

EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE 20 ÁRBOLES AFECTADOS POR EL INCENDIO DEL VALLE DE IRUELAS (ÁVILA)

AUTORES: FELIPE BRAVO OVIEDO E IRENE RUANO BENITO
CON EL APOYO TÉCNICO DE ANA MARTÍN ARIZA

4 DE NOVIEMBRE DE 2020

INFORME DENDROCRONOLÓGICO

VALLE DE IRUELAS

INFORME DENDROCRONOLÓGICO VALLE DE IRUELAS



Felipe Bravo Oviedo, Dr. Ingeniero de Montes, es catedrático de planificación forestal en la Universidad de Valladolid (campus de Palencia) y director del Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid-INIA

Irene Ruano Benito, Dra. Ingeniera de Montes, es investigadora postdoctoral en el Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid-INIA

Ana Martín Ariza, Ingeniera de Montes, es técnico de investigación en el Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid-INIA

Maquetación y fotografías: Pilar Valbuena Pérez
Imágen página 4: www.laverdaddelosarboles.com

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y MARCO DEL INFORME	6
CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES ESTUDIADOS	7
METODOLOGÍA UTILIZADA	8
DATOS CLIMÁTICOS	10
CRECIMIENTOS RADIALES	12
DATACIÓN DE LOS ÁRBOLES Y ESTIMACIONES DE	
BIOMASA Y CARBONO	12
AJUSTE DE MODELOS DE CRECIMIENTO	16
CONCLUSIONES	18
BIBLIOGRAFÍA	20

La Verdad de los Árboles

HISTORIAS RESCATADAS DE LA MEMORIA DE UN BOSQUE

BASADO EN HECHOS REALES

BASADA EN HECHOS REALES



01

EDAD	127
ESPECIE	PINUS PINASTER
ORIGEN	NATURAL
ALTURA(m)	9
PERÍMETRO(cm)	196
POSICIÓN	40° 21' 36" N 4° 35' 28" W
CO2 FIJADO	2594 KG CO2

Un ejemplar longevo, testigo de numerosos cambios a su alrededor, marcados por la continua apuesta del hombre por el desarrollo, y cuyo crecimiento y muerte han estado fuertemente condicionados por el cambio climático.

BASADA EN HECHOS REALES



02

EDAD	40
ESPECIE	PINUS PINASTER
ORIGEN	NATURAL
ALTURA(m)	14
PERÍMETRO(cm)	159
POSICIÓN	40° 21' 33" N 4° 35' 18" W
CO2 FIJADO	1758 KG CO2

Uno de los últimos árboles nacidos por regeneración natural en el Valle, cuyo principio y final ha estado marcado por los incendios forestales.

BASADA EN HECHOS REALES



03

EDAD	27
ESPECIE	PINUS SYLVESTRIS
ORIGEN	REFORESTACIÓN
ALTURA(m)	9
PERÍMETRO(cm)	91
POSICIÓN	40° 21' 33" N 4° 35' 18" W
CO2 FIJADO	566 KG CO2

Un árbol joven, reflejo de los esfuerzos por paliar los efectos devastadores de los incendios forestales a través de la reforestación, que murió antes de alcanzar su plenitud.



Escucha lo que los árboles tienen que decirnos.

HISTORIAS
RESCATADAS
DE LA
MEMORIA DE
UN BOSQUE

WWW.LAVERDADDELOSARBOLES.COM

INTRODUCCIÓN Y MARCO DEL INFORME

EN ESTE INFORME SE PRETENDE RECONSTRUIR EL CRECIMIENTO RADIAL DE 20 ÁRBOLES REPRESENTATIVOS DEL BOSQUE INCENDIADO EN EL VALLE DE IRUELAS EN 2019.

En el presente informe se analizan dendrocronológicamente 10 árboles supervivientes y 10 árboles afectados por el incendio ocurrido en el Valle de Iruelas (Ávila) en el año 2019. El Valle de Iruelas, situado en el oriente de la Sierra de Gredos, se declaró Reserva Natural el año 1997. Esta declaración realizada por la Junta de Castilla y León protege un total de 8.828 hectáreas de ecosistemas naturales que merecieron esta protección por su rareza, fragilidad, importancia y singularidad. Dentro de la Reserva Natural Valle de Iruelas (Ávila) se encuentra el monte 'Valle de Iruelas' número 60 del catálogo de montes de Utilidad Pública de Ávila. Este monte pertenece a la Mancomunidad Municipal denominada Asocio de la extinguida Universidad y Tierra de Ávila, y es gestionado por la Junta de Castilla y León. Este monte está ordenado desde el año 1886 de forma que se garantiza la sostenibilidad de su gestión.

El monte 'Valle de Iruelas', núcleo de la Reserva Natural, tiene una superficie de 5.575 hectáreas distribuidas entre los pueblos de El Barraco y Navalunga ambos en la provincia de Ávila. De acuerdo con la entidad gestora del monte, del total de la superficie cerca de 4.000 ha están arboladas y de éstas, una cuarta parte son repoblaciones realizadas desde los años 90 del pasado siglo. Estas

repoblaciones se realizaron fundamentalmente con *Pinus sylvestris*. El resto de la masa arbórea es un pinar mixto donde domina el *Pinus pinaster* acompañado por *Pinus nigra* y *Pinus sylvestris* y en menor medida quercíneas (*Quercus ilex* y *Quercus pyrenaica*). Además, en zonas especialmente aptas aparecen otras especies como castaños, alisos, fresnos, tejos y acebos. En el monte habitan unas 100 parejas reproductoras de buitre negro (*Aegipius monachus*) por lo que el monte tiene una especial importancia para la conservación de la biodiversidad.

Los incendios han formado parte del paisaje del Valle de Iruelas durante el último siglo. Desde la entidad gestora se relatan cinco grandes incendios anteriores al que nos ocupa (en los años 1898, 1900, 1978, 1980 y 1995) así como que frecuentemente se producen numerosos conatos. El origen de los incendios más frecuente son los rayos. Dada la escarpada orografía del terreno se generan frecuentemente grandes incendios como el del año 2019 que también fue originado por un rayo y afectó fundamentalmente al pinar.

En este informe se pretende reconstruir el crecimiento radial de 20 árboles representativos del bosque incendiado en el Valle de Iruelas en 2019.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES ESTUDIADOS

Un total de 20 árboles se han analizado en el presente estudio. La selección de los árboles a estudiar y recogida de muestras se realizó siguiendo criterios de representatividad y accesibilidad por parte de la empresa Bosques Sostenibles en septiembre del año 2020.

10 árboles que murieron en el incendio se apearon para obtener una rodaja completa y estudiar sus anillos. En la tabla 1 se muestran las principales características de los árboles según la descripción aportada por la empresa Bosques Sostenibles. De los 10 árboles apeados 3 son pinos negrales (*Pinus pinaster*) y 7 son pinos albares o silvestres (*Pinus sylvestris*).

