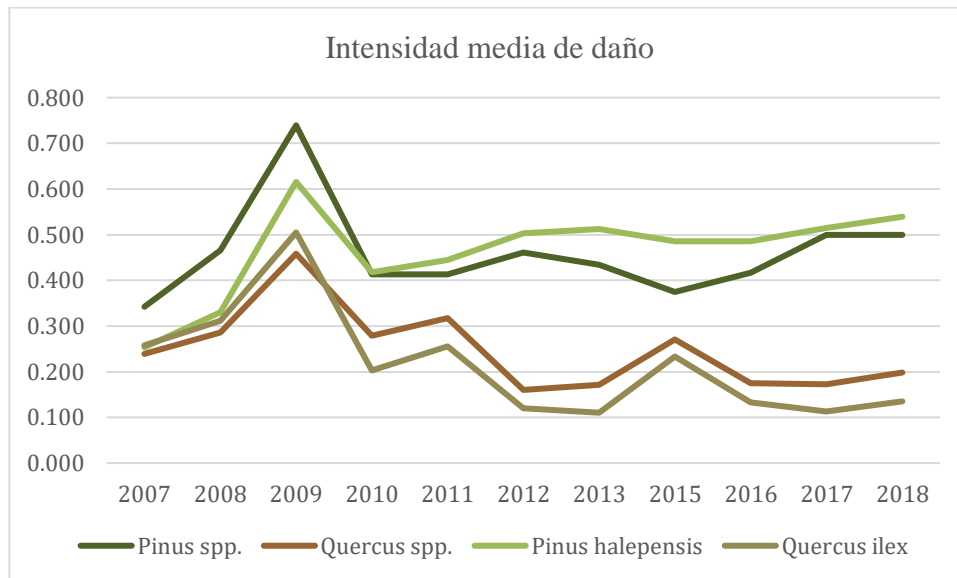


Figura 55: Evolución de la intensidad media de los otros daños.

Otros daños pueden ser los provocados por problemas de competencia o dominancia, la falta de luminosidad, aparición de ramas secas en el árbol o daños de origen desconocido.

En este caso, se observa una tendencia opuesta en los dos géneros analizados puesto que los *Pinus* ha tendido al aumento por este tipo de daños, pero los *Quercus* han experimentado una tendencia opuesta, a la disminución. En especial, cabe destacar la gran afección sobre el pino carrasco.

Esta mayor afección sobre el pino se puede deber a la arquitectura de la copa del árbol, además de las elevadas densidades de árboles juntos que se pueden encontrar en el caso de las repoblaciones, en las cuales se han plantado arboles a distancias muy reducidas o bien demasiados árboles para una determinada extensión de superficie al intentar conseguir un mayor éxito de repoblación.

#### 7.4. Extensión de los datos a la provincia de Zaragoza

A continuación, se pueden observar cuatro composiciones de mapas donde se ha tratado espacializar la información y así obtener cual sería la situación respecto a la defoliación en función de los dos géneros y las dos especies analizadas.

##### 7.4.1. *Pinus spp.*

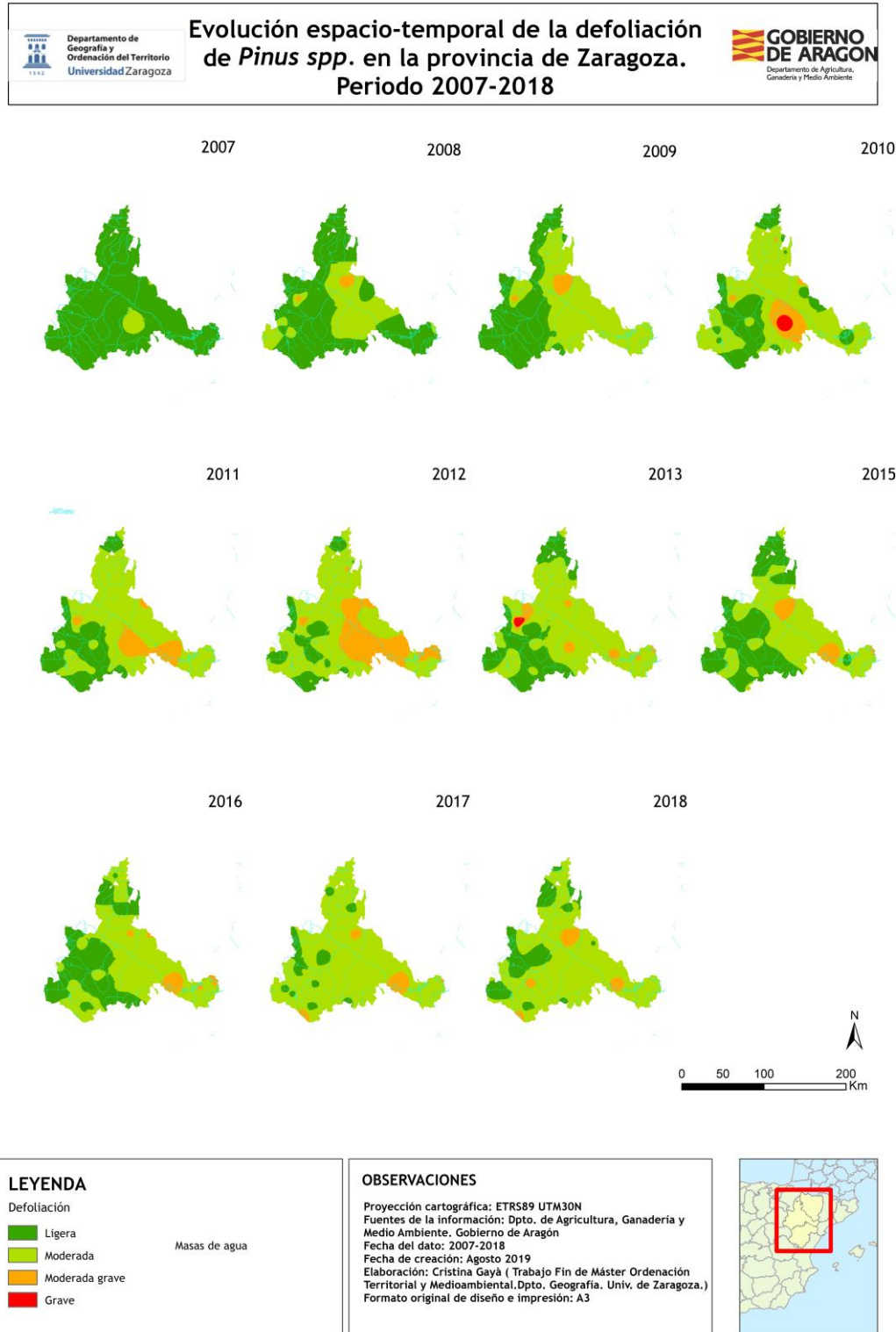


Figura 56: Extrapolación de los valores de defoliación en la provincia de Zaragoza.

