



universidad
de león

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRARIA Y FORESTAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOINFORMÁTICA PARA LA GESTIÓN DE
RECURSOS NATURALES**

**CARACTERIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA
PLAGA *Xylotrechus arvicola* EN VIÑEDOS DEL SUR DE LA PROVINCIA DE LEÓN**

**CHARACTERIZATION OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF
THE PLAGUE *Xylotrechus arvicola* IN VINEYARDS IN THE SOUTH OF THE
PROVINCE OF LEÓN**

Mario Sainz Sainz

José Ramón Rodríguez Pérez y Álvaro Rodríguez González

Ponferrada, septiembre 2022

ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 La problemática de <i>Xylotrechus arvicola</i> en los viñedos españoles.....	1
1.2 Objetivos.....	5
2. MATERIAL Y MÉTODOS	5
2.1 Descripción de la zona de estudio.....	5
2.2 Toma de datos.....	7
2.2.1 Capturas.....	8
2.2.2 Estimación del volumen de madera.....	10
2.3 Análisis estadístico.....	10
2.4. Análisis espacial.....	11
3. RESULTADOS	11
3.1 Curva de vuelo.....	11
3.2 Relación número de capturas por año.....	15
3.3 Relación número de capturas anuales y el volumen de madera.....	17
3.4 Distribución espacial.....	21
4. DISCUSIÓN	27
5. CONCLUSIONES	29
6. BIBLIOGRAFÍA	30

RESUMEN

El coleóptero *Xylotrechus arvicola* (Olivier, 1795) se está convirtiendo en una plaga de creciente importancia en las principales regiones vitivinícolas de la península ibérica. Su infestación es difícil de detectar y controlar debido a que las larvas de estos cerambycids se introducen en el interior de la madera de las vides perforando numerosas galerías y ocasionando grandes daños estructurales en las plantas y en su producción. Este estudio se ha centrado en analizar y comparar la distribución espacio-temporal de la plaga *X. arvicola* dentro de un viñedo localizado en la Denominación de Origen “León” (Gordoncillo, León). Para ello, se ha hecho un seguimiento de la incidencia de la plaga en cinco parcelas con diferentes variedades de vid durante cuatro años, desde 2017 hasta 2020. En cada una de las parcelas se colocaron 6 trampas, las cuales fueron georreferenciadas y se estimó el volumen de madera alrededor de cada una de ellas, pudiendo calcular así el número de capturas respecto al volumen de madera de vid. La información recogida permitió generar, mediante técnicas de interpolación espacial, mapas con gradientes de infestación. Así fueron creados mapas que permitieron diferenciar zonas que presentaban distintos niveles de severidad de la plaga para cada variedad y año. Simultáneamente se determinó el período de emergencia de los individuos adultos el cual varió en los diferentes años en los que se llevó a cabo el estudio. Se analizó y comparó estadísticamente el grado de afección en función del año y la variedad de vid. Los análisis estadísticos demuestran que la variedad Verdejo fue significativamente la variedad menos afectada, mientras que la variedad Mencía resultó ser la más afectada por la plaga. Por otro lado, los análisis espaciales no permitieron identificar un patrón único de distribución espacial de la plaga dentro de las parcelas de estudio, pero la metodología propuesta sí permite identificar que partes de las parcelas han sufrido más daños por la plaga en cada campaña vitivinícola, proporcionando una información precisa al aplicar eficientemente las medidas para mitigar el ataque.

Palabras clave: IDW, interpolación espacial, plaga, *Vitis vinifera*, viñedo, *Xylotrechus arvicola*.