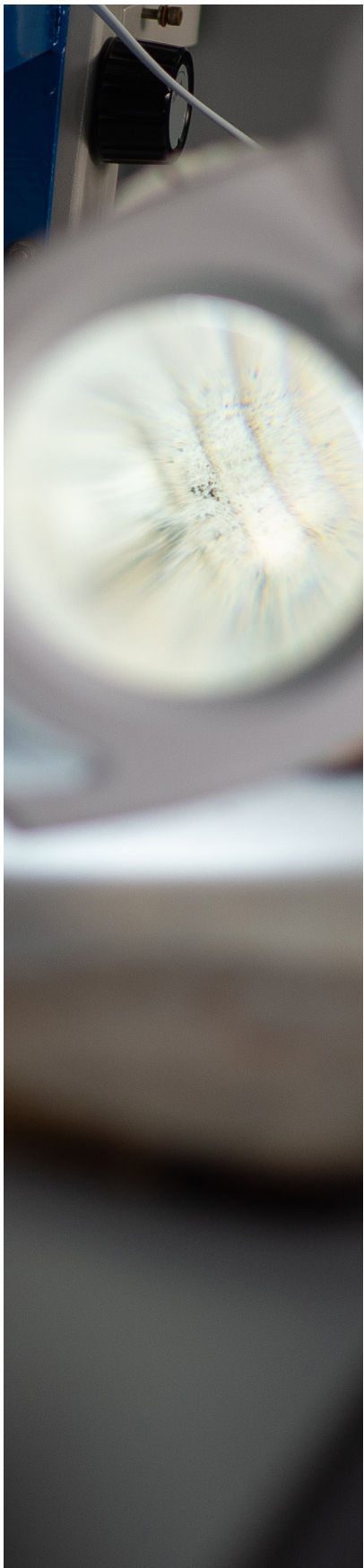
CÓDIGO	ESPECIE	ORIGEN PROBABLE	ALTURA APROXIMADA (M)	PERÍMETRO NORMAL (CM)
1	PINUS PINASTER	REGENERACIÓN NATURAL	12	99
2	PINUS PINASTER	REGENERACIÓN NATURAL	14	159
6A	PINUS SYLVESTRIS	REGENERACIÓN NATURAL	12	169
8A	PINUS SYLVESTRIS	REGENERACIÓN NATURAL	18	70
7A	PINUS PINASTER	REPOBLACIÓN	9	196
1A	PINUS SYLVESTRIS	REPOBLACIÓN	9	91

Tabla 1 Características de los árboles muertos en el incendio y apeados para obtener una rodaja completa.

Además, también se obtuvieron 20 canutillos o cores (2 por árbol) de 10 árboles supervivientes al incendio. 9 son pinos negrales (*Pinus pinaster*) y 1 es pino albar o silvestre (*Pinus sylvestris*) (Tabla 2).

CÓDIGO	ESPECIE	PERÍMETRO NORMAL (CM)
1	PINUS PINASTER	195
2	PINUS SYLVESTRIS	216
3	PINUS PINASTER	160
4	PINUS PINASTER	140
5	PINUS PINASTER	160
6	PINUS PINASTER	190
7	PINUS PINASTER	215
8	PINUS PINASTER	170
9	PINUS PINASTER	207
10	PINUS PINASTER	152

Tabla 2 Características de los árboles supervivientes en el incendio y barrenados para obtener dos cores por árbol



METODOLOGÍA UTILIZADA

UNA VEZ EN EL LABORATORIO LAS RODAJAS DE LOS ÁRBOLES SELECCIONADOS (IMAGEN 1) FUERON SOMETIDAS AL PROCEDIMIENTO HABITUAL QUE CONSISTE EN:

1.

Secado de la muestra.

2.

Selección de dos áreas a escanear dentro de cada rodaja. Para ello se mide el perímetro y se calcula un radio teórico considerando la muestra una circunferencia. Entonces se buscan dos caminos que desde el centro al borde midan ese radio teórico.

3.

Desbastado, lijado y pulido de las áreas a escanear de una manera progresiva, primero con lijas de grano grueso y se va rebajando hasta lijas de grano fino (imagen 2 y 3)

4.

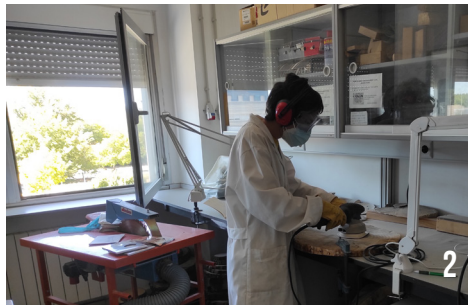
Marcaje previo a lápiz con la lupa del anillo formado en cada década (imágenes 4, 5 y 6).

5.

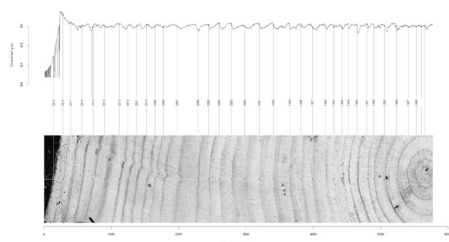
Escaneo de las áreas seleccionadas.

6.

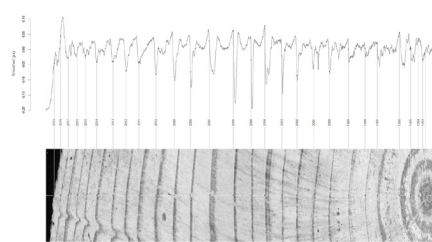
Análisis con el programa measuRing (Lara et al, 2018) desarrollado por nuestro laboratorio y que está disponible como paquete del programa de análisis estadístico R (<https://cran.r-project.org/web/packages/measuRing/index.html>).



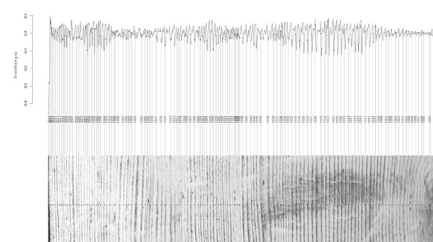
En las imágenes 7, 8 y 9 se muestran tres imágenes del análisis de los escaneados con el programa measuRing.



7



8



9

EN EL CASO DE LOS CORES EL TRATAMIENTO EN LABORATORIO ES SIMILAR:



10



11



12

1.

Pegado de la muestra sobre un soporte de madera (imágenes 10 y 11).

2.

Secado de la muestra.

3.

Lijado y pulido de los cores de una manera progresiva, primero con lijas de grano grueso y se va rebajando hasta lijas de grano fino (imagen 12).

4.

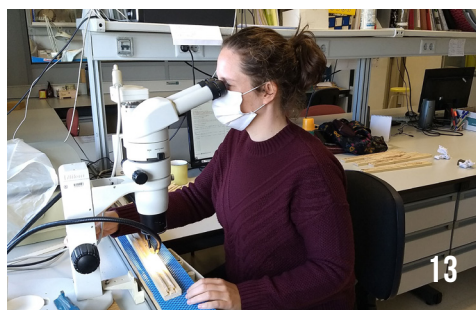
Marque a lápiz con la lupa del anillo formado en cada década (imagen 13).

5.

Escaneo (imagen 14).

6.

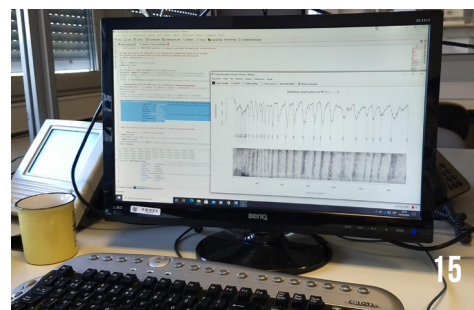
Análisis con el programa measuRing (Lara et al, 2018) desarrollado por nuestro laboratorio y que está disponible como paquete del programa de análisis estadístico R (<https://cran.r-project.org/web/packages/measuRing/index.html>).