7.4.2. *Pinus halepensis*

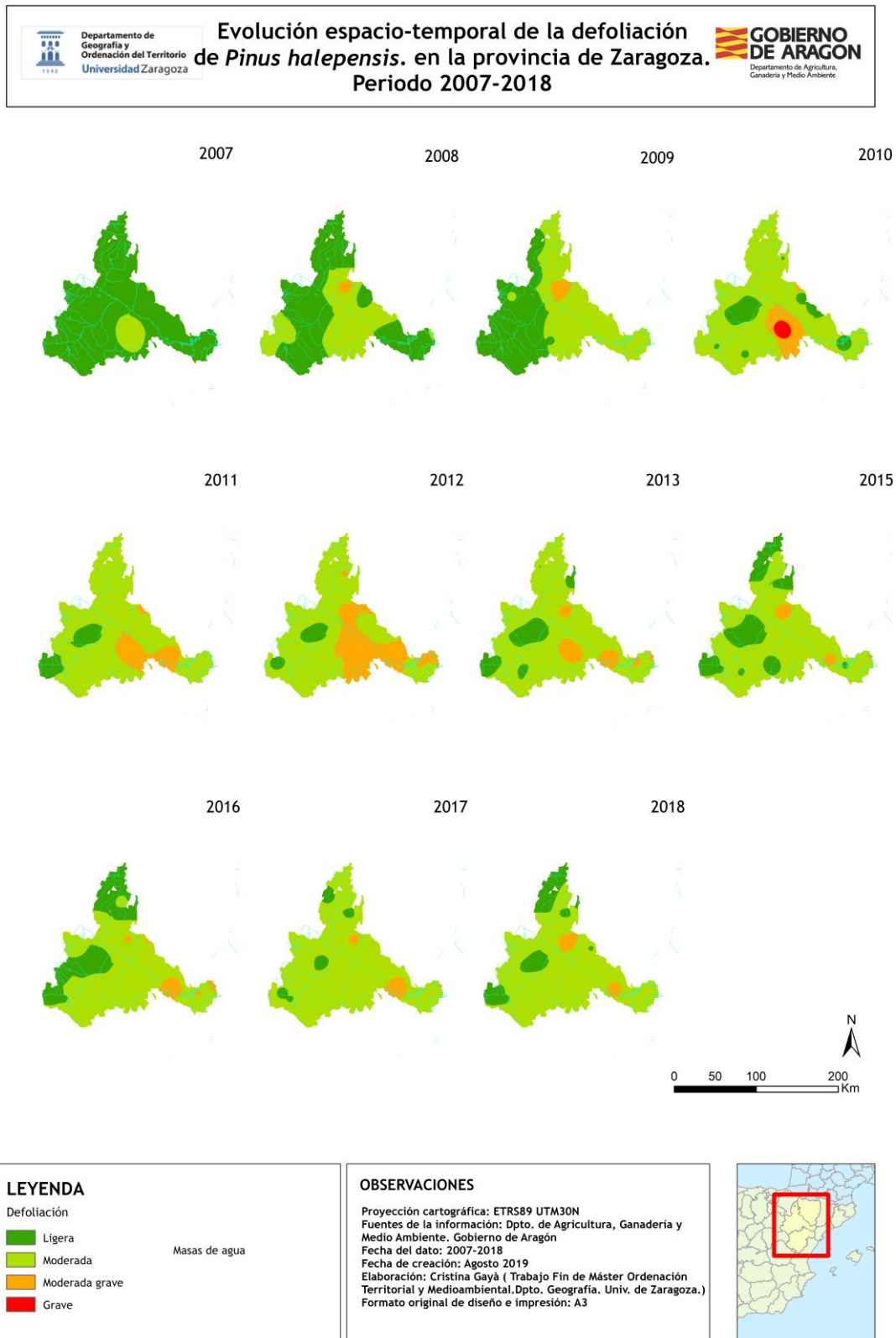


Figura 57: Extrapolación de los valores de defoliación en la provincia de Zaragoza.

7.4.3. *Quercus spp.*

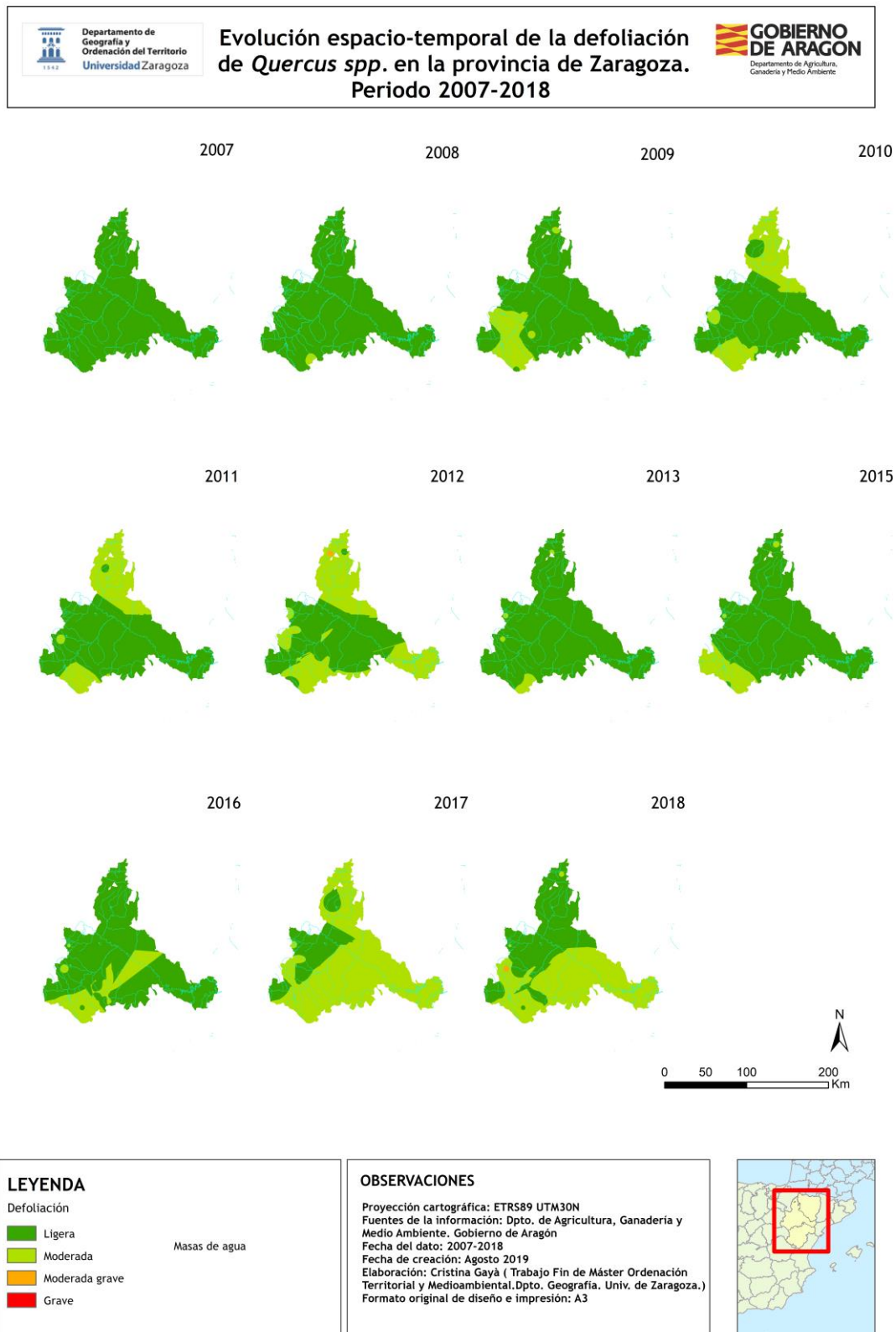


Figura 58: Extrapolación de los valores de defoliación en la provincia de Zaragoza.