ABSTRACT

The beetle *Xylotrechus arvicola* (Olivier, 1795) is becoming a plague of growing importance in the main wine regions of the Iberian Peninsula. Its infestation is difficult to detect and control because the larvae of these cerambycids get in the interior of the wood of the vines, drilling numerous galleries and causing great structural damage to the plants and their production. This study has been focused on analyzing and comparing the spatio-temporal distribution of the *X.arvicola* pest within a vineyard located in the “Denominación de Origen León” (Gordoncillo, León). In order to do this, the incidence of the pest has been monitored in

five plots with different vine varieties for four years, from 2017 to 2020. Six traps were placed in each of the plots, which were georeferenced and the volume of wood around each one of them was estimated, thus being able to calculate the number of captures with respect to the volume of vine wood. The collected information allowed to generate maps with infestation gradients using spatial interpolation techniques. Thus, maps were created that allowed differentiating areas that presented different levels of severity of the pest for each variety and year. The emergence period of adult individuals was determined, which varied in the different years in which the study was carried out. The level of affection was analyzed and statistically compared according to the year and the vine variety. Statistical analyzes show that the Verdejo variety was significantly the least affected variety, while the Mencía variety was the most affected by the pest. Spatial analyzes did not allow the identification of a unique spatial distribution pattern of the pest within the study plots, but the proposed methodology does allow identifying which parts of the plots have suffered more damage from the pest in each wine campaign, providing accurate information by efficiently applying the measures to mitigate the attack.

Keywords: IDW, spatial interpolation, pest, *Vitis vinifera*, vineyard, *Xylotrechus arvicola*.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La problemática de *Xylotrechus arvicola* en los viñedos españoles

Xylotrechus arvicola (Olivier, 1795) se está convirtiendo en una plaga de creciente importancia en las principales regiones vitivinícolas de la península ibérica (Soria *et al.*, 2013). Se estima que casi la mitad de estas superficies, aproximadamente 550.000 ha presenta importantes núcleos de infestación afectados por esta especie (Ocete *et al.*, 2017). Este coleóptero cerambícido, comúnmente conocido como tornillo de la vid tiene un área de distribución holomediterránea (Ocete *et al.*, 2020). En España, se encuentra extendido desde el Cantábrico hasta Sierra Nevada. Su incidencia suele ser más frecuente en zonas ribereñas afectando a árboles situados a lo largo de los bosques de ribera principalmente del género *Populus*, *Salix*, *Ulmus* en las zonas norte y centro de España. Durante la segunda mitad de la década de 1970, en la zona norte de La Rioja, se identificaron los primeros síntomas de infestación de *X. arvicola* cuando se detectaron larvas excavando galerías en el interior de la madera de las vides tras la época de poda (Ocete *et al.*, 2009). Inicialmente fue descrita como una plaga de la vid *Vitis vinifera* a principios de la década de 1990 (Ocete y del Tío, 1996), donde infestó la mayoría de las vides adultas con edades superiores a los 15 años, desde entonces esta plaga se ha encontrado en otras grandes regiones vitivinícolas españolas, incluidas Castilla y León, y Castilla-La Mancha (García-Ruiz *et al.*, 2011).

X. arvicola es capaz de completar su ciclo biológico en el interior de la madera la vid (Moreno, 2005). Las hembras de este coleóptero depositan hasta 200 huevos debajo del ritidoma o en grietas en la madera de la vid durante los meses de junio y agosto (García-Ruiz *et al.*, 2012). Los huevos de *X. arvicola* tienen una longitud de 1,8 mm y una anchura de 0,7 mm (Moreno, 2005). La eclosión de las puestas ocurre unos 8 días después de la oviposición (Rodríguez-González *et al.*, 2016). Las larvas tienen un tamaño medio de 22 mm en su última etapa de desarrollo. Una vez que las larvas eclosiona del huevo, se introducen en el interior de la madera y comienzan a perfora galerías en su interior ocasionando grandes daños directos e indirectos (Rodríguez-González *et al.*, 2017). Las cepas afectadas de forma reiterada por las larvas de este insecto tienen desarrollo foliar escaso, sarmientos poco vigorosos y productivos, y los troncos y brazos afectados se ven debilitados haciendo que se rompan con más facilidad. El tamaño de los individuos adultos viene determinado por las condiciones ambientales y el volumen de material nutricional del huésped (Rodríguez-González *et al.*, 2016), puesto que se ha observado que el tamaño de los insectos adultos es mayor cuando las larvas de este insecto se han formado en el interior de cepas con formación en vaso, frente a las que se han desarrollado en formación doble cordón o royat. En condiciones naturales, el tamaño de las hembras es superior al de los machos. El control de los insectos adultos es complejo, ya que

tienen un patrón de emergencia escalonada. En los viñedos de La Rioja la emergencia va del 15 de junio al 15 de julio y puede prorrogarse hasta el 15 de agosto (Soria *et al.*, 2013). Para los viñedos de Valladolid en Castilla y León (Moreno, 2005) describió este período desde marzo hasta finales de julio, mientras que en los viñedos del sur de la provincia de León la emergencia se concentra entre el 1 de junio al 31 de julio (Rodríguez-González *et al.*, 2022).