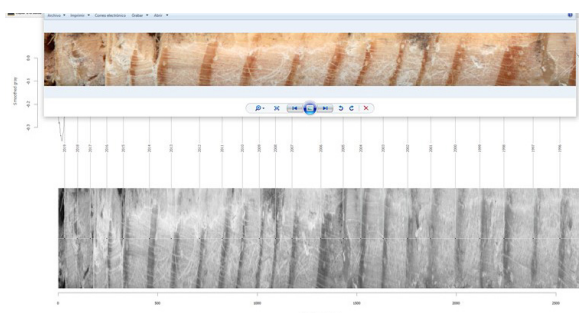
13



14



15



16

En la imagen 16 se puede ver la imagen de un core escaneado y analizado con la librería de R measuRing.

DATOS CLIMÁTICOS

Los datos climáticos se han obtenido para la localización de los árboles con los datos raster-brick SPAIN02 generados para toda España por Herrera et al (2012 y 2016). Para ello se usó una interpolación en la que la altitud se incluyó como covariable para la estimación de temperaturas, mientras que la precipitación se estimó con el método geoestadístico de Kriging Ordinario. La extracción de los valores se realizó con el software estadístico R Core Team 2020 con la ayuda del paquete 'ncdf4' (Pierce 2019). Gracias a este método disponemos de datos climáticos desde 1950 a 2015 para el valle de Iruelas.

Se dispone de datos climáticos mensuales con los que se ha calculado la precipitación total anual, temperatura media anual, temperatura máxima anual y la temperatura mínima anual. Se ha definido la lluvia de verano como la suma de las precipitaciones en junio, julio y agosto y la temperatura media de verano como la temperatura media en junio, julio y agosto. Además, se ha calculado el índice de aridez de Martonne que es un índice termopluviométrico que se calcula dividiendo la precipitación total anual (en mm) entre la temperatura media anual (en °C): $IM=P/(T+10)$. Los datos medios, mínimos y máximos se muestran en la tabla 3.

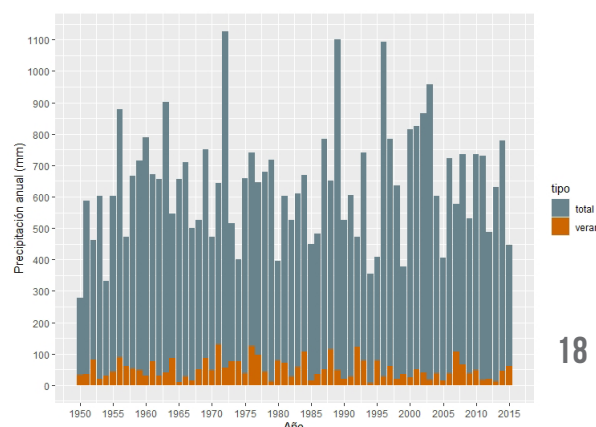
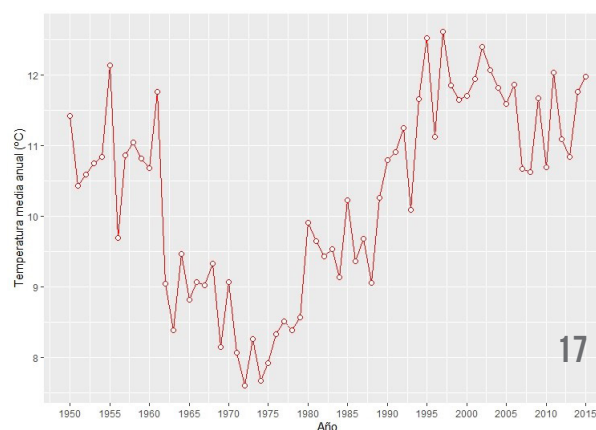
El índice de aridez de Martonne permite clasificar la zona según su grado de aridez. Para valores entre 20 y 30 se considera semiárida y para valores mayores de 30, húmeda. En este caso tenemos un valor cercano a 30 por lo que estamos en el límite de ser una zona semiárida de acuerdo con este índice.

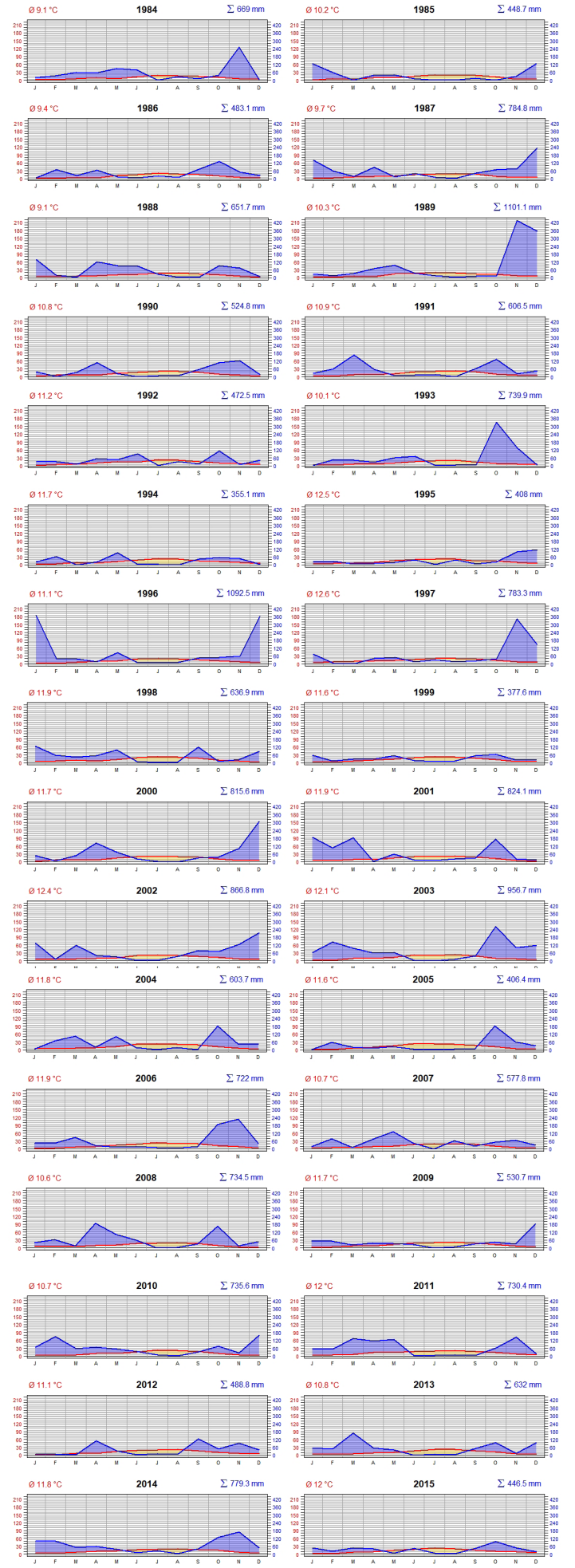
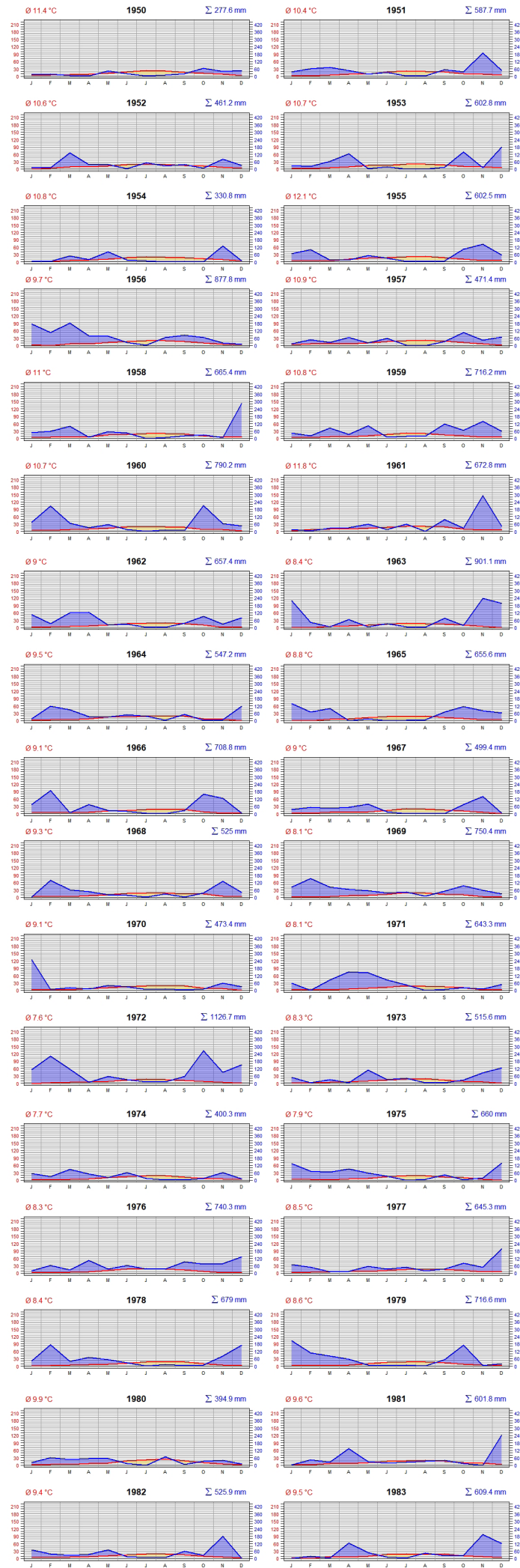
Gráficamente podemos ver la evolución de las variables climáticas de esta serie de años. Entre las décadas de los 60 y los 80 la temperatura media anual fue menor que en resto de la serie (imagen 17). Respecto a la precipitación se ha considerado la precipitación total y la de los meses de verano, que son los meses en los que se produce sequía. Gráficamente se puede ver que los años con mayor precipitación no siempre coincide con los años de mayor precipitación en verano (imagen 18). Además, se observa una mayor irregularidad en la serie de años, no como en la serie de temperatura media anual que hay dos décadas con un descenso claro respecto al resto.

