



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Titulación: Grado en Ciencias Ambientales

Título del trabajo:

**Respuestas del crecimiento radial del enebro
(*Juniperus communis*) a la sequía y a la
infestación por muérdago enano (*Arceuthobium
oxycedri*)**

English title:

**Radial growth responses of juniper (*Juniperus
communis*) to drought and dwarf mistletoe
(*Arceuthobium oxycedri*) infestation**

Autora

Elisa Tamudo Mínguez

Directores

Jesús Julio Camarero Martínez

José Daniel Anadón Herrera

Ponente

José Manuel Nicolau Ibarra

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, HUESCA

2021

Índice

1. Resumen	8
2. Palabras clave	8
3. Abstract	9
4. Keywords	9
5. Introducción	10
5.1. <i>Arceuthobium oxycedri</i>	10
5.2. <i>Juniperus communis</i>	15
5.3. Dendrocronología.....	17
5.4. Justificación.....	18
5.5. Objetivos.....	19
6. Área de estudio	19
6.1. Localización y caracterización general.....	20
6.1.1. Aliaga.....	21
6.1.2. Ribazada.....	23
6.1.3. Clima.....	24
7. Material y métodos	27
7.1. Revisión bibliográfica.....	27
7.2. Trabajo de campo. Muestreo y etiquetado.....	27
7.3. Preparación de las muestras. Lijado y escaneado.....	27
7.4. Datación, medición. Verificación con Cofecha.....	28
7.5. Obtención y tratamiento de datos.....	31
7.5.1. Análisis a nivel de medias.....	31
7.5.2. Análisis a nivel de individuo.....	32
8. Resultados	34
8.1. Crecimiento de <i>Juniperus communis</i>	34
8.1.1. Aliaga.....	34
8.1.2. Ribazada.....	36
8.2. Relación entre el estado de salud de <i>Juniperus communis</i> y la presencia de <i>Arceuthobium oxycedri</i>	38
8.2.1. Aliaga.....	38
8.2.2. Ribazada.....	38
8.3. Relación entre el crecimiento en altura, diámetro, frondosidad y edad de <i>Juniperus communis</i> con el porcentaje afectado por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	39
8.3.1. Aliaga.....	39
8.3.2. Ribazada.....	41

8.4. Relación entre las variaciones interanuales en el Índice de crecimiento (RWI) de <i>Juniperus communis</i> y el clima.....	44
8.4.1. Aliaga.....	44
8.4.2. Ribazada.....	50
8.5. Relación entre el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y el Índice de crecimiento (RWI).....	56
8.5.1. Aliaga.....	56
8.5.2. Ribazada.....	58
8.6. Relación entre la variable de Incremento de Área Basal (BAI) de <i>Juniperus communis</i> con afección, clima y años.....	59
8.6.1. Aliaga.....	59
8.6.2. Ribazada.....	60
9. Discusión.....	63
9.1. Relación entre el crecimiento medio de <i>Juniperus communis</i> y presencia de <i>Arceuthobium oxycedri</i>	64
9.2. Relación entre altura, diámetro, frondosidad y edad con el porcentaje de copa afectado por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	65
9.3. Relación entre variaciones interanuales en el Índice de crecimiento (RWI) de <i>Juniperus communis</i> y el clima.....	66
9.4. Relación entre el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y el Índice de crecimiento (RWI).....	67
9.5. Relación entre la variable Incremento de Área Basal (BAI) de <i>Juniperus communis</i> con afección, clima y años.....	67
10. Conclusiones y recomendaciones.....	68
11. Bibliografía.....	71
12. Anejos.....	78

Índice de Figuras

• Figura 1. Fotografías de <i>Arceuthobium oxycedri</i>	11
• Figura 2. Ilustración de Afinidad taxonómica sobre los principales hospedadores de <i>Arceuthobium</i>	11
• Figura 3. Distribución mundial de <i>Arceuthobium oxycedri</i>	12
• Figura 4. Distribución en la península ibérica de <i>Arceuthobium oxycedri</i>	12
• Figura 5. Ilustración del ciclo de vida de <i>Arceuthobium oxycedri</i>	14
• Figura 6. Fotografía de los frutos y hojas de <i>Juniperus communis</i>	15
• Figura 7. Distribución mundial de <i>Juniperus communis</i>	16
• Figura 8. Distribución de <i>Juniperus communis</i> y Regiones de Procedencia de sus materiales de reproducción.	16
• Figura 9. Mapa municipal de Aragón. Localización de Aliaga.....	20
• Figura 10. Zona de toma de muestras de <i>J. communis</i> en la villa de Aliaga.....	22
• Figura 11. Fotografía de la comunidad vegetal de <i>J. communis</i> de la cual se obtuvieron las muestras	22
• Figura 12. Zona de toma de muestras de <i>J. communis</i> en la Ribazada.....	23
• Figura 13. Fotografía tomada en el área de estudio de <i>J. communis</i> afectado por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	23
• Figura 14. Mapa de España sobre clasificación climática según Köppen.....	24
• Figura 15. Temperaturas medias y precipitación total anual de la Comunidad Autónoma de Aragón.	25
• Figura 16: Climograma correspondiente a las zonas de estudio Aliaga y La Ribazada.	25
• Figura 17: Contenido en humedad del suelo en Aliaga.	26
• Figura 18: Fotografía de una rodaja de <i>J. communis</i> tras pasar la lija de 60pp.....	28
• Figura 19: Datación con Coorecorder y visualización de la cronología con CDentro de la muestra HE05, Ribazada.	29
• Figura 20: Cofecha correspondiente a las muestras de enebro recopiladas en Aliaga.	31
• Figura 21: Crecimiento medio de <i>J. communis</i> en Aliaga.	34
• Figura 22: Índice de crecimiento (RWI) de <i>J. communis</i> en Aliaga.....	35
• Figura 23: Crecimiento medio de <i>J. communis</i> en La Ribazada.	36

- Figura 24: Índice de crecimiento (RWI) de *J. communis* en La Ribazada.37
- Figura 25: Correlación entre la altura de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Aliaga.....39
- Figura 26: Correlación entre el diámetro de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Aliaga.40
- Figura 27: Correlación entre la frondosidad de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Aliaga.40
- Figura 28: Correlación entre la edad de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Aliaga.....41
- Figura 29: Correlación entre la altura de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Ribazada.....41
- Figura 30: Correlación entre el diámetro de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Ribazada.42
- Figura 31: Correlación entre la frondosidad de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Ribazada.....42
- Figura 32: Correlación entre la edad de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Ribazada.....43
- Figura 33: Correlaciones de Pearson entre Índice de crecimiento (RWI) y clima en Aliaga.44
- Figura 34: Regresiones lineales temperatura máxima de verano con RWI en Aliaga. 45
- Figura 35: Regresiones lineales con precipitación de verano y RWI en Aliaga.46
- Figura 36: Correlaciones de Pearson entre la humedad del suelo y RWI de *J. communis* en Aliaga. 47
- Figura 37: Regresiones lineales de la humedad del suelo de junio con RWI, en Aliaga. 48
- Figura 38: Regresiones lineales de la humedad del suelo de julio con RWI, en Aliaga. 49
- Figura 39: Correlaciones de Pearson entre RWI y clima en Ribazada.50
- Figura 40: Regresiones lineales entre temperatura máxima de verano y RWI, Ribazada.51
- Figura 41: Regresiones lineales entre precipitaciones de verano y RWI, Ribazada.52

- Figura 42: Correlaciones de Pearson entre la humedad del suelo y el RWI en Ribazada.
.....53
- Figura 43: Regresiones lineales entre humedad del suelo y RWI en Ribazada.
.....55
- Figura 44: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* sanos en Aliaga.....56
- Figura 45: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* decaídos en Aliaga.57
- Figura 46: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* muertos en Aliaga.57
- Figura 47: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* sanos en Ribazada.58
- Figura 48: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* decaídos en Ribazada.58
- Figura 49: Incremento del área basal (BAI) en los individuos de Aliaga.59
- Figura 50: Incremento del área basal (BAI) en los individuos de Ribazada.60
- Figura 51: Relación del BAI con interacción Afección-año en Ribazada.61
- Figura 52: Relación del BAI con interacción Afección-precipitación verano en Ribazada.....62

Índice de tablas

Tabla 1: Modelo lineal mixto del BAI con las variables año, afección por muérdago y precipitación de verano por separado y, por otro lado, relación entre BAI con la interacción año-afección e interacción afección-precipitación verano, en Aliaga.	59
Tabla 2: Modelo lineal mixto del BAI con las variables año, afección por muérdago y precipitación de verano por separado y, por otro lado, Relación entre BAI con la interacción año-afección e interacción afección- precipitación verano, en Ribazada.	60
Tabla 3: Altura, diámetro y frondosidad de <i>Juniperus communis</i> en sanos de Aliaga y el porcentaje de copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	78
Tabla 4: Altura, diámetro base y frondosidad de <i>Juniperus communis</i> en decaídos de Aliaga y el porcentaje de copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	78
Tabla 5: Altura, diámetro base y frondosidad de <i>Juniperus communis</i> en muertos de Aliaga y el porcentaje de copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	79
Tabla 6: Altura, diámetro base y frondosidad de <i>Juniperus communis</i> en sanos de la Ribazada y el porcentaje de copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	79
Tabla 7: Altura, diámetro base y frondosidad de <i>Juniperus communis</i> en decaídos de la Ribazada y el porcentaje de copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	80
Tabla 8: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables crecimiento y clima en Aliaga. ALDE son decaídos, ALHH son sanos y ALDD son muertos. Significancias > 0,05 en rojo y significancias < 0,05 en verde.	81
Tabla 9: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables crecimiento y clima en Ribazada. ALDE son decaídos y ALHH son sanos. Significancias > 0,05 en rojo y significancias < 0,05 en verde	82
Tabla 10: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables crecimiento y humedad del suelo en Aliaga. ALDE son decaídos, ALHH son sanos y ALDD son muertos. Significancias > 0,05 en rojo y significancias < 0,05 en verde.	83
Tabla 11: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables crecimiento y humedad del suelo en Ribazada. ALDE son decaídos y ALHH son sanos. Significancias > 0,05 en rojo y significancias < 0,05 en verde.	83

1. Resumen

El aumento de las temperaturas y de la aridez, combinado con el efecto estresor de algunas plantas hemiparásitas como los muérdagos puede contribuir a reducir el vigor y crecimiento del bosque y matorrales. Las especies de muérdago del género *Viscum* se han estudiado en Europa en relación con distintas especies de árboles, pero existe escasa información sobre el impacto de otras especies de muérdagos (género *Arceuthobium*) sobre arbustos. Esta información es relevante ya que es esperable que una mayor aridificación conlleve la conversión de muchos bosques en matorrales en el futuro. El estudio se lleva a cabo en dos localidades situadas en Teruel; Aliaga y Ribazada.

A partir de métodos dendrocronológicos se estudia la relación de los enebros (*Juniperus communis*) con el clima y la afección por muérdago enano (*Arceuthobium oxycedri*). Observamos cómo el índice de crecimiento (RWI) presenta mayor sensibilidad a las temperaturas máximas (correlaciones negativas), precipitación (correlaciones positivas) y humedad del suelo (correlaciones positivas) de verano. En concordancia, las relaciones entre el RWI y el Índice de sequía (SPEI) muestran dependencias muy altas en dichos meses siendo más sensibles a la sequía los individuos de Aliaga, posiblemente por su orientación sur frente a la norte de Ribazada. Además, arbustos decaídos y muertos son más susceptibles a la sequía que los sanos.

Los resultados muestran como los enebros que se encuentran más afectados por el muérdago actualmente, antes eran más grandes y crecían más que los sanos recientes. Por otro lado, a partir de los modelos lineales mixtos determinamos relaciones negativas entre el Incremento de Área Basal (BAI) y la afección por muérdago solo en Ribazada, lo que puede deberse al clima húmedo y frío (umbría) que acaba beneficiando al muérdago. Además, a medida que las precipitaciones de verano son mayores, individuos con altas infestaciones crecen mucho menos. Finalmente, se observan mayores afecciones de muérdago conforme los individuos son más adultos en la localidad de Ribazada y una pérdida de frondosidad de los enebros a mediada que el porcentaje de copa afectada por muérdago es mayor en los dos sitios.

2. Palabras clave

Anillo de crecimiento, *Arceuthobium oxycedri*, cambio climático, clima, crecimiento radial, dendrocronología, enebro, *Juniperus communis*, muérdago enano, sequía.

3. Abstract

Increasing temperatures and aridity, combined with the stressing effect of some hemiparasitic plants such as mistletoes, may contribute to reduce vigour and growth of forests and shrublands. Mistletoe species of the genus *Viscum* have been studied in Europe in relation to different tree species, but there is little information on the impact of other mistletoe species (genus *Arceuthobium*) on shrubs. This information is relevant as it is expected that further aridification will lead to the conversion of many forests into shrublands in the future. The study is carried out in two localities situated in Teruel: Aliaga and Ribazada.

Using dendrochronological methods, the relationship between juniper (*Juniperus communis*), climate and dwarf mistletoe (*Arceuthobium oxycedri*) is studied. We observed that the growth index (RWI) is more sensitive to summer maximum temperatures (negative correlations), precipitation (positive correlations) and soil moisture (positive correlations). In agreement, the relationships between the RWI and the drought index (SPEI) show very high dependencies in these months, being more sensitive to drought in Aliaga, possibly due to its southern orientation as opposed to the northern one in Ribazada. In addition, decayed and dead shrubs are more susceptible to drought than healthy ones.

The results show how the *junipers* that are currently most affected by mistletoe were previously larger and grew more than the recent healthy ones. On the other hand, from the linear mixed models we determined negative relationships between the Basal Area Increase (BAI) and mistletoe affection only in Ribazada, which may be due to the humid and cold climate (shade) that ends up benefiting the mistletoe. In addition, as summer rainfall increases, individuals with high infestations grow much less. Finally, greater mistletoe infestations are observed as individuals become more adult at the Ribazada site and a loss of foliage in the *junipers* as soon as the percentage of the crown affected by mistletoe increases at both sites.

Keywords

Arceuthobium oxycedri, Climate, climate change, dendrocronology, drought, Dwarf mistletoe, growth ring, host, Juniper, *Juniperus communis*, radial growth.

5. Introducción

Dentro del contexto de cambio climático caracterizado por un aumento de las temperaturas y de las sequías y esto, unido a la presencia de especies de plantas hemiparásitas que son capaces de incrementar el estrés de sus hospedadores produciendo cambios en los patrones de crecimiento de diferentes masas forestales y matorrales, genera la necesidad de aumentar el conocimiento sobre este tipo de relaciones. Como indican Seim et al., (2016) en un estudio sobre el incremento del estrés hídrico de especies del género *Juniperus* debido al cambio climático, las alteraciones en la distribución de las especies o la mortalidad de los árboles inducida por la sequía podrían provocar no sólo una pérdida de biodiversidad, sino también de otros servicios del ecosistema. Esto unido a afecciones por especies hemiparásitas como el muérdago constituye un problema añadido cuyo estudio es necesario para comprender mejor la posible evolución de estos ecosistemas.

A continuación, se describen aspectos relacionados con las especies objeto de estudio, su interrelación y la importancia de esta problemática.

5.1 *Arceuthobium oxycedri*

El género *Arceuthobium* engloba 42 especies reconocidas, entre las cuales, encontramos a *Arceuthobium oxycedri* (Wahid, Khan Barozai y Din, 2015).

Se trata de una planta hemiparásita (Figura 1), con un tamaño reducido y dioica que puede alcanzar de 2 a 15 cm de tamaño sobre sus huéspedes. Es de color verde-amarillento, los tallos están formados por segmentos cuadrangulares, sus hojas se reducen a escamas opuestas formando una vaina y las inflorescencias se agrupan en los extremos en artejos continuos (Flora Ibérica, 2020). Al fructificar desarrolla una baya verdosa de forma ovoide (Olivares Tormo, 2017).

A. oxycedri se adhiere al tronco o a las ramas de sus huéspedes a través del haustorio, un sistema radicular modificado, que consigue extraer el agua y los nutrientes del árbol u arbusto infectado. Esto puede acabar provocando una reducción del crecimiento, deformaciones en las ramas y tallos, estrés hídrico y en última instancia, la muerte (Queijero-Bolaños, y Cano-Santa, 2018).



Figura 1: Fotografías de *Arceuthobium oxycedri* sobre *Juniperus*. Fuente: Méndez, J.L., (2017) en asturnatura.com.

Parasita sobre diversas especies principalmente del género *Juniperus* (Figura 2) como *J. oxycedrus*, *J. communis*, *J. phoenicea*, siendo más raro encontrarla en *J. sabina* y *J. thurifera*.

ARCEUTHOBIUM	PINUS (HAPLOXYLON)	PINUS (DIPLOXYLON)	ABIES	PICEA	KETELEERIA	JUNIPERUS
<i>A. azoricum</i>						●
<i>A. chinense</i>					●	
<i>A. juniperi-procerae</i>						●
<i>A. minutissimum</i>	●					
<i>A. oxycedri</i>						●
<i>A. pini</i>		●				
<i>A. sichuanense</i>				●		
<i>A. tibetense</i>			●			

Figura 2: Afinidad taxonómica sobre los principales hospedadores de *Arceuthobium*. Fuente: Hawksworth, F.G., Weins, D. (1996).

A. oxycedri tiene una amplia área de distribución (Figura 3) que va de este a oeste, desde China hasta España, pasando por la región mediterránea. Esto podría explicarse por su presencia en latitudes relativamente poco afectadas por la glaciación del Pleistoceno. En la Península Ibérica (Figura 4) se encuentra presente en la mitad oriental y de forma esporádica la encontramos en la parte occidental (Hawksworth y Weins, 1996).



Figura 3: Distribución mundial de *Arceuthobium oxycedri*. Fuente: Plants of the World Online. (2021).

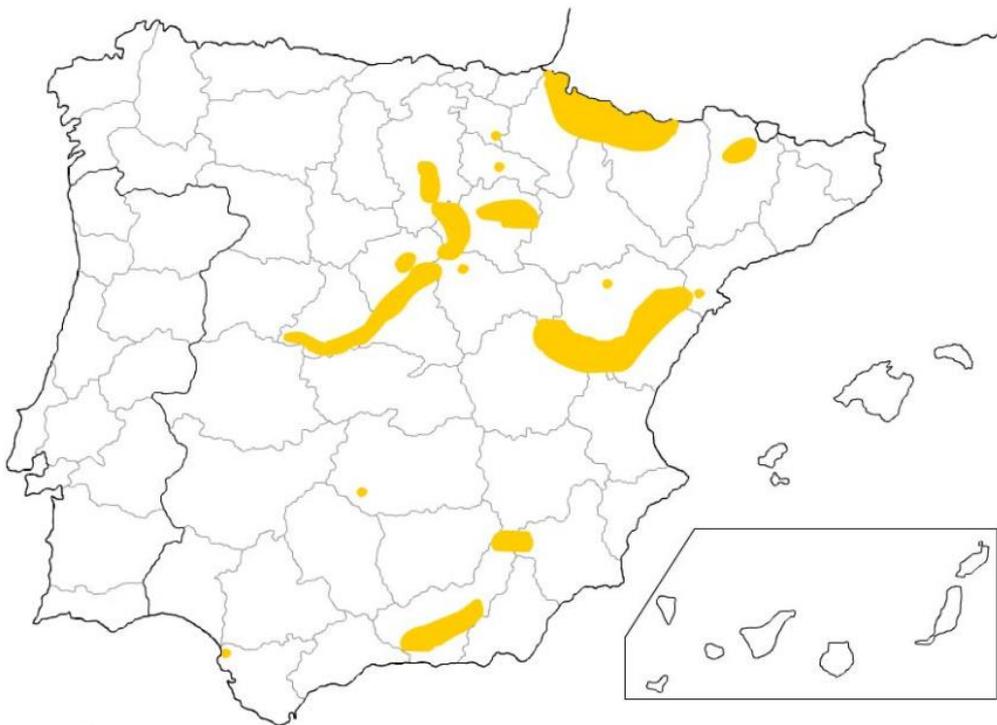


Figura 4: Distribución en la península ibérica de *Arceuthobium oxycedri*. Fuente: Anthos, Sistema de información sobre las plantas en España. Flora ibérica (2021).

Su ciclo reproductivo dura más de un año y cuando el hemiparásito llega, se establece en un hospedador, el hipocótilo penetra en su cortex caulinar y desarrolla un haustorio que producirá tallos aéreos hasta pasados 2-5 años; la floración de estos tallos no se produce hasta que han transcurrido 1 o 2 años desde que se inició el brote (Hawksworth y Weins, 1972).

Hawksworth et al. (2002) describen el ciclo vital de la mayoría de las especies de muérdago enano (Figura 5) en cuatro etapas, entre las cuales destaca la primera correspondiente al proceso de dispersión de la semilla. Comienza cuando un fruto maduro impulsa una única semilla en vuelo balístico por contracción hidrostática, hacia un lugar donde se puede acabar inoculando en un huésped o en otro sitio. Ramón et al. (2016) mediante una serie de escenarios comparados establecieron estas distancias de dispersión en 10 metros y se identificaron otros mecanismos de dispersión a mayores distancias, en torno a 20 metros. Esto último, sugirió que pequeños mamíferos o aves podrían ser vectores de transporte de estas semillas ya que presentaban adaptaciones de adhesión.

Cabe destacar que debido a que dependen del huésped para su nutrición, pueden persistir años sin producir brotes aéreos y parecen suprimirse bajo condiciones lumínicas bajas, por lo que, la apertura de copas suele dar lugar a una proliferación de brotes de muérdago en los árboles o arbustos residuales (Hawksworth y Weins, 1996).

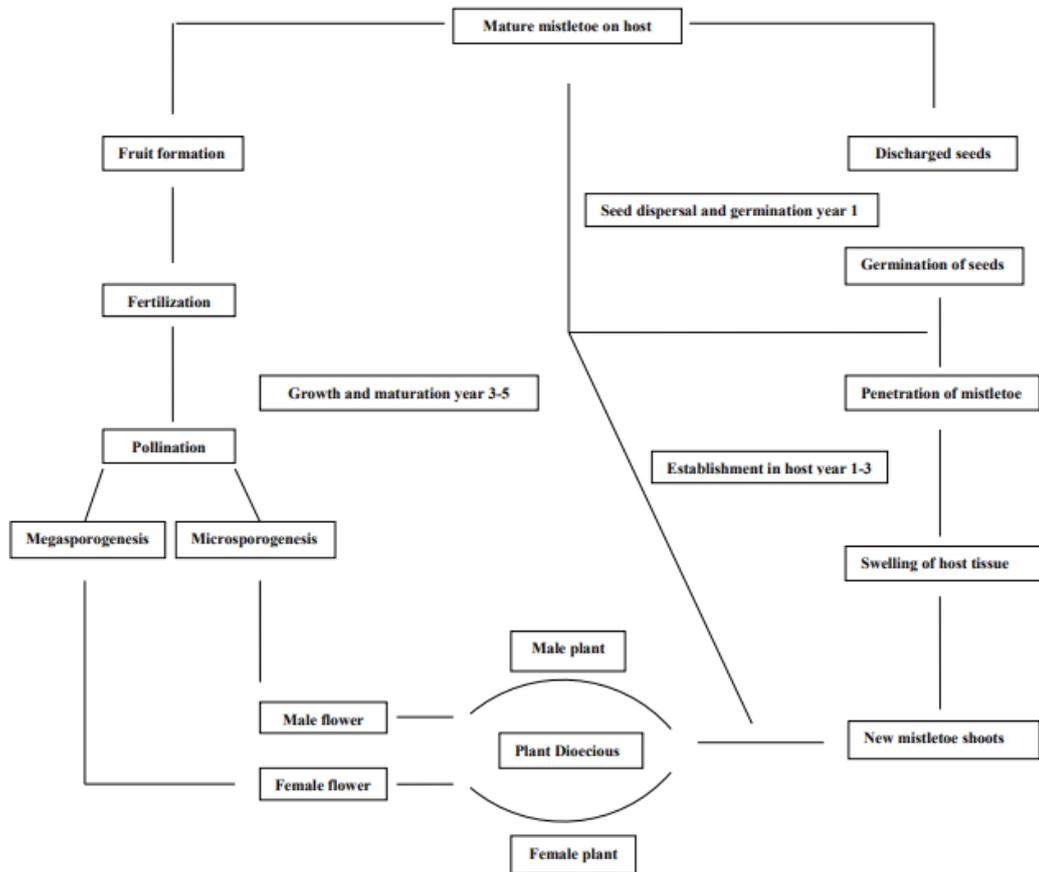


Figura 5: Ciclo vital generalizado del muérdago. Fuente: Wahid, H.A., Khan Barozai, M.Y., Din, M., (2015).

Por último, hay que destacar que en base a los estudios existentes y según ha recopilado Hawksworth (1996), la tasa de crecimiento del huésped disminuye rápidamente a medida que aumenta la gravedad de la infección. Infecciones severas de este hemiparásito pueden acabar matando al huésped, sin embargo, el tiempo necesario varía considerablemente y depende de multitud de factores como la combinación huésped parásito, la gravedad de la infección, el vigor del huésped, la situación climática y ecológica en la que crece el anfitrión y actividades de plagas secundarias sobre los huéspedes. La forma en la que los muérdagos afectan a la fisiología y crecimiento de los árboles y arbustos no se conoce demasiado, aunque ciertos estudios como el elaborado por Abdul Wahid, Khan Barozai y Din (2015) indican que el muérdago enano absorbe los nutrientes y el agua a través del xilema del huésped y los componentes de carbono por medio del floema al ser considerados principalmente heterótrofos (dependen en gran medida del huésped para sobrevivir). Por otro lado, Rey et al (1991) demostraban como existía una transferencia del huésped hacia los brotes aéreos del parásito esencialmente de carbohidratos solubles y aminoácidos y se indicaba que tanto elementos minerales como compuestos orgánicos podían ser extraídos por el sistema endófito del parásito.

5.2 *Juniperus communis*

Los enebros (*Juniperus spp*) son un grupo taxonómico compuesto por alrededor de 68-80 especies de gimnospermas (*Cupressaceae*), principalmente arbustos y arboles pequeños (Figura 6).

El enebro común (*Juniperus communis*) es un arbusto o árbol dioico pequeño, con hoja perenne y que puede alcanzar los 11 metros de altitud (Thomas et al, 2007). Además, dispone de una corteza pardo-rojiza, sus hojas son verticiladas en grupos de 3, aciculares, punzantes, con una banda estomática blanca en el haz, a veces dividida en la base por un nervio fino. Los gálbulos son de maduración bi o trienal, azul negruzco cuando están maduros y pruinosos (Arbolaap, 2021).