En España, la incidencia de este insecto se intensificó a principios de la década de 1990 por causas desconocidas (Ocete y del Tío, 1996). Aunque autores como (García-Calleja, 2004) señalan que su mayor difusión parece favorecida por la expansión del cultivo de la vid, la importación de material vegetal de plantación, o la ausencia de tratamientos en invierno con arsenito de sodio, cuyo uso actualmente está prohibido. Otros estudios (Ocete *et al.*, 2004) relacionan el aumento de la plaga con el uso intensivo de plaguicidas que podrían haber afectado adversamente a los enemigos naturales de este longicornio. En su estudio (Ocete *et al.*, 2010) muestra el incremento del daño producido por esta plaga anualmente, tras nueve años de seguimiento (desde el 2000 al 2008), en el cual se observó que el porcentaje de vides afectadas creció cada año, desde el 51 % en 2004 hasta un 96 % en 2008. De acuerdo con varios estudios realizados en campo, el nivel de infestación de esta plaga está influenciado por el tipo de cultivo, el tipo de poda y la edad y variedad de las vides (Peláez *et al.*, 2001; Moreno, 2005). El mayor nivel de daño se encontró en la variedad Tempranillo. Se ha planteado la hipótesis de que las diferentes composiciones de la madera de los cultivos, en términos de peso de materia seca, porcentajes de holocelulosa y lignina, y valores de nitrógeno total podrían tener un papel específico en la alimentación de larvas y, por lo tanto, podría explicar los diferentes niveles de infestación (Moreno, 2005). La estructura de la madera y de la corteza influye directamente en el desarrollo de los insectos xilófagos que se encuentran en ella debido a su espesor, dureza y composición. (Rodríguez, 1998) señala la importancia de la composición química de la madera dado que los componentes de la pared celular presentes en las partes leñosas sirven como alimento de diferentes especies, de tal manera que la composición química determina la presencia de unas especies u otras y marca preferencias por una u otra especie o incluso árboles pertenecientes al mismo género. La composición también influye en la elección para realizar la puesta ya que algunos cerambícidos son atraídos por diversos compuestos como es el caso de *Cerambyx cerdo* que es atraído por el etanol y el acetato de etilo (Dajoz, 2001).

El estudio realizado por (Ocete *et al.*, 2008) cuantifica los efectos de la presencia de este insecto en términos de pérdida de rendimiento y deterioro de la calidad del vino. Como se indicó anteriormente el daño directo surge como resultado de grandes y numerosas galerías excavadas por las larvas en el interior de la madera, que destruye el tejido de la madera y dificulta el flujo vascular. El vino obtenido de las plantas afectadas por *X. arvicola* muestra una concentración

más alta de ácido málico, cítrico, tartárico, y ácidos orgánicos característicos de uvas inmaduras que le confieren un sabor excesivamente fuerte, mientras que el vino obtenido de las plantas no afectadas es más equilibrado. Estos resultados podrían estar relacionados con la interferencia del flujo de la savia causada por la actividad excavadora de las larvas de este cerambícido ya que las larvas al ingerir la madera alteran la circulación del azúcar y de metabolitos vegetales como el ácido abscísico y el etileno lo que producen una maduración incompleta de la uva. Por otra parte (Moreno, 2005), determinó que el área foliar y el contenido total de clorofila de las hojas de las plantas afectadas por *X. arvicola* se redujeron 3,01 y 1,07 veces, respectivamente, en comparación con hojas de ramas no afectadas.