Para poder identificar bien los años o series de años con mayor sequía se calcularon los climodiagramas anuales de Walter-Lieth (imagen 19). Un climodiagrama es un gráfico con dos ejes de ordenadas en los que se presentan los valores mensuales de precipitación y temperatura. Este gráfico muestra los valores de temperatura y precipitación, pero también la duración y severidad del frío en invierno, la posibilidad de ocurrencia de heladas o la aridez o sequía estival (cuando la curva de precipitaciones está por debajo de la curva de la temperatura). En general no hay intervalos de grandes sequías, e incluso se encuentran años con apenas déficit hídrico (por ejemplo 1961, 1972, 1976, 1977) pero sí que se observa una tendencia de aumento de déficit hídrico con el tiempo ya que a partir de 1990 la curva de temperatura está por encima de la de precipitaciones con mayor frecuencia e intensidad.

VARIABLE CLIMÁTICA	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO
PRECIPITACIÓN ANUAL (MM)	277,61	636,67	1126,70
TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	7,60	10,30	12,61
TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL (°C)	25,44	29,87	33,39
TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL (°C)	-8,21	-4,07	-0,31
PRECIPITACIÓN VERANO (MM)	7,09	51,20	128,89
TEMPERATURA VERANO (MM)	13,61	18,55	22,32
ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONNE	12,96	31,56	64,00

Tabla 3 Datos mínimos, medios y máximos de las variables climáticas calculadas.

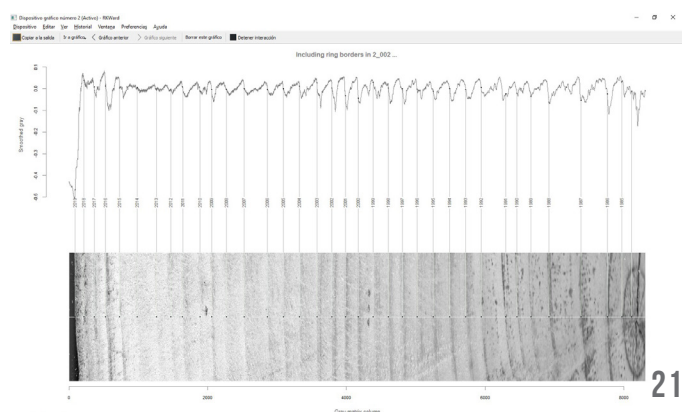
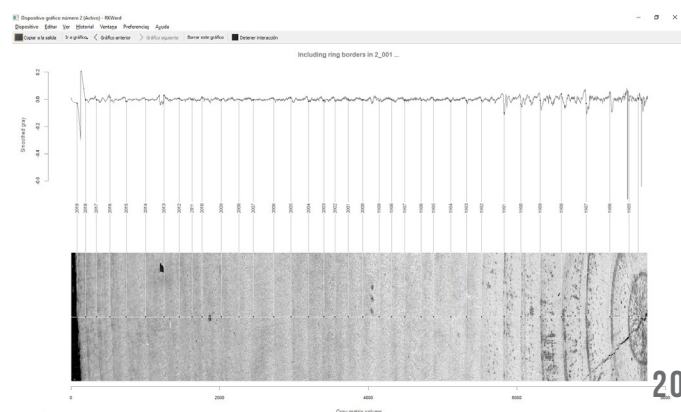




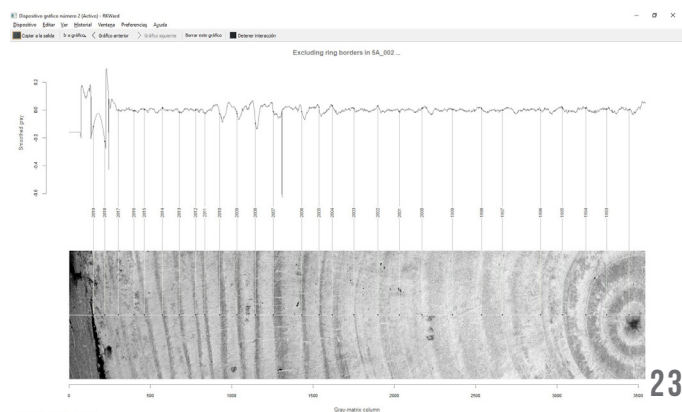
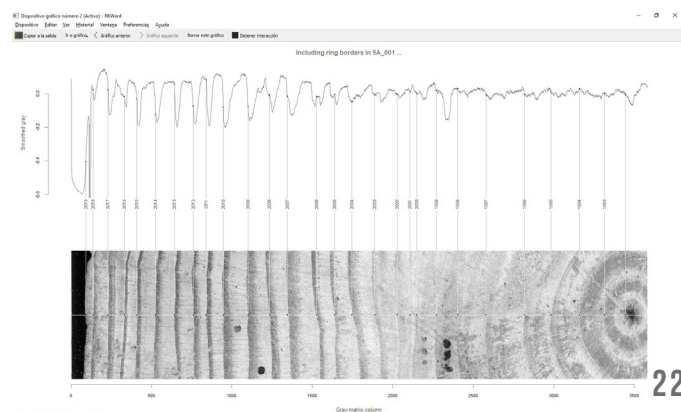
CRECIMIENTOS RADIALES

De cada árbol estudiado se analizan dos imágenes de crecimiento radial para calcular con ellos un crecimiento medio. En el caso de las rodajas se seleccionan dos caminos que desde el centro al borde representen el radio de una circunferencia que tenga el perímetro de la muestra. En el caso de los cores, se toman dos muestras en cada árbol para poder calcular dicho crecimiento medio. A continuación, se muestran las dos imágenes de un árbol de cada especie (imágenes 20, 21, 22 y 23).