Figura 6: *Juniperus communis*. Fuente: Castilla, F. (2021)

En España *J. communis* se distribuye entre los 1000 y los 2300 m de altitud. Ocupa todo tipo de suelos, ácidos o básicos con texturas muy variadas, siendo dentro del género *Juniperus* la especie con distribución más amplia, sustituyendo a distintas altitudes a encinares, robledales, hayedos, pinares etc. (Montesinos Torres y García García, 2009). La encontramos en Eurasia templada (incluido el Mediterráneo occidental) y América del Norte (European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2021).

A continuación, se muestra tanto la distribución mundial de *J. communis* (Figura 7) como su distribución en el territorio español (Figura 8) cuyas regiones de procedencia definidas se han establecido por división del territorio atendiendo a criterios climáticos, suponiendo adaptaciones diferenciales de las poblaciones en función de los valores que adoptan los parámetros climáticos que actúan como fuerzas selectivas en cada ámbito territorial (Villar-Salvador, P. et al., 2012).

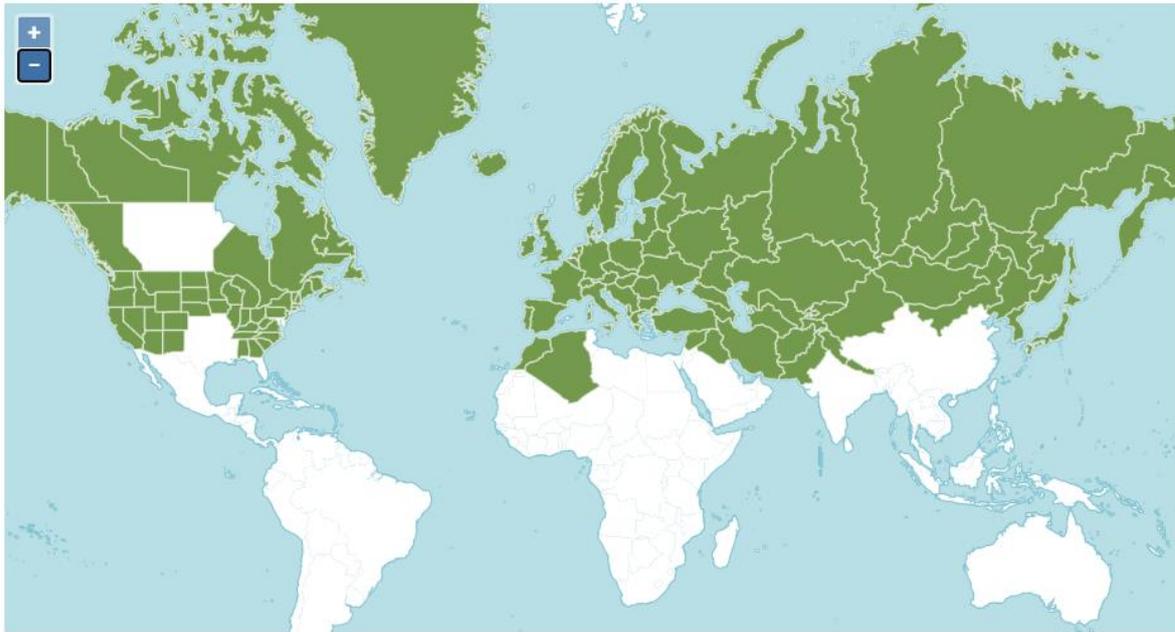


Figura 7: Distribución mundial de *Juniperus communis*. Fuente: Plants of the World Online. (2021).

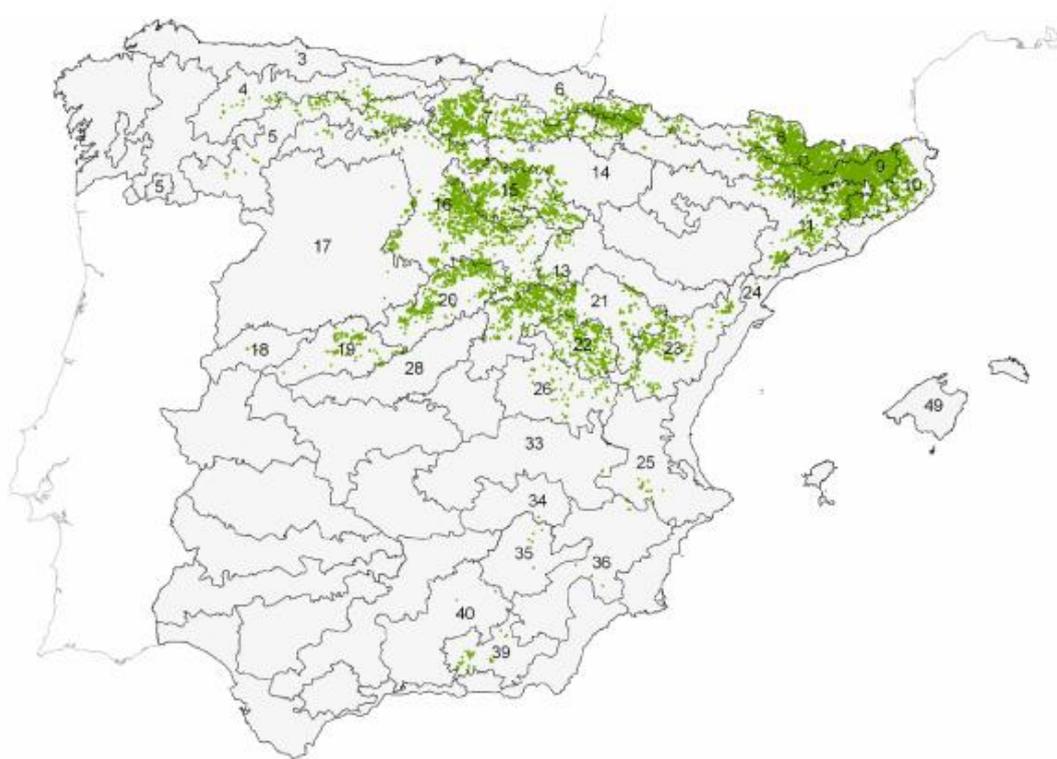


Figura 8: Distribución de *Juniperus communis* y Regiones de Procedencia de sus materiales de reproducción. Fuente: Villar-Salvador, P et al., (2012).

J. communis es una especie de amplio espectro ecológico. Es heliófila, pereciendo en las formaciones arboladas cuando se espesan considerablemente. En general ocupa todo tipo de posiciones fisiológicas. Es muy resistente tanto a los fríos invernales extremos, como a las temperaturas estivales relativamente elevadas propias de las solanas. Es exigente en precipitaciones anuales, encontrándose en zonas con pluviometría anual generalmente superior a los 550 mm y tolerante, a ciertos periodos de aridez, cortos y de poca intensidad. Evita los lugares de muy prolongada innovación (Villar-Salvador, P. et al., 2012).

5.3 Dendrocronología

La palabra dendrocronología deriva del griego (*dendron*; árbol-, *crono*; tiempo y *logo*; conocimiento) y denomina una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento. El objetivo principal es establecer cronologías o series maestras (series promedio). Para ello, hace falta, primero, identificar y datar los anillos para asignar a cada uno de ellos el año de calendario exacto en el cual se formó (Gutiérrez Merino, E., 2009).

Se sabe que la edad aproximada de un árbol o arbusto de zonas templadas puede saberse contando los anillos de crecimiento de la parte inferior del tallo. Es menos conocido que los patrones de anchura de los anillos pueden compararse entre árboles para establecer el año exacto en que se formó el anillo. El mismo tipo de comparación puede hacerse entre fragmentos de madera de edad desconocida y los anillos de árboles vivos para establecer la fecha en que el fragmento formaba parte de un árbol en crecimiento. Así pues, los anillos de los árboles pueden utilizarse para establecer el año en que tuvo lugar un acontecimiento, siempre que éste implique el deterioro o la muerte del árbol/arbusto.

Esta datación es posible hacerla a partir de la anchura de los anillos por una razón muy sencilla: el crecimiento de los árboles se ve afectado principalmente por las variaciones climáticas, y la secuencia anual de clima favorable y desfavorable queda fielmente registrada por la secuencia de anillos anchos y estrechos en un gran número de árboles (Fritts, 1976).

5.4 Justificación

Aunque la naturaleza destructiva de *Arceuthobium spp.* está bien documentada en muchos aspectos, sus efectos sobre la fisiología de su huésped son poco conocidos (Meinzer, Woodruff y Shaw, 2004). Es por esto que se hace necesario el estudio de las relaciones entre especies de muérdago como *Arceuthobium oxycedri* y comunidades vegetales como los enebrales, con objeto de complementar y ampliar el conocimiento científico acerca de este tema.

Los enebros (*Juniperus communis*) contribuyen de forma indirecta a la mejora, en última instancia, del bienestar común mediante la estabilización del suelo sobre el que se asienta, la disminución y protección frente a la erosión y el aporte de materia orgánica, con su consiguiente mejora de la estructura y presencia de actividad microbiana en el suelo. También proporciona sombra y refugio para la flora y alimento para la fauna.

Sin embargo, actualmente el cambio climático es uno de los principales retos presentes y futuros de la sociedad, ya que sus distintos componentes (cambio climático, cambios en los ciclos biogeoquímicos, modificaciones en los usos del suelo) están afectando de muy diversos modos a la salud de árboles/arbustos y bosques (Camarero, et al. 2004), que combinado con el efecto estresor de algunas plantas hemiparásitas como el muérdago puede contribuir a reducir el vigor y crecimiento del bosque y matorrales. Por ello existe un interés común en identificar y evaluar los posibles impactos que estos factores tienen sobre los ecosistemas (Santini, M., Collalti, A y Valentini, R., 2013).

5.5 Objetivo general y específicos

Objetivo general

- Determinar si existe relación entre los cambios producidos en el crecimiento radial de *Juniperus communis* en función de variaciones en el clima e infestación por *Arceuthobium oxycedri*.

Objetivos específicos

- Analizar relaciones entre el estado de salud de los enebros y la presencia del muérdago enano, teniendo en cuenta variables como el tamaño del enebro (diámetro y altura), frondosidad y la edad de los arbustos.
- Determinar si existen relaciones significativas entre variaciones en el crecimiento de los enebros en función del porcentaje de copa afectado por *Arceuthobium oxycedri*.
- Evaluar las relaciones entre el crecimiento del enebro, el clima (temperatura y precipitación), humedad del suelo y la sequía.

6. Área de estudio

6.1 Localización y caracterización general

Las muestras recogidas mediante trabajo de campo fueron tomadas en el término municipal de Aliaga, provincia de Teruel (Figura 9).

Está situada al sur de la comunidad autónoma de Aragón, y más concretamente en el valle de Guadalupe a 1105 metros de altitud. Las coordenadas exactas son: latitud de 40° 40' 27" y longitud de 0° 42' 7").

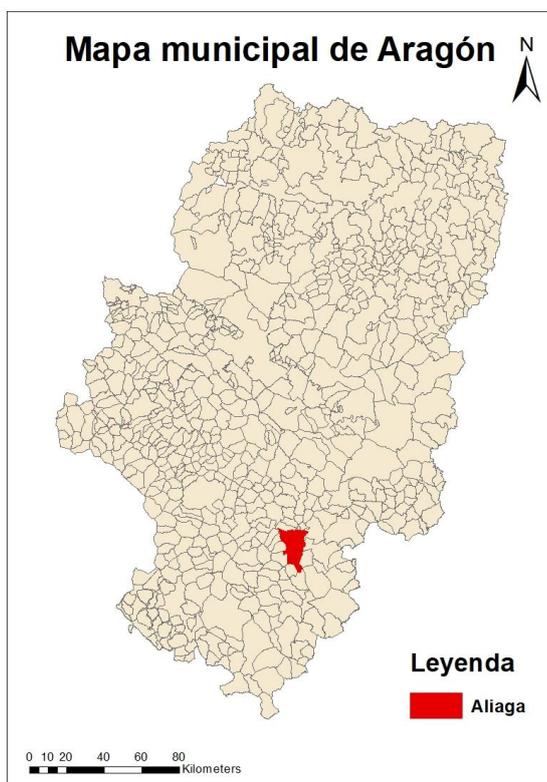


Figura 9: Mapa municipal de Aragón. Localización de Aliaga. Elaboración propia a partir de ArcGis. Fuente: IDE Aragón descargas.

En cuanto al tipo de vegetación que se encuentra presente destacan los carrascales y rebollares con especies como la carrasca (*Quercus rotundifolia*) y el quejigo (*Quercus faginea*). También encontramos bosques de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) en las zonas altas del sur, y de pino negral (*Pinus nigra*) en el propio valle de Guadalupe.

Debido a las características de este trabajo, una comunidad vegetal a destacar serían los bosques de sabinas (*J. thurifera*) y enebros (*J. communis* y *oxycedrus*) que aparecen dispersos en las laderas, acompañados frecuentemente de guillomo (*Amelanchier ovalis*) y gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*).

Finalmente mencionar la presencia de especies aromáticas como espliego (*Lavandula latifolia*), tomillo (*Thymus vulgaris*), majuelo (*Crataegus monogyna*), endrino (*Prunus spinosa*) y erizon (*Erinacea anthyllis*) (Ayuntamiento de Aliaga, 2021).

Según Simón Porcar et al (2011) la mayor parte de los suelos que encontramos en esta zona son carbonatados (calizas, margas y dolomías), y calcimorfos de escaso desarrollo (litosoles y regosoles). En menor medida encontramos suelos areno-arcillosos que dan lugar a sustratos más blandos, menos permeables y algo más silíceos (principalmente cambisoles cálcicos).

La estructura tectónica compleja y encajamiento de la red fluvial proporcionan una amplitud topográfica notable y una gran disparidad de pendientes y orientaciones de laderas, desigual disponibilidad de agua etc.

Una vez descrito el entorno general en el que nos situamos, es importante remarcar que la toma de muestras tuvo lugar en dos espacios diferentes dentro de este término; el primero cerca de la villa de Aliaga y el segundo en un enclave denominado La Ribazada, también en Aliaga.

6.1.1 Aliaga

El muestreo se realizó el día 8 de abril de 2017 en la Masía de Conesa (Figuras 10-11), cerca de la lastra donde se tomaron rodajas de *Juniperus communis* con sierras de mano. Los enebros se encontraban en diferentes estados de salud, distinguiéndose en sanos, decaídos y muertos en función de la frondosidad de copa que presentaban.

Esta zona se encontraba a 1316 metros de altitud con orientación sur, concretamente a 40° 35' 35" N y 0° 40' 24" W , en un pie de monte cuyas masas vegetales se disponían a lo largo de márgenes de campos de cultivo.

6.1.2 La Ribazada

En este caso las muestras fueron tomadas con la misma metodología descrita para Aliaga, el día 16 de agosto de 2020.

Las comunidades se encontraban a 1350 metros de altitud, con orientación norte en zonas marginales cercanas a bancales de cultivo, concretamente situadas a 40° 34' 22"N y 0° 39' 41"W (Figuras 12-13).

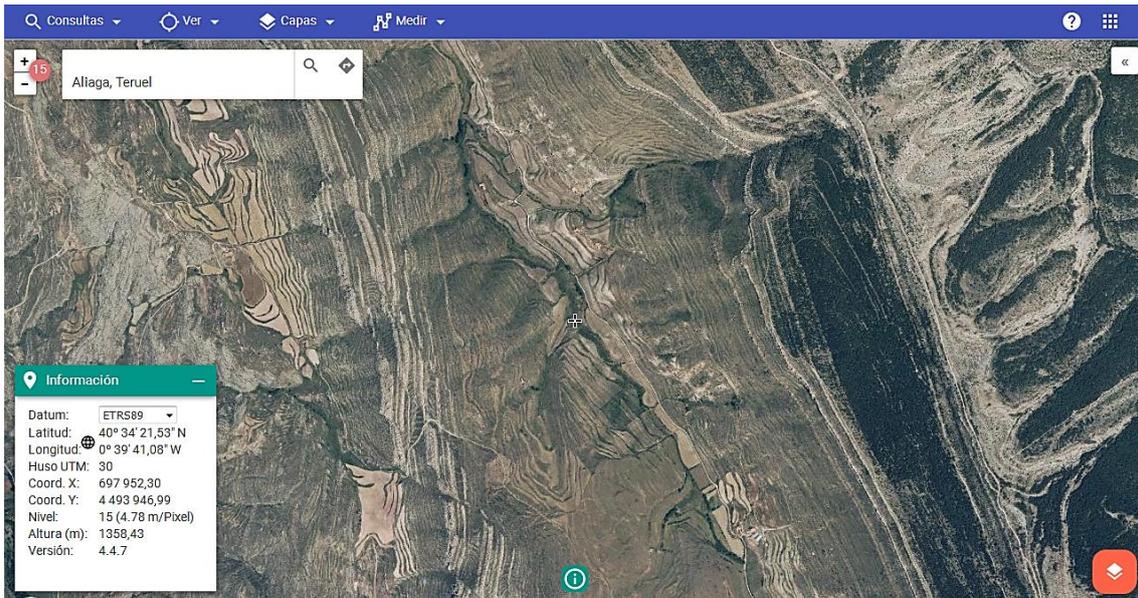


Figura 12: Zona de toma de muestras de *J. communis* en la Ribazada. Fuente: Visor manual Iberpix 4 del Instituto Geográfico Nacional.



Figura 13: Fotografía tomada en el área de estudio de *J. communis* afectado por *Arceuthobium oxycedri*. Fuente: Gabriel Sangüesa y Pedro Joaquín Sangüesa.

6.1.3 Clima

El clima que encontramos en Aliaga (Teruel), es mediterráneo continental. Tal y como muestra la clasificación de Köppen (Figura 14), presenta un clima (Cfa) principalmente templado sin estación seca con verano caluroso.



Figura 14: Mapa de España sobre clasificación climática según Köppen. Fuente: Atlas Nacional de España. Capítulo 4, clima y agua.

En las imágenes siguientes (Figura 15) se observa como en la zona de Aliaga las temperaturas medias anuales van de unos 8-10°C a 11-12°C dependiendo del lugar concreto. Las precipitaciones comprenden unos 400-500 mm anuales.

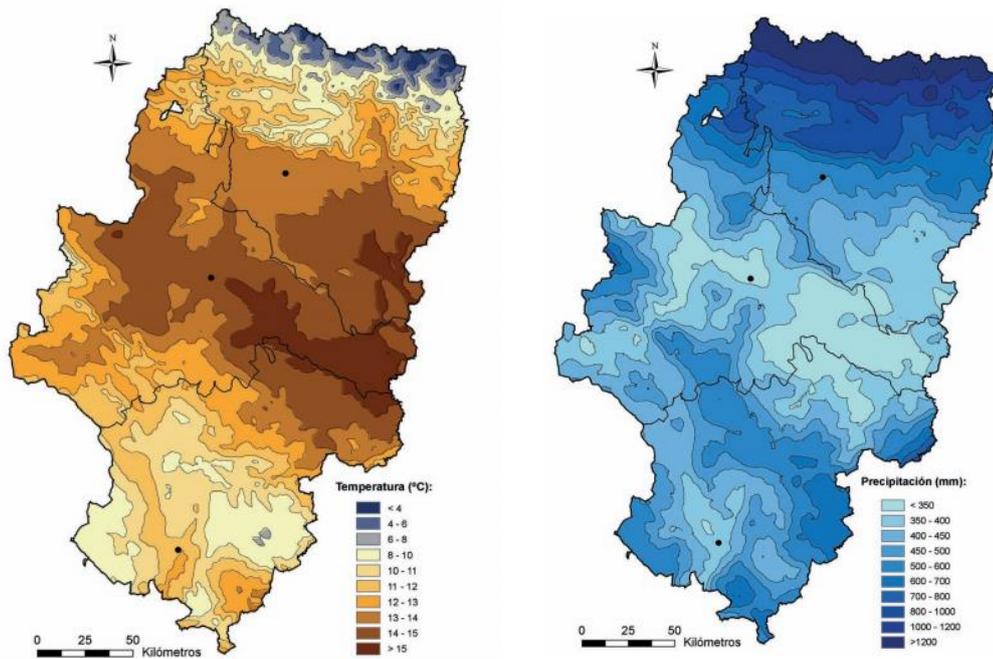


Figura 15: Temperatura media y precipitación total anual de la Comunidad Autónoma de Aragón. Fuente: Atlas Climático de Aragón.

Es importante remarcar que ambos lugares en los que se cogieron muestras se encontraban lo suficientemente cercanos como para considerar los datos climáticos de la misma estación meteorológica. Así pues, se han conseguido extraer datos de temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones de la base de datos “Climate explorer” interpolándolos a 0,5°. De esta manera se representa el climograma (Figura 16) característico de la zona de estudio.

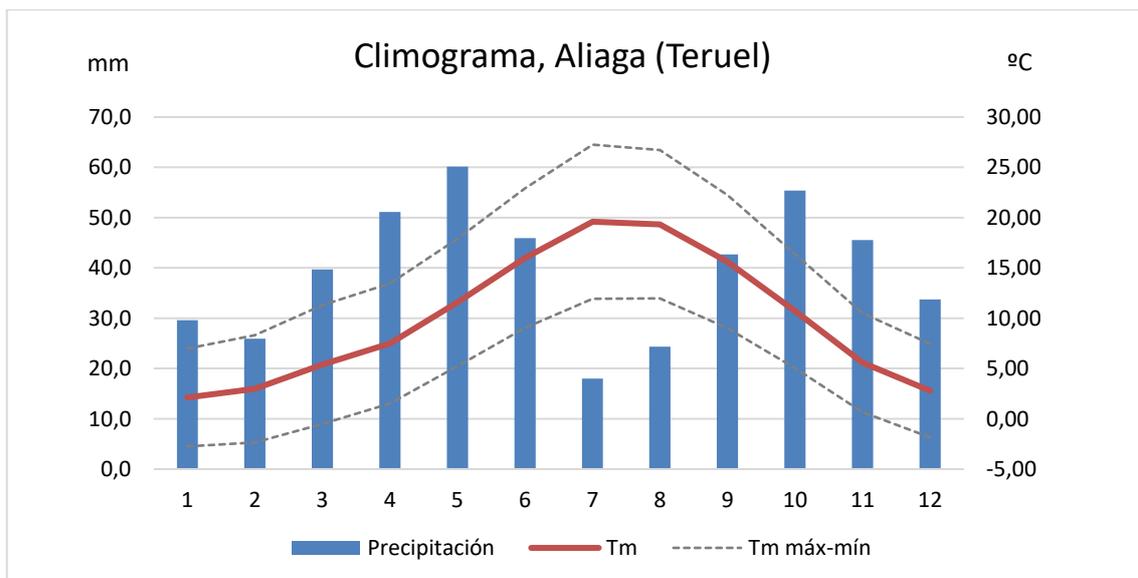


Figura 16: Climograma correspondiente a las zonas de estudio Aliaga y La Ribazada. Elaboración propia. Fuente: Climate explorer

Se observan dos máximos de temperatura en torno a los meses de julio y agosto ($27,25^{\circ}\text{C}$ y $26,71^{\circ}\text{C}$) y dos mínimos en los meses de enero y febrero ($-2,74^{\circ}\text{C}$ y $-2,36^{\circ}\text{C}$).

En cuanto a la precipitación, el mayor valor lo encontramos en los meses de mayo con $60,16\text{ mm}$ mientras que los meses con menor cantidad de precipitaciones corresponden a julio y agosto, con $17,99$ y $24,36\text{ mm}$ respectivamente.

Por lo tanto, las épocas lluviosas corresponden a primavera y otoño siguiendo una distribución normal. Las temperaturas se caracterizan por tener el pico en los meses de verano y las temperaturas menores ocurren en los meses de diciembre y enero rozando los $2-3^{\circ}\text{C}$, siguiendo comportamientos propios de zonas templadas, con variaciones bastante acusadas entre estaciones.

Por último, de la misma forma descrita con anterioridad se ha obtenido el contenido de humedad promedio del suelo (Figura 17) para los diferentes meses del año, de la base de datos "Climate explorer", ya que será un factor a tener en cuenta en este trabajo.

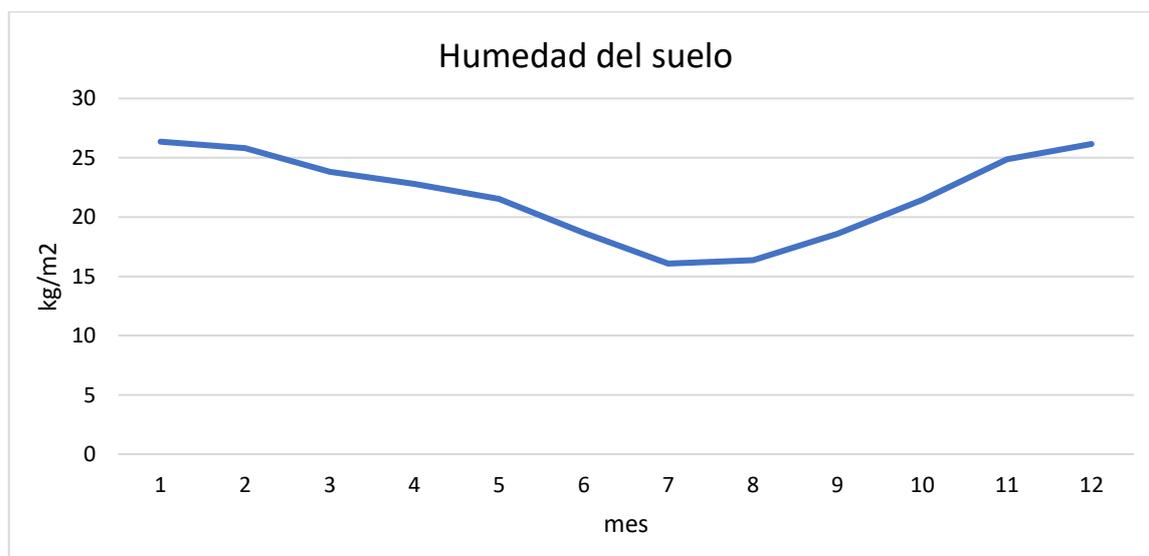


Figura 17: Contenido en humedad del suelo en Aliaga. Elaboración propia. Fuente: Climate explorer.

Vemos una disminución de la humedad del suelo durante los meses de verano, en los cuales se sitúa en torno a 15 kg/m^2 , y posteriormente va aumentando en el resto, siendo mayor en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, donde se encuentra aproximadamente en 25 kg/m^2 .

7. Material y métodos

7.1 Revisión bibliográfica

Se procede a la búsqueda de la información disponible acerca de *Juniperus communis*, *Arceuthobium oxycedri*, clima e interacción entre ellos, así como, para la caracterización del área de estudio se obtiene información acerca de las localidades de Aliaga y Ribazada, donde tiene lugar el muestreo.

Dicha recopilación bibliográfica se realiza principalmente mediante los buscadores de Google Académico y Alcorze. Este último se trata de un buscador ofrecido por la biblioteca de la Universidad de Zaragoza.