7.4.4. *Quercus ilex*

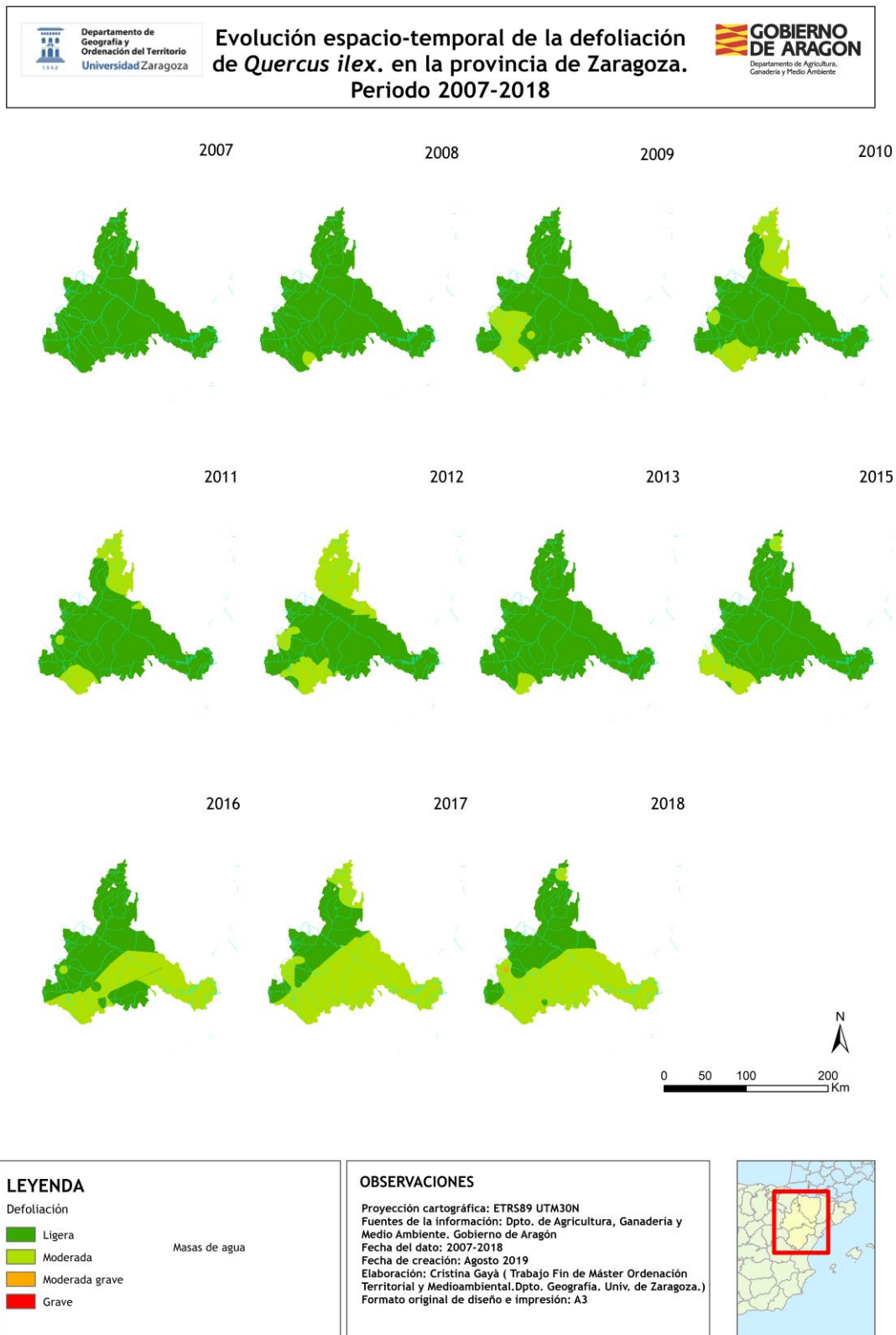


Figura 59: Extrapolación de los valores de defoliación en la provincia de Zaragoza.

## 8. Relación de los daños por agentes abióticos con anomalías climáticas (sequías).

Como se ha visto a lo largo del análisis de los resultados obtenidos, los años 2012 y 2017 fueron marcados por un aumento de los valores de defoliación en cualquiera de las especies analizadas. Incluso siendo el año 2017, un año con mayor afección que el pasado 2012, tal vez por el efecto acumulativo de los daños ya producidos en 2012, además de haber pasado un corto periodo de tiempo de recuperación.

En dicho apartado del trabajo, se va a relacionar la defoliación, los daños por agentes abióticos y el índice de sequía SPEI. A continuación, se observa una tabla con los puntos de evaluación de la provincia de Zaragoza y el nivel de intensidad media de daños por agentes abióticos. A través de ella, se puede observar en amarillo los puntos que se han visto mayormente afectados en los años 2012 y 2017, siendo mayores en el año 2017.