ÁRBOL 2 (PINUS PINASTER, 35 AÑOS)



ÁRBOL 5A (PINUS SYLVESTRIS, 27 AÑOS)



DATACIÓN DE LAS RODAJAS Y ESTIMACIONES DE BIOMASA Y CARBONO

El apeo del árbol es un método destructivo para conseguir las muestras dendrocronológicas pero permite conocer con exactitud la edad del árbol. En este estudio se ha podido comprobar que los árboles que no sobrevivieron al incendio y que fueron apeados para obtener una rodaja tenían entre 22 (árbol 2A) y 127 (árbol 7A) años en el momento del incendio (Tabla 4). Con esto se comprobó que la presencia del pino negral en la zona estudiada es anterior al siglo XX. Aunque el árbol 7A está en una zona repoblada, dada su edad, se considera que debe provenir de regeneración natural y haber quedado como testigo del pinar maduro que, seguramente, tras un incendio fue repoblado. Los cores no se han datado debido a la dificultad de llegar al centro del árbol y saber exactamente su edad.

CÓDIGO	PRIMER ANILLO	EDAD	ESPECIE	ORIGEN PROBABLE	ALTURA APROXIMADA (M)	PERÍMETRO NORMAL (CM)	DIÁMETRO NORMAL (CM)
1	1984	35	PINUS PINASTER	REGENERACIÓN NATURAL	12	99	31,51
2	1984	35	PINUS PINASTER	REGENERACIÓN NATURAL	14	159	50,61
6A	1992	27	PINUS SYLVESTRIS	REGENERACIÓN NATURAL	12	169	53,79
8A	1992	27	PINUS SYLVESTRIS	REGENERACIÓN NATURAL	18	70	22,28
7A	1892	127	PINUS PINASTER	REPOBLACIÓN	9	196	62,39
1A	1992	27	PINUS SYLVESTRIS	REPOBLACIÓN	9	91	28,97
3A	1992	27	PINUS SYLVESTRIS	REPOBLACIÓN	9	86	27,37
4A	1992	27	PINUS SYLVESTRIS	REPOBLACIÓN	9	103	32,79
5A	1992	27	PINUS SYLVESTRIS	REPOBLACIÓN	9	70	22,28
2A	1997	22	PINUS SYLVESTRIS	REPOBLACIÓN	9	95	30,24

Tabla 4 Características de los árboles apeados y su datación.

Para tener unas cifras de lo que significan los árboles estudiados, en la tabla 5 se puede ver su volumen con corteza (m_2), su incremento anual en volumen con corteza y el carbono acumulado. También se conoce el CO_2 fijado para el cómputo de emisiones.

Los valores de volumen se han calculado siguiendo las fórmulas del Inventario Forestal Nacional que son:

$$VCC_{P.sylvestris} = 0,000465 * \text{diámetro}^{1,97602} * \text{altura}^{0,94143}$$

$$VCC_{P.pinaster} = 0,000464 * \text{diámetro}^{2,05937} * \text{altura}^{0,75156}$$

$$IAVC_{P.sylvestris} = -8,00209 + 0,115567 * \text{diámetro} - 0,000079 * \text{diámetro}^2$$

$$IAVC_{P.pinaster} = 1,1916 + 0,024853 * \text{diámetro} + 0,000172 * \text{diámetro}^2 - 1,2 * 10^{-7} * \text{diámetro}^3$$

CÓDIGO	EDAD	ESPECIE	VCC (M³)	IAVCI (M³)	C	CO ₂
1	35	P. PINASTER	0,4196	0,0223	0,468	1,717
2	35	P. PINASTER	1,2500	0,0422	0,468	1,717
6A	27	P. SYLVESTRIS	1,2004	0,0313	0,459	1,684
8A	27	P. SYLVESTRIS	0,3081	0,0138	0,459	1,684
7A	127	P. PINASTER	1,3799	0,0545	0,468	1,717
1A	27	P. SYLVESTRIS	0,2696	0,0188	0,459	1,684
3A	27	P. SYLVESTRIS	0,2409	0,0177	0,459	1,684
4A	27	P. SYLVESTRIS	0,3443	0,0214	0,459	1,684
5A	27	P. SYLVESTRIS	0,1604	0,0138	0,459	1,684
2A	22	P. SYLVESTRIS	0,2934	0,0197	0,459	1,684

Tabla 5. Volumen con corteza (VCC), incremento anual en volumen con corteza (IAVCI), carbono acumulado (C) y CO_2 acumulado (CO_2).

También se puede conocer la biomasa de los pies analizados a partir de los datos de Ibáñez et al (2002) y los porcentajes de carbono de Herrero et al (2011) teniendo en cuenta las partes del árbol. Los datos de biomasa aérea, biomasa radical y total (kg) se muestran en la tabla 6.

La biomasa aérea se subdivide en: tronco, ramas en función de su diámetro y en acículas. Las ramas se definen como gruesas si su diámetro es mayor de 7 cm, medias si su diámetro está entre 2 y 7 cm, y finas si su diámetro es menor de 2 cm (tabla 7).

CÓDIGO	ESPECIE	BIOMASA AÉREA	BIOMASA RAÍCES	BIOMASA TOTAL
1	P. PINASTER	248,66	70,64	319,29
2	P. PINASTER	773,10	266,72	1039,83
6A	P. SYLVESTRIS	1009,08	376,13	1385,22
8A	P. SYLVESTRIS	165,92	64,53	230,45
7A	P. PINASTER	1030,96	479,61	1510,57
1A	P. SYLVESTRIS	227,07	109,10	336,17
3A	P. SYLVESTRIS	200,45	97,38	297,83
4A	P. SYLVESTRIS	298,25	139,77	438,03
5A	P. SYLVESTRIS	127,86	64,53	192,39

Tabla 6. Biomasa aérea, biomasa de las raíces y la biomasa total de cada árbol (kg).

CÓDIGO	BIOMASA DEL TRONCO	BIOMASA RAMAS GRUESAS Y MEDIAS	BIOMASA RAMAS GRUESAS	BIOMASA RAMAS MEDIAS	BIOMASA RAMAS FINAS Y ACÍCULAS
1	190,63	19,39			38,63
2	571,23	85,89			115,98
6A	534,69		105,40	175,88	193,10
8A	137,60		0	10,90	17,42
7A	676,76	165,72		188,48	
1A	116,32		0	41,75	69,00
3A	103,83		0	35,72	60,90
4A	149,02		0	58,63	90,60
5A	68,80		0	20,32	38,73

Tabla 7 Biomasa aérea de cada árbol considerando sus partes: tronco, ramas gruesas y medias, ramas gruesas, ramas medias y ramas finas y acículas (kg).