7.2 Trabajo de campo. Muestreo y etiquetado.

Se realiza una selección de diferentes individuos de enebro en las dos localizaciones descritas, Aliaga y La Ribazada. Estos se encuentran en estados de salud diversos por lo que finalmente son divididos en sanos (15), decaídos (15) y muertos (11) en Aliaga y sanos (20), decaídos (22) y muertos (3) para La Ribazada.

En este último, apenas se recogen muestras de individuos muertos debido a que hay un menor número de los mismos, así pues, en el análisis de los datos, decaídos y muertos se consideran conjuntamente como decaídos en Ribazada.

La recolección de muestras en forma de rodajas se realiza mediante sierras, y a su vez, se estima visualmente el porcentaje de copa afectada por el muérdago enano. Además, se toman datos de la altura y la frondosidad de los arbustos, así como, del diámetro de las rodajas y el estado de salud de los enebros (Anexo 1).

Finalmente se procede al etiquetado de cada uno de los individuos para su posterior estudio.

7.3 Preparación de las muestras. Lijado y escaneado.

Haciendo uso de una lijadora y colocando diferentes papeles de lija, se pretende conseguir un mejor acabado de las rodajas y la correcta visualización de los anillos de crecimiento para la datación y medición.

Para ello, se escogen papeles de lija de 60, 150 y 320 pp que nos permiten observar los anillos con suficiente claridad para ser capaces de datarlos (Figura 18).



Figura 18: Fotografía de una rodaja de *J. communis* tras pasar la lija de 60pp.

A continuación, se escanean las diferentes muestras con una resolución de 2400 ppp y en formato TIFF, para una mayor calidad de imagen.

7.4 Datación, medición y verificación con Cofecha.

Es necesario tener presente la clasificación previa correspondiente al estado de salud de los distintos enebros para empezar a datar. En el caso de Aliaga las muestras se recogieron a mediados de 2017, por lo que, el último anillo de los individuos sanos deberá corresponder con el año 2016. En el resto de los individuos decaídos y muertos este último anillo no tiene por qué coincidir con el año de recogida, y se deberá de inferir. En el caso de Ribazada, el último anillo de crecimiento sería el correspondiente a 2019, ya que han sido recolectadas en 2020.

Siempre se debe tener en cuenta que debido a la cercanía de Aliaga y Ribazada, se presuponen condiciones climáticas similares, por lo que todas las muestras recogidas deberán presentar patrones de crecimiento relativamente iguales. Así disponemos de años característicos que se deben cumplir y que nos ayudan a datar correctamente los individuos.

El software que se utiliza para realizar las mediciones de los anillos de crecimiento de los de *J. communis* se denomina CDendro y CooRecorder 9.5 (Larsson, 2013).

En primer lugar, se carga la imagen escaneada de una de las rodajas correspondiente a un individuo en particular en CooRecorder y se procede a señalar cada uno de los anillos de la rodaja que corresponden a años de crecimiento, siempre desde fuera hacia dentro. Esto se realiza trazando dos radios distintos en la misma rodaja, para que el resultado sea

más preciso, y se debe evitar dibujarlos cerca de deformaciones o manchas, ya que, pueden generar pérdida de anillos.

Una vez hecho esto, se procede a asignar el último año de crecimiento, tal y como se ha descrito con anterioridad, para obtener la datación. Posteriormente se abre la datación guardada en CDendro, para ver la cronología generada de forma gráfica. Ambos radios del individuo datado deben de coincidir y sincronizarse, ya que se trata del mismo enebro.

A continuación, se puede observar el procedimiento descrito en la Figura 19.

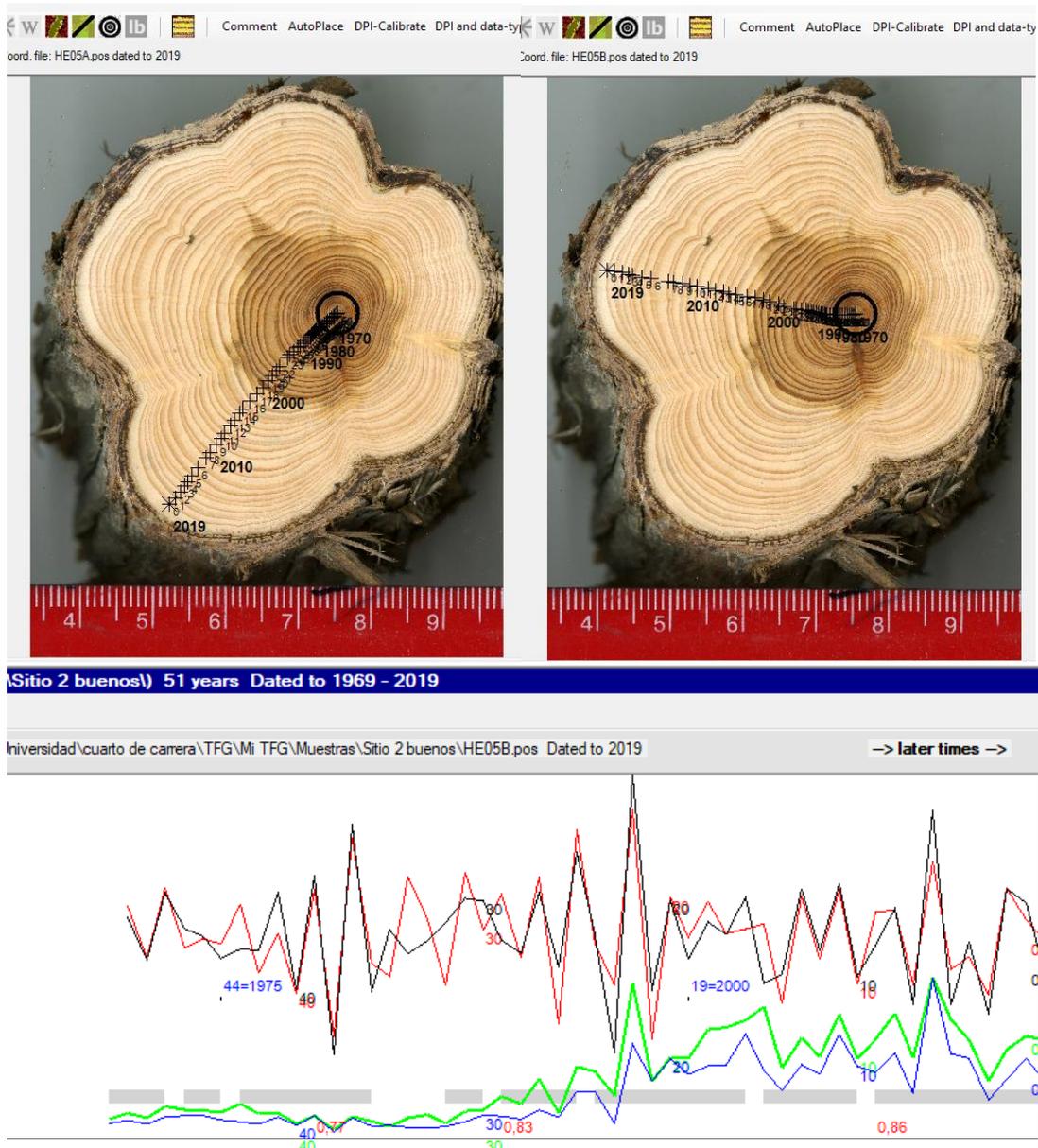


Figura 19: Datación con Coorecorder y visualización de la cronología con CDendro de la muestra HE05, Ribazada. Elaboración propia.

Se repite el proceso para las 84 rodajas recogidas y se procede al control de la calidad de la datación y medición (verificación), mediante el programa de Cofecha. Este nos permite identificar datos que deberían ser reexaminados debido a posibles errores, mediante la comparativa de las series individuales con la serie media. Además, calcula las correlaciones y significancia de estas. Además, también verifica que esas correlaciones sean mayores cuando dichas series individuales coinciden con lo datado y no cuando se desplazan hacia delante o atrás del año datado (Holmes, 1983).

Para ello, tras la medición y datación se obtiene un archivo en formato decadal para cada sitio denominado Ring Width List (rwl), donde se dispone el crecimiento radial de los enebros. Se introducen en el programa de verificación (Cofecha) y genera dos documento de salida para cada sitio en formato texto (txt).

En estos documentos nos indica, entre otras cuestiones, desviación típica media de los crecimientos de cada grupo de cronologías, desviación típica media de los crecimientos una vez estandarizados, autocorrelación (indica la correlación media del ancho de cada anillo respecto al ancho del anillo del año anterior de las series sin estandarizar), sensibilidad media (indica el cambio medio del ancho de cada anillo con respecto al siguiente de las series sin estandarizar) y correlación media con la serie maestra de Cofecha. Esta correlación resulta de calcular a su vez las correlaciones de cada serie bruta sin estandarizar con la serie maestra, que es la media de las estandarizadas según Cofecha (Rubio Cuadrado, 2016).

Por otro lado, indica los posibles problemas detectados mediante una A (correlación menor de 0,3281 pero la más alta corresponde con lo datado) o una B (correlaciones mayores en posiciones distintas a la fechada). A partir de aquí se revisan y en caso necesario, se hacen los cambios pertinentes en las dataciones.

Como último punto destacable para este trabajo, genera un esquema (Figura 20) con todos los años que han sido datados y a cada uno le asigna una letra mayúscula o minúscula, dependiendo de si el anillo ha crecido más ese año o no respectivamente, y de mayor a menor tamaño en orden alfabético. Esto facilita mucho la datación, ya que como se ha mencionado con anterioridad, todos los arbustos deberán seguir esos patrones de crecimiento.

*PART 4: Master Bar Plot:

Year	Rel value	Year	Rel value	Year	Rel value	Year	Rel value
1900	-----E	1950	g	2000	-d		
1901	-----A	1951	--a	2001	--b		
1902	-----D	1952	-----E	2002	---a		
1903	-----C	1953	-----A	2003	-----D		
1904	-----C	1954	-----B	2004	-----D		
1905	-----D	1955	---b	2005	---e		
1906	-----B	1956	-----A	2006	---a		
1907	---a	1957	---a	2007	-----A		
1908	---c	1958	---c	2008	-----F		
1909	---g	1959	---a	2009	---a		
1910	-----C	1960	-----F	2010	-----D		
1911	---c	1961	-----B	2011	-----E		
1912	---e	1962	-----B	2012	---d		
1913	---A	1963	-----A	2013	-----E		
1914	-----C	1964	-----B	2014	---a		
1915	---a	1965	---c	2015	---a		
1916	-----C	1966	-----A	2016	i		
1917	---c	1967	j	2017	---a		
1918	---a	1968	---c	2018	-----A		
1919	---g	1969	-----F	2019	---b		
1920	-----C	1970	---A				
1921	-----F	1971	-----A				
1922	-----C	1972	-----E				
1923	---a	1973	-----C				
1924	---a	1974	-----B				
1925	---b	1975	-----B				
1926	---e	1976	-----E				
1927	---a	1977	-----B				
1878h		1928	-----B	1978	---c		
1879	-----E	1929	-----B	1979			
1880	-----J	1930	-----D	1980	---b		
1881	-----C	1931	f	1981	---b		
1882	---g	1932	---c	1982	---a		
1883	---b	1933	-----B	1983	---a		
1884h		1934	-----C	1984	---c		
1885	---c	1935	-----C	1985	-----C		
1886	---a	1936	---b	1986	g		
1887	-----H	1937	---g	1987	---g		
1888	-----I	1938	-----A	1988	-----E		
1889	-----C	1939	-----A	1989	-----E		
1890	-----A	1940	-----D	1990	-----C		
1891	---g	1941	-----A	1991	-----A		
1892h		1942	---a	1992	-----D		
1893	-----D	1943	k	1993	---b		
1894	---e	1944	-----F	1994	g		
1895h		1945	---g	1995	---c		
1896	---d	1946	-----A	1996	---d		
1897	---e	1947	---d	1997	-----G		
1898	---e	1948	---a	1998	-----C		
1899	-----A	1949	---g	1999	---a		

Figura 20: COFECHA correspondiente a las muestras de enebro recopiladas en Aliaga. Elaboración propia.

7.5 Obtención y tratamiento de datos

7.5.1 Análisis a nivel de medias

A continuación, se introducen en Microsoft Excel 365 (Simonyie, 1981) los datos obtenidos del proceso de datación, distinguiendo en todo momento entre los individuos de Aliaga y los de Ribazada.

A partir de la anchura de los anillos de cada individuo y año concreto, se obtiene el promedio de crecimiento de los anillos entre todos los individuos y para cada año, distinguiendo entre sanos, decaídos y muertos.

Posteriormente, teniendo en cuenta que estos arbustos se caracterizan por crecer menos de jóvenes y más conforme se van haciendo adultos, es necesario eliminar la tendencia asociada a esto mismo, para quedarnos únicamente con la variación interanual del crecimiento. De esta manera se obtiene un Índice de Anchura del Anillo (RWI) para cada año.

A continuación, establecemos relaciones entre la presencia e infestación media de muérdago enano sobre los enebros y su estado de salud para cada sitio, así como, con la altura, diámetro, frondosidad y edad que presentan.

Por otro lado, a partir de los datos de clima expuestos con anterioridad y del RWI, se calculan sus correlaciones de Pearson (\pm error estándar) y el nivel de significación (Anexo 2), en el periodo temporal de 1950 (año con un número de muestras suficiente para considerarlo representativo) a 2016 en el caso de Aliaga y 2019 en el de Ribazada. Las variables climáticas con las cuales se va a calcular la correlación con el RWI, son temperatura máxima y mínima, precipitación y humedad del suelo.

Finalmente se obtiene el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI), que se trata de un índice de sequía multiescalar basado en datos climáticos. Se puede utilizar para determinar la aparición, duración y magnitud de las condiciones de sequía con respecto a las condiciones normales. Su cálculo se basa en la diferencia mensual (o semanal) entre precipitación y evapotranspiración potencial (CSIC, 2021). Se recopilan SPEI de sequías acumuladas de hasta 24 meses y se correlacionan con los RWI de los distintos individuos, para ver como se ve afectado el crecimiento en épocas de sequía.

Cabe destacar que en este apartado se trabaja a nivel de medias, y se asume el carácter más generalista y menos preciso que tiene. Sin embargo, a continuación, se muestra la metodología seguida para la obtención y análisis de algunas de estas cuestiones a nivel de individuo, cuyos resultados son más complejos y rigurosos.

7.5.2 Análisis a nivel de individuo

Mediante el uso del paquete estadístico dplR (Dendrochronology Program in Library) en R (Gentleman y Ihaka, 1993) obtenemos la que será la variable respuesta el BAI, asumiendo un crecimiento concéntrico de las rodajas.

Como variables predictoras para realizar los modelos lineales mixtos utilizamos una variable climática con una fuerte correlación con el crecimiento como es la precipitación de verano y, por otro lado, el porcentaje de copa afectado por muérdago enano. Además, también se determinan estas relaciones teniendo en cuenta la variable tiempo, para considerar la tendencia del crecimiento. El cálculo de dichos modelos se lleva a cabo mediante el paquete estadístico nlme (Linear and Nonlinear Mixed-effects Models en R).

Estos modelos nos permiten considerar el crecimiento a nivel de individuo, así como, tener en cuenta la propia variabilidad de dichos individuos. También se tiene en cuenta que el crecimiento de los años posteriores se encuentra influenciado por variables, ya sean climáticas o de infestación, de años anteriores.

De esta manera se establecen dos modelos diferenciados, según el sitio, uno para Ribazada y otro para Aliaga en los cuales, se evalúa la relación de los años (yr),

precipitaciones y afección de forma individual con el BAI y, por otro lado, la relación del BAI con la interacción entre años y afección en primero lugar y afección y clima en segundo.

A continuación, se muestran los modelos (Aliaga y Ribazada respectivamente) planteados en R para la posterior obtención de las estadísticas:

```
Model1a <- lme(log10(BAI+1) ~ yr*Afeccion + verano*Afeccion, random  
  =~1|IND,data=m1,correlation=corAR1(),method="ML")
```

```
Model2a <- lme(log10(BAI+1) ~ yr*Afeccion + verano*Afeccion, random  
  =~1|IND,data=m2,correlation=corAR1(),method="ML")
```

8. Resultados

8.1 Crecimiento de *Juniperus communis*

8.1.1 Aliaga

Crecimiento medio

A partir de las dataciones y mediciones se obtienen datos de crecimiento radial desde 1894 a 2016 (Figura 21). Se representa una línea para cada estado de salud valorado, siendo sanos, decaídos y muertos las categorías consideradas. Finalmente, el periodo representado está comprendido entre 1950 y 2016 porque, aunque se disponga de datos previos no se encuentran suficientemente replicados como para considerarlos representativos.

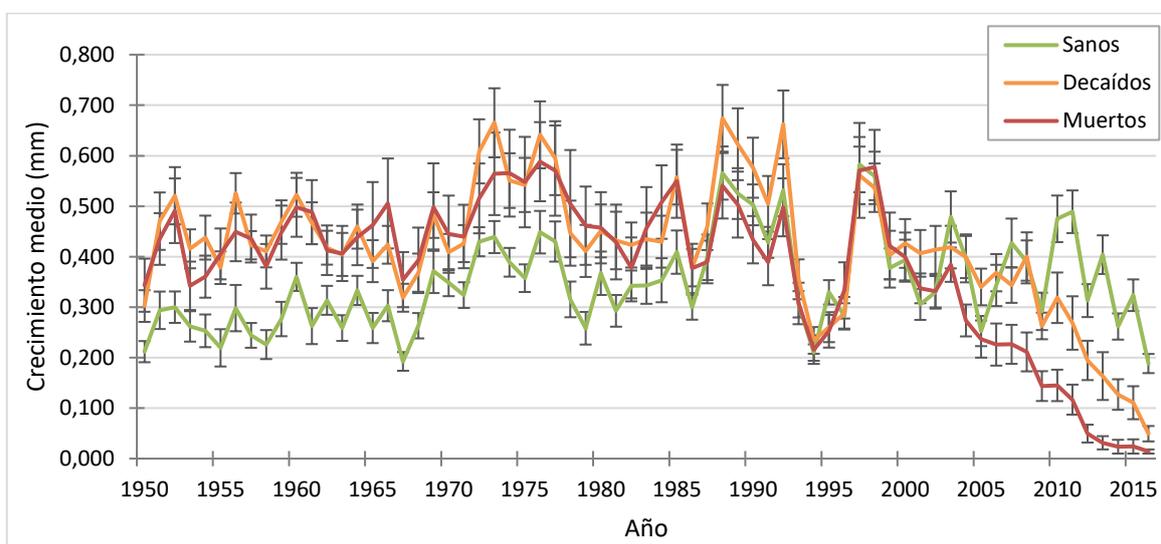


Figura 21: Crecimiento medio (\pm SE) de *J. communis* en Aliaga. Elaboración propia.

El individuo más longevo tenía 111 años, y el más joven 51 años. Se observa un crecimiento mayor en muertos y decaídos hasta 1995 con respecto a los sanos, año en el cual tiene lugar una sequía intensa y comienzan a reflejar un crecimiento menor decaídos y muertos recientes.

Índice de crecimiento (RWI)

Una vez eliminada la tendencia de crecimiento propia de los arbustos, obtenemos sus variaciones interanuales (Figura 22) que nos permitirán en última instancia calcular las correlaciones con las variables climáticas.

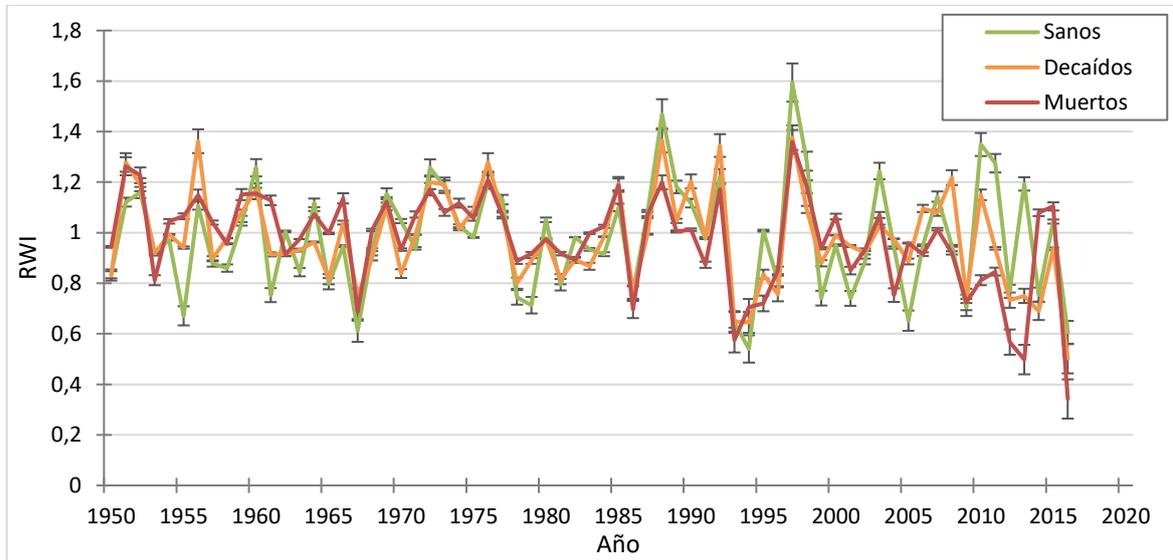


Figura 22: Índice de crecimiento (RWI) de *J. communis* (\pm SE) en Aliaga. Elaboración propia.

Encontramos un máximo de crecimiento en 1998, coincidente con un año de mayores precipitaciones, un mínimo relativo en 1995, y lo que parece ser el menor crecimiento registrado para decaídos y muertos recientes en 2019.

8.1.2 La Ribazada

Crecimiento medio

Mediante el procedimiento descrito obtenemos datos de crecimiento medio de los anillos entre 1878 y 2019 (Figura 23). Posteriormente se representan siguiendo el mismo criterio que en Aliaga, de 1950 a 2019, divididos en sanos y decaídos únicamente, ya que no se disponía de suficientes muestras de muertos.

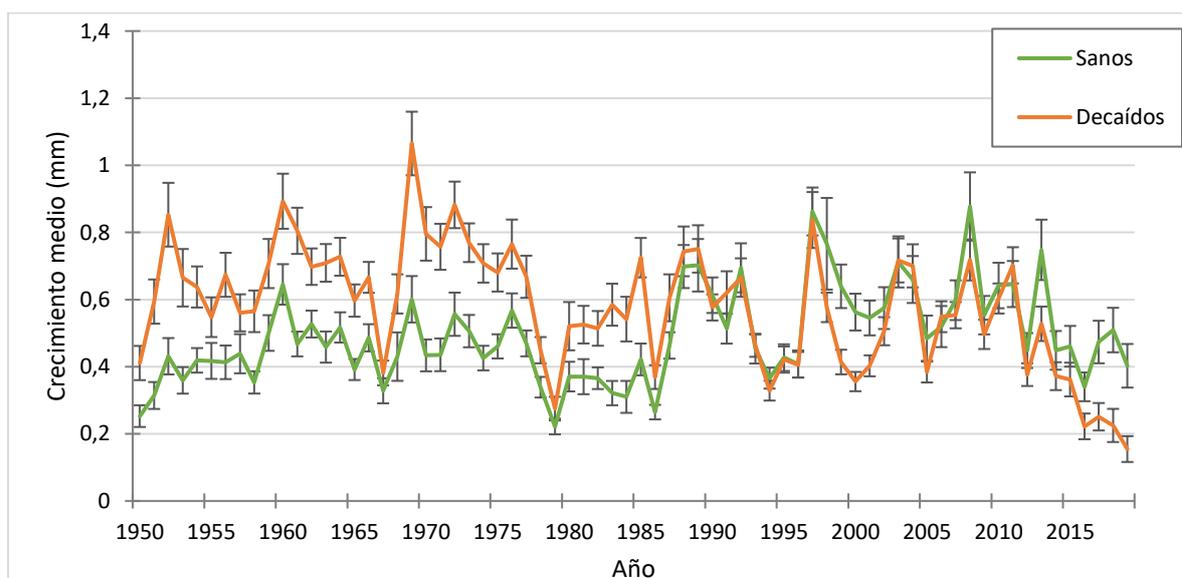


Figura 23: Crecimiento medio (\pm SE) de *J. communis* en La Ribazada. Elaboración propia.

El individuo más longevo datado tenía 142 años y el más joven 51 años. Al igual que en Aliaga, se observa un crecimiento mayor en decaídos que en sanos en el primer intervalo representado de 1950 a 1995, que tras una sequía intensa los crecimientos se igualan. Finalmente, los sanos comienzan a mostrar un crecimiento mayor notable que los decaídos recientes entorno a 2012.

Índice de crecimiento (RWI)

A continuación, se muestra las series de los Índices de crecimiento (RWI) de *J. communis* en la Ribazada (Figura 24).

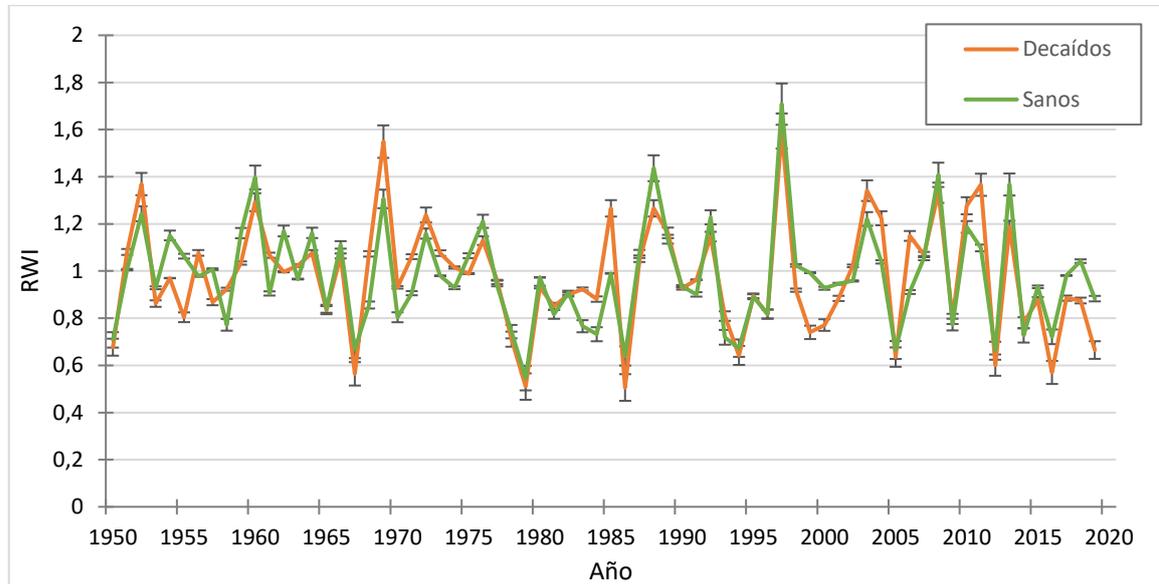


Figura 24: Índice de crecimiento (RWI) de *J. communis* (\pm SE) en La Ribazada. Elaboración propia.