PUNTO	Término municipal	Especie	2012		2017	
			IMD T4	Daño	IMD T4	Daño
500135.1.A	Alcalá de Ebro	<i>Salix sp.</i>	0.04	Sin daño	0.17	Sin daño
500166.1.A	Aldehuela de Liestos	<i>Quercus ilex</i>	0.13	Sin daño	1.00	Daño leve
500270.1.A	Ambel	<i>Pinus halepensis</i>	0.08	Sin daño	1.08	Daño leve
500299.1.A	Aniñón	<i>Pinus sylvestris</i>	0.75	Sin daño	1.17	Daño leve
500303.1.A	Añón de Moncayo	<i>Quercus ilex</i>	0.00	Sin daño	0.33	Sin daño
500303.2.B	Añón de Moncayo	<i>Pinus sylvestris</i>	0.00	Sin daño	0.38	Sin daño
500346.1.A	Ariza	<i>Quercus ilex</i>	0.54	Sin daño	0.08	Sin daño
500362.1.A	Asín	<i>Populus tremula</i>	0.54	Sin daño	0.13	Sin daño
500378.1.A	Atea	<i>Pinus pinaster</i>	0.04	Sin daño	0.21	Sin daño
500384.1.A	Ateca	<i>Pinus halepensis</i>	1.00	Daño leve	1.08	Daño leve
500384.2.A	Ateca	<i>Pinus pinea</i>	0.92	Sin daño	1.08	Daño leve
500401.1.A	Badules	<i>Quercus ilex</i>	0.58	Sin daño	1.29	Daño leve
500482.1.A	Berruenco	<i>Pinus nigra</i>	0.00	Sin daño	0.79	Sin daño
509017.1.A	Biel-Fuencalderas	<i>Pinus sylvestris</i>	0.50	Sin daño	0.67	Sin daño
509017.2.A	Biel-Fuencalderas	<i>Pinus sylvestris</i>	0.00	Sin daño	1.00	Daño leve
500508.1.A	Bijuesca	<i>Pinus sylvestris</i>	0.71	Sin daño	1.04	Daño leve
500652.1.A	Cabolafuente	<i>Juniperus thurifera</i>	0.13	Sin daño	0.13	Sin daño
500690.1.B	Calcena	<i>Quercus ilex</i>	0.71	Sin daño	0.33	Sin daño
500726.1.A	Carenas	<i>Pinus halepensis</i>	1.00	Daño leve	0.00	Sin daño
500747.1.A	Caspe	<i>Pinus halepensis</i>	0.71	Sin daño	0.42	Sin daño
500747.2.A	Caspe	<i>Juniperus phoenicea</i>	0.13	Sin daño	0.75	Sin daño
500785.1.A	Castiliscar	<i>Pinus halepensis</i>	1.00	Daño leve	0.08	Sin daño
500819.1.A	Cetina	<i>Pinus halepensis</i>	0.63	Sin daño	0.08	Sin daño
500845.1.A	Clarés de Ribota	<i>Quercus ilex</i>	0.00	Sin daño	0.63	Sin daño
500861.1.A	Codos	<i>Quercus ilex</i>	0.58	Sin daño	1.04	Daño leve
500883.1.A	Cosuenda	<i>Pinus nigra</i>	0.92	Sin daño	1.25	Daño leve
500900.1.A	Cubel	<i>Quercus faginea</i>	0.04	Sin daño	0.67	Sin daño
500628.1.A	El Burgo de Ebro	<i>Populus alba</i>	0.08	Sin daño	0.04	Sin daño
501092.1.A	El Frago	<i>Pinus halepensis</i>	0.75	Sin daño	0.50	Sin daño
500981.1.A	Encinacorba	<i>Quercus ilex</i>	0.67	Sin daño	1.13	Daño leve

La salud de las masas forestales de Aragón. Relación de los daños por agentes abióticos con anomalías climáticas (sequías).

500994.1.A	Épila	<i>Pinus halepensis</i>	0.17	Sin daño	0.50	Sin daño
501020.1.A	Fabara	<i>Pinus halepensis</i>	0.00	Sin daño	1.13	Daño leve
501089.1.A	Fombuena	<i>Quercus faginea</i>	0.33	Sin daño	1.04	Daño leve
501165.1.A	Fuentes de Jiloca	<i>Pinus halepensis</i>	0.67	Sin daño	0.88	Sin daño
501247.1.A	Herrera de los Navarros	<i>Pinus pinaster</i>	0.00	Sin daño	0.38	Sin daño
501247.2.A	Herrera de los Navarros	<i>Pinus nigra</i>	0.50	Sin daño	1.13	Daño leve
501302.1.A	Jarque	<i>Quercus ilex</i>	0.13	Sin daño	0.50	Sin daño
500251.1.A	La Almunia de Doña Godina	<i>Pinus halepensis</i>	0.25	Sin daño	0.92	Sin daño
500917.1.A	Las Cuerlas	<i>Quercus ilex</i>	0.04	Sin daño	0.67	Sin daño
501377.1.A	Leciñena	<i>Pinus halepensis</i>	0.29	Sin daño	0.42	Sin daño
501377.2.A	Leciñena	<i>Pinus halepensis</i>	0.17	Sin daño	0.04	Sin daño
501422.1.A	Lobera de Onsella	<i>Quercus faginea</i>	0.25	Sin daño	0.79	Sin daño
502105.1.A	Los Pintanos	<i>Quercus ilex</i>	0.50	Sin daño	0.88	Sin daño
501481.1.A	Luesia	<i>Quercus ilex</i>	0.33	Sin daño	0.50	Sin daño
501481.2.A	Luesia	<i>Fagus sylvatica</i>	0.38	Sin daño	0.75	Sin daño
501494.1.A	Luesma	<i>Quercus ilex</i>	0.46	Sin daño	1.42	Daño leve
501494.2.A	Luesma	<i>Castanea sativa</i>	0.08	Sin daño	1.04	Daño leve
501514.1.A	Luna	<i>Pinus halepensis</i>	0.96	Sin daño	0.13	Sin daño
501514.2.A	Luna	<i>Pinus halepensis</i>	0.63	Sin daño	0.58	Sin daño
501612.1.A	Manchones	<i>Pinus halepensis</i>	0.13	Sin daño	0.46	Sin daño
501651.1.A	Mequinenza	<i>Pinus halepensis</i>	0.79	Sin daño	1.00	Daño leve
501651.2.A	Mequinenza	<i>Pinus halepensis</i>	0.17	Sin daño	1.04	Daño leve
501651.3.A	Mequinenza	<i>Pinus halepensis</i>	0.46	Sin daño	1.38	Daño leve
501699.1.A	Miedes de Aragón	<i>Pinus pinaster</i>	0.25	Sin daño	0.75	Sin daño
501703.1.A	Monegrillo	<i>Pinus halepensis</i>	0.08	Sin daño	0.79	Sin daño
501839.1.A	Munébrega	<i>Pinus halepensis</i>	0.96	Sin daño	0.92	Sin daño
501860.1.A	Navardún	<i>Quercus faginea</i>	1.33	Daño leve	1.17	Daño leve
501895.1.A	Nonaspe	<i>Pinus halepensis</i>	0.08	Sin daño	0.00	Sin daño
501993.1.A	Osera de Ebro	<i>Populus alba</i>	0.00	Sin daño	0.00	Sin daño
502007.1.A	Paniza	<i>Pinus nigra</i>	0.08	Sin daño	0.88	Sin daño
502210.1.B	Purujosa	<i>Pinus nigra</i>	0.92	Sin daño	0.79	Sin daño
502297.1.A	Ruesca	<i>Pinus pinaster</i>	0.00	Sin daño	1.13	Daño leve
502323.1.A	Salvatierra de Esca	<i>Pinus sylvestris</i>	0.21	Sin daño	1.00	Daño leve
502382.1.A	Santa Eulalia de Gállego	<i>Pinus halepensis</i>	1.04	Daño leve	1.00	Daño leve
502409.1.A	Sástago	<i>Pinus halepensis</i>	0.54	Sin daño	1.13	Daño leve
502421.1.A	Sediles	<i>Pinus sylvestris</i>	0.00	Sin daño	1.08	Daño leve
502455.1.A	Sigües	<i>Pinus nigra</i>	0.08	Sin daño	0.63	Sin daño
502480.1.A	Sos del Rey Católico	<i>Quercus faginea</i>	1.54	Daño leve	0.96	Sin daño
502506.1.A	Talamantes	<i>Pinus nigra</i>	0.00	Sin daño		
502513.1.B	Tarazona	<i>Pinus sylvestris</i>	0.00	Sin daño	0.42	Sin daño
502528.1.A	Tauste	<i>Pinus halepensis</i>	0.00	Sin daño	0.67	Sin daño
502549.1.A	Tierga	<i>Pinus halepensis</i>	0.00	Sin daño	1.08	Daño leve
502565.1.A	Torralba de los Frailes	<i>Pinus nigra</i>	0.63	Sin daño	1.13	Daño leve
502587.1.A	Torrallilla	<i>Quercus faginea</i>	0.21	Sin daño	0.83	Sin daño
502632.1.A	Torrijo de la Cañada	<i>Pinus halepensis</i>	0.42	Sin daño	1.08	Daño leve

La salud de las masas forestales de Aragón. Relación de los daños por agentes abióticos con anomalías climáticas (sequías).