Esta biomasa se puede traducir en carbono y CO₂ fijado para el cómputo de emisiones (Tabla 8).

CÓDIGO	SP	CARBONO PARTE AÉREA	CARBONO PARTE RADICAL	CARBONO TOTAL	CO ₂ PARTE AÉREA	CO ₂ PARTE RADICAL	CO ₂ TOTAL
1	P. PINASTER	116,37	33,06	149,43	427,08	121,32	548,40
2	P. PINASTER	361,81	124,83	486,64	1327,86	458,11	1785,97
6A	P. SYLVESTRIS	463,17	172,65	635,82	1699,83	633,61	2333,44
8A	P. SYLVESTRIS	76,16	29,62	105,78	279,49	108,70	388,20
7A	P. PINASTER	482,49	224,46	706,94	1770,73	823,75	2594,49
1A	P. SYLVESTRIS	104,22	50,08	154,30	382,50	183,79	566,29
3A	P. SYLVESTRIS	92,01	44,70	136,70	337,66	164,04	501,71
4A	P. SYLVESTRIS	136,90	64,16	201,05	502,42	235,45	737,87
5A	P. SYLVESTRIS	58,69	29,62	88,306	215,38	108,70	324,08

Tabla 8. Carbono y CO₂ fijado por cada parte aérea, radical o total de cada árbol.



HISTORIAS RESCATADAS DE LA MEMORIA DE UN BOSQUE

LA REGENERACIÓN NATURAL ES UN PROCESO CLAVE PARA LA CONTINUIDAD DE LAS MASAS FORESTALES ESPECIALMENTE EN ECOSISTEMAS COMO EL MEDITERRÁNEO.

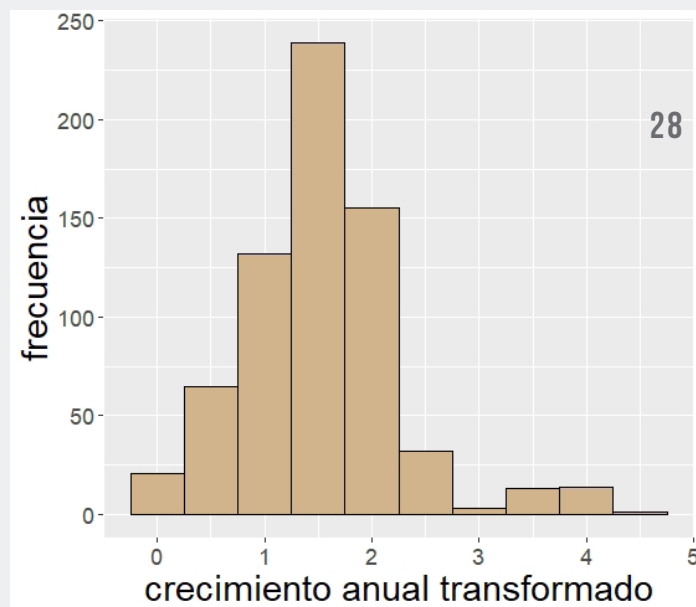
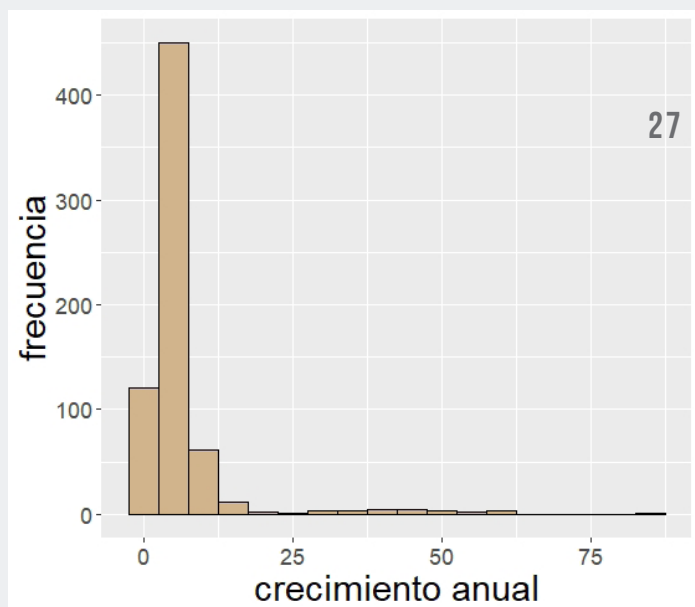
LA APLICACIÓN DE UN RÉGIMEN DE CLARAS DE FORMA SOSTENIDA FAVORECE LA RESISTENCIA, RESILIENCIA Y CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN DE LOS BOSQUES SOMETIDOS A ESTRÉS CLIMÁTICO.

LA GESTIÓN DE LOS BOSQUES ALIVIA LOS EFECTOS DEBIDOS A LA ESCASEZ DE AGUA EN LOS ÁRBOLES YA QUE CONCENTRA LOS RECURSOS DISPONIBLES EN UN MENOR NÚMERO DE INDIVIDUOS FACILITANDO LA RESILIENCIA DE LOS BOSQUES Y LAS PLANTACIONES FORESTALES.

AJUSTE DE MODELOS DE CRECIMIENTO

Con los datos de crecimiento anual obtenidos gracias al estudio dendrocronológico se pretende ajustar un modelo que relacione dicho crecimiento con diferentes variables explicativas. Para ello tenemos que tener en cuenta que existe una alta correlación entre los datos de crecimiento. Esto significa que existe una relación entre los crecimientos anuales de un mismo árbol por lo que no se pueden ajustar regresiones con todos los crecimientos anuales sin tener en cuenta dicha correlación. En este caso los modelos mixtos nos permiten tener en cuenta dicha correlación considerando ciertas variables, en este caso el árbol, como efecto aleatorio.

Se han ajustado diferentes modelos mixtos para ver la relación entre el crecimiento y diferentes variables, entre ellas climáticas con los crecimientos anuales de los veinte árboles estudiados. La variable dependiente en este caso siempre ha sido el crecimiento anual pero transformada usando el logaritmo neperiano ya que la distribución del crecimiento anual no era normal. Gráficamente podemos ver que, al transformar la variable con el logaritmo neperiano, la distribución de nuestra variable explicativa ya es normal (imágenes 27 y 28).



Como variables explicativas candidatas se han considerado:

- Diámetro del árbol correspondiente al año del crecimiento anual. Este diámetro se calculó como el doble del crecimiento acumulado más un 6% de corteza. Ese 6% de incremento de corteza se calculó en base a las muestras de las rodajas que conservaban la corteza.
- Edad del árbol correspondiente al crecimiento anual
- Especie
- Variables climáticas: Precipitación total anual, Temperatura media anual, Temperatura máxima anual, Temperatura mínima anual, Precipitación del verano (precipitación durante los meses de junio, julio y agosto), Temperatura media del verano (media de los meses de junio, julio y agosto) e Índice de aridez Martonne.

Los modelos que se ajustaron se basaron en el modelo de crecimiento definido por Bravo et al (2001). En todos ellos se consideró como efecto aleatorio el árbol para corregir la correlación. El Criterio de Información de Akaike (1974) se usó para seleccionar el mejor modelo ajustado de entre los que tenían todas sus variables explicativas significativas. Las combinaciones de variables que se probaron se muestran en la tabla 10.