Se observa un crecimiento máximo en 1998 y varios mínimos en 1968, 1980, 1986, 2005 y 2012 coincidentes con épocas de sequía intensa.

8.2 Relación entre el estado de salud de *Juniperus communis* y presencia de *Arceuthobium oxycedri*

8.2.1 Aliaga

A partir de los porcentajes de afección de copa por muérdago que presentan los enebros (Anexo I) se calcula el promedio de afección en función del estado de salud que muestran, distinguiendo entre sanos, decaídos y muertos.

Los individuos sanos no tienen presencia de muérdago (0%), los decaídos presentan un promedio del 26% de copa afectada por muérdago, siendo los muertos recientes los que mayor presencia de muérdago sustentan (31,4%).

8.2.2 Ribazada

Para Ribazada se sigue el mismo procedimiento y se determina el promedio de copa afectado por muérdago para sanos y decaídos.

Entre los individuos sanos solo se observa un caso con un 5% de afección, obteniéndose un 0,25% de copa afectado para este grupo. Los decaídos muestran un promedio del 38% de copa afectada por el hemiparásito.

8.3 Relación entre crecimiento en altura, diámetro, frondosidad y edad de *Juniperus communis* con el porcentaje afectado por *Arceuthobium oxycedri*.

8.3.1 Aliaga

Para determinar si es posible la existencia de una relación entre la cantidad de copa afectada por el muérdago y cambios en altura, diámetro, frondosidad o edad del enebro se calculan las regresiones lineales con sus estadísticos correspondientes. Además, los datos de tamaño (altura y diámetro), edad, frondosidad, así como, estado de salud de la especie se encuentran descritos en el Anexo I de este trabajo.

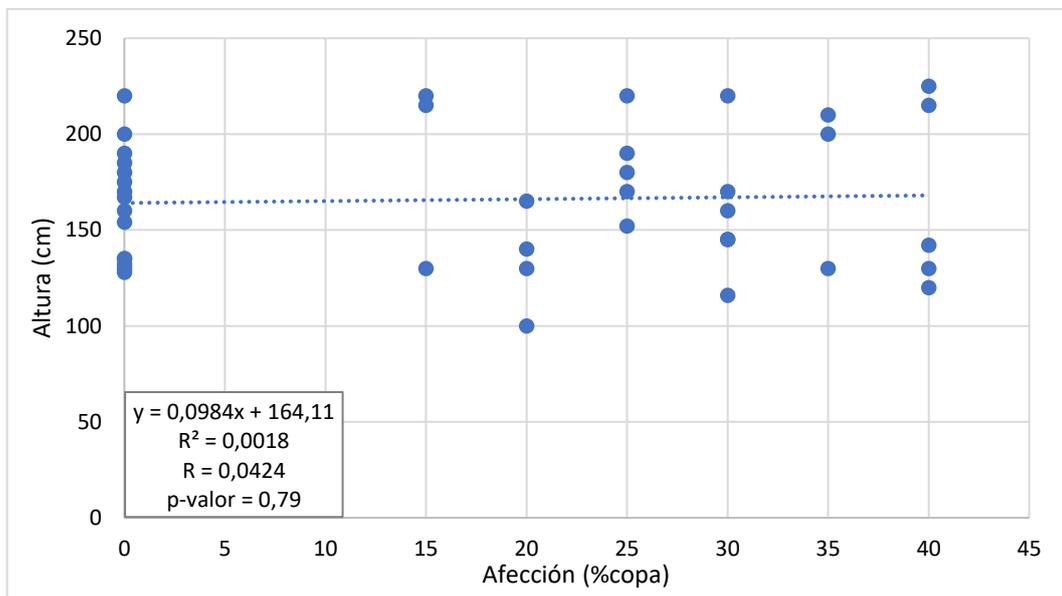


Figura 25: Correlación entre la altura de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Aliaga. Elaboración propia.

En la gráfica no se observa una relación significativa ($R = 0,0424$ y $p = 0,79$) entre ambas variables representadas (Figura 25).

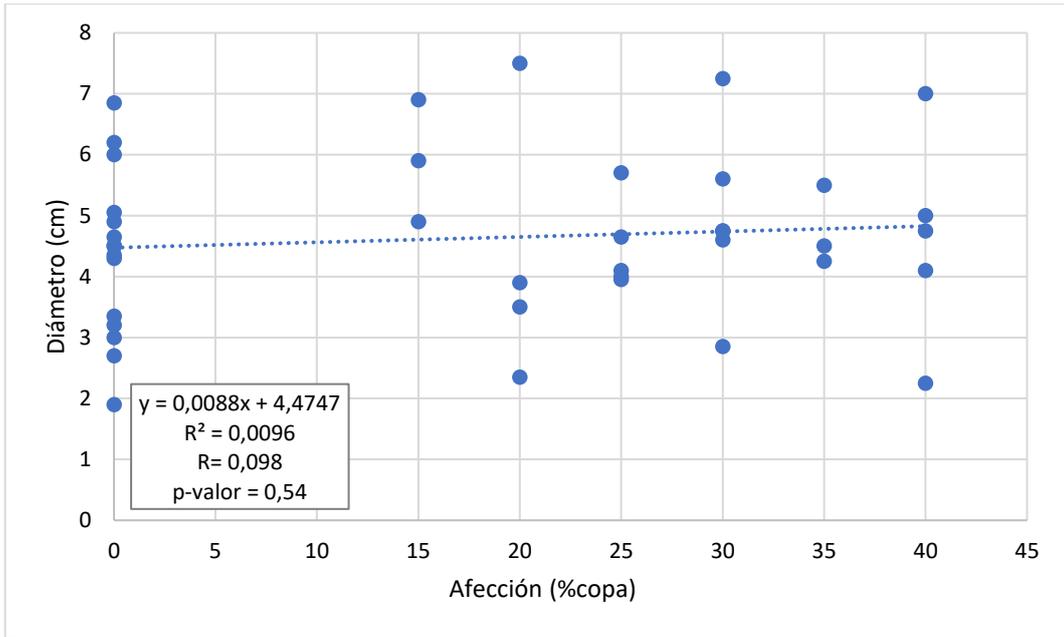


Figura 26: Correlación entre el diámetro de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Aliaga. Elaboración propia.

Los datos sugieren ($R = 0,098$ y $p = 0,54$) una relación poco significativa entre el crecimiento en diámetro de los enebros y la variación en la afección por muérdago (Figura 26).

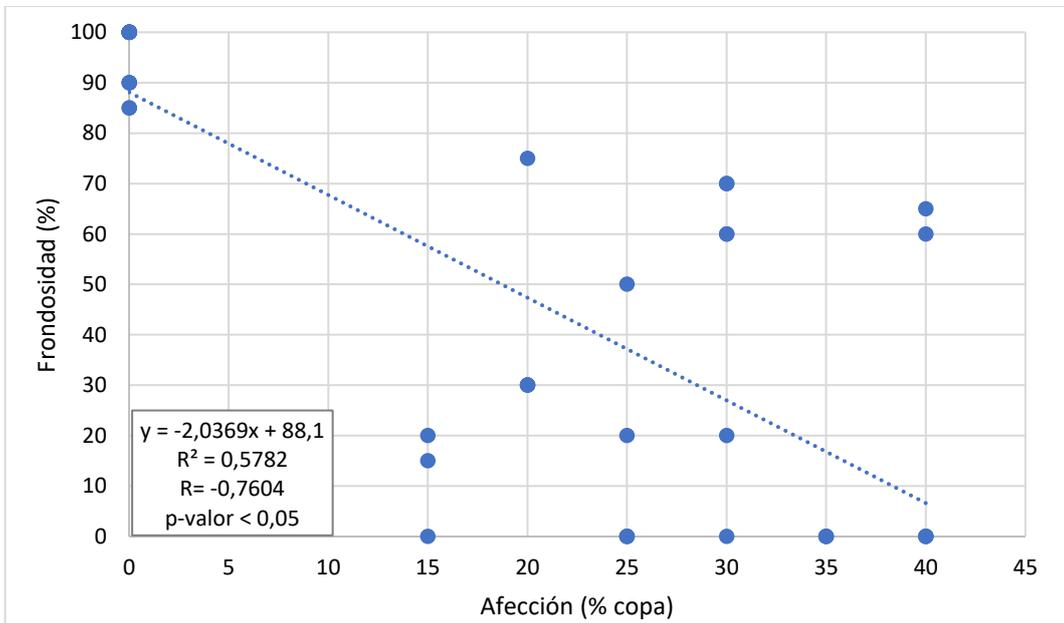


Figura 27: Correlación entre la frondosidad de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Aliaga. Elaboración propia.

Valores de $R = -0,7604$ con un $p < 0,05$ indican la existencia de una correlación negativa entre frondosidad y afección por muérdago. A mayor afección por muérdago enano menor frondosidad presentan los enebros en Aliaga (Figura 27).

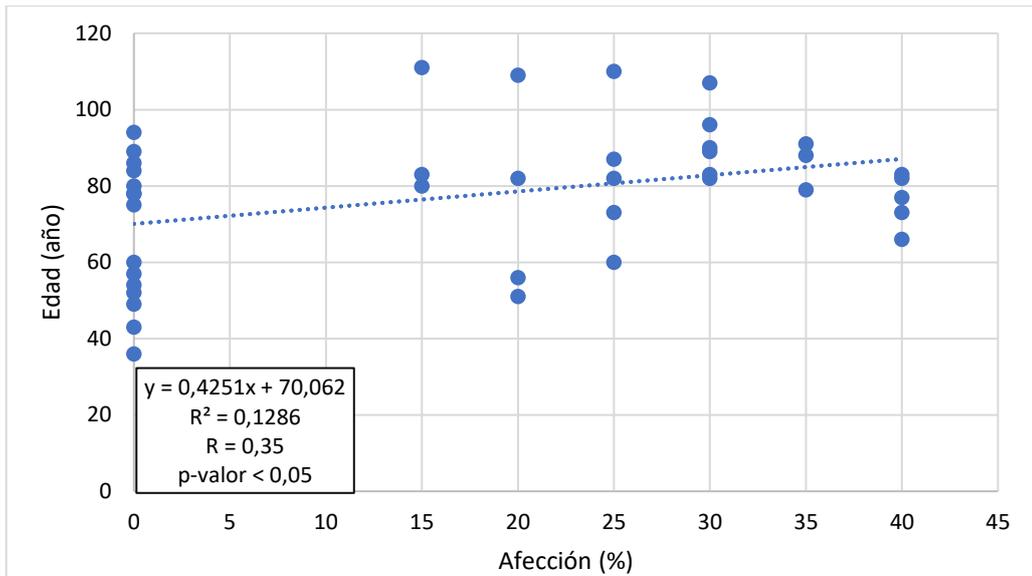


Figura 28: Correlación entre la edad de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Aliaga. Elaboración propia.

Por último, los resultados muestran correlaciones significativas positivas ($R = 0,35$ y $p\text{-valor}$ de $0,02$) entre la edad de los enebros y la afección por muérdago enano, es decir, los arbustos más viejos presentan infestaciones más severas (Figura 28).

8.3.2 Ribazada

De la misma manera se determinan las regresiones lineales para las variables descritas en Ribazada.

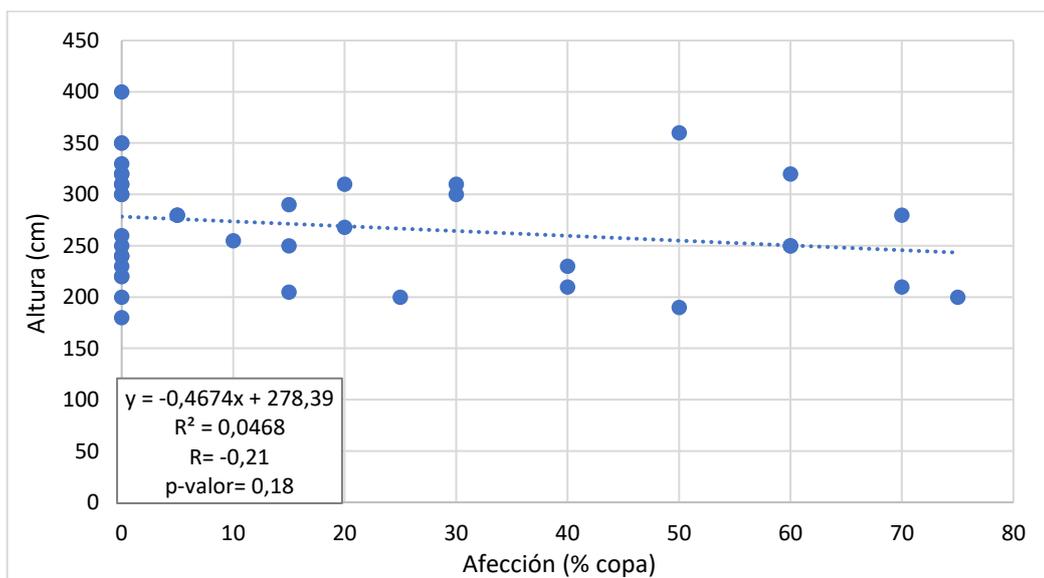


Figura 29: Correlación entre la altura de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Ribazada. Elaboración propia.

A partir de esta regresión lineal se puede decir que no se observa una correlación significativa ($R^2= 0,0468$, $p\text{-valor}= 0.18$) entre ambas variables, al igual que ocurría en Aliaga (Figura 29).

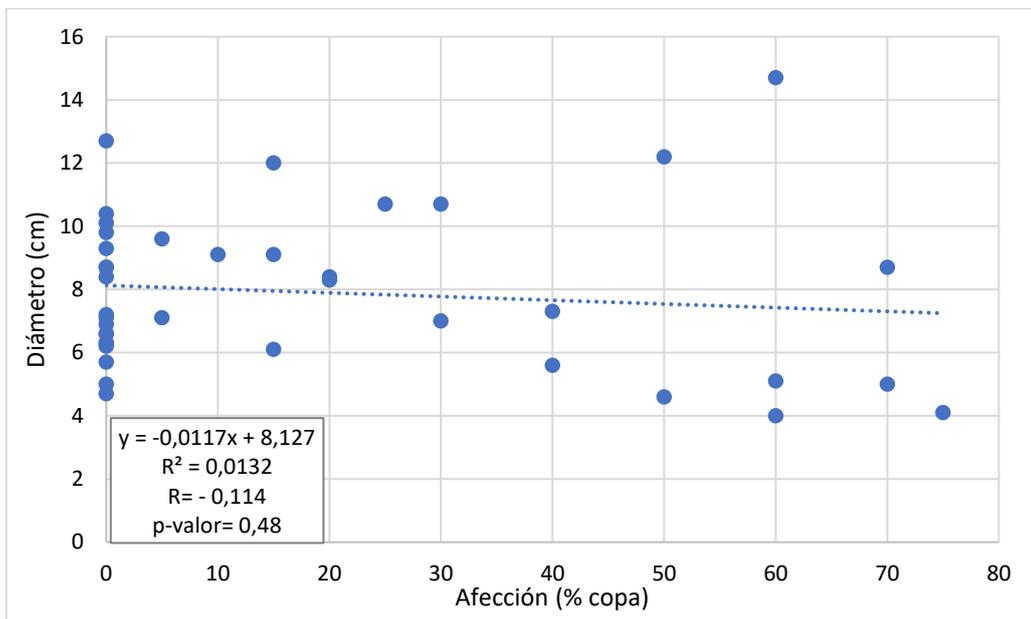


Figura 30: Correlación entre el diámetro de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Ribazada. Elaboración propia.

Tampoco se muestra una relación significativa ($R^2= 0,0132$ con $p = 0,48$) entre el diámetro y el porcentaje de copa afectado (Figura 30).

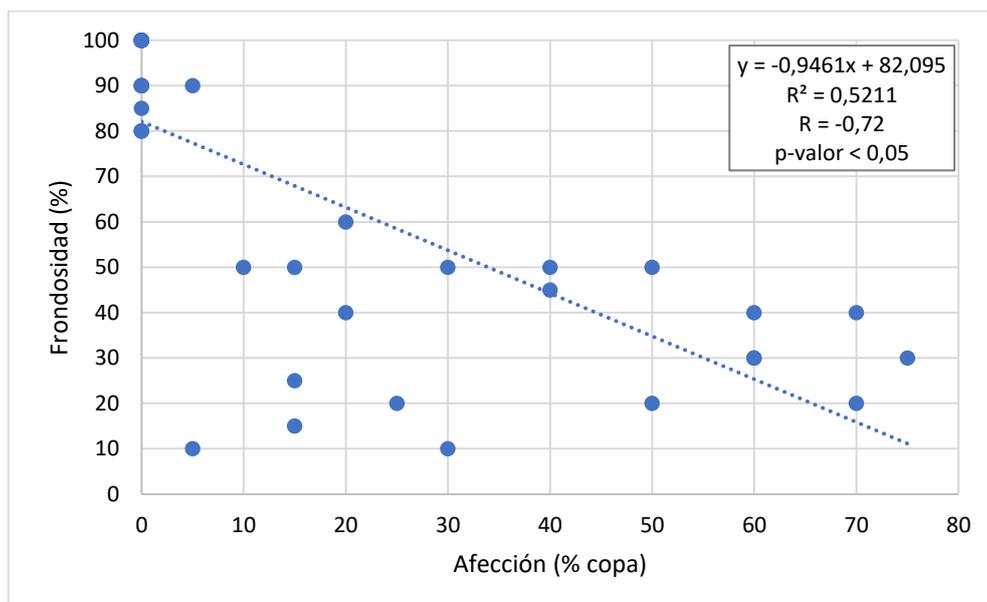


Figura 31: Correlación entre la frondosidad (%) de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Ribazada. Elaboración propia.

Como ocurría en Aliaga, se observa una correlación significativa ($R^2= 0,5211$ y $p < 0,05$) inversamente proporcional entre la frondosidad del enebro y su afección por muérdago, en Ribazada (Figura 31).

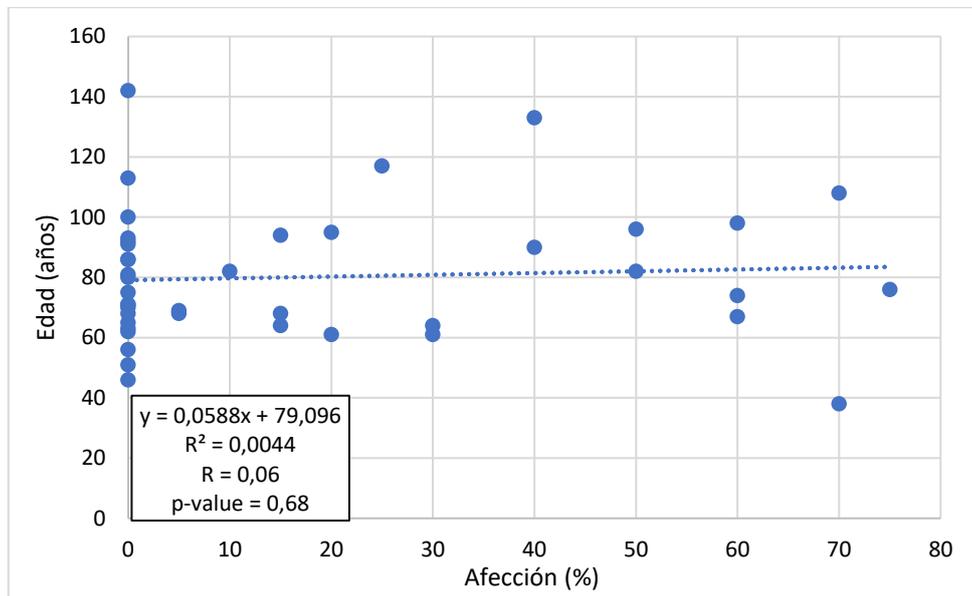


Figura 32: Correlación entre la edad de los enebros y el porcentaje de copa afectado por muérdago enano, Ribazada. Elaboración propia.

Finalmente, aunque la correlación entre infestación y edad siga siendo positiva no es significativa ($p\text{-valor} = 0,68$) y por tanto no se puede decir que esta relación sea condicionante (Figura 32).

8.4 Relación entre las variaciones interanuales en el Índice de crecimiento (RWI) de *Juniperus communis* y el clima

8.4.1 Aliaga

Se representa las correlaciones de Pearson calculadas entre el índice de crecimiento (RWI) y las variables climáticas para los individuos de Aliaga, teniendo en cuenta la temperatura máxima (T), mínima (Tn) y precipitaciones (Rr) de los 12 meses anuales. Cabe destacar que el crecimiento también es resultado de la influencia del clima del año anterior, puesto que en el año previo (t-1) se sintetizan carbohidratos que son usados para construir el anillo del año t (Figura 33). En el Anexo II se muestran los valores de significancia de los coeficientes de correlación de Pearson entre estas variables descritas.

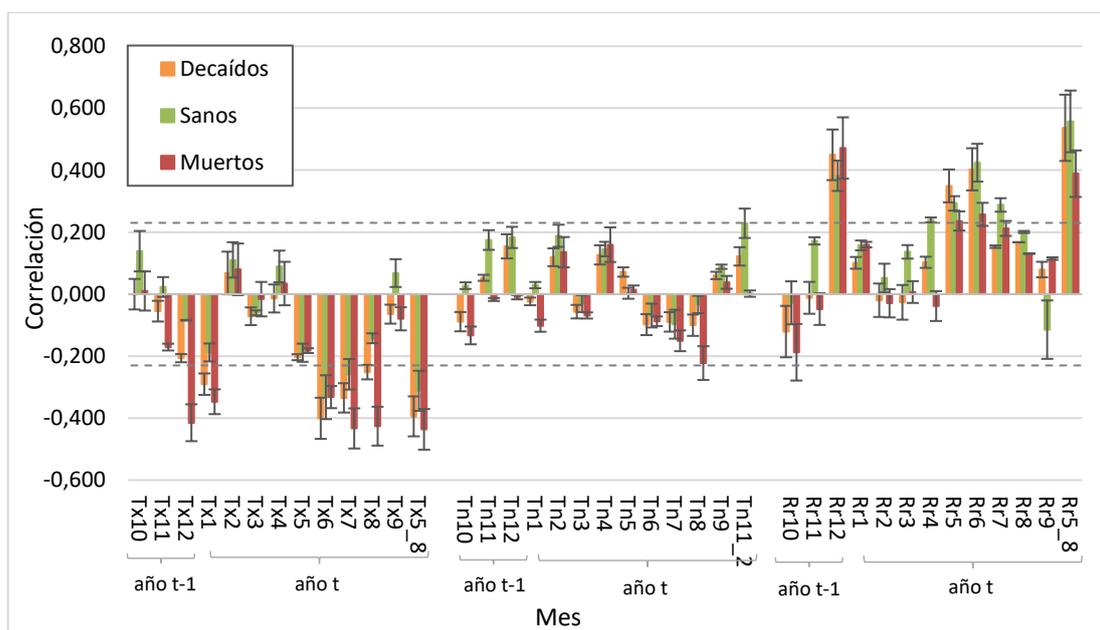


Figura 33: Correlaciones de Pearson entre RWI y clima en Aliaga (\pm SE) y su significancia ($p < 0,05$) señalada con líneas discontinuas. Siendo la numeración correspondiente a los meses de enero a diciembre. Elaboración propia.

Las correlaciones significativas más altas se observan entre el RWI y las temperaturas máximas (negativas) y precipitaciones (positivas) de mayo-agosto (Tx5_8 y Rr5_8 respectivamente). Esto implica que cuanto mayores sean las temperaturas menos crecerán los individuos y que a mayores precipitaciones mayor crecimiento presentarán. Merece la pena remarcar valores altos de coeficientes de correlación entre RWI y precipitaciones de diciembre.

A continuación, se representan las regresiones entre el crecimiento y los meses de verano para las variables temperatura máxima y precipitación (Figuras 34-35).

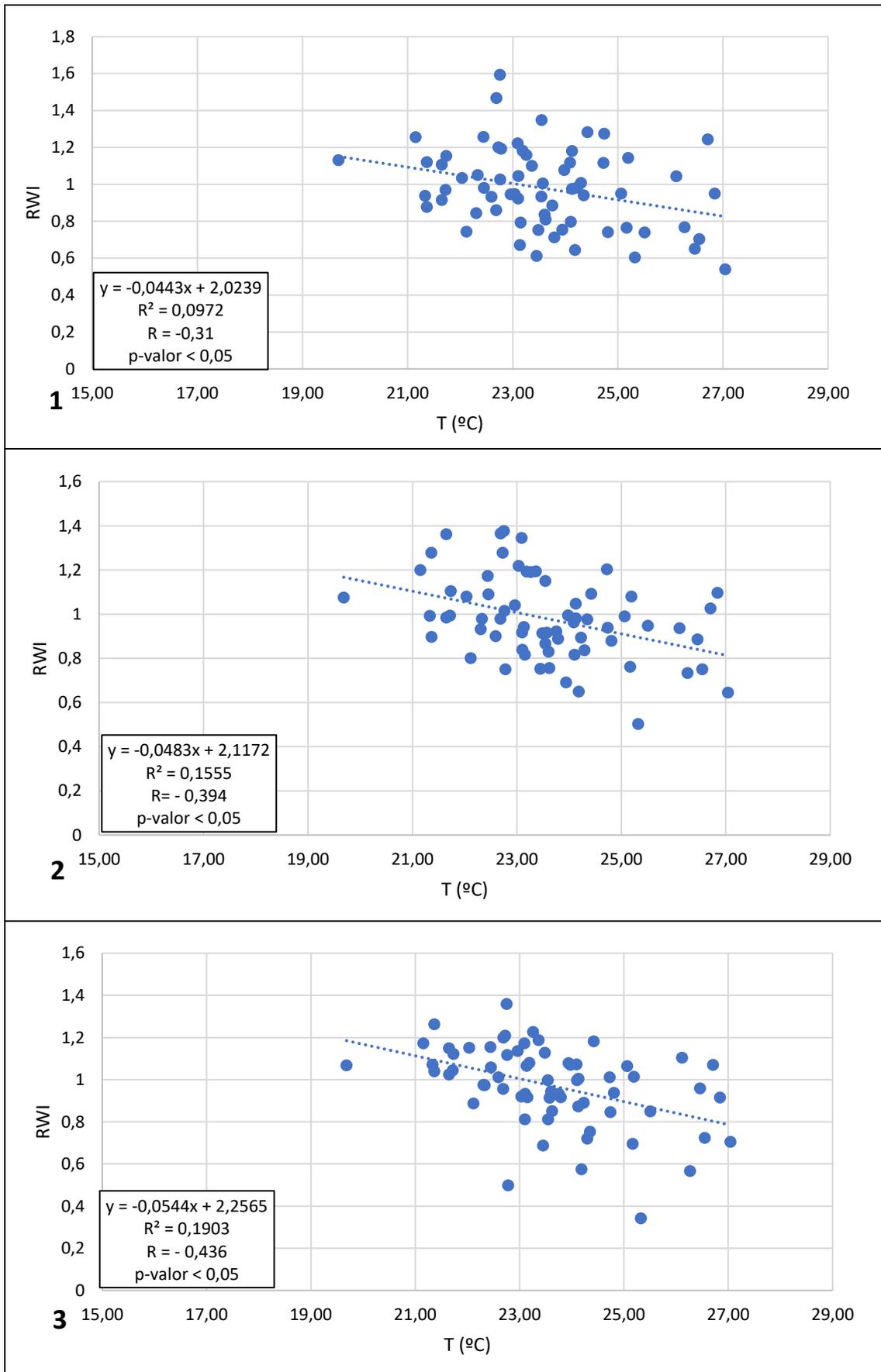


Figura 34: Regresiones lineales temperatura máxima de verano con RWI en Aliaga. Sanos 1, decaídos 2 y muertos 3. Elaboración propia.