502647.1.A	Tosos	<i>Pinus halepensis</i>	0.92	Sin daño	1.13	Daño leve
502650.1.B	Trasmoz	<i>Quercus petraea</i>	0.00	Sin daño	0.17	Sin daño
502679.1.A	Uncastillo	<i>Quercus faginea</i>	0.88	Sin daño	0.88	Sin daño
502679.2.A	Uncastillo	<i>Quercus faginea</i>	0.96	Sin daño	0.79	Sin daño
502679.3.A	Uncastillo	<i>Quercus ilex</i>	0.67	Sin daño	0.96	Sin daño
502702.1.A	Urriés	<i>Pinus nigra</i>	0.08	Sin daño	0.75	Sin daño
502719.1.A	Used	<i>Pinus pinaster</i>	0.17	Sin daño	1.21	Daño leve
502745.1.A	Val de San Martín	<i>Quercus ilex</i>	0.13	Sin daño	1.00	Daño leve
502758.1.A	Valmadrid	<i>Pinus halepensis</i>	0.83	Sin daño	0.96	Sin daño
502838.1.A	Villadoz	<i>Quercus ilex</i>	0.67	Sin daño	1.00	Daño leve
502920.1.A	Villarreal de Huerva	<i>Pinus pinaster</i>	0.04	Sin daño	1.13	Daño leve
502936.1.A	Villarroya de la Sierra	<i>Pinus pinaster</i>			0.75	Sin daño
502954.1.A	Vistabella	<i>Quercus ilex</i>	0.13	Sin daño	0.83	Sin daño
502989.1.A	Zuera	<i>Pinus halepensis</i>	1.00	Daño leve	1.08	Daño leve
502989.2.A	Zuera	<i>Pinus halepensis</i>	0.88	Sin daño	1.04	Daño leve

Tabla 24: Daños por agentes abióticos en la provincia de Aragón. Resaltado en amarillo los puntos de seguimiento dañados.

A su vez, podemos observar unos mapas donde se ven marcados a través de puntos los puntos de evaluación marcados en tonalidades de rojo en función de la intensidad media del daño.

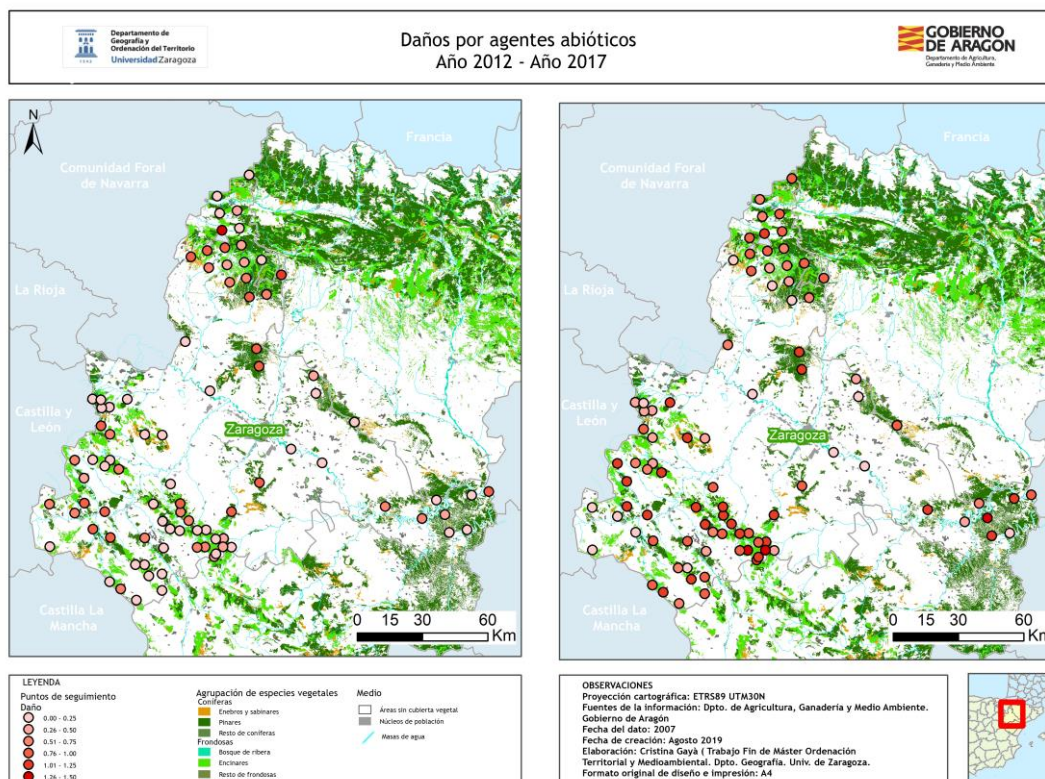


Figura 60: Daños por agentes abióticos en los años 2012 y 2017



En la parte inferior se muestra la evolución de un índice de sequía, el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés; <http://spei.csic.es/>; Vicente-Serrano et al, 2010) a 6 y 12 meses (Figuras 52 y 53), calculado para la cuadrícula geográfica que contiene a la Comunidad Autónoma. Se ve en primer lugar que los períodos de sequía (SPEI < 0) antes de 1980 eran cortos, poco intensos y espaciados en el tiempo, al contrario que lo ocurrido a partir de 1984, cuando se alcanza el nivel de sequía severa (SPEI < -1,5, no alcanzado antes), con períodos de sequía largos, intensos y frecuentes, con cortos períodos de recuperación, los cuales se corresponden con los años 1990-1991, 1995-1996, 2002, 2005, 2012 y 2017.

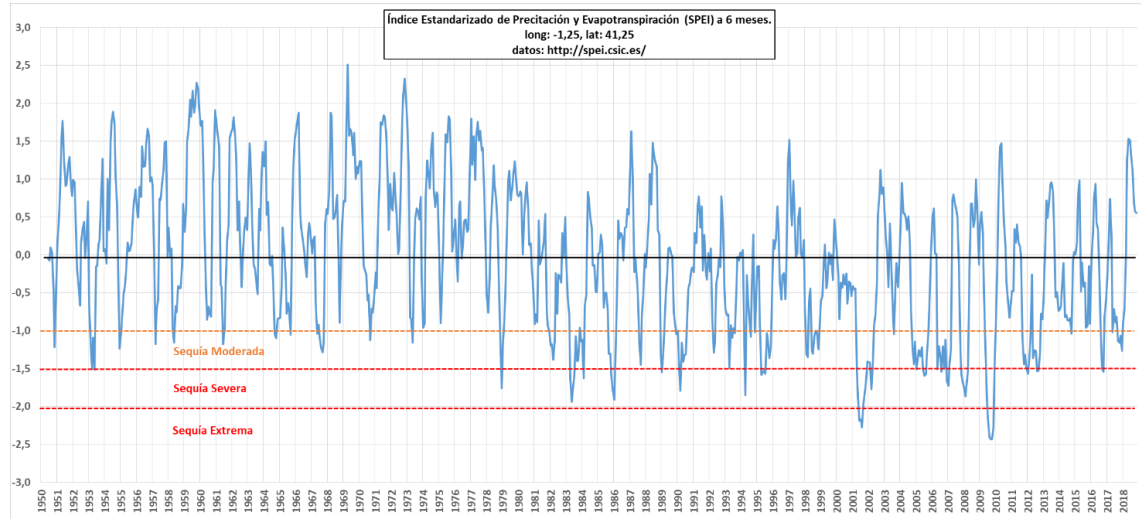


Figura 61: Índice de sequía a 6 meses. SPEI. Periodo 1950-2018 (Monitor de sequía global SPEI,2019).