MODELO	DIÁMETRO (D)	EDAD	ESPECIE	VARIABLE CLIMÁTICA	AIC
1	D: **				858,60
2	D+D ² : ***				848,28
3	D+D ² : ***	***			738,50
4	D+D ² : ***	***	NS		
5	D+D ² : ***	***		TEMPERATURA MEDIA ANUAL: ***	702,98
6	D+D ² : ***	***		TEMPERATURA MAX ANUAL: ***	708,33
7	D+D ² : ***	***		TEMPERATURA MIN ANUAL: ***	733,24
8	D+D ² : ***	***		PRECIPITACIÓN TOTAL: NS	
9	D+D ² : ***	***		ÍNDICE DE MARTONNE: ***	746,79
10	D+D ² : ***	***		PRECIPITACIÓN DE VERANO: ***	713,73
11	D+D ² : ***	***		TEMPERATURA VERANO: ***	684,46
12	D+D ² : ***	***	NS	TEMPERATURA VERANO: ***	

Tabla 10. Modelos mixtos ajustados para el crecimiento siendo: *** significatividad de 0,05; ** significatividad de 0,1; ns: no significativo; AIC: Índice de Akaike.

De todas las combinaciones probadas se consideraron los modelos cuyos parámetros tenían un nivel de significancia del 0.05 o menor. La variable especie no fue significativa, lo que nos indica que no hay diferencias significativas entre las dos especies para los crecimientos anuales. El diámetro se incluyó en el modelo como la suma del diámetro más el diámetro al cuadrado (Bravo et al 2001). La edad siempre fue significativa y entre las variables climáticas, todas fueron significativas excepto la precipitación total anual.

Para elegir el mejor modelo seguimos el criterio de selección de Akaike (AIC) (Akaike 1974). El modelo con menor índice de Akaike nos indica menor información perdida para representar el crecimiento anual. En este caso el modelo seleccionado es el 11, que incluye el diámetro, la edad y la temperatura media de verano.

Por lo tanto, el modelo de crecimiento ajustado para los árboles analizados en el valle de Iruelas es el siguiente:

$$\ln(CC) = 3,200 + 0,001 * D - 0,3 * 10^{-6} * D^2 - 0,021 * edad - 0,075 * Tverano + \epsilon$$

Siendo CC: crecimiento anual; D: diámetro.

Los coeficientes de nuestro modelo nos indican que la temperatura media de verano tiene un efecto negativo sobre el crecimiento, es decir que cuanto mayor sea la temperatura media de verano, menor será el crecimiento. Lo mismo ocurre con la edad, cuantos más años tenga, menor será el crecimiento.

CONCLUSIONES

LAS PRINCIPALES CONCLUSIONES DEL PRESENTE ESTUDIO SON:

1. EL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA REDUCE EL CRECIMIENTO DIAMÉTRICO
2. LOS VERANOS CÁLIDOS REDUCEN EL CRECIMIENTO DIAMÉTRICO DE LOS ÁRBOLES
3. LOS VERANOS CON TORMENTAS QUE BAJAN LA TEMPERATURA AMBIENTE Y AUMENTAN EL AGUA DISPONIBLE HACE QUE EL CRECIMIENTO DIAMÉTRICO DE LOS ÁRBOLES SEA SUPERIOR

Las temperaturas máximas anuales, medias anuales y medias de verano han mostrado una correlación negativa con el crecimiento, a su vez, la precipitación de verano ha mostrado una correlación positiva. También en el modelo de crecimiento ajustado hemos comprobado la significatividad de la temperatura media de verano en el crecimiento. Todos estos resultados nos muestran que, con un aumento de las temperaturas anuales y con veranos más secos, los crecimientos de *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris* en el Valle de Iruelas son menores. Estos resultados están directamente relacionados con las previsiones de aumentos de temperatura y aumentos de las sequías: se prevé que a largo plazo predominará una irregularidad climática y las sequías serán más intensas. De hecho, se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (IPCC 2007). Estos cambios hacia condiciones más cálidas y áridas tendrán efectos significativos en los ecosistemas mediterráneos, acentuando sus características como la poca disponibilidad de agua o los incendios forestales (Peñuelas 2001).

La literatura científica se ha descrito repetidamente que hay un compromiso entre el crecimiento y la reproducción (en este caso producción de piñas) de forma que los árboles tienen que definir si invierten los recursos en crecimiento o en reproducción.

Bravo et al (2017) no encontraron este efecto en pinares de *Pinus pinaster* pero otros autores sí lo encontraron para otros pinos como el *Pinus ponderosa* (Krannitz y Duralia, 2004) o el pino carrasco (*Pinus halepensis*) en España (Climent et al 2008).

La regeneración natural se puede dividir en varios sub-procesos: producción de semilla, dispersión de semilla, almacenamiento de semilla, germinación y establecimiento. Durante estos subprocesos algunos autores han definido cuellos de botella donde se pierde gran cantidad de potencial reproductivo, y otros han analizado esa pérdida como una pérdida continuada a lo largo del todo el proceso.

La regeneración natural es un proceso clave para la continuidad de las masas forestales especialmente en ecosistemas como el mediterráneo, donde existe una variabilidad climática inter-anual importante y una fuerte sequía estival, incrementado por cambio climático, y donde la regeneración natural puede ser la única opción viable. Además, es un proceso largo y complejo en el que multitud de factores pueden ponerlo en riesgo. Existen factores intrínsecos y factores extrínsecos al proceso. Algunos de los factores intrínsecos al proceso pueden ser las características edáficas y la topografía, pero uno de los más importantes es el factor climático: temperatura, humedad y los regímenes de radiación. Por otro lado, los factores extrínsecos están relacionados con la actividad humana, como pueden ser el pastoreo, los incendios provocados, el cambio de uso del suelo, los tratamientos silvícolas...

En relación a los factores climáticos, por ejemplo, se ha observado un efecto en la cantidad de lluvia de semilla de *Pinus pinaster*. Ruano et al (2015) analizaron la lluvia de semilla en pinares de Segovia considerando todo el proceso productivo en la copa, desde la polinización a la dispersión, proceso que dura tres años. Y observaron que la precipitación en las fases de crecimiento y maduración de la piña (abril y otoño de un año antes de la dispersión) tenía un efecto significativamente positivo en la cantidad de semilla dispersada. Igualmente, la temperatura mínima de octubre en la primera fase de crecimiento de la piña (dos años antes de la dispersión) también tenía un efecto positivo por lo que un incremento de las temperaturas podría disminuir la semilla disponible para regenerar. Estos resultados indican que el estrés hídrico es un factor limitante para la producción de semilla. En este estudio también se analizó la densidad de la masa y se observó que la cantidad de semilla dispersada puede que no sea suficiente para obtener una regeneración natural exitosa con bajas densidades. Por lo tanto, en términos de gestión forestal hay que tener en cuenta la intensidad de las cortas para asegurar la regeneración natural.

Bravo et al (2017) encontraron que la posición del anticiclón de las Azores (representado por el índice NAO, Northern Atlantic Oscillation), junto con la densidad del bosque y las características de los árboles definen la capacidad de regeneración *Pinus pinaster*. Este impacto se manifiesta hasta 3 años después del periodo climático considerado. Así un invierno seco favorece la floración de los pinos y si al invierno siguiente hay lluvias abundantes dos años después habrá una gran producción de piñas. Por tanto, la alternancia de inviernos secos y lluviosos ayuda a la regeneración del bosque. Por otro lado, los árboles grandes y vigorosos (como por los signos encontrados debía ser el árbol 7A) producen una gran cantidad de piñas y por tanto de semillas que podrán germinar y dar lugar a un bosque nuevo. Las densidades bajas en los pinares que se observan por mortalidad natural de los árboles o intervenciones selvícolas también favorecen la producción de piña. Por otro lado, trabajando con estas mismas especies Bogino y Bravo (2014) mediante el estudio de isótopos, encontraron que cuando los inviernos y las primaveras son húmedas los árboles, aunque crecen más, son menos eficientes en el uso de los recursos mientras que cuando los veranos son calurosos los árboles usan de forma más eficiente los recursos disponibles. De este modo la reducción en el crecimiento no es tan intensa como cabría esperar.