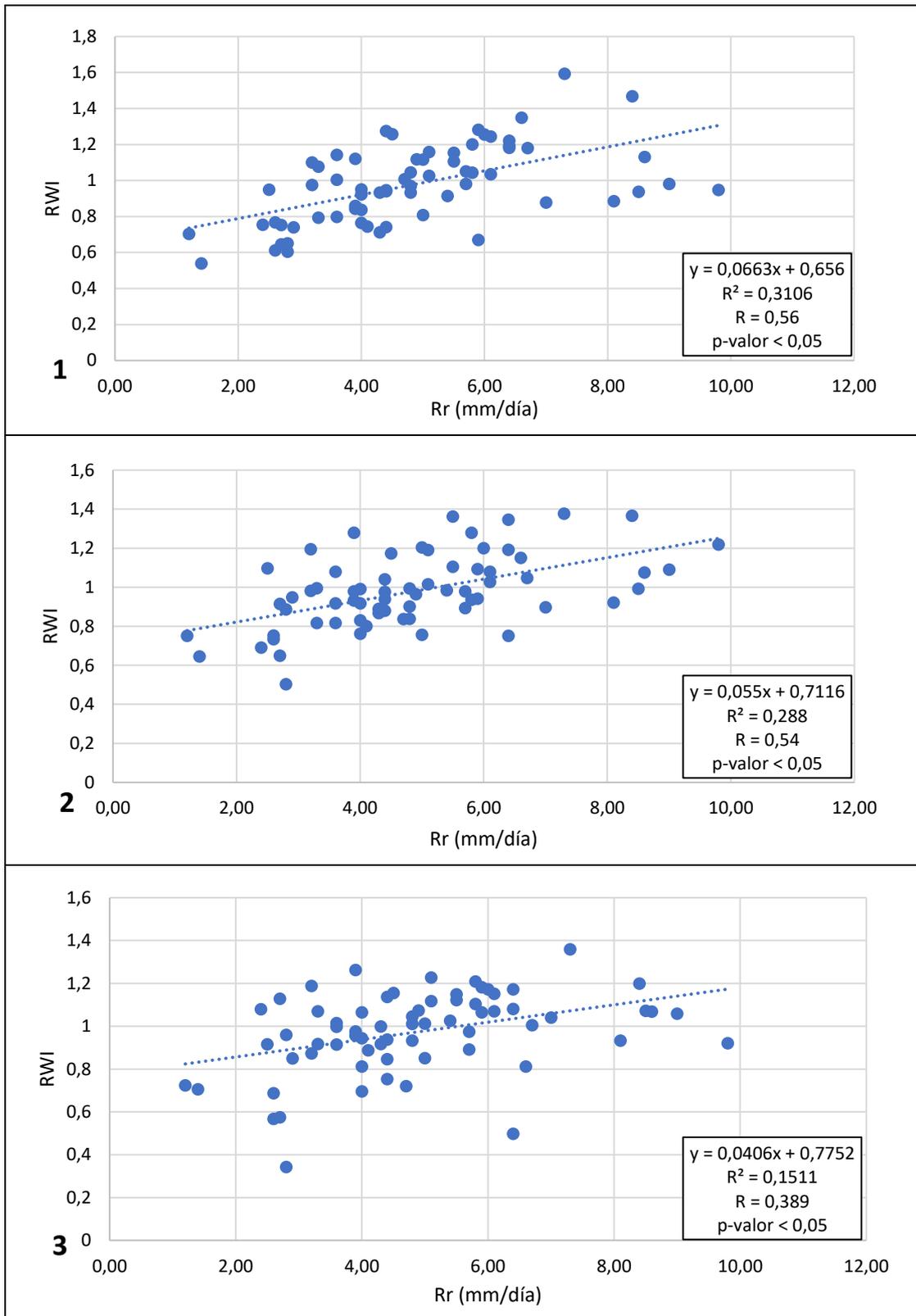


Figura 35: Regresiones lineales con precipitación de verano y RWI en Aliaga. Sanos 1, decaídos 2 y muertos 3. Elaboración propia.

Además, se obtienen las correlaciones de Pearson entre la humedad del suelo (Sm) y el RWI para los 12 meses anuales (Figura 36).

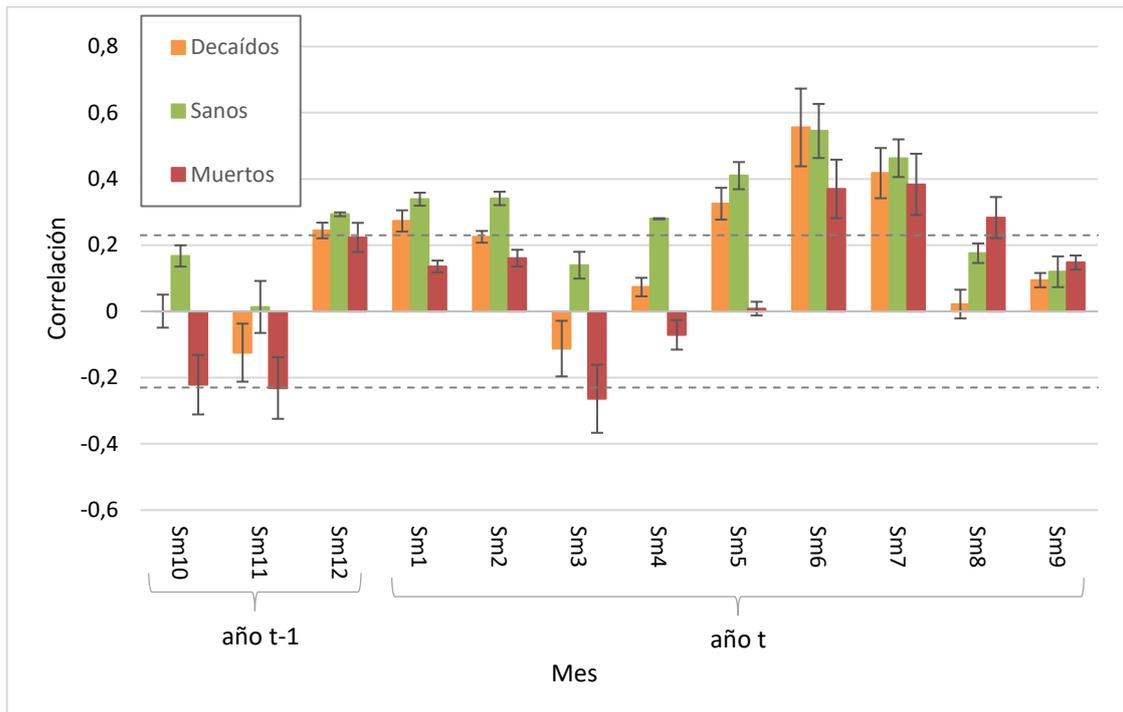


Figura 36: Correlaciones de Pearson entre la humedad del suelo y RWI (\pm SE) de *J. communis* en Aliaga y su significancia en líneas discontinuas ($p < 0,05$). Siendo la numeración los meses de enero a diciembre. Elaboración propia.

Observamos mayoritariamente correlaciones positivas, en las cuales, a mayor humedad mayor crecimiento. Destacan relaciones más altas en los meses de verano y más concretamente en junio (Sm6) y julio (Sm7), pudiendo estar indicando una mayor sensibilidad de los arbustos en épocas secas a esta variable (Figuras 37-38).

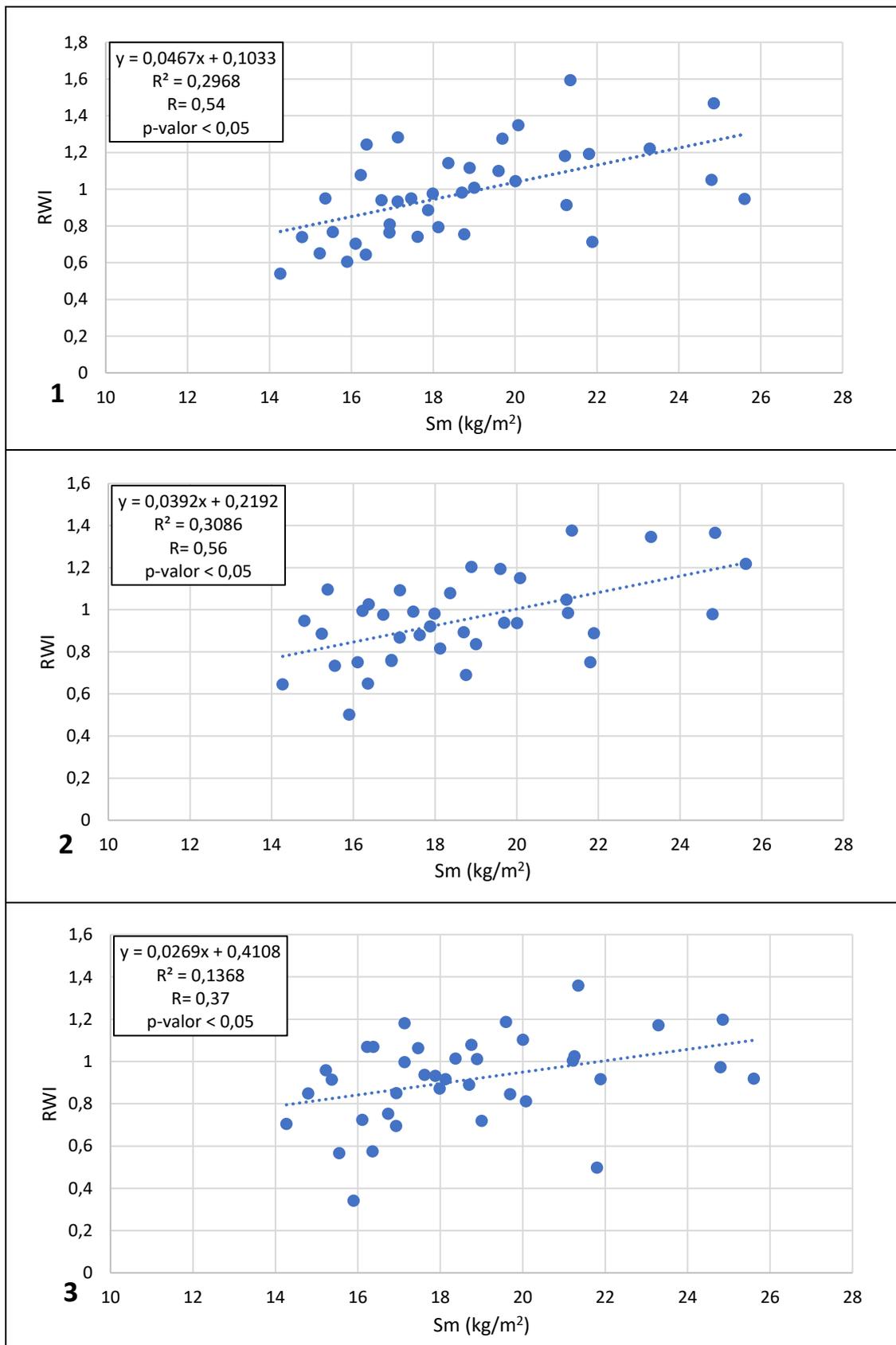


Figura 37: Regresiones lineales de la humedad del suelo de junio (Sm6) con RWI en Aliaga. Sanos 1, decaídos 2 y muertos 3. Elaboración propia.

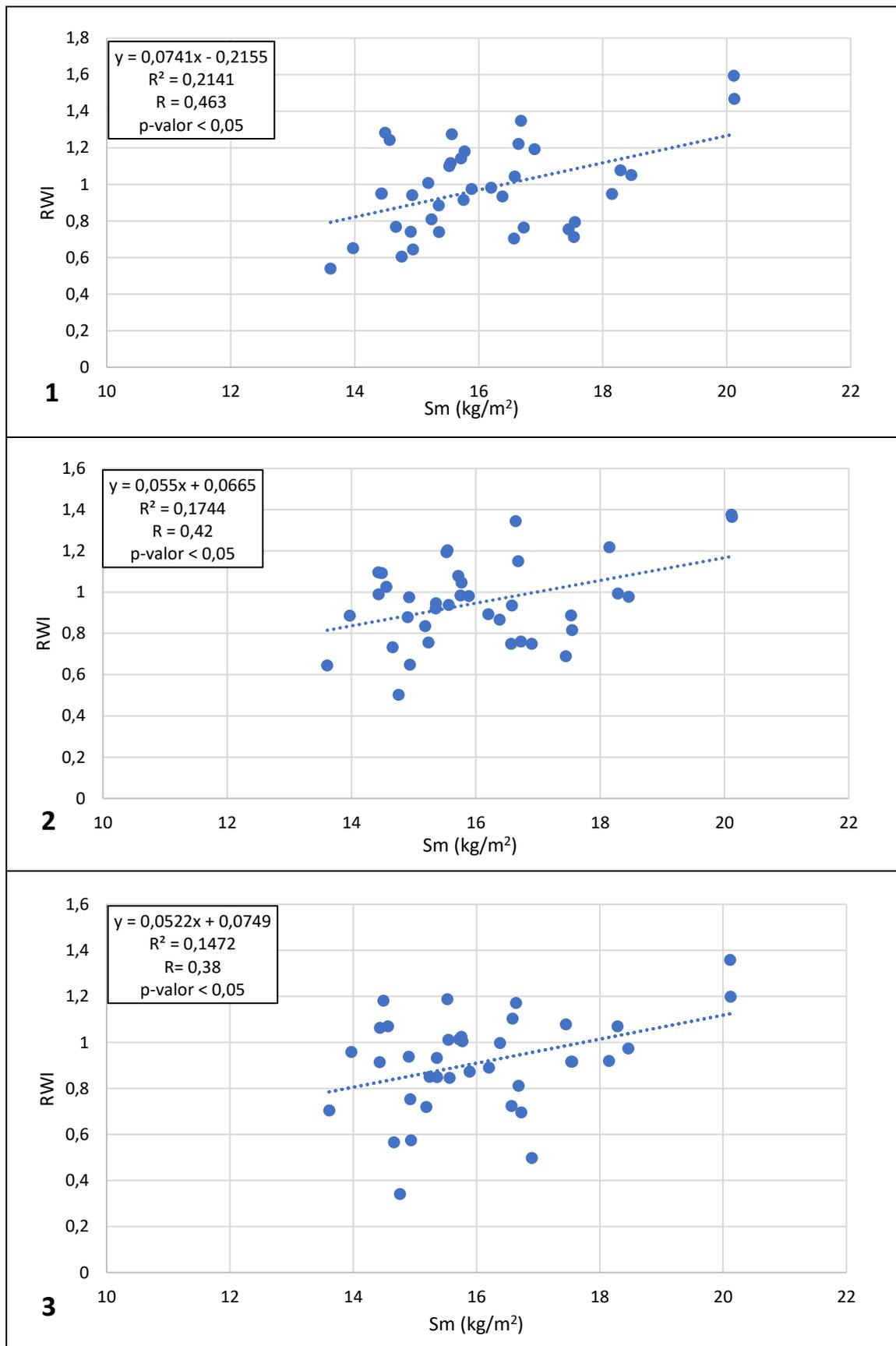


Figura 38: Regresiones lineales de la humedad del suelo de julio (Sm7) con RWI en Aliaga. Sanos 1, decaídos 2 y muertos 3. Elaboración propia.

8.4.2 La Ribazada

Repitiendo el proceso seguido para Aliaga, se representan las correlaciones de Pearson calculadas entre el índice de crecimiento (RWI) y las diferentes variables climáticas, temperatura máxima (T), mínima (Tn) y precipitaciones (Rr) para los 12 meses anuales (Figura 39).

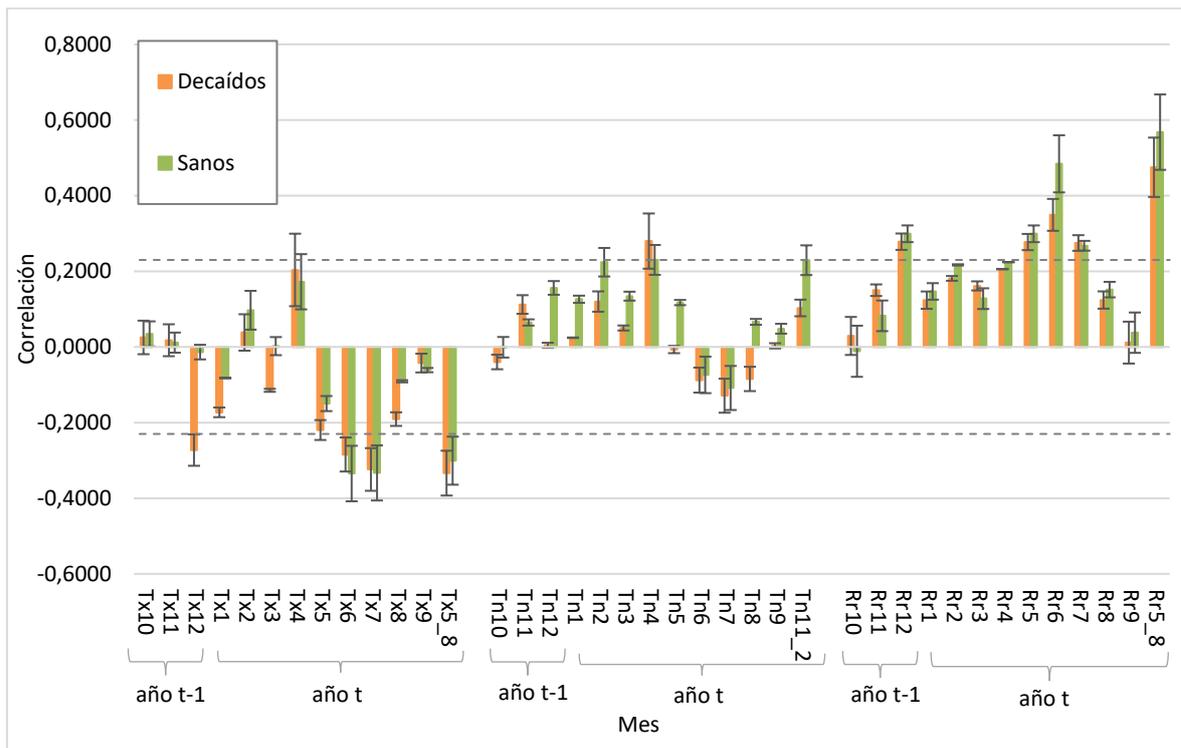


Figura 39: Correlaciones de Pearson (\pm SE) entre RWI y clima y su significancia ($p < 0,05$) señalada con líneas discontinuas en La Ribazada. Siendo la numeración los meses de enero a diciembre. Elaboración propia.

Destacan las correlaciones correspondientes a la temperatura media máxima (T5_8) y precipitación total (Rr5_8) de los meses de mayo, junio, julio y agosto con el RWI.

En el caso de la temperatura máxima se muestra como a medida que aumenta, el crecimiento disminuye y en el caso de las precipitaciones, al aumentar estas el crecimiento es mayor.

A continuación, se muestran las regresiones entre la temperatura máxima y la precipitación de los meses de verano con el índice de crecimiento al presentar las correlaciones más altas (Figuras 40-41).

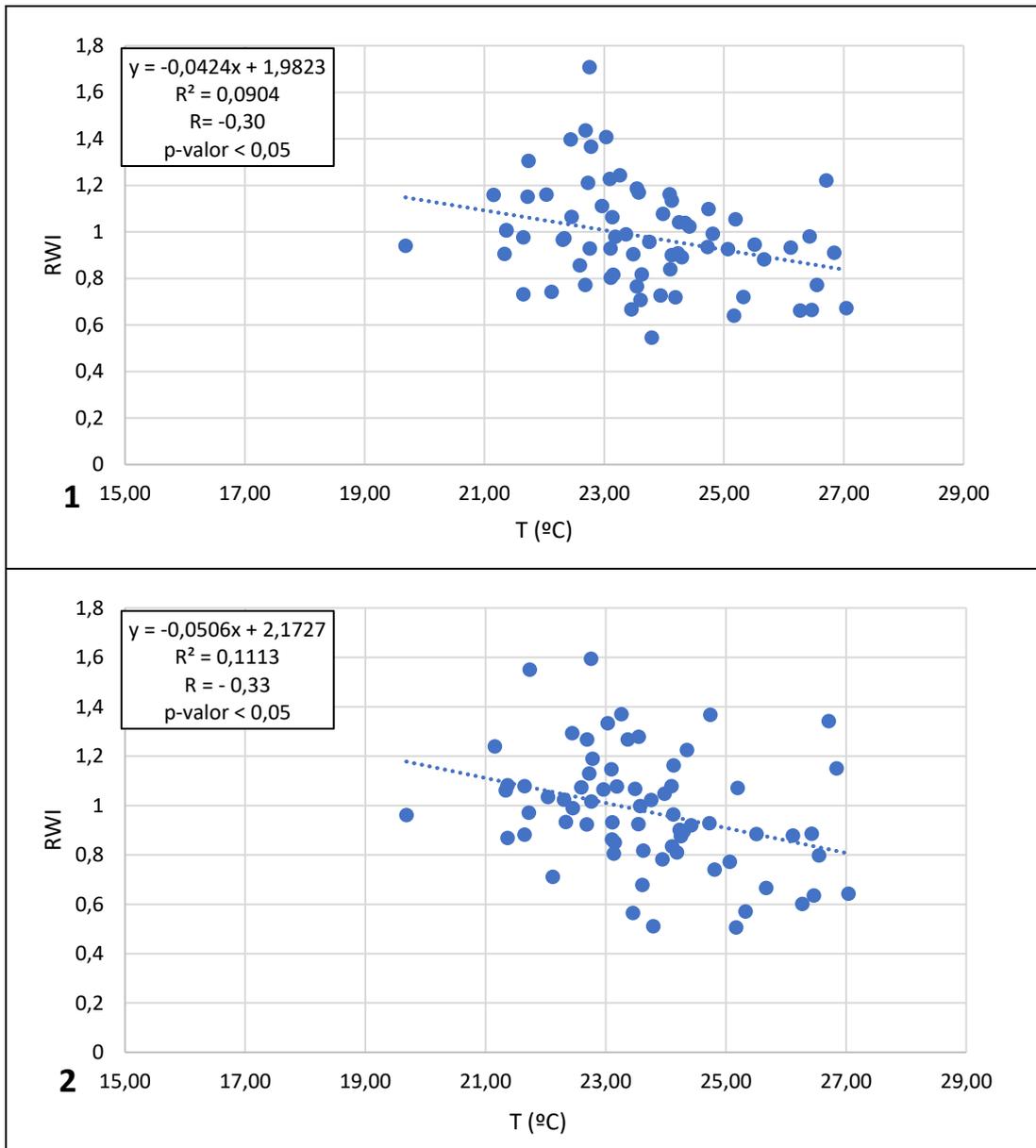


Figura 40: Regresiones lineales entre temperatura máxima de verano (T5_8) y RWI en Ribazada. Sanos 1 y decaídos 2. Elaboración propia.

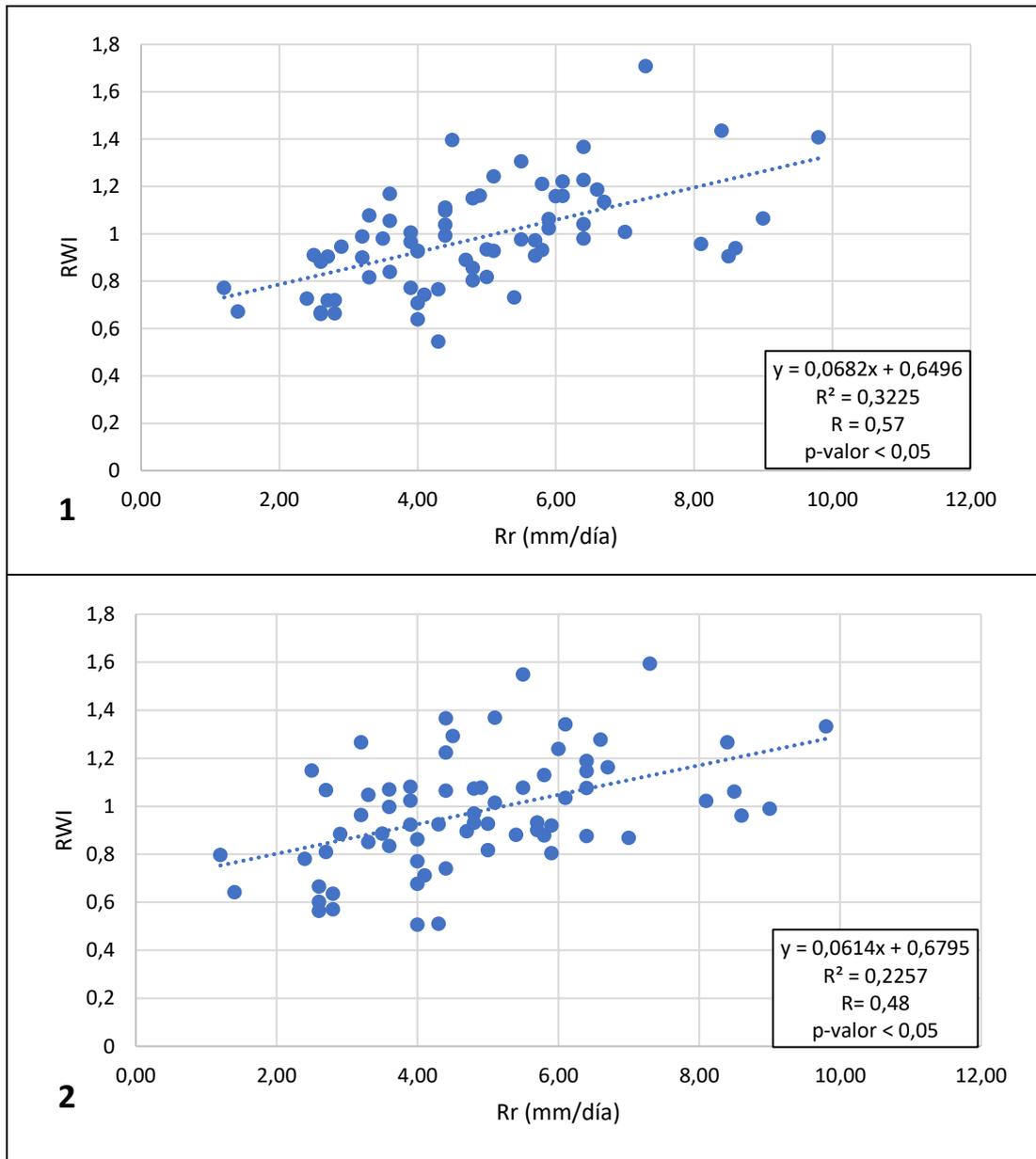


Figura 41: Regresiones lineales entre precipitaciones de verano (Rr5_8) y RWI, Ribazada. Sanos 1 y decaídos 2. Elaboración propia.