Además del daño directo provocado por este cerambícido existe una fuente de daño indirecto dado que los orificios de emergencia de los insectos (Figura 1) y las galerías producidas facilitan la entrada de hongos patógenos que afectan a la madera de las plantas. (García Benavides *et al.*, 2013) muestran como el 65 % de los hongos detectados en el interior de las galerías de *X. arvicola* pertenecen a especies reconocidas como agentes patógenos de las plantas. De entre las 20 especies de hongos detectadas dentro de las galerías de *X. arvicola*, cabe destacar *Diplodia seriata*, *Phaeomoniella chlamydospora*, *Phaeocremonium aleophilum*, *Phaeocremonium tuscanicum*, *Phaeocremonium angustius*, *Eutypa lata* y *Fomitiporia mediterranea*, se trata de especies detectadas con mayor frecuencia y están asociadas con enfermedades de madera de la vid.



Figura 1. Orificio de salida *Xylotrechus arvicola* en el brazo de una vid.

Por todos estos motivos las infestaciones producidas por *X. arvicola* son difíciles de predecir y controlar debido a que las larvas del insecto son inaccesibles cuando se encuentran en el interior de las partes leñosas de la vid. El uso de insecticidas para controlar *X. arvicola* no resultan del todo efectivo (Soria *et al.*, 2013). Las larvas sólo son alcanzables con insecticidas las primeras 24 h después de la eclosión y en la mayoría de los casos sólo adultos y los estadios de huevo se ven afectados por productos fitosanitarios (Rodríguez-González *et al.*, 2017). Las medidas de control se basan en el uso de métodos preventivos, eliminando las ramas cortadas durante la poda y posteriormente cubriendo heridas con pasta selladora. Cuando las

infestaciones son severas, las vides deben ser cortadas hasta el tronco, lo que resulta en una pérdida de cosecha durante muchos años (Ocete *et al.*, 2004).

Los agentes de control biológico (BCA) han demostrado ser una herramienta eficaz para controlar y prevenir la propagación de una gran variedad de plagas y enfermedades de las plantas. La información sobre los depredadores naturales de *X. arvicola* es aún escasa (García-Ruiz *et al.*, 2007). Cada vez está más vigente el uso de hongos para el control de plagas de invertebrados ya que minimiza los efectos secundarios sobre otros organismos, el medio ambiente y la salud humana. *Trichoderma* spp. ha sido descrito como un agente biológico para el control de larvas de otros coleópteros como *Lucanus cervus* (Coleoptera: Lucanidae), alcanzando un 83,1% de mortalidad larvaria (Alahmadi *et al.*, 2012). (Rodríguez-González *et al.*, 2018) mostraron la capacidad de diferentes cepas de *Trichoderma* spp (aisladas en viñedos) y un aislado comercial de *Beauveria bassiana* frente a huevos, larvas y adultos de *X. arvicola*. Las cepas de *T. harzianum* y *T. gamsii* demostraron un buen control ovicida, inhibiendo el 100,0% del desarrollo larvario en el interior de los huevos con *T. harzianum* y más del 92,0% con *T. gamsii*. Las cepas de *Trichoderma* lograron una mortalidad larvaria superior al 65,0% y una mortalidad adulta del 87,5%.

La creciente presencia de *X. arvicola* en viñedos del norte y centro de España durante los últimos años y la evaluación de sus daños indican que este cerambícido se está convirtiendo en una plaga grave que debe ser considerado un objetivo para el manejo integrado de plagas en viñedos (Ocete *et al.*, 2008).

Existen numerosas publicaciones que respaldan la utilidad de los sistemas de información geográfica (SIG) y los métodos de geoestadísticos en el estudio de la distribución espacial de los insectos (Ramírez Dávila *et al.*, 2008; Sciarretta y Trematerra, 2011). Estos métodos permiten, además de estimar la distribución espacial de los insectos, generar mapas con gradientes de infestación, de gran utilidad para detectar zonas que requieran técnicas de control. También permite evaluar posibles preferencias en la estructura de agregación de los insectos y detectar zonas que no presenten infestación (Ramírez *et al.*, 2013). Los mapas sirven para tomar decisiones de manejo en los cultivos, señalando la ubicación (según coordenadas geográficas) de focos de altas densidades poblacionales, de amplia utilidad independientemente de la medida de control a seleccionar. Además permiten identificar zonas, en las que por sus características particulares se pueden aplicar a gran escala tácticas de control, tan selectivas como la confusión sexual o la liberación de enemigos naturales (Duarte *et al.*, 2015).