En el último siglo en el Valle de Irueles se han sucedido varios incendios que han afectado a las especies forestales. El fuego se considera una perturbación característica del ecosistema mediterráneo y muchas especies se han adaptado a él como la capacidad de rebrote (ej. *Pinus brutia*) o las piñas serótinas (ej. *Pinus halepensis*). A pesar de considerarse una característica de estos ecosistemas, el cambio global en términos de clima y de usos del suelo están afectando directamente las dinámicas del fuego y se espera que las zonas quemadas serán mayores y la intensidad y la frecuencia de los fuegos aumentarán (Moriondo et al 2006). Las especies mediterráneas, a pesar de estar adaptadas al fuego, pueden estar en riesgo si la frecuencia de los incendios es mayor que su edad de maduración. Es decir, si un fuego se produce y la masa se regenera, pero sucede otro incendio antes de que los árboles hayan producido semilla, la regeneración de esa masa es complicada. En este caso se necesitará sembrar o plantar para poder recuperar una masa forestal adecuada y la gestión forestal sostenible será clave para lograrlo.

Todos estos estudios nos muestran la complejidad del proceso de la regeneración, pero tienen un punto común, el clima afecta al poder reproductivo de nuestros bosques y se ve afectado por las tendencias del cambio climático pero la gestión forestal sostenible puede ser una herramienta para paliar este efecto negativo y dar continuidad a las masas forestales. La silvicultura puede contrarrestar hasta cierto punto la reducción del crecimiento forestal (y por tanto del secuestro de CO₂) mediante la aplicación de claras intensas. Olivar et al (2014) estudiando repoblaciones de *Pinus halepensis* en el norte de España, determinaron que el crecimiento está controlado por la disponibilidad de agua durante la estación de crecimiento y que las diferentes clases sociales (árboles dominantes, codominantes o dominados) tienen respuestas con intensidad diferente. La aplicación de claras intensas (entre el 30 y el 45% de reducción de área basimétrica) produce un incremento de crecimiento tanto en árboles dominantes como dominados (Olivar et al 2014).

Por tanto la gestión de los bosques alivia los efectos debidos a la escasez de agua en los árboles ya que concentra los recursos disponibles en un menor número de individuos facilitando la resiliencia de los bosques y las plantaciones forestales. La aplicación de un régimen de claras de forma sostenida favorece la resistencia, resiliencia y capacidad de recuperación de los bosques sometidos a estrés climático.

BIBLIOGRAFÍA

Akaike, H (1974) A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control 19 (6): 716-723. doi:10.1109/TAC.1974.1100705

Bogino S.M., Bravo F. (2014) Carbon stable isotope-climate association in tree rings of *Pinus pinaster* and *Pinus sylvestris* in Mediterranean environments Bosque 35(2): 175-184 DOI: 10.4067/S0717-92002014000200005

Bravo F., Maguire D. A., González-Martínez S.C. (2017) Factors affecting cone production in *Pinus pinaster* Ait.: lack of growth-reproduction trade-offs but significant effects of climate and tree and stand characteristics. Forest Systems 26 (2) <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11200>

Climent J., Prada M.A., Calama R., Chambel M.R., Sánchez de Ron D., Alía R. (2008) To grow or to seed: ecotypic variation in reproductive allocation and cone production by young female Aleppo pine (*Pinus halepensis*, Pinaceae). American Journal of Botany 95(7): 833–842. DOI: 10.1051/forest:2008025

Herrera S., Gutiérrez J.M., Ancell R., Pons M.R., Frías M.D., Fernández J. (2012) Development and Analysis of a 50 year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). International Journal of Climatology, 32:74-85 DOI: 10.1002/joc.2256

Herrero de Aza C., Turrión M.B., Pando V., Bravo F. (2011). Carbon in heartwood, sapwood and bark along the stem profile in three Mediterranean *Pinus* species. Annals of Forest Science (2011) 68:1067–1076. DOI 10.1007/s13595-011-0122-y

Ibañez J.J., Vayreda J., Gracia C. (2002) Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Catalunya. En: El inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la Gestión Forestal Sostenible. Bravo F., del Río M., del Peso C. (Eds.) 69-78

IPCC, 2007. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Krannitz P.G., Duralia T.E. (2004) Cone And Seed Production In *Pinus Ponderosa*: A Review. Western North American Naturalist Vol. 64, No. 2 208-218

Lara W., Felipe B., Sierra C.A. (2015) measuRing: An R Package to measure tree-ring widths from scanned images Dendrochronologia, 34, 43-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2015.04.002>

Moriondo M., Good P., Durao R., Bindi M., Giannakopoulos C., Corte-Real J. (2006) Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. Climate Research 31:85-95

Olivar J., Bogino S.M., Rathgeber C., Bonnesoeur V., Bravo F. (2014) Thinning has a positive effect on growth dynamics and growth-climate relationships in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) trees of different crown classes. Annals of Forest Science, 2014, 71(3), pp.395-404. Doi:10.1007/s13595-013-0348-y.

Peñuelas J. (2001) Cambios atmosféricos y climáticos y sus consecuencias sobre el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas terrestres mediterráneos. En Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional. Editado por Zamora Rodríguez, R., Pugnaire, F. I., Pugnaire de Iraola, F.I. Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Asociación Española de Ecología Terrestre, Granada, España, pp. 423-455

Pierce D. (2019) ncd4: Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier) Format Data Files. R package version 1.17. <https://CRAN.R-project.org/package=ncdf4>

R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ruano I., Manso R., Fortin M., Bravo F. (2015) Extreme climate conditions limit seed availability to successfully attain natural regeneration of *Pinus pinaster* in sandy areas of central Spain. Canadian Journal of Forest Research 45 (12) <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0257>

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE (IUFOR)

OBJETIVOS IUFOR

LA INVESTIGACIÓN, EL DESARROLLO Y LA INNOVACIÓN FORESTAL MEDIANTE LA PARTICIPACIÓN CONJUNTA EN PROYECTOS DE I+D+I.

EL APOYO A LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y LA FORMACIÓN DE PERSONAL INVESTIGADOR.

EL DESARROLLO DE LABORES COORDINADAS DE EVALUACIÓN Y DESARROLLO DE MÉTODOS DE GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE.

EL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE (IUFOR) ES UNA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE CARÁCTER MIXTO ENTRE EL INIA Y LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID QUE DESARROLLA DE FORMA CONJUNTA Y COORDINADA ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN, DESARROLLO, DIVULGACIÓN Y ASESORAMIENTO TÉCNICO.

IUFOR TRABAJA EN LOS ÁMBITOS DE LA EVALUACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES, LA MODELIZACIÓN Y GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE, LA SELVICULTURA Y LA ORDENACIÓN DE MONTES Y LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

INFORME DENDROCRONOLÓGICO VALLE DE IRUELAS

ESCUCHA LO QUE LOS ARBOLES
TIENEN QUE DECIRNOS
WWW.LAVERDADDELOSARBOLES.COM