Para las correlaciones del RWI con la humedad del suelo (Sm) en Ribazada se obtiene la siguiente Figura 42:

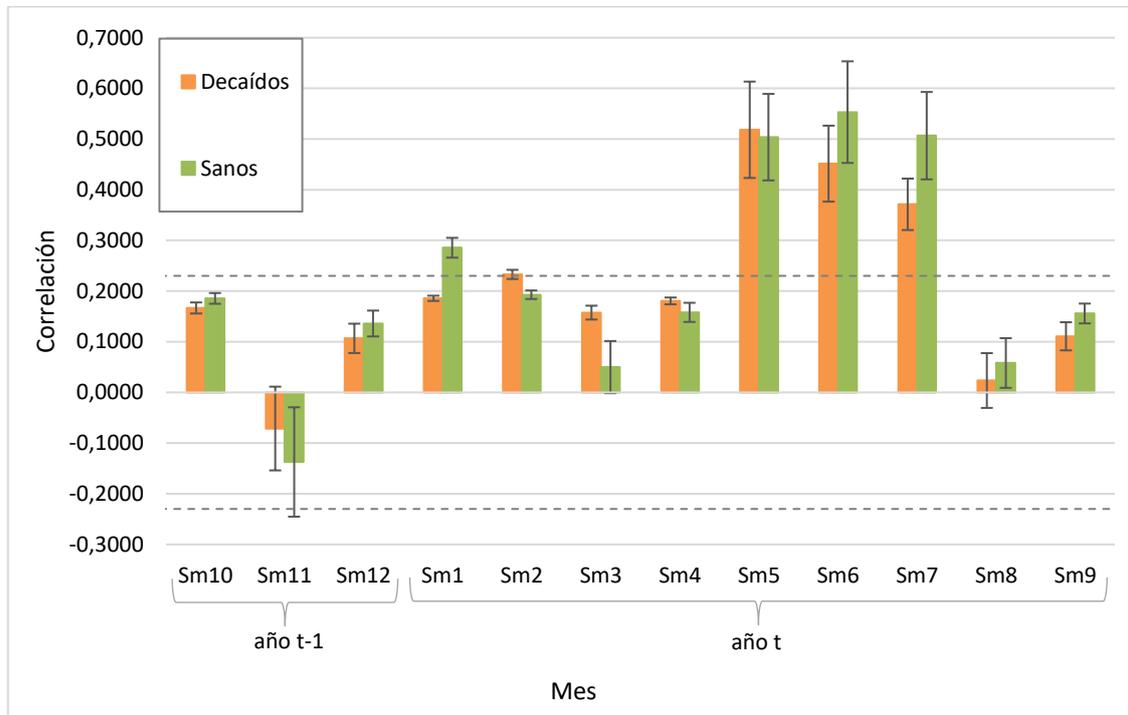
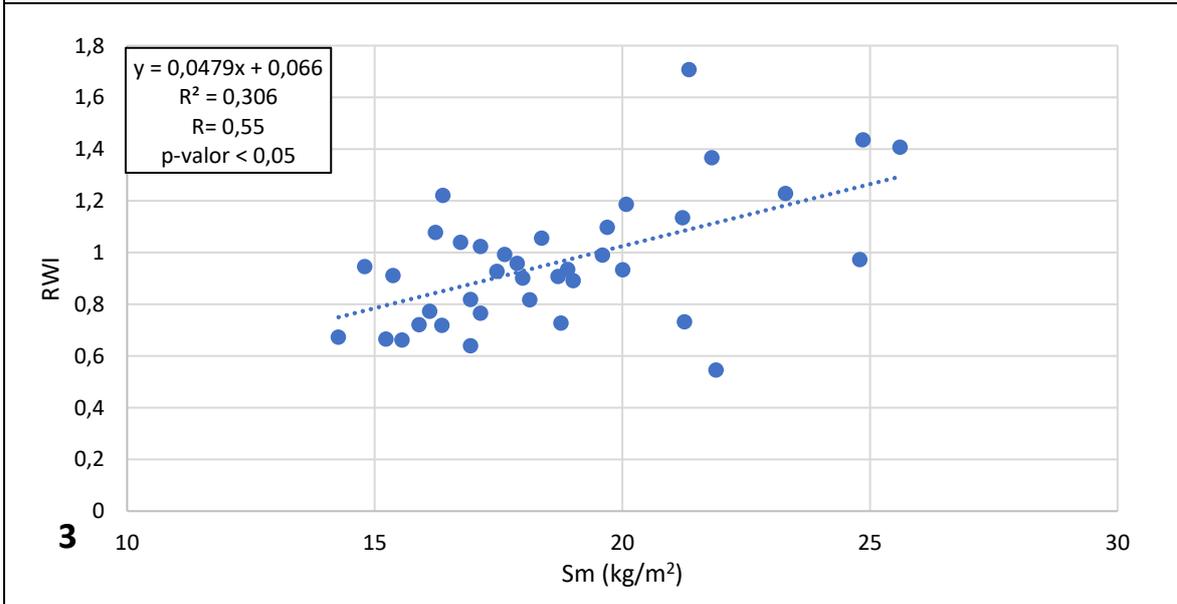
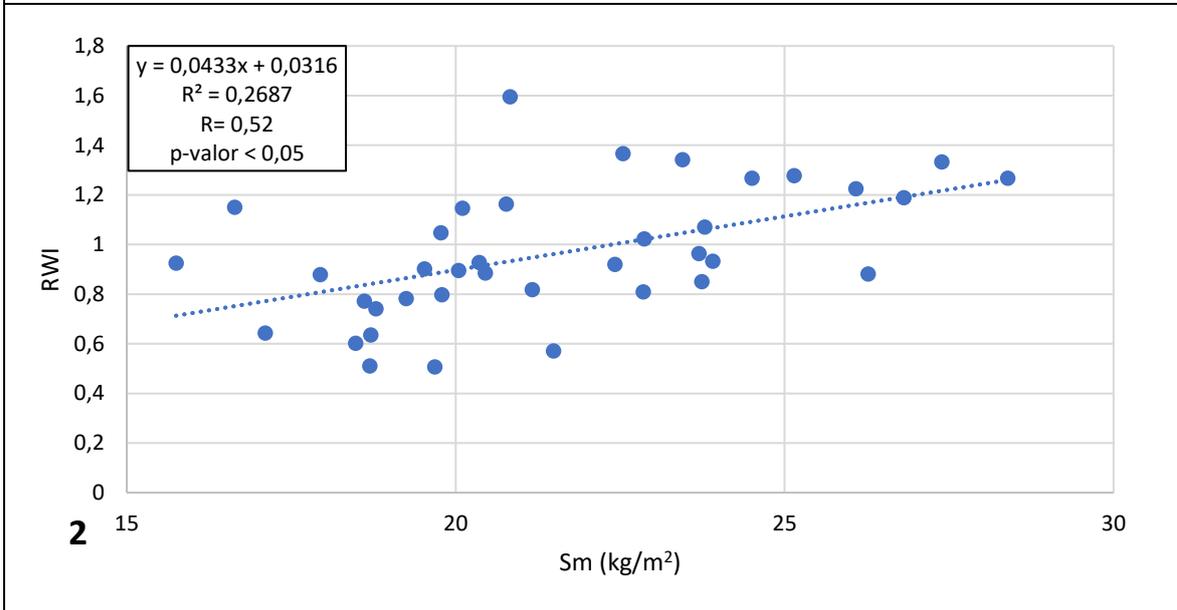
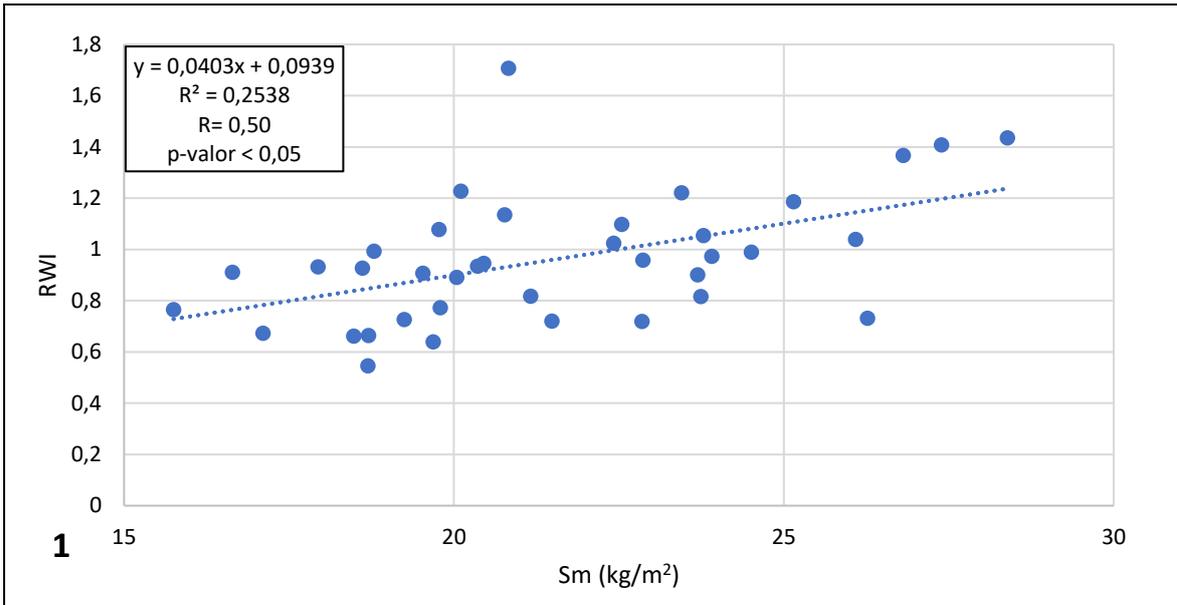


Figura 42: Correlaciones de Pearson (\pm SE) entre la humedad del suelo (Sm) y el RWI y sus significancias ($p < 0,05$) señaladas mediante líneas discontinuas en Ribazada. Siendo la numeración los meses de enero a diciembre. Elaboración propia.

Los valores más altos y significativos los encontramos en los meses de mayo, junio y julio (Sm5, Sm6 y Sm7). Sus regresiones se representan a continuación (Figura 43):



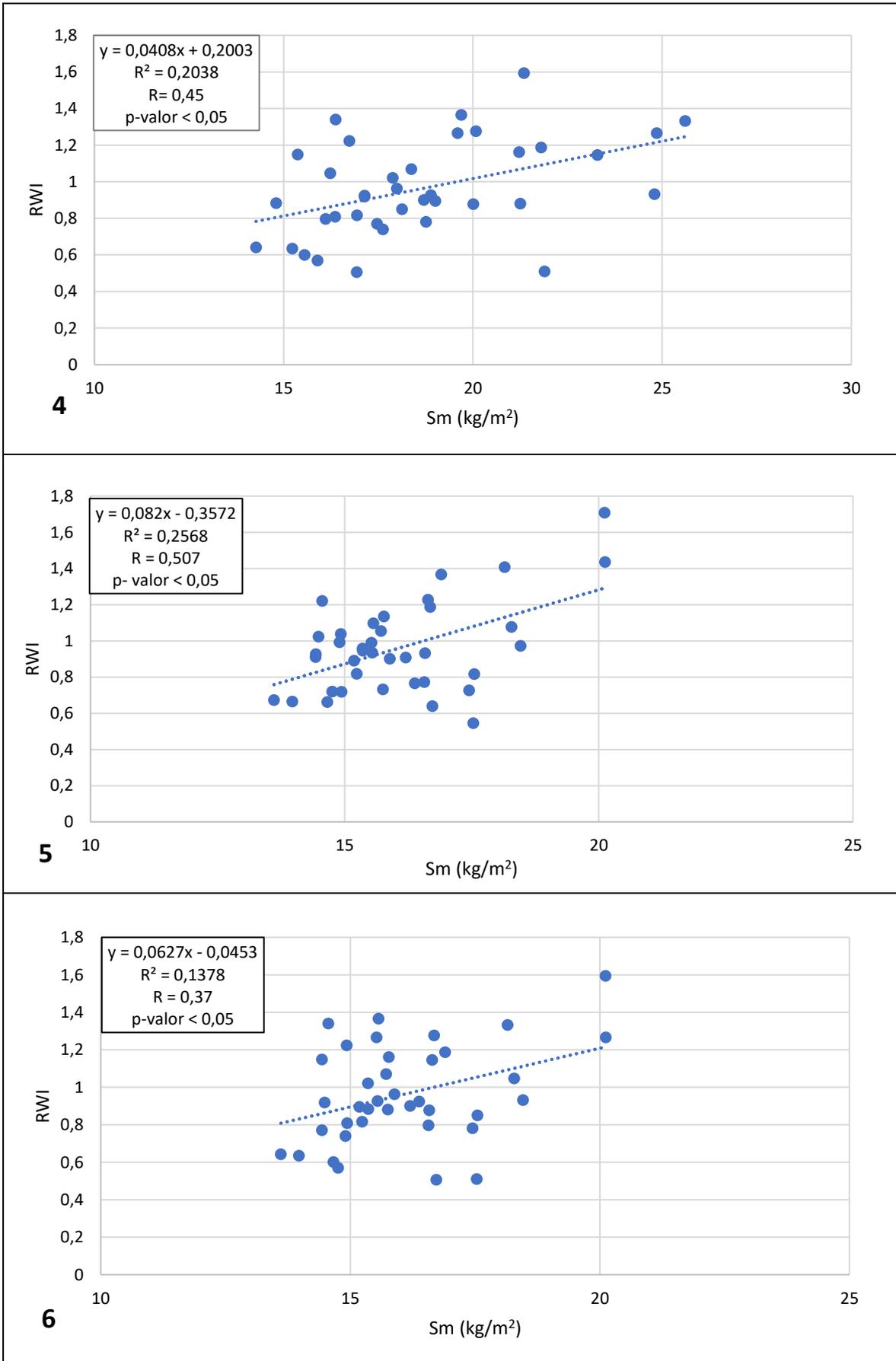


Figura 43: Regresiones lineales entre humedad del suelo (Sm) y RWI en La Ribazada. Sanos mayo 1, decaídos mayo 2, sanos junio 3 y decaídos junio 4, sanos julio 5 y decaídos junio 6. Elaboración propia.

8.5 Relación entre el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y el Índice de crecimiento (RWI).

8.5.1 Aliaga

Con el fin de determinar si existe relación entre el crecimiento de los enebros y las sequías, se calculan los coeficientes de correlación de Pearson entre ambas variables para los individuos de Aliaga, separando entre sanos, decaídos y muertos.

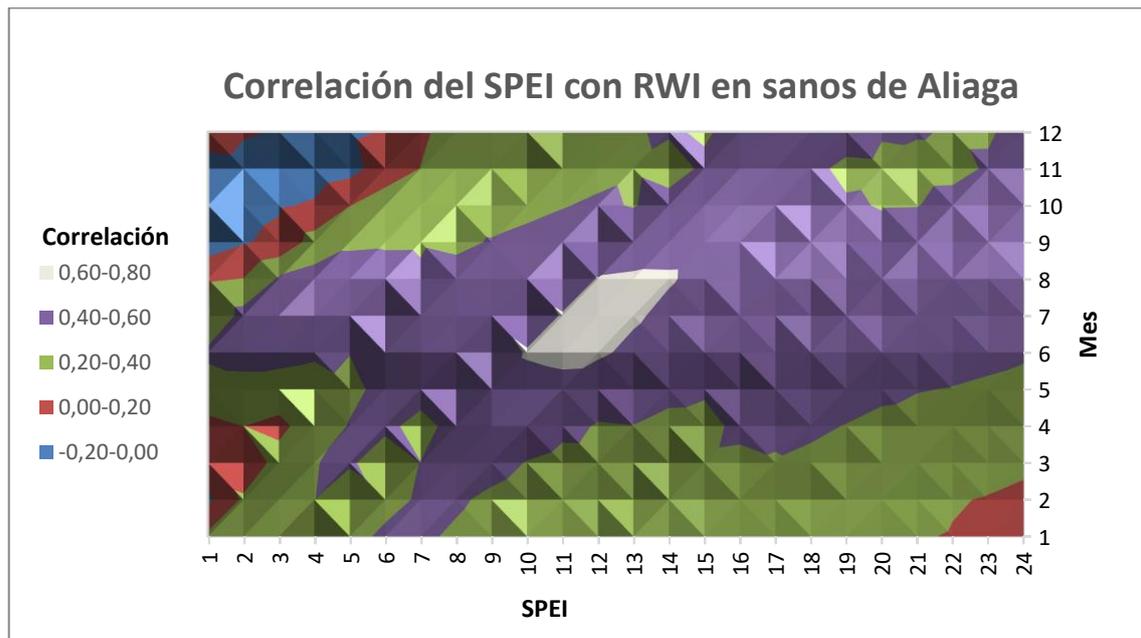


Figura 44: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* sanos en Aliaga. Coeficientes significativos (< 0.05) superiores a 0.23. Elaboración propia.

Principalmente se trata de relaciones positivas (Figura 44), lo que indica que a mayor SPEI menor sequía y mayor crecimiento muestran los enebros. Las más significativas las podemos observar en los meses de verano y para sequías acumuladas de 10-12 meses, representadas mediante colores blancos con valores de $R = 0,60-0,80$.



Figura 45: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* decaídos en Aliaga. Coeficientes significativos (< 0.05) superiores a 0.23. Elaboración propia.

Se observan (Figura 45) valores mayores ($R= 0,60-0,80$) en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, en los cuales las temperaturas son más altas y las precipitaciones menores, para sequías acumuladas de 10-16 meses.



Figura 46: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* muertos en Aliaga. Coeficientes significativos (< 0.05) superiores a 0.23. Elaboración propia.

Finalmente, para individuos muertos, las mayores relaciones (Figura 46) también se observan en los meses de verano para sequías acumuladas de 10-16 meses y $R= 0.60-0,80$.

8.5.2 Ribazada

Siguiendo el mismo proceso descrito en Aliaga, se obtienen las representaciones de los coeficientes de correlación de Pearson para los individuos sanos y decaídos de Ribazada.

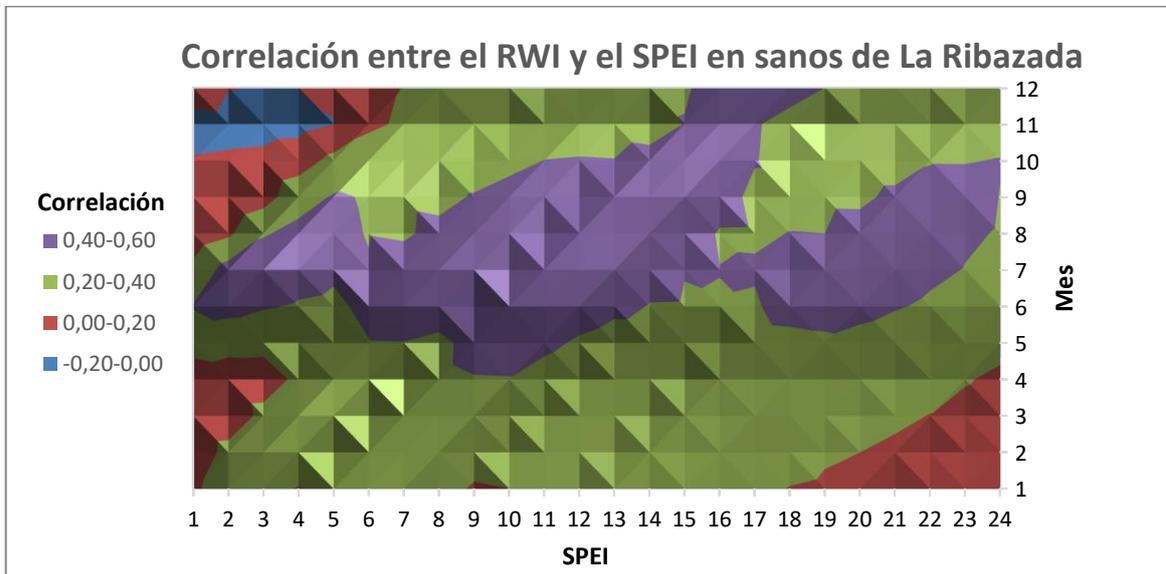


Figura 47: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* sanos en Ribazada. Coeficientes significativos (< 0.05) superiores a 0.23. Elaboración propia.

Se observan correlaciones mayores ($R= 0,40-0,60$) durante los meses de verano y parte del otoño, al igual que en Aliaga, con un rango comprendido entre 1-24 meses de sequías acumuladas. (Figura 47).

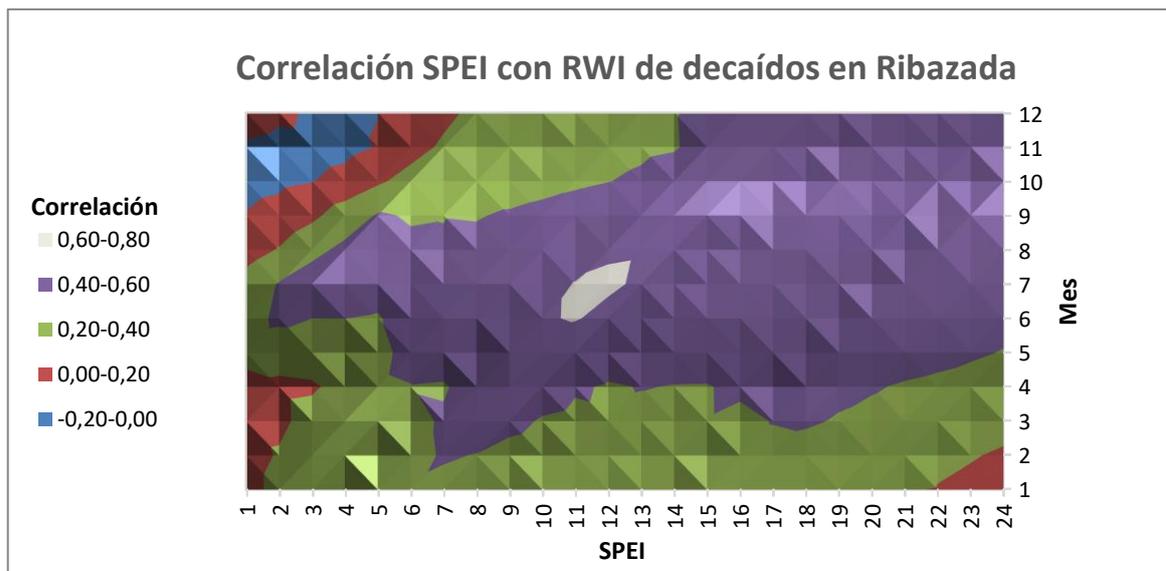


Figura 48: Coeficientes de correlación entre SPEI a diferentes escalas de tiempo (1-24 meses) y RWI de *J. communis* decaídos en Ribazada. Coeficientes significativos (< 0.05) superiores a 0.23. Elaboración propia.

Finalmente, encontramos las relaciones más altas ($R= 0,60-0,80$) durante los meses de junio y julio para 11-13 meses de sequía acumulada, en los individuos decaídos de Ribazada (Figura 48).

8.6 Relación entre la variable de Incremento de Área Basal (BAI) de *Juniperus communis* con afección, clima y años

8.6.1 Aliaga

En primera instancia se calcula el BAI y se representa por medio de una gráfica (Figura 49).

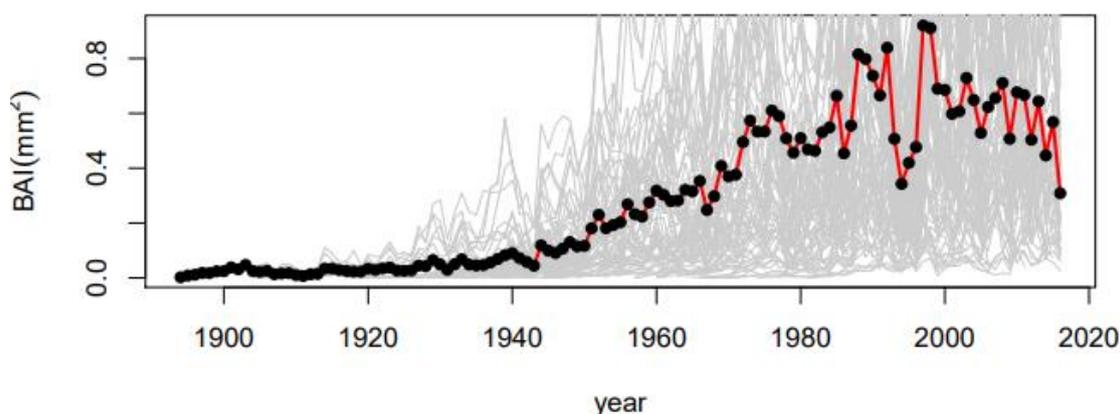


Figura 49: Incremento del área basal (BAI) en los individuos de Aliaga. Elaboración propia.

Observamos el BAI medio en rojo, obtenido a partir de los BAI individuales en colores grises. Los individuos crecen más conforme se hacen más adultos y también se pueden distinguir claramente épocas favorables de crecimiento como en 1998 y desfavorables como la sequía de 1995. Además, relacionando el BAI con las variables predictoras obtenemos el modelo mixto correspondiente a Aliaga (Tabla 1):

```
Model1a <- lme(log10(BAI+1) ~ yr*Afeccion + verano*Afeccion, random
  =~1|IND,data=m1,correlation=corAR1(),method="ML")
```

Variables	Valor pendiente	Error estándar	Número de datos	t-valor	p-valor
Intersección	-33,27644	0,7102383	2661	-46,85251	0,0000
Año	0,01716	0,0003564	2661	48,16206	0,0000
Afección	-0,01049	0,0303352	39	-0,34582	0,7313
Precipitación verano	0,00031	0,0001387	2661	2,21602	0,0268
Año*Afección	0,00001	0,0000152	2661	0,51618	0,6058
Afección*precipitación verano	-0,00001	0,0000059	2661	-0,93323	0,3508

Tabla 1: Modelo lineal mixto del BAI con las variables año, afección por muérdago y precipitación de verano por separado y, por otro lado, Relación entre BAI con la interacción año-afección e interacción afección-precipitación verano, en Aliaga. Elaboración propia. Obtenido de R.