1.2 Objetivos

El principal objetivo de este trabajo ha sido analizar y comparar la distribución espacio-temporal de la plaga *X. arvicola* en varias parcelas situadas dentro de un viñedo localizado en la localidad de Gordoncillo (DO León).

El objetivo principal se desarrolló en tres objetivos específicos: 1) determinar el grado de afección de *X. arvicola* en diferentes variedades y años, 2) delimitar patrones espaciales de emergencia de los individuos adultos de esta plaga, y 3) identificar que variedades de vid resultan más o menos afectadas por la plaga.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Descripción de la zona de estudio

El área de estudio se localiza el ámbito geográfico de la Denominación de Origen “León” (DO León), situada al sur de la provincia de León (Castilla y León) a lo largo de 3.317 km², y ocupando parte de la provincia de Valladolid y limitando con las provincias de Zamora y Palencia, abarcando la zona de influencia de las riberas de los ríos Esla y Cea. Concretamente el estudio se ha llevado a cabo en un viñedo localizado en el municipio de Gordoncillo (Figura 2). Este viñedo se extiende a lo largo de 205 hectáreas y está dividido en 8 parcelas (Figura 3), diferenciadas por el tipo de variedad de vid (Tabla 1). El viñedo se plantó en tres fases en 1996, 1997 y 1998. Toda la plantación es de secano, formada sobre una espaldera baja de 1,7 m. La altura de formación de las plantas está entorno a los 60 cm y el marco de plantación es de 3 m entre fila y 1,5 entre plantas, lo que hace una densidad de 2.222 plantas por hectárea.

Tabla 1. Nombre de las parcelas del viñedo, variedad de vid de cada una de ellas y extensión.

Parcela	Variedad	Extensión (ha)
1. La Viuda	Prieto Picudo	31
2. El Jano	Prieto Picudo	14
3. El Cervato	Verdejo	21
4. Casa Mazo	Prieto Picudo	25
5. El Hoyo	Prieto Picudo	29
6. El Pichón	Mencia	21
7. Costana	Tempranillo	44
8. Calabazanos	Albarín	6
8. Calabazanos	Verdejo	7
8. Calabazanos	Tempranillo	2