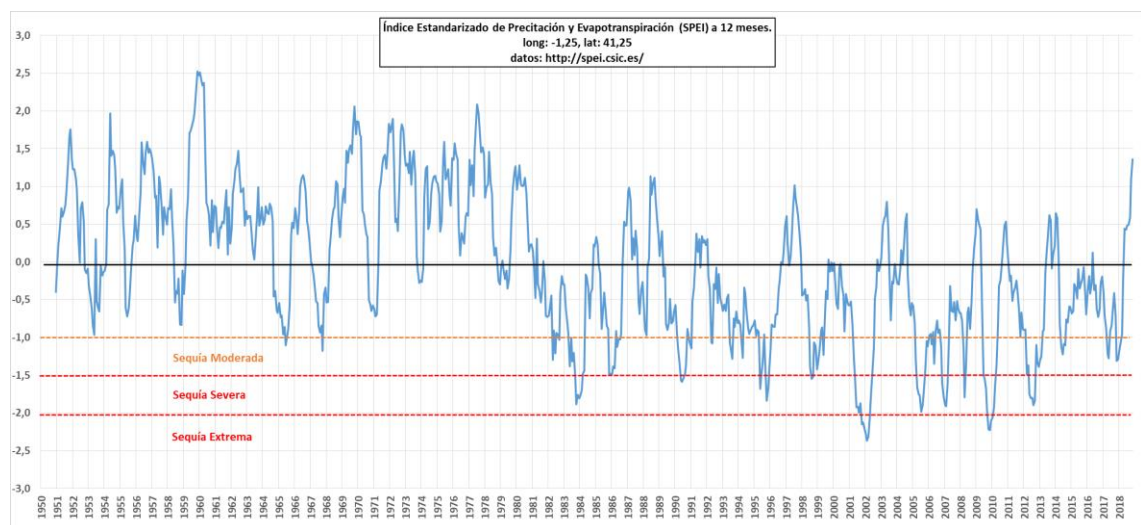


Figura 62: Índice de sequía a 12 meses. SPEI. Periodo 1950-2018 (Monitor de sequía global SPEI,2019).

Algunos de estos picos de sequía vienen a coincidir con los máximos valores de defoliación encontrados para la mayoría de las especies (en general, años 2012 y 2017). Por ello se estudia para las agrupaciones de especies realizada la posible relación entre las dos variables a través del coeficiente de correlación lineal de Pearson y el coeficiente de ajuste  $R^2$ .

El índice SPEI ofrece datos mensuales. Para confrontarlos con los datos de defoliación media anual se eligen los datos del mes de agosto del año correspondiente puesto que las evaluaciones de defoliación se suelen hacer a mitad o final de verano, de forma que todas las especies a evaluar estén con hoja y no hayan iniciado el desfronde.

La salud de las masas forestales de Aragón. Relación de los daños por agentes abióticos con anomalías climáticas (sequías).

Meses acumulados	Total de especies	Pinares	Sabinares	Quercíneas	Salicáceas	Resto frondosas
1	-0,2302	-0,2926	-0,2948	-0,0884	-0,3612	-0,1077
2	<b>-0,6129</b>	<b>-0,6302</b>	<b>-0,6276</b>	<b>-0,5308</b>	<b>-0,7831</b>	<b>-0,6175</b>
3	-0,3678	-0,3447	-0,3261	-0,4069	-0,4955	-0,2173
4	-0,3586	-0,3236	-0,3916	-0,4051	-0,4976	-0,3080
5	-0,4604	-0,4670	-0,4802	-0,4350	-0,2973	-0,4501
6	-0,4567	-0,4420	-0,4876	-0,4025	-0,7168	-0,4011
7	-0,2909	-0,2505	-0,3064	-0,3087	-0,5435	-0,3125
8	-0,2393	-0,1971	-0,2755	-0,3071	-0,4755	-0,1473
9	-0,0649	-0,0074	-0,0799	-0,1282	-0,5297	-0,0655
10	0,3858	0,3739	0,3251	0,3568	0,4551	0,5270
11	0,0523	0,0732	0,0777	0,0008	-0,2399	0,1903
12	-0,0452	-0,0499	-0,0042	-0,0888	0,0231	0,1264
13	-0,0699	-0,0752	-0,0580	-0,1081	0,0085	0,1014
14	-0,0556	-0,0754	-0,0322	-0,0647	0,0331	0,1477
15	-0,2064	-0,2248	-0,1467	-0,1970	-0,1519	-0,0466
16	-0,0031	0,0581	0,1833	-0,0793	-0,4714	0,0251
17	0,2560	0,2491	0,3864	0,2413	0,4174	0,2375
18	-0,1709	-0,1356	-0,0650	-0,2324	-0,3352	-0,1521
19	-0,1726	-0,1394	-0,0872	-0,2356	-0,2893	-0,1617
20	-0,0541	-0,0198	0,0339	-0,1324	-0,1279	-0,0833
21	0,0920	0,1247	0,2003	-0,0058	0,1329	-0,0168
22	-0,4581	-0,4461	-0,3316	-0,5667	0,0054	-0,3558
23	-0,0653	0,0134	-0,0925	-0,1736	-0,5493	-0,0460
24	-0,4070	-0,3714	-0,5386	-0,4877	-0,2215	-0,4751

Tabla 25: Coeficiente de correlación lineal de Pearson. Resaltados coeficientes de correlación lineal de Pearson menores de -0,5 y en negrita el mayor valor de correlación obtenido por cada agrupación de especies.



La salud de las masas forestales de Aragón. Relación de los daños por agentes abióticos con anomalías climáticas (sequías).