Se observa como las variables año y precipitación de verano presentan correlaciones significativas positivas (p-valor 0,0000 y 0,0268 respectivamente) con el BAI, lo que indica que cuanto más tiempo pasa más grande es el arbusto y más crece, por un lado, y que a mayor precipitación de verano mayor BAI por otro.

8.6.2 La Ribazada

Seguimos el mismo procedimiento descrito para Ribazada (Figura 50).

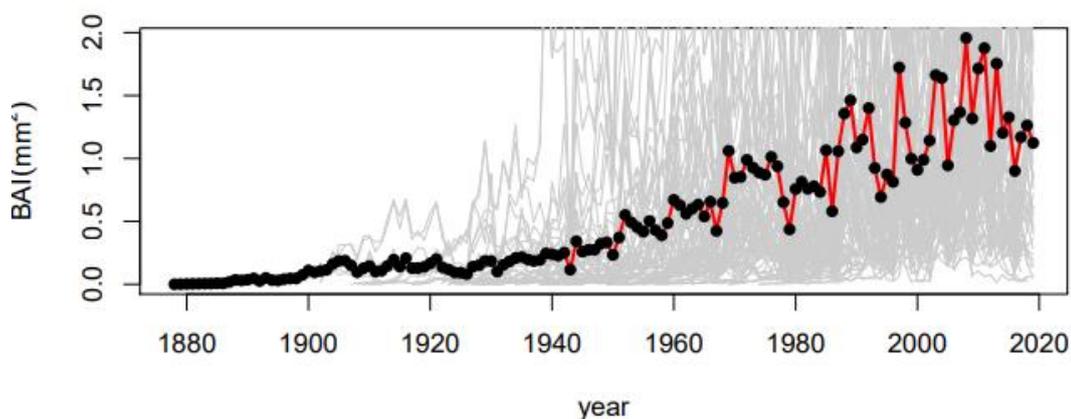


Figura 50: Incremento de área basal (BAI) en los individuos de Ribazada. Elaboración propia.

Se observa la misma tendencia comentada en Aliaga, junto a eventos de sequías intensas en 1980, 1995 y 2000 y eventos favorables como en 1997, 2003 y 2008, entre otros. A continuación, se muestra el modelo mixto (Tabla 2) elaborado para Ribazada:

```
Model2a <- lme(log10(BAI+1) ~ yr*Afeccion + verano*Afeccion, random
  =~1|IND,data=m2,correlation=corAR1(),method="ML")
```

Variables	Valor pendiente	Error estándar	Número de datos	t-valor	p-valor
Intersección	-8,616854	0,5087954	2589	-16,935793	0,0000
Año	0,004452	0,0002560	2589	17,386704	0,0000
Afección	0,038972	0,0170086	40	2,291332	0,0273
Precipitación verano	0,011543	0,0008985	2589	12,847845	0,0000
Año*Afección	-0,000020	0,0000086	2589	-2,291734	0,0220
Afección*precipitación verano	-0,000105	0,0000297	2589	3,536527	0,0004

Tabla 2: Modelo lineal mixto del BAI con las variables año, afección por muérdago y precipitación de verano por separado y, por otro lado, Relación entre BAI con la interacción año-afección e interacción afección-precipitación verano, en Ribazada. Elaboración propia. Obtenido de R.

Para este caso, son significativas y positivas (p valor de 0,0000 en año, 0,0273 en afección y 0,0000 en precipitación de verano) las relaciones del BAI con las variables año, afección y precipitaciones de verano.

Además, para la relación entre BAI e interacción año-afección y afección-precipitación de verano también existen correlaciones significativas e inversamente proporcionales que podemos observar mejor en las siguientes representaciones de las Figuras 51-52:

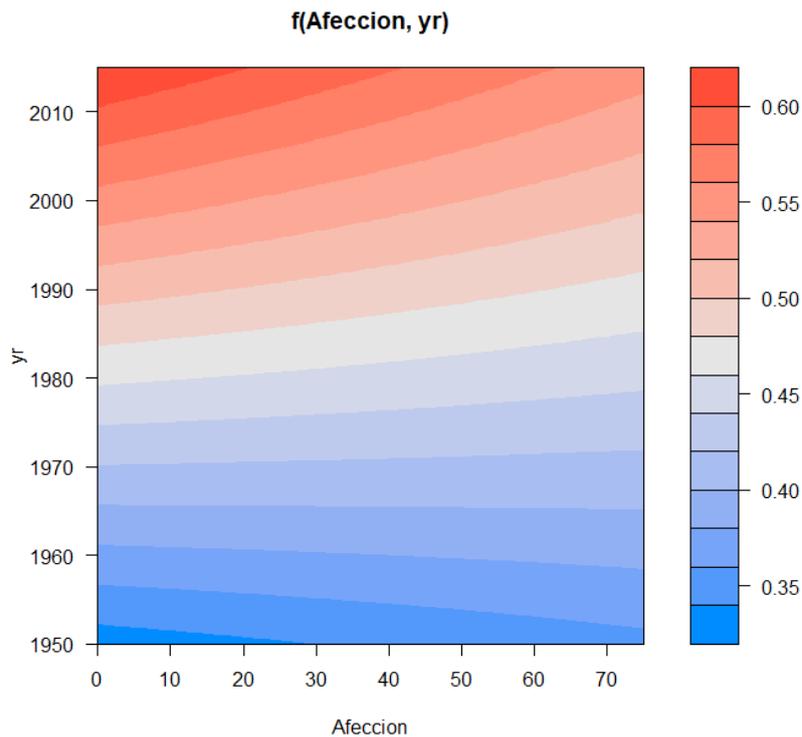


Figura 51: Relación BAI con interacción Afección-año en Ribazada. Elaboración propia.

Se representa (Figura 51) la variación del BAI con un gradiente de colores que va desde el azul (menor) al rojo (mayor) a lo largo de un periodo de tiempo (1950-2020) en el eje y, en función de la superficie de copa afectada por *A. oxycedri* (eje x).

Cuando los valores de edad y el BAI son bajos los enebros presentan poca infestación por *A.oxycedri*. Conforme aumentamos en edad, el efecto negativo del muérdago se incrementa.

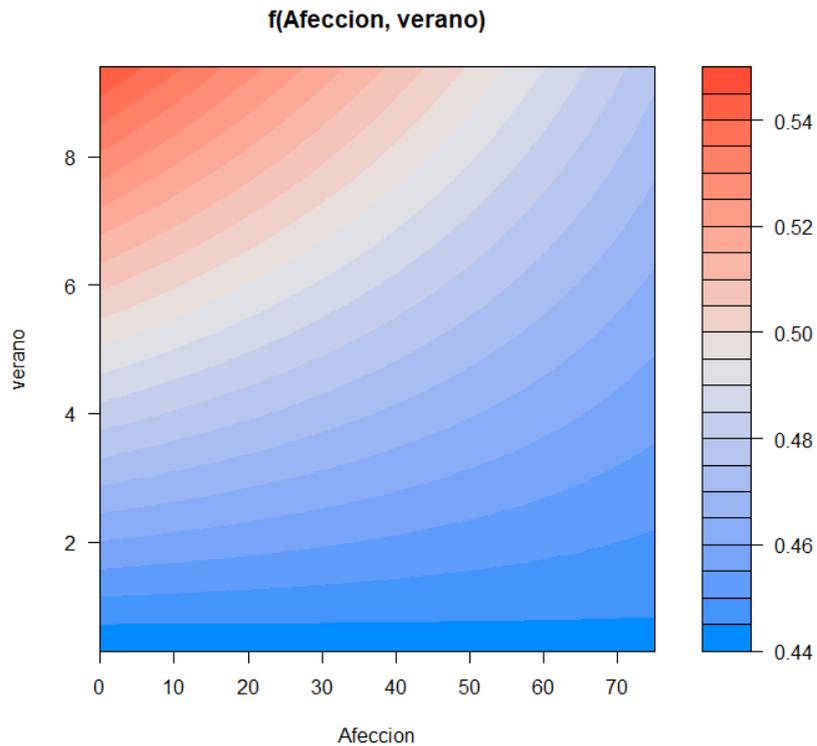


Figura 52: Relación BAI con interacción Afección-precipitación verano en Ribazada. Elaboración propia.

Se representa (Figura 52) igualmente la variación del BAI con un gradiente que va de azul (menor) a rojo (mayor) en función de la precipitación de los meses de verano en el eje y (mayo, junio, julio y agosto) y el porcentaje de copa afectado en el eje x.

Cuando las precipitaciones de verano y el BAI son bajos, la afección por *A. oxycedri* sobre los enebros también lo es, mientras que, conforme la pluviometría de verano aumenta, los individuos con baja infección por muérdago crecen mucho e individuos con una infestación mayor crecen bastante menos.

9. Discusión

Los principales resultados obtenidos y comentados en el apartado anterior se resumen en los siguientes puntos:

- Los individuos decaídos y muertos recientes crecían y eran más grandes en un principio que los sanos. Actualmente los enebros con peores estados de salud presentan una infestación mayor por muérdago enano (*Arceuthobium oxycedri*) que los sanos.
- Encontramos relaciones poco significativas entre el grado de infestación por muérdago enano y el tamaño (diámetro y altura) de los enebros. Sin embargo, se observan relaciones significativas entre la infestación y la frondosidad de los arbustos, indicando una mayor frondosidad cuando el porcentaje de copa afectado por el muérdago es menor.
- Observamos relaciones negativas significativas más altas entre las temperaturas máximas de verano y el Índice de crecimiento (RWI) de los enebros. Del mismo modo, los niveles más altos de significación se dan entre el RWI y las precipitaciones de verano principalmente, de manera que, a mayor pluviometría, mayor crecimiento. Las correlaciones del SPEI con el RWI muestran una mayor sensibilidad de los individuos decaídos y muertos a la sequía, siendo este hecho más acusado en Aliaga. Además, en los meses de verano se encontraban las correlaciones más altas, siendo en su mayoría positivas.
- Finalmente, los modelos lineal mixtos mostraban que sólo en Ribazada, existía una relación significativa negativa entre el BAI y la infestación por muérdago en función de las precipitaciones de verano. A precipitaciones de verano mayores, el grado de infestación aumentaba considerablemente, produciendo una disminución en el BAI de los enebros. Además, conforme los individuos eran más viejos el porcentaje de copa afectado tendía a aumentar, y el BAI también acababa disminuyendo.

A partir de estos resultados se procede a discutir cada uno de ellos de forma desglosada en los siguientes subapartados.

9.1 Relación entre el crecimiento medio de *Juniperus communis* y presencia de *Arceuthobium oxycedri*

Las interacciones interespecíficas tienen un papel fundamental en la dinámica de las poblaciones vegetales, ya que pueden establecer las condiciones para la coexistencia de las especies. Las plantas hemiparásitas, como los muérdagos enanos, ofrecen la oportunidad de estudiar la competencia por recursos diferentes a los que consumen la mayoría de las plantas, lo que permite una mejor comprensión de la interacción (Queijeiro-Bolaños et al, 2017). Debido a esto se hace necesaria la interpretación de los resultados obtenidos en este estudio.

Tal y como se observa en las Figuras 21 y 23, enebros decaídos y muertos, crecían más que los enebros sanos hasta 1995, cuando tuvo lugar una sequía intensa y sus crecimientos parecen igualarse. A partir de aquí, en Aliaga los decaídos comienzan a crecer notablemente menos que los sanos tras la sequía de 2005 y posteriormente lo hacen los muertos en la de 2009. En Ribazada los decaídos disminuyen significativamente su crecimiento con respecto a sanos tras la sequía de 2012. Según indica Sagüesa-Barreda et al (2009) el crecimiento radial de árboles y arbustos con abundante muérdago (en su caso *Viscum album*) se reduce mucho tras episodios de sequía severa que parecen interaccionar con el muérdago y terminan causando una reducción del crecimiento radial, determinado en gran medida por las precipitaciones primaverales.

Debido a que las plantas hemiparásitas están especializadas en obtener recursos de sus hospedadores (Těšitel, 2016) y que sólo encontramos presencia de muérdago enano en individuos decaídos (26% en Aliaga y 38% en Ribazada) y muertos (38% en Aliaga) podría existir una preferencia del muérdago por arbustos grandes que crecen más y que disponen de una mayor capacidad de captación y absorción de nutrientes, agua y mayor resistencia a épocas climáticas desfavorables. Determinar si la heterogeneidad en la disponibilidad de recursos en función de la densidad de hospedadores y su tamaño afecta a las interacciones que tienen lugar entre ambos es importante para comprender más sobre su relación. Según Queijeiro-Bolaños et al (2016), la intensidad y el signo de las interacciones interespecíficas parecen cambiar en función del tamaño del huésped y del proceso demográfico. Además, Shaw et al (2005) observaron como individuos severamente infectados por el muérdago eran más grandes que los no infectados y en la misma línea Sagüesa-Barreda et al (2009) observaba como los individuos con mayor presencia de muérdago, en el pasado mostraban un crecimiento mayor que los que actualmente no albergan muérdago.

Después de la infestación, cuando esta comienza a afectar a las características vitales del organismo contribuye a una reducción de su crecimiento medio anual, tal como explican

Klutsch y Erbilgin (2018) en un estudio sobre infección por muérdago enano del pino de Bancks, en el cual, infecciones persistentes del patógeno alteran la adquisición de recursos que, en última instancia, repercute en el crecimiento y las defensas del individuo parasitado.

9.2 Relación entre altura, diámetro, frondosidad y edad con el porcentaje de copa afectado por *Arceuthobium oxycedri*.

Según González-Elizondo et al (2018) reducciones significativas en el crecimiento en altura y volumen del hospedador ocurren a mayor severidad de la infección, siendo arbustos afectados de forma moderada y severa, los cuales presentan mayores reducciones en dicho crecimiento. Epp y Tardif (2004) observaban reducciones poco significativas en el diámetro de individuos muy infectados por muérdago enano, sin embargo, si se producía una disminución notable en el crecimiento en altura y volumen de las muestras.

Así pues, en este estudio se han encontrado correlaciones negativa entre la frondosidad de los enebros y la afección por muérdago (Figuras 25-32), siendo a mayor severidad de la infección cuando más pérdida de superficie foliar se produce. Tal como indican Logan, Huhn y Tissue (2002), el deterioro foliar parece estar relacionado con el grado de infección por muérdago, pudiendo llegar a producir una significativa disminución de biomasa foliar. En el caso de las variables altura y diámetro parece no existir correlación lineal para los casos estudiados.

En cuanto a la relación del grado de afección y la edad de los arbustos se han observado correlaciones significativas positivas en Ribazada (Figura 51). Los enebros más viejos presentan una infestación por muérdago mayor que los jóvenes, cuestión también observada en estudios como el realizado por Tsopelas et al (2004) sobre el muérdago (*Viscum album*) en un bosque de abetos de Grecia, en el cual el parámetro más importante que afectó al grado de infección fue la edad, siendo mayor cuanto más viejos eran los individuos.

9.3 Relación entre variaciones interanuales en el Índice de Crecimiento (RWI) de *Juniperus communis* y el clima

En este estudio las variables climáticas (Figuras 33 y 39) más fuertemente relacionadas con el crecimiento son las temperaturas máximas (negativamente) y las precipitaciones (positivamente) especialmente en los meses de mayo, junio, julio y agosto, en los dos lugares considerados. Esto sugiere que el crecimiento radial es sensible a los déficits de agua durante parte de la temporada de crecimiento debido a que las temperaturas altas aumentan dicho déficit, limitando a su vez el crecimiento radial (Pasho, Camarero y Vicente-Serrano, 2012).

De la misma manera en Aliaga se observa una dependencia significativa entre estas variables mencionadas y el crecimiento en los meses de diciembre y enero, principalmente en los individuos decaídos y muertos. Como indicaban en su estudio Pasho, Camarero y Vicente-Serrano (2012), la asociación del crecimiento con las temperaturas máximas (negativa) y las precipitaciones (positiva) de diciembre y enero sugiere que las temperaturas máximas suaves y las condiciones de humedad del invierno favorecen un periodo de crecimiento más intenso en primavera, en este caso, de *J. communis*.

Por otro lado, el estrés hídrico es un importante factor limitante en el crecimiento y la productividad de la vegetación. Puede producir una disminución en el mismo de forma directa, mediante su afeción a la turgencia, o de forma indirecta limitando la ganancia de carbono (Teskey y Hinchkley, 1986).

Es por esto que se analizó el contenido de humedad del suelo (Figuras 36 y 42) y se observó correlaciones positivas significativas más altas en junio y julio entre esta variable y el RWI. Esto se debe a que el déficit hídrico durante estos meses se ve acentuado por las altas temperaturas y las escasas precipitaciones, por lo que encontramos una fuerte dependencia del crecimiento por la disponibilidad de agua en el suelo (Zweifel et al, 2006). Además, en Aliaga también se pueden observar relaciones (positivas) importantes en los meses de diciembre y enero principalmente en sanos y decaídos, apoyando la idea previamente mencionada de Pasho, Camarero y Vicente-Serrano (2012).

9.4 Relación entre el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI) y el Índice de Crecimiento (RWI) de *Juniperus communis*

En las Figuras 44-48 se distingue una fuerte susceptibilidad del crecimiento de *J. communis* al estrés por sequías acumuladas en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, especialmente en individuos decaídos y muertos de Aliaga y decaídos de Ribazada, indicando que las sequías durante los periodos verano son el principal factor limitante para el crecimiento de los árboles y arbustos (Mathieu, 2014) y además afecta más a enebros con peores estados de salud.

Por otro lado, encontramos diferencias notables entre los individuos sanos de Aliaga y Ribazada, siendo los primeros los que parecen presentar una mayor dependencia con el SPEI en los meses de junio y julio y para sequías acumuladas de 10-13 meses.

Esta cuestión podría deberse a la distinta orientación de los lugares seleccionados, norte en el caso de Ribazada y sur en Aliaga, siendo más restrictiva la disponibilidad de agua en esta última debido a mayores pérdidas por evapotranspiración. Esto implica que el rendimiento a largo plazo y la supervivencia de los enebros en sitios secos hoy en día puede verse comprometida bajo un clima cada vez más seco (Mathieu, 2014).

9.5 Relación entre la variable Índice de Área Basal (BAI) de *Juniperus communis* con afección, clima y años

En Aliaga (Tabla 1) las correlaciones positivas entre el BAI y las variables año y precipitación de verano, indican que, a mayor edad del arbusto y mayor pluviometría, mayor crecimiento presentarán los enebros.

En el caso de La Ribazada (Tabla 2), los resultados indican que además de haber una relación positiva con los años y la precipitación de verano, también la hay entre el BAI y la afección-año por un lado y, entre el BAI y afección-verano por otro.

En la Figura 51 se observa como los individuos que crecen más se encuentran menos afectados por muérdago que aquellos que crecen menos, mostrando como infestaciones por muérdago causan efectos negativos sobre sus huéspedes (Ramón et al. 2016)

En la Figura 52 se muestra como cuando las precipitaciones de verano son más altas los arbustos crecen más. Además, también se observa como a bajas precipitaciones el efecto del muérdago es muy bajo y este aumenta conforme se incrementan, de manera que cuando estas son altas los individuos con bajas afecciones de muérdago crecen mucho y los individuos con afecciones más altas presentan crecimientos bastante menores. Esta interacción es interesante puesto que se observan mayores infecciones conforme la

disponibilidad de agua es mayor, pudiendo esto explicar porque en Ribazada si existe dicha correlación y en Aliaga no. Debido a la orientación sur de Aliaga, la disponibilidad de agua es menor que en Ribazada, siendo una mayor cantidad de recursos hídricos lo que acaba beneficiando al muérdago.

Un estudio realizado por Sala, Carey y Callaway (2001) muestra como la infección por muérdago produce cambios sustanciales en los procesos de todo el hospedador, entre ellos, se observa una menor eficiencia en el uso del agua en individuos infectados. Esto indica las complejas relaciones existentes y la importancia de comprender plenamente los mecanismos por los que los patógenos suprimen la productividad de masas vegetales.

En el caso de la variable año-afección el efecto observado es menor e indica que a lo largo del periodo de estudio (con individuos progresivamente mayores) el efecto negativo del muérdago sobre los enebros se incrementa tal y como indicaban Tsopelas et al. (2004)

Por lo tanto, en Ribazada encontramos diferencias significativas en función de la severidad de la infección, produciéndose una disminución en el crecimiento conforme la afección es mayor, tal y como mostraban en su estudio Klutsch y Erbilgin (2018). Sin embargo, esto no parece cumplirse en el caso de Aliaga.

10. Conclusiones y recomendaciones

- Existe una relación entre la presencia de *Arceuthobium oxycedri* y el estado de salud de *Juniperus communis*, siendo individuos que inicialmente crecían más los que actualmente se encuentran con mayor infestación de muérdago y en estados más comprometidos.
- Ambos sitios muestran correlaciones positivas significativas entre el Índice de Área Basal (BAI) y los años (crecen más cuanto más viejos son) y, entre el BAI y la precipitación de verano, es decir que, las condiciones frescas y húmedas favorecen el crecimiento radial de los enebros. Además, en Ribazada cuando los enebros son progresivamente más viejos el efecto negativo del muérdago se ve incrementado.
- Encontrar correlaciones significativas entre el BAI y la afección por muérdago en Ribazada y no en Aliaga puede deberse a su distinta orientación (norte y sur respectivamente). El muérdago termina impactando más en lugares menos secos donde los enebros muestran una menor limitación por la sequía.
- Se observa una disminución en la frondosidad que presentan los enebros a mayor afección por muérdago, indicando un deterioro foliar asociado a este hemiparásito. En el caso de las correlaciones entre la afección y la edad, según los modelos mixtos únicamente parece ser significativa en Ribazada mostrando un aumento de la severidad de la infección conforme los arbustos son más viejos.
- En el caso del clima cuando las precipitaciones de verano son mayores observamos una afección por muérdago mayor en aquellos arbustos que presentan un menor crecimiento (BAI) y viceversa.
- Las variables climáticas de temperatura máxima y precipitaciones presentan las correlaciones (negativa y positiva respectivamente) más altas en ambos casos durante los meses de verano indicando mayor sensibilidad del crecimiento a periodos de escasez hídrica pronunciada. Esto queda confirmado por la mayor relación del crecimiento con la humedad del suelo en junio y julio.
- Para las correlaciones entre el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y el Índice de crecimiento (RWI) se revelan diferencias en función del estado de salud de los individuos en ambos sitios durante los meses de verano para sequías acumuladas de 10-16 meses. Los individuos decaídos y muertos presentan mayores sensibilidades a las sequías para dichos periodos. En Ribazada esta dependencia es menos acusada debido a la distinta orientación de los dos sitios estudiados.

- Se hace necesario un mayor estudio en relación con las interacciones que tienen lugar entre el hemiparásito y el hospedador para determinar en última instancia cómo afecta el muérdago enano al enebro en diferentes estadios de la infestación. De esta manera se podrá llevar a cabo una mejor gestión de las comunidades arbustivas afectadas en el futuro.

11. Bibliografía

Referencias bibliográficas de figuras

- Figura 1: Méndez, J.L. (2017). Fotografías de *Arceuthobium oxycedri*. [Imagen] Recuperado de <https://www.asturnatura.com/fotografia/flora/arceuthobium-oxycedri-3/29067.html>
- Figura 2: Hawksworth, F.G., Weins, D. (1996). Ilustración de Afinidad taxonómica sobre los principales hospedadores de *Arceuthobium*. [Figura]. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Generalized-Life-Cycle-of-Dwarf-Mistletoe-This-illustration-show-a-complete-life-cycle-of_fig1_273775508
- Figura 3: Plants of the World online (2021). Ilustración de la distribución mundial de *Arceuthobium oxycedri*. [Figura]. Recuperado de [Arceuthobium oxycedri \(DC.\) M.Bieb. | Plants of the World Online | Kew Science](https://www.plantsoftheworld.org/plant/Arceuthobium-oxycedri)
- Figura 4: Anthos (2021). Distribución en la Península Ibérica de *Arceuthobium oxycedri*. [Figura]. Recuperado de https://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Arceuthobium_oxycedri.htm
- Figura 5: Wahid, H.A., Khan Barozai, M.Y., Din, M., (2015). Ilustración del ciclo de vida de *Arceuthobium oxycedri*. [Figura]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/273775508_Dwarf_mistletoe_Arceuthobium_oxycedri_and_damage_caused_by_dwarf_mistletoe_to_family_Cupressaceae/download
- Figura 6: Castilla, F. (2021). Fotografía de los frutos y hojas de *Juniperus communis*. [Imagen]. Recuperado de <https://www.arbolapp.es/especies/ficha/juniperus-communis/>
- Figura 7: Plants of the World Online (2021). Distribución mundial de *Juniperus communis*. [Figura]. Fuente: [Juniperus communis L. | Plants of the World Online | Kew Science](https://www.plantsoftheworld.org/plant/Juniperus-communis-L)
- Figura 8: Villar-Salvador, P., Gastón, A., García-Viñas, J.I., Prada, A. (2012) Distribución de *Juniperus communis* y Regiones de Procedencia de sus materiales de reproducción. [Figura]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/259205212_Juniperus_communis_L
- Figura 10: Visor del Instituto Geográfico Nacional. (2021). Visión aérea de Aliaga en Iberpix 4. [Imagen]. Recuperado de <http://www.ign.es/iberpix2/visor/help/Manual%20de%20Usuario.html>
- Figura 11: Sagüesa, G., Sagüesa, P.J. (2017). Fotografía de enebros afectados por muérdago enano en Aliaga. [Imagen].