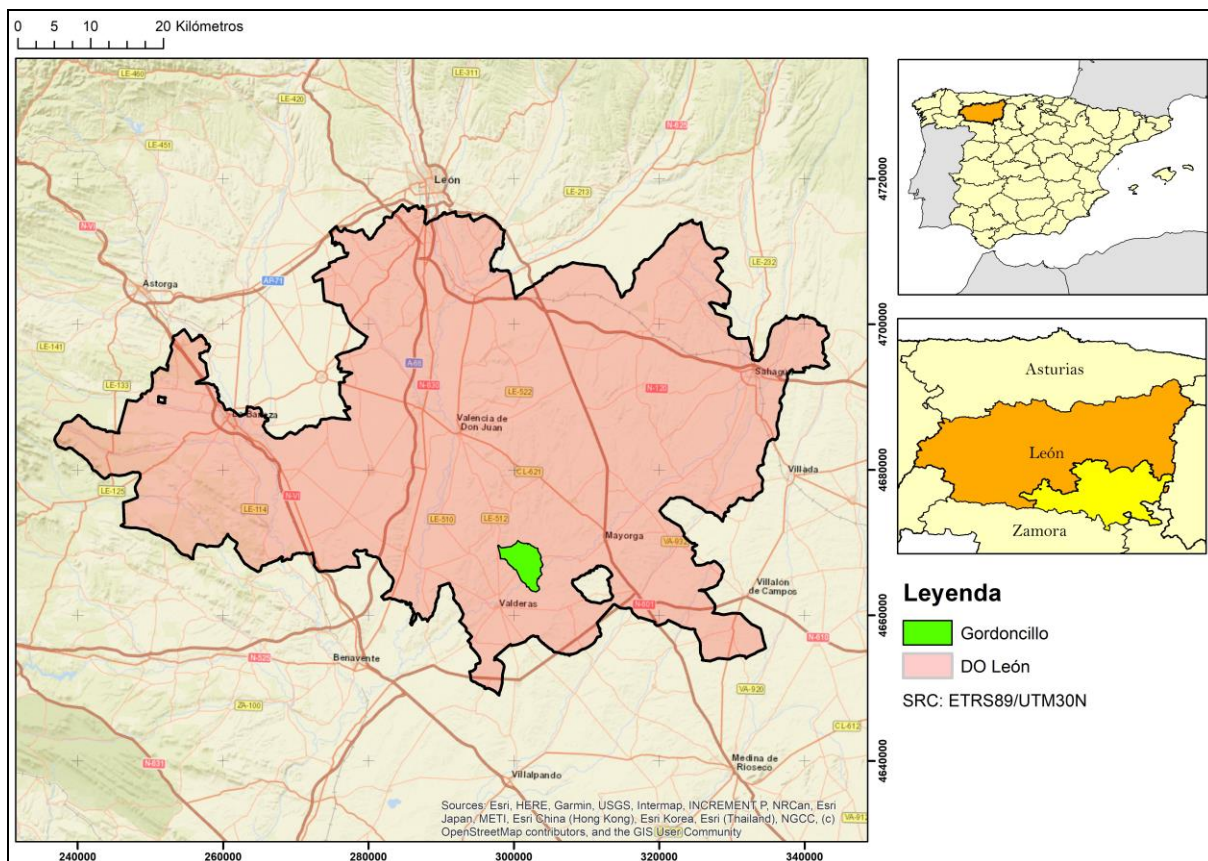


Figura 2. Mapa de la localización de Gordoncillo dentro de la DO León

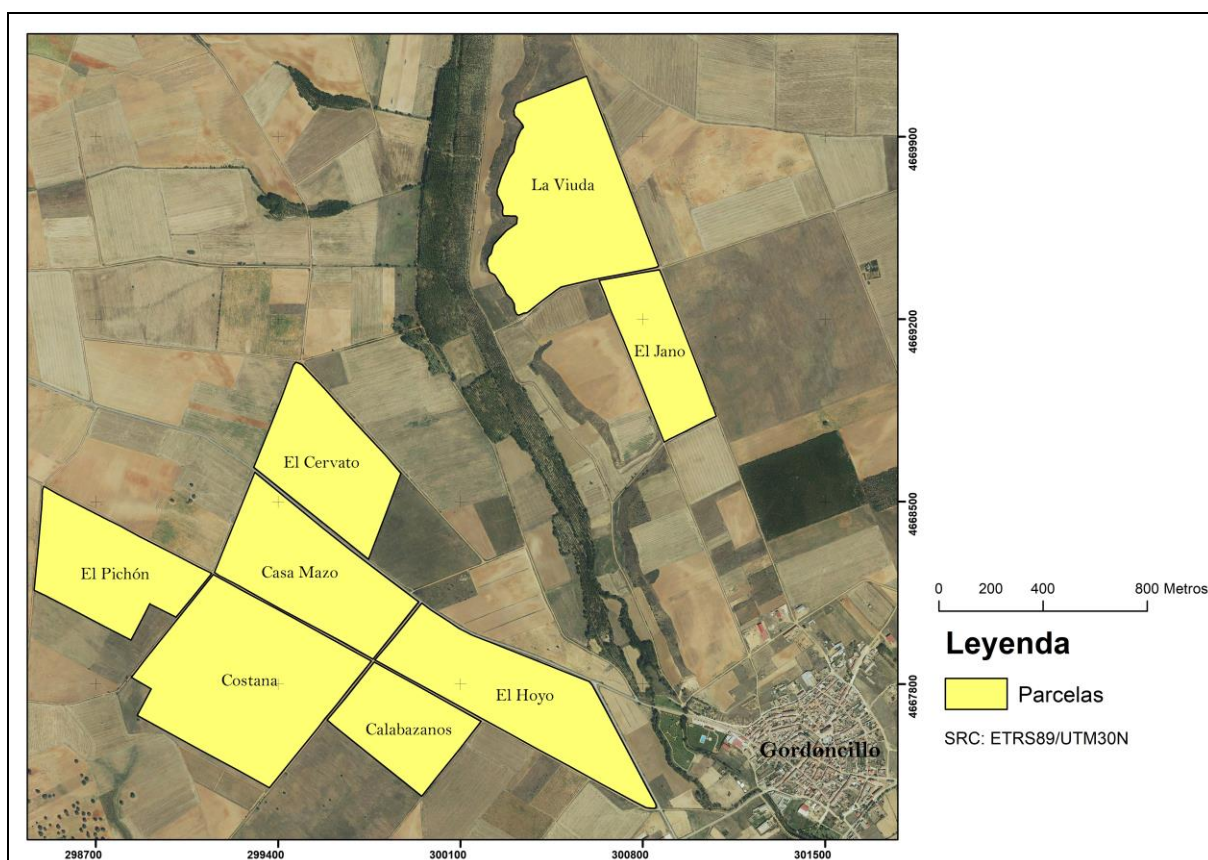


Figura 3. Parcelas dentro del viñedo de Gordoncillo.

El clima en esta región se define como continental, caracterizado por inviernos fríos y veranos cortos y calurosos. Los inviernos son fríos y largos con importantes heladas, en ningún caso las temperaturas mínimas absolutas en los meses más fríos superan los -15°C temperatura límite invernal para el cultivo de la vid (DO León, 2021). Las heladas primaverales son recurrentes y de gran riesgo, ya que para esta época la viña ha empezado el periodo vegetativo. Los veranos son cálidos, con más de 20°C de temperatura media (necesaria para el periodo de floración, cuajado y envero de la vid) y máximas de 30°C , coincidiendo con los meses de estación seca. Durante los veranos existe una variación importante de temperatura entre el día y la noche. Las precipitaciones oscilan entre 400-550 milímetros anuales con pocas precipitaciones durante la época estival, lo que hace que el cultivo de la vid en la zona no precise de riego salvo en algunos años aislados. Gordoncillo dispone de suelos aptos para el cultivo del viñedo situados bajo los 700 metros de altitud, de origen cuaternario, asentados sobre terrazas aluviales del río Cea (Gordoncello, 2021). Se caracterizan por ser pobres en materia orgánica, con materiales blandos de composición franco-arcillosa en su mayoría y de arena fina en menor cantidad con abundante canto rodado en superficie que proporciona buena aireación, condiciones de drenaje y penetrabilidad de las raíces y capacidad de retención hídrica.

2.2 Toma de datos