Meses acumulados	Total de especies	Pinares	Sabinares	Quercíneas	Salicáceas	Resto frondosas
1	0,0530	0,0856	0,0869	0,0078	0,1305	0,0116
2	<b>0,3757</b>	<b>0,3972</b>	<b>0,3939</b>	<b>0,2818</b>	<b>0,6132</b>	<b>0,3813</b>
3	0,1353	0,1188	0,1063	0,1655	0,2455	0,0472
4	0,1286	0,1047	0,1534	0,1641	0,2476	0,0948
5	0,2120	0,2181	0,2305	0,1892	0,0884	0,2025
6	0,2086	0,1954	0,2378	0,1620	0,5138	0,1608
7	0,0846	0,0628	0,0939	0,0953	0,2954	0,0977
8	0,0573	0,0389	0,0759	0,0943	0,2261	0,0217
9	0,0042	0,0001	0,0064	0,0164	0,2806	0,0043
10	0,1488	0,1398	0,1057	0,1273	0,2071	0,2777
11	0,0027	0,0054	0,0060	0,0000	0,0575	0,0362
12	0,0020	0,0025	0,0000	0,0079	0,0005	0,0160
13	0,0049	0,0057	0,0034	0,0117	0,0001	0,0103
14	0,0031	0,0057	0,0010	0,0042	0,0011	0,0218
15	0,0426	0,0506	0,0215	0,0388	0,0231	0,0022
16	0,0000	0,0034	0,0336	0,0063	0,2223	0,0006
17	0,0656	0,0620	0,1493	0,0582	0,1742	0,0564
18	0,0292	0,0184	0,0042	0,0540	0,1123	0,0231
19	0,0298	0,0194	0,0076	0,0555	0,0837	0,0261
20	0,0029	0,0004	0,0012	0,0175	0,0164	0,0069
21	0,0085	0,0156	0,0401	0,0000	0,0177	0,0003
22	0,2099	0,1990	0,1100	0,3211	0,0000	0,1266
23	0,0043	0,0002	0,0086	0,0301	0,3017	0,0021
24	0,1656	0,1379	0,2901	0,2378	0,0491	0,2257

Tabla 26: Coeficiente de ajuste  $R^2$

Los mayores coeficientes de correlación se obtienen con índices SPEI acumulados en el entorno de los 2 meses, lo que indica que la defoliación media anual depende fundamentalmente de las características de la estación de crecimiento del año de evaluación.

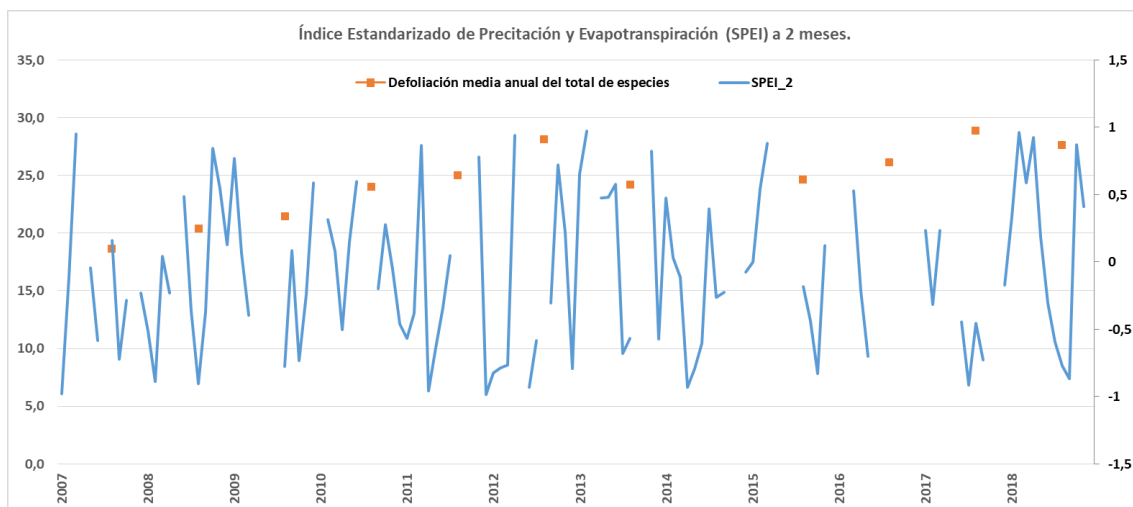


Figura 63: índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) a 2 meses.

El valor de los coeficientes de correlación obtenidos es muy bajo, lo que puede ser debido a la gran variabilidad de fisiografía, suelos y climas que se presenta en Aragón, y a la complejidad de las relaciones entre los factores bióticos y abióticos responsables de la defoliación. Dicho resultado coincide con otros estudios de este tipo (Seidling, 2007).

Por otra parte, es también lógico suponer que la respuesta de la vegetación a la sequía responde a valores umbral, de forma que sequías extremas van a condicionar fuertemente los valores de la defoliación, mientras que sequías de menor intensidad no condicionan de forma determinante la respuesta de la vegetación, debiéndose esta fundamentalmente a la combinación de otros factores bióticos y abióticos.

## 9. Conclusión

Los bosques existen desde hace millones de años y en todo este periodo han ido experimentando transformaciones debido a cambios climáticos, variando así su distribución, su composición y su estructura. En este contexto general, en la CC. AA de Aragón viene observando una continuada pérdida del vigor del arbolado en las últimas décadas.

Diversos estudios han demostrado la estrecha relación entre el cambio climático y alteraciones en el crecimiento y la salud de las masas de arbolado. Aragón se engloba en su mayoría en la región biogeográfica mediterránea, considerada una de las que puede verse gravemente afectada por las consecuencias del cambio climático y sus derivados eventos extremos, como es el estrés hídrico, las sequías o el incremento de incendios.

En este contexto, los organismos encargados de la gestión forestal y la conservación de la biodiversidad necesitan adquirir el mayor conocimiento sobre la situación actual del arbolado, su evolución y su capacidad de adaptación. Este conocimiento, es fundamental para poder afrontar, una gestión forestal adecuada pudiendo planificar y desarrollar acciones adaptadas a la situación, minimizando los impactos negativos sobre el bosque y pudiendo aumentar la resiliencia de la vegetación ante dicho cambio.

Uno de los objetivos de este TFM era analizar los datos correspondientes sobre la dinámica de defoliación en la Comunidad Autónoma de Aragón. El presente trabajo ha permitido establecer que efectivamente la defoliación está experimentando un rápido aumento en la totalidad del territorio aragonés y que dicho aumento muestra una importante correlación con periodos climáticos de sequía.

El estudio, ha puesto de manifiesto el aumento de la defoliación a nivel general sobre el total de las especies. Los datos muestran una tendencia hacia el empeoramiento, con una marcada influenciada de las sequias, las cuales implican una pérdida de vigor y empeoramiento del estado sanitario del arbolado aragonés. En este sentido, el 27.62% de defoliación en el año 2018 denota el pobre estado fitosanitario de las masas forestales aragonesas, con defoliaciones en general moderadas. Destacando el hecho de que dicho aumento de la defoliación se ha traducido en un aumento de los puntos de seguimiento afectados por defoliación moderada o moderada grave.

En cuanto a las agrupaciones de especies estudiadas, todas ellas presentan una evolución similar, pero son los pinares aquellos que presentan un aumento mayor en la defoliación. Si bien, al aumentar la defoliación, eso nos indica que es mayor el número de puntos de seguimiento que se encuentran mayormente dañados, siendo casi un 60% de los puntos dañados, es decir con un valor de defoliación mayor al 25%. Si se observan las provincias o zonas más afectadas se constata que es la provincia de Zaragoza aquella que se mayormente afectada con cifras de defoliación más elevadas, y por tanto aquella provincia en la cual se debe de actuar de manera más urgente.