- Figura 12: Visor del Instituto Geográfico Nacional. (2021). Visión aérea de Ribazada en Iberpix 4. [Imagen]. Recuperado de <http://www.ign.es/iberpix2/visor/help/Manual%20de%20Usuario.html>
- Figura 13: Sagüesa, G., Sagüesa, P.J. (2020). Fotografía de enebros afectados por muérdago enano en Ribazada. [Imagen].
- Figura 14: Gobierno de Aragón. (2007). Cartografía de los elementos del clima en Aragón. [Figura]. Recuperado de https://www.aragon.es/documents/20127/674325/4_cartografia.pdf/406491d1-f6bd-907c-a4ba-668d15e33eb5
- Figura 15: Instituto Geográfico Nacional. (2019). Clima y Agua. Atlas Nacional de España. [Figura]. Recuperado de https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/ANE/Capitulos/04_Climayagua.pdf

Referencias bibliográficas del texto

- Arbolapp (2021). *Juniperus communis*. Enebro común, enebro real. Recuperado de [Juniperus communis - Arbolapp](#)
- Ayuntamiento de Aliaga (2021). Vegetación de Aliaga. Recuperado de [http://www.aytoaliaga.com/vegetacion/#:~:text=Vegetaci%C3%B3n%20de%20Aliaga&text=Constituyen%20los%20verdaderos%20bosques%20aut%C3%B3ctonos,o%20quajigo%20\(Quercus%20faginea\)](http://www.aytoaliaga.com/vegetacion/#:~:text=Vegetaci%C3%B3n%20de%20Aliaga&text=Constituyen%20los%20verdaderos%20bosques%20aut%C3%B3ctonos,o%20quajigo%20(Quercus%20faginea))
- Camarero, J.J, Lloret, F., Corcuera, L., Peñuelas, J. & Gil-Pelegrín, E. 2004. *Cambio global y decaimiento del bosque*. En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, Valladares, F. (ed.). MMA, Madrid, pp. 397–423. Recuperado de https://imedea.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_V_cod101623/art%C3%ADculos%20conferencias/Cap14%20-%20Cambio%20global%20y%20decaimiento%20del%20bosque%202007.pdf
- Cano-Santana, Z., Queijero-Bolaños, M. (2018). Dwarf mistletoes as a relevant components in temperate forest: an integral view. *Forestry Research and Engineering: International Journal*, 2 (1), 31-33. https://www.researchgate.net/publication/327470338_Dwarf_mistletoes_as_a_relevant_component_in_temperate_forest_an_integral_view
- Charles Simonyie (1981). Microsoft Excel 365 (Versión 2104) [Software ordenador]. Recuperado de <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>

- CSIC (2021). SPEI, The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. Recuperado de [Index: SPEI, The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index \(csic.es\)](http://index.spei.es)
- EFSA PLH Panel (EFSA Panel on Plant Health), Bragard C, Di Serio F, Gonthier P, Jacques M-A, Jaques Miret JA, Justesen AF, MacLeod A, Magnusson CS, Milonas P, Navas-Cortes JA, Parnell S, Potting R, Reignault PL, Thulke H-H, Van der Werf W, Vicent A, Yuen J, Zappala L, Boberg J, Pautasso M and Dehnen-Schmutz K, (2018). Scientific Opinion on the pest categorisation of *Arceuthobium* spp. (non-EU). *EFSA Journal*, 16(7), pp 1-23. Recuperado de <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5384>
- Epp, B., Tardif, J.C. (2004). Effects of Lodgepole Pine Dwarf Mistletoe, *Arceuthobium americanum*, on Jack Pine, *Pinus Banksiana*, Growth in Manitoba. *The Canadian Field-Naturalist, a Journal of Field Biology and Ecology*, 118 (4), 595-601. <https://www.canadianfieldnaturalist.ca/index.php/cfn/article/view/62>
- EPPO Global Database (2021). *Arceuthobium oxycedri*. Recuperado de <https://gd.eppo.int/taxon/AREOX>
- Fox, J. (2005). R Commander. (Versión 4.0.2) [Software de ordenador] GNU GPL. Recuperado de http://knuth.uca.es/R/doku.php?id=instalacion_de_r_y_rcmdr:r_uca#ultima_version
- Flora Ibérica (2020). *Arceuthobium oxycedri*. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/08_102_02%20Arceuthobium.pdf
- Fritts, H. C. 1976. Tree-rings and climate. *Academic Press. London*, 567 p. Recuperado de <https://www.elsevier.com/books/tree-rings-and-climate/fritts/978-0-12-268450-0>
- Geils, B.W., Cibrián Tovar, J., Moody, B. (Coords.) (2002). Mistletoes of North American Conifers. Recuperado de https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr098.pdf
- Gentleman, R., Ihaka, R. (1993). (Versión 4.0.4) [Software de ordenador]. (2021). Recuperado de <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>
- Gobierno de Aragón. (2007). Cartografía de los elementos del clima. Atlas climático de Aragón. Atlas. Departamento de Medio Ambiente del gobierno de Aragón. Recuperado de https://www.aragon.es/documents/20127/674325/4_cartografia.pdf/406491d1-f6bd-907c-a4ba-668d15e33eb5
- González-Elizondo, M., Flores-Villegas, M.Y, Álvarez-Zagoya, R., González-Elizondo, M.S., Méquez-Linares, M.A., Quiñonez-Barraza, S., Howell, B.E., Mathiasen, R.L. (2018). Effects of Mexican dwarf mistletoe (*Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum*) on the growth of *Pinus cooperi* in Durango, Mexico – A case study. *Forest Pathology*, 49 (1), 1-10. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/efp.12473>

- Gutiérrez, E. (2009). La dendrocronología: Métodos y aplicaciones. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/286242799_La_dendrocronologia_metodos_y_aplicaciones
- Hawksworth, F. G., and D. Wiens. 1996. Dwarf mistletoes: Biology, pathology, and systematics. Recuperado de https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_1996_hawksworth_f001.pdf
- Holmes, R.L. (1982). Dating and Measurement Quality Control, Cofecha (Versión 6.06P) [Software de ordenador] Tree-Ring lab. Recuperado de <https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/261223/trb-43-069-078.pdf>
- Holmes, R.L. (1983). Computer-assisted quality control in the tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, pp 69-78. Recuperado de <https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/261223/trb-43-069-078.pdf>
- Jack Dangermond (1999). ArcGIS (Versión 10.7.1) [Software de ordenador]. Esri Recuperado de <https://desktop.arcgis.com/es/>
- Klutsch, J., Erbilgin, N. (2018). Dwarf mistletoe infection in Jack pine alters growth-defense relationships. *Tree Physiology*, 00, pp 1-10. https://www.researchgate.net/publication/327190248_Dwarf_mistletoe_infection_in_jack_pine_alters_growth-defense_relationships/link/5bac05d6299bf13e604f9a8d/download
- Larsson, L.A., Ossowski Larsson, P. (1981). CDendro y Coorecorder (Versión 9.5) [Software de ordenador] Cybis AS. Recuperado de <http://www.cybis.se/forfun/dendro/>
- Lévesque, M., Rigling, A., Bugmann, H., Weber, P., Brang, P. (2014). Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 197, 15, pp 1-12. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192314001439>
- Logan, B.A, Huhn, E.R., Tissue, D.T. (2002). Photosynthetic Characteristics of Eastern Dwarf Mistletoe (*Arceuthobium pusillum* Peck) and its Effects on the Needles of Host White Spruce (*Picea glauca* Voss). *Plant Biol*, 4, 740-745. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1055/s-2002-37396>
- Mathiasen, R.L. (1996). Dwarf Mistletoes in Forest Canopies. *Northwest Science*, 70, 61-71. <http://www.fsl.orst.edu/rna/Documents/publications/dwarf%20mistletoes%20in%20forest%20canopies%20pub3448.pdf>
- Meinzer, F. C., Woodruff, D. R. & Shaw D. C. (2004). *Integrated responses of hydraulic architecture, water and carbon relations of western hemlock to dwarf*

- mistletoe infection*. *Plant, Cell Env*, 27, 937– 946. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2004.01199.x>
- Microsoft. (1985). Microsoft Excel. (Versión 2102) [Software de ordenador] Microsoft. Recuperado de <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>
 - Montesinos Torres, D., García García, D. (2009). 5210 Matorrales arborescentes de *Juniperus* spp. En W.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitats de interés comunitario en España*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 52 p. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/5210_tcm30-196826.pdf
 - Olivares Tormo, A. (2017). Decaimiento de los Enebro en los Parques Naturales del Macizo del Penyagolosa y Puebla de San Miguel. *Flora Montiberica*, 66, pp 124-130. Recuperado de <https://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/58615/124-130.pdf?sequence=1>
 - Pasho, E., Camarero, J.J., De Luis, M., Vicente-Serrano, S.M, (2011). Factors driving growth responses to drought in Mediterranean forests. *European Journal of Forest Research*, 131 (6), 1979-1807. Recuperado de http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0066_PU-SA-VIII-2012-SM_VICENTE.pdf
 - Plants of the World online (2021). *Arceuthobium oxycedri*. Recuperado de <https://www.plantsoftheworld.org/plant/Arceuthobium-oxycedri>
 - Queijeiro-Bolaños, M.E., González, E.J., Martorell, C., Con-Santana, Z. (2016). Competition and facilitation determine dwarf mistletoe infection dynamics. *Journal of Ecology*, 105 (3), 775-785. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2745.12699>
 - Queijeiro-Bolaños, M., Cano-Santana, Z. (2016). Growth of Hartweg's pine (*Pinus Hartwegii*) parasitized by two dwarf mistletoe species (*Arceuthobium* spp.). *Botanical Science*, 94 (1), 51-62. https://www.researchgate.net/publication/298794955_Growth_of_Hartweg's_pine_Pinus_hartwegii_parasitized_by_two_dwarf_mistletoe_species_Arceuthobium_spp
 - Ramón, P., De la Cruz, M., Zavala, I., Zavala, M.A. (2016). Factors influencing the dispersión of *Arceuthobium oxycedri* in Central Spain: evaluation with a new null model for marked point patterns. *Forest Pathology*, 46, 610-621. [http://oa.upm.es/49520/1/INVE MEM 2016 269611.pdf](http://oa.upm.es/49520/1/INVE_MEM_2016_269611.pdf)
 - Rey, L., Sadik, A., Renaudin, S. (1991). Trophic Relations of the Dwarf Mistletoe *Arceuthobium oxycedri* with its Host *Juniperus oxycedri*. *Journal of Plants Physiology*,

138 (4), pp 411-416. Recuperado de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0176161711805158>

- Rubio Cuadrado, A. (2016). Estudio del crecimiento y su relación con el clima en *Pinus pinaster* comparando las técnicas clásicas empleadas en dendrocronología con multivariantes.
https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/135564/TFM_MAADM_Rubio_Cuadrado_Alvaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sagüesa Barreda, G. (2009). *Efectos del Muérdago (Viscum álbum) sobre el crecimiento secundario del Pino silvestre (Pinus sylvestris L.) en la Sierra de Gúdar (Teruel): Interacciones con el clima.* (Trabajo de fin de grado). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Lleida. Recuperado de
<https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/45916/sanguesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sala, A., Carey, E.V., Callaway, R.M. (2001). Dwarf mistletoe affects whole-tree water relations of Douglas fir western larch primarily through changes in leaf to sapwood ratios. *Oecología*, 126 (1), pp 42-52. Recuperado de
<https://link.springer.com/article/10.1007/s004420000503>
- Santini, M., Collalti, A., Valentini, R. (2013). Climate change impacts on vegetation and water cycle in the Euro-Mediterranean region, studied by a likelihood approach. *Reg Environ Change*, 14, pp 1405-1418. Recuperado de
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10113-013-0582-8.pdf>
- Seim A, Omurova G, Azisov E, Musuraliev K, Aliev K, Tulyaganov T, et al. (2016) Climate Change Increases Drought Stress of Juniper Trees in the Mountains of Central Asia. *PLoS ONE*, 11(4). Recuperado de
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153888>
- Simón Porcar, V., Torvisco Najarro, J.M., Bartolomé Esteban, C., Simón Gómez, J.L. (2011). Flora y fauna del Parque Geológico de Aliaga. *Teruel*, 93(1), pp 95-152. Recuperado de
http://www.ieturolenses.org/media/downloadable/files/samples/v/i/violeta_sim_n_y_otros.pdf
- Těšitel, J. (2016). Functional biology of parasitic plants: A review. *Plant Ecology and Evolution*, 149 (1), 5-20.
https://www.researchgate.net/publication/290476455_Functional_biology_of_parasitic_plants_A_review
- Teskey, R.O. y Hinchley, T.M. (1986). Moisture: Effects of Water Stress on Trees. En Hennessey T.C., Dougherty P.M., Kossuth S.V., Johnson J.D. (eds) *Stress physiology*

and forest productivity. *Forestry Sciences*, vol 21. Springer. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-94-009-4424-4_2

- The Climate Explorer (2021). Recuperado de <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>
- Thomas, P.A., El-Barghathi, M. y Polwart, A. (2017). Biological Flora of the British Isles: *Juniperus communis* L. *Journal of Ecology*, 95 (6), 1404-1440. Recuperado de <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2745.2007.01308.x>
- Tsopelas, P., Angelopoulos, A., Soulioti, N. (2004). Mistletoe (*Viscum álbium*) in the fir forest of Mount Parnis, Greece. *Forest Ecology and Management*, 202 (1-3), pp 59-65. Recuperado de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112704005341?casa_token=QqYTsFHsTJwAAAAA:QYlokWtxyyUgPMbbwRhLZKPA8wWbK99I5uZWDMTEzFE4LD A24IWDO6lsgQdFDtBBsijKsnYqtw
- Villar-Salvador, P., Gastón, A., García-Viñas, J.I., Prada, A. (2012). *Juniperus communis* L. Pemán J., Navarro-Cerrillo R.M., Nicolás J.L., Prada M.A., Serrada R. (Eds.). *Producción y Manejo de Semillas y Plantas Forestales* (pp. 632-646). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/259205212_Juniperus_communis_L
- Visor IDE Aragón (2021). Infraestructura de Datos Espaciales. Recuperado de <https://idearagon.aragon.es/portal/>
- Zweifel, R., Zimmermann, L., Zeugin, F., Newbery, D.M. (2006). Intra-anual radial growth and wáter relations of tres: implications towards a growth mechanism. *Journal of Experimental Botany*, 57 (6), pp 1445-1459. Recuperado de <https://academic.oup.com/jxb/article/57/6/1445/516727?login=true>

12. Anejos

Anexo 1

<i>Juniperus Communis</i>	Altura (cm)	Diámetro Base (cm)	% de la copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	Frondosidad (%)	Edad (años)
1	130	6,85	0	100	89
2	135	3,35	0	100	94
3	167	4,65	0	100	75
4	160	4,5	0	100	52
5	190	5,05	0	100	78
6	180	4,9	0	90	49
7	132	1,9	0	90	36
8	128	4,35	0	85	78
9	135	3,2	0	100	60
10	200	4,3	0	100	54
11	220	3	0	100	57
12	154	6	0	85	84
13	170	2,7	0	90	43
14	175	6,2	0	100	86
15	185	4,5	0	100	80

Tabla 3: Altura, diámetro base y frondosidad de *Juniperus communis* en sanos de Aliaga y el porcentaje de copa afectada por *Arceuthobium oxycedri*. Elaboración propia. Fuente: Gabriel Sangüesa y Pedro Joaquín Sangüesa.

<i>Juniperus Communis</i>	Altura (cm)	Diámetro Base (cm)	% de la copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	Frondosidad (%)	Edad (años)
1	152	3,95	25	20	87
2	142	4,75	40	60	77
3	145	2,85	30	20	90
4	160	4,75	30	60	96
5	215	7	40	65	73
6	140	7,5	20	75	109
7	145	4,75	30	70	83
8	215	6,9	15	15	111
9	220	7,25	30	70	107
10	170	4,1	25	50	82
11	130	3,5	20	30	82
12	116	4,6	30	60	82
13	100	2,35	20	30	51
14	165	3,9	20	30	56
15	130	4,9	15	20	83

Tabla 4: Altura, diámetro base y frondosidad de *Juniperus communis* en decaídos de Aliaga y el porcentaje de copa afectada por *Arceuthobium oxycedri*. Elaboración propia. Fuente: Gabriel Sangüesa y Pedro Joaquín Sangüesa.

<i>Juniperus Communis</i>	Altura (cm)	Diámetro Base (cm)	% de la copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	Frondosidad (%)	Edad (años)
1	190	4,65	25	0	60
2	220	5,7	25	0	73
3	200	4,5	35	0	88
4	210	5,5	35	0	91
5	180	4	25	0	110
6	220	5,9	15	0	80
7	225	5	40	0	82
8	130	2,25	40	0	66
9	170	5,6	30	0	89
10	120	4,1	40	0	83
11	130	4,25	35	0	79

Tabla 5: Altura, diámetro base y frondosidad de *Juniperus communis* en muertos de Aliaga y el porcentaje de copa afectada por *Arceuthobium oxycedri*. Elaboración propia. Fuente: Gabriel Sangüesa y Pedro Joaquín Sangüesa.

<i>Juniperus Communis</i>	Altura (cm)	Diámetro Base (cm)	% de la copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	Frondosidad (%)	Edad (años)
1	320	10,4	0	90	62
2	330	12,7	0	100	68
3	280	7,1	5	90	63
4	320	8,7	0	100	65
5	310	6,3	0	100	51
6	260	10,1	0	100	86
7	350	9,8	0	100	68
8	300	6,3	0	100	71
9	400	8,4	0	80	91
10	250	7,2	0	90	92
11	220	5,7	0	100	56
12	180	6,6	0	100	100
13	230	6,2	0	90	71
14	220	9,3	0	85	81
15	300	7,1	0	100	113
16	240	5	0	100	46
17	200	6,9	0	90	80
18	240	4,7	0	80	93
19	310	8,7	0	100	142
20	350	6,6	0	80	62

Tabla 6: Altura, diámetro base y frondosidad de *Juniperus communis* en sanos de la Ribazada y el porcentaje de copa afectada por *Arceuthobium oxycedri*. Elaboración propia. Fuente: Gabriel Sangüesa y Pedro Joaquín Sangüesa.

<i>Juniperus Communis</i>	Altura (cm)	Diámetro Base (cm)	% de la copa afectada por <i>Arceuthobium oxycedri</i>	Frondosidad (%)	Edad (años)
1	250	5,1	60	30	86
2	268	8,3	20	60	70
3	250	4	60	40	74
4	200	4,1	75	30	61
5	310	7	30	50	67
6	360	12,2	50	20	76
7	230	5,6	40	45	61
8	280	8,7	70	20	82
9	300	10,7	30	10	133
10	210	7,3	40	50	38
11	200	10,7	25	20	64
12	310	8,4	20	40	90
13	205	6,1	15	25	117
14	250	12	15	15	95
15	290	9,1	15	50	68
16	255	9,1	10	50	64
17	190	4,6	50	50	94
18	280	9,6	5	10	82
19	320	14,7	60	30	96
20	210	5	70	40	69

Tabla 7: Altura, diámetro base y frondosidad de *Juniperus communis* en decaídos de la Ribazada y el porcentaje de copa afectada por *Arceuthobium oxycedri*. Elaboración propia. Fuente: Gabriel Sangüesa y Pedro Joaquín Sangüesa.

Anexo 2

Correlación crecimiento - temperatura máxima para cada mes													
	Tx1	Tx2	Tx3	Tx4	Tx5	Tx6	Tx7	Tx8	Tx9	Tx10	Tx11	Tx12	Tx5_8
ALDE	-0,29	0,07	-0,07	-0,01	-0,20	-0,40	-0,33	-0,25	-0,06	0,00	-0,05	-0,21	-0,39
p-val	0,017	0,58	0,57	0,91	0,10	0,0008	0,006	0,04	0,60	1,00	0,66	0,096	0,00096
ALHH	-0,19	0,11	-0,06	0,09	-0,19	-0,33	-0,26	-0,14	0,07	0,14	0,02	-0,08	-0,31
p-val	0,13	0,37	0,63	0,47	0,13	0,0059	0,035	0,25	0,59	0,27	0,85	0,50	0,01
ALDD	-0,34	0,08	-0,01	0,03	-0,18	-0,33	-0,43	-0,43	-0,08	0,01	-0,17	-0,41	-0,44
p-val	-0,004	0,52	0,89	0,78	0,13	0,006	0,0002	0,0003	0,52	0,93	0,17	0,0005	0,0003
Correlación crecimiento – temperatura mínima para cada mes													
	Tnx1	Tnx2	Tnx3	Tnx4	Tnx5	Tnx6	Tnx7	Tnx8	Tnx9	Tnx10	Tnx1 1	Tnx12	Tnx5_2
ALDE	-0,02	0,12	-0,06	0,13	0,07	-0,10	-0,09	-0,10	0,06	-0,09	0,05	0,15	0,12
p-val	0,87	0,33	0,624	0,28	0,56	0,41	0,46	0,41	0,62	0,46	0,68	0,22	0,32
ALHH	0,03	0,19	-0,03	0,15	0,00	-0,07	-0,10	-0,03	0,09	0,03	0,17	0,18	0,23
p-val	0,81	0,12	0,81	0,21	0,99	0,57	0,41	0,81	0,46	0,81	0,16	0,14	0,057
ALDD	-0,10	0,14	-0,07	0,16	0,01	-0,09	-0,15	-0,22	0,04	-0,13	-0,02	-0,01	0,00
p-val	0,41	0,25	0,57	0,19	0,93	0,46	0,22	0,07	0,74	0,29	0,87	0,93	0,99
Correlaciones crecimiento – precipitaciones para cada mes													
	Rr1	Rr2	Rr3	Rr4	Rr5	Rr6	Rr7	Rr8	Rr9	Rr10	Rr11	Rr12	Rr5_8
ALDE	0,10	-0,02	-0,03	0,10	0,35	0,40	0,15	0,17	0,08	-0,12	-0,01	0,45	0,54
p-val	0,42	0,87	0,83	0,41	0,004	0,0007	0,23	0,18	0,52	0,33	0,92	0,0002	2,86*10 ⁻⁶
ALHH	0,16	0,05	0,14	0,24	0,29	0,42	0,29	0,20	-0,11	-0,03	0,17	0,38	0,56
p-val	0,20	0,68	0,27	0,051	0,016	0,0003	0,018	0,10	0,36	0,82	0,17	0,002	0,67*10 ⁻⁷
ALDD	0,16	-0,03	0,01	-0,04	0,24	0,26	0,21	0,13	0,11	-0,19	-0,05	0,47	0,39
p-val	0,19	0,81	0,94	0,74	0,051	0,035	0,083	0,29	0,37	0,12	0,68	6,42*10 ⁻⁵	0,00096

Tabla 8: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables crecimiento y clima en Aliaga. ALDE son decaídos, ALHH son sanos y ALDD son muertos. Significancias > 0,05 en rojo y significancias < 0,05 en verde. Elaboración propia.

Correlación crecimiento - temperatura máxima para cada mes													
	Tx1	Tx2	Tx3	Tx4	Tx5	Tx6	Tx7	Tx8	Tx9	Tx10	Tx11	Tx12	Tx5_8
RIDE	-0,17	0,04	-0,11	0,20	-0,22	-0,28	-0,32	-0,19	-0,04	0,03	0,02	-0,27	-0,33
p-val	0,15	0,75	0,34	0,09	0,07	0,017	0,006	0,11	0,73	0,84	0,89	0,02	0,0047
RIHH	-0,08	0,10	0,00	0,17	-0,15	-0,33	-0,33	-0,09	-0,06	0,03	0,01	-0,01	-0,30
p-val	0,50	0,42	0,99	0,15	0,22	0,0046	0,0046	0,46	0,62	0,82	0,89	0,84	0,01
Correlación crecimiento – temperatura mínima para cada mes													
	Tnx1	Tnx2	Tnx3	Tnx4	Tnx5	Tnx6	Tnx7	Tnx8	Tnx9	Tnx10	Tnx11	Tnx12	Tnx5_2
RIDE	0,02	0,12	0,05	0,28	-0,01	-0,09	-0,13	-0,08	0,00	-0,04	0,11	0,00	0,10
p-val	0,84	0,32	0,68	0,02	0,95	0,47	0,29	0,49	0,98	0,75	0,36	0,97	0,40
RIHH	0,13	0,22	0,13	0,23	0,12	-0,07	-0,11	0,07	0,05	0,00	0,06	0,16	0,23
p-val	0,30	0,06	0,27	0,06	0,33	0,54	0,37	0,59	0,69	0,994	0,60	0,20	0,058
Correlaciones crecimiento – precipitaciones para cada mes													
	Rr1	Rr2	Rr3	Rr4	Rr5	Rr6	Rr7	Rr8	Rr9	Rr10	Rr11	Rr12	Rr5_8
RIDE	0,12	0,18	0,16	0,21	0,28	0,35	0,27	0,12	0,01	0,03	0,15	0,28	0,48
p-val	0,31	0,13	0,18	0,09	0,02	0,003	0,02	0,31	0,93	0,77	0,22	0,03	3,24*10 ⁻⁵
RIHH	0,15	0,22	0,13	0,22	0,30	0,48	0,27	0,15	0,04	-0,01	0,08	0,30	0,57
p-val	0,23	0,07	0,29	0,06	0,01	2,17*10 ⁻⁵	0,025	0,21	0,76	0,93	0,50	0,01	2,93*10 ⁻⁷

Tabla 9: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables crecimiento y clima en Ribazada. ALDE son decaídos y ALHH son sanos. Significancias > 0,05 en rojo y significancias < 0,05 en verde Elaboración propia.

	Sm1	Sm2	Sm3	Sm4	Sm5	Sm6	Sm7	Sm8	Sm9	Sm10	Sm11	Sm12
ALDE	0,27	0,23	-0,11	0,07	0,33	0,56	0,42	0,02	0,09	0,00	-0,12	0,24
p-val	0,02	0,057	0,37	0,57	0,0046	0,67*10 ⁻⁷	0,0003	0,87	0,46	0,99	0,33	0,051
ALHH	0,34	0,34	0,14	0,28	0,41	0,54	0,46	0,18	0,12	0,17	0,01	0,29
p-val	0,037	0,037	0,25	0,02	0,01	0,0004	0,003	0,13	0,33	0,16	0,94	0,078
ALDD	0,14	0,16	-0,26	-0,07	0,01	0,37	0,38	0,28	0,15	-0,22	-0,23	0,22
p-val	0,25	0,19	0,01	0,57	0,94	0,022	0,017	0,02	0,22	0,067	0,57	0,069

Tabla 10: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables crecimiento y humedad del suelo en Aliaga. ALDE son decaídos, ALHH son sanos y ALDD son muertos. Significancias > 0,05 en rojo y significancias < 0,05 en verde. Elaboración propia.

	Sm1	Sm2	Sm3	Sm4	Sm5	Sm6	Sm7	Sm8	Sm9	Sm10	Sm11	Sm12
RIDD	0,19	0,23	0,16	0,18	0,52	0,45	0,37	0,02	0,11	0,17	-0,07	0,11
p-val	0,12	0,057	0,19	0,14	0,0008	0,004	0,02	0,87	0,37	0,16	0,57	0,38
RIHH	0,29	0,19	0,05	0,16	0,50	0,55	0,51	0,06	0,16	0,19	-0,14	0,14
p-val	0,078	0,12	0,68	0,19	0,001	0,0003	0,001	0,62	0,19	0,12	0,25	0,25

Tabla 11: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables crecimiento y humedad del suelo en Ribazada. ALDE son decaídos y ALHH son sanos. Significancias > 0,05 en rojo y significancias < 0,05 en verde. Elaboración propia.