Comparándolo con la situación nacional, estos valores se sitúan en valores medios, observándose de igual forma un empeoramiento general en todo el país en estos últimos años. Aunque Aragón es la comunidad que presenta unos valores de defoliación mayores, de forma que en 2018 tanto en coníferas como frondosas se mostraron mayores porcentajes de pies dañados que en la media nacional (IDF Red nivel I,2018). En comparación con las Comunidades Autónomas limítrofes

presenta valores similares a los de Castilla y León o Cataluña, y algo mejores que los de las masas de Castilla-La Mancha y Comunidad Valenciana.

Dicho empeoramiento ha sido constante desde 1988, con un primer hito en 1995 coincidiendo con un fuerte periodo de sequía, después del cual hubo una recuperación hasta el año 2002 en el que se produjo un nuevo empeoramiento, tras el cual se produjo una ligera mejoría. Sin embargo, el intervalo entre 2012 y 2017 es cuando se han experimentado los peores valores de defoliación desde el inicio del seguimiento en el año 1988.

Una vez que se tiene en cuenta dichos valores de defoliación, se ha analizado la provincia de Zaragoza desde el punto de vista de dos de sus principales géneros, *Pinus spp.* y *Quercus spp.* y de estos dos sus especies más abundantes, *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*. Efectivamente estos dos géneros siguen la misma tendencia general hacia al aumento de la defoliación, pero es el género *Pinus spp.* una vez más el que presenta un peor estado fitosanitario en la provincia. Al igual que a nivel de especie es el pino carrasco el que presenta un peor estado, significativamente peor que la encina.

Respecto al estudio de la intensidad media de los daños, sobre agentes abióticos, hongos y parásitos, insectos u otros daños. Se ha observado como la mayor intensidad media de daños provocados por agentes causantes de defoliación se debe a daños por competencia y a daños abióticos, y en bastante menor medida a enfermedades y plagas, siendo los daños por agentes abióticos aquellos que han experimentado un mayor aumento en el periodo estudiado. Estos son los daños mayormente relacionados con valores climáticos, y en particular a los eventos de sequía severa, con un claro repunte en los años 2009, 2012 y 2017, con efectos que parecen acumulativos, superando cada máximo de daños por sequía el máximo anterior.

Por último, la utilización del Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI) ha permitido establecer la relación entre los periodos o años con valores de defoliación mayores con periodos de sequía. Los resultados obtenidos muestran efectivamente una fuerte relación entre los periodos de sequía con los aumentos en los valores de defoliación. En cada una de las especies analizadas se muestra un claro aumento de los valores de defoliación en los años 2012 y 2017, lo que coincide con dos épocas de fuertes sequías.

## **10. Agradecimientos**

Agradezco a la Diputación General de Aragón, a su Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, y en especial a Álvaro Hernández Jiménez, Jefe de Sección de Sanidad Forestal, por la sesión de los datos sobre defoliación en la provincia de Aragón, sin los cuales este trabajo no hubiera sido posible. Además, de por su ayuda constante en todo este proceso de realización de este Trabajo de Fin de Máster.

A Luis Alberto Longares como tutor, por su ayuda y consejo. Y, sobre todo, por abrirme las puertas a poder trabajar en este tema de investigación junto a profesionales como son el mismo o Álvaro Hernández.

Además, debo de mencionar a todos mis compañeros y profesores del Máster sin los que no hubiera sido lo mismo este último año. Y, por último, pero no por ello menos importante, agradecer a mi familia y amigos por haber estado a mi lado durante todo este proceso.

## 11. Referencias

Chica-Olmo, M., (2005). La geoestadística como herramienta de análisis espacial de datos de inventario forestal. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (19), 47-55.

Estudios medioambientales S.L., (2014). Mantenimiento y toma de datos de la red europea de seguimiento a gran escala de los bosques de España (Red de Nivel I). Módulo 04: Resultados Aragón. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Gallardo, A., (2006). Geoestadística. Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología del Medio Ambiente.

Hernández, A. El estado sanitario de las masas arboladas de la provincia de Zaragoza en los últimos años. Análisis a través de bases de datos de seguimiento. Documento inédito.

Servicio de Planificación y Gestión Forestal del Gobierno de Aragón, (2018). Análisis y diagnóstico del estado forestal del monte aragonés. Evolución, estado actual y tendencias de los espacios y recursos forestales de Aragón.

Servicio de Planificación y Gestión Forestal del Gobierno de Aragón, (2018). Análisis y diagnóstico del escenario natural del monte aragonés. Los espacios forestales en la conservación de la biodiversidad y el patrimonio natural de Aragón.

Lorenz, M., Becher, G., Mues, V., Fischer, R., Ulrich, E., Dobbertin, M., Stofer, (2004). Forest Condition in Europe. 2004 Technical Report. Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH).

Michel, A. Seidling, W. and Prescher, AK., (2018). Forest Condition in Europe 2018 Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). BFW-Dokumentation 25/2018. Vienna BFW Austrian Research Centre for Forest.

Manion, P. D. (1991). Tree Disease Concepts. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, Estados Unidos.

Oliva, J., Boberg, J. B., Hopkins, A. J. M., Stenlid, J., (2013). Concepts of Epidemiology of Forest Diseases. En: Gonthier, P., Nicolotti, G. (eds.). Infectious forest diseases. Publisher: CAB International, pp.1-28.

Ostry, M.E., Venette, R.C. and Juzwik, J. (2011) Decline as a disease category: is it helpful? *Phytopathology* 101, 404–409.

Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, K. A. G., 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* 232 (2019) 8–27

Salinas, C., Peña, D., González Hidalgo, J. C., Serrano, V., Martín, S., Tomas Burguera, M., & Beguería, S. (2018). Análisis espacio-temporal de alta resolución de los episodios de sequía en España peninsular (1961-2014).

Sangüesa-Barreda, G., Camarero, J. J., Linares, J. C., Hernández, R., Oliva, J., Gazol, A., González de Andrés, E., Montes, García-Martín, F., de la Riva, J. (2015). Papel de los factores bióticos y las sequías en el decaimiento del bosque: aportaciones desde la dendroecología. *Ecosistemas* 24(2): 15-23.



Seidling, W., (2007). Signals of summer drought in crown condition data from the German Level I network. *Eur J Forest Res* (2007) 126: 529. <https://doi.org/10.1007/s10342-007-0174-6>.

Serrada, R., (2017). Medio físico y decaimiento de rodales de *Pinus halepensis* Mill. en la Comunidad Valenciana. 7º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

Sotter, A. P. R., Ipiá, A. H. S., Vaca, W. L. S., & Pulido, J. W. C. (2002). Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental. *Ingeniería*, 7(2), 31-38.

Vicente-Serrano S.M., Santiago Beguería, Juan I. López-Moreno, (2010). A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.

Yeste Donaire, P., García-Valdecasas, M., Romero Jiménez, E., Gámiz-Fortis, S., Castro Díez, Y., Parra, E., & Jesús, M. (2018). Evaluación de sequías estacionales para la Península Ibérica mediante los índices SPEI y SPAEI.