Durante los años 2017 al 2020 se ha realizado la monitorización de este insecto, mediante el empleo de trampas de intercepción (CROSSTRAP[®]) que permitieron la captura del insecto durante la época de vuelo. Todas las trampas fueron revisadas cada 2 o 3 días, los insectos capturados fueron identificados y se determinó su sexo en el laboratorio según la metodología descrita por (Moreno, 2005). Los resultados de las capturas se calcularon como número de individuos de *X. arvicola* por trampa y día en cada parcela y año, con esta información se estableció una curva de vuelo y se trató de determinar patrones de emergencia del insecto dentro del viñedo. Posteriormente para analizar y comparar el grado de afección del insecto sobre las diferentes variedades de vid y los posibles patrones de distribución espacial, se tomó como referencia el número de individuos de *X. arvicola* capturados anualmente por trampa en cada parcela, y se estimó el volumen de madera alrededor de cada una de las trampas, obteniendo el número de capturas anuales por metro cúbico de madera para cada una de las trampas.

2.2.1 Capturas

Se colocaron un total de 30 trampas, seis en cada una de las cinco parcelas donde se llevó a cabo de estudio. Las parcelas escogidas fueron “El Cervato” variedad Verdejo, “Casa Mazo” variedad Prieto Picudo, “El Pichón” variedad Mencía, “Costana” variedad Tempranillo, y “Calabazanos” variedad Albarín (Tabla 1). En cada campaña de trabajo, se colocaron las trampas en el mes de mayo con una separación de 18 m. La Figura 4 muestra las localizaciones de las trampas en las diferentes parcelas, la localización de las trampas fue la misma para los cuatro años de estudio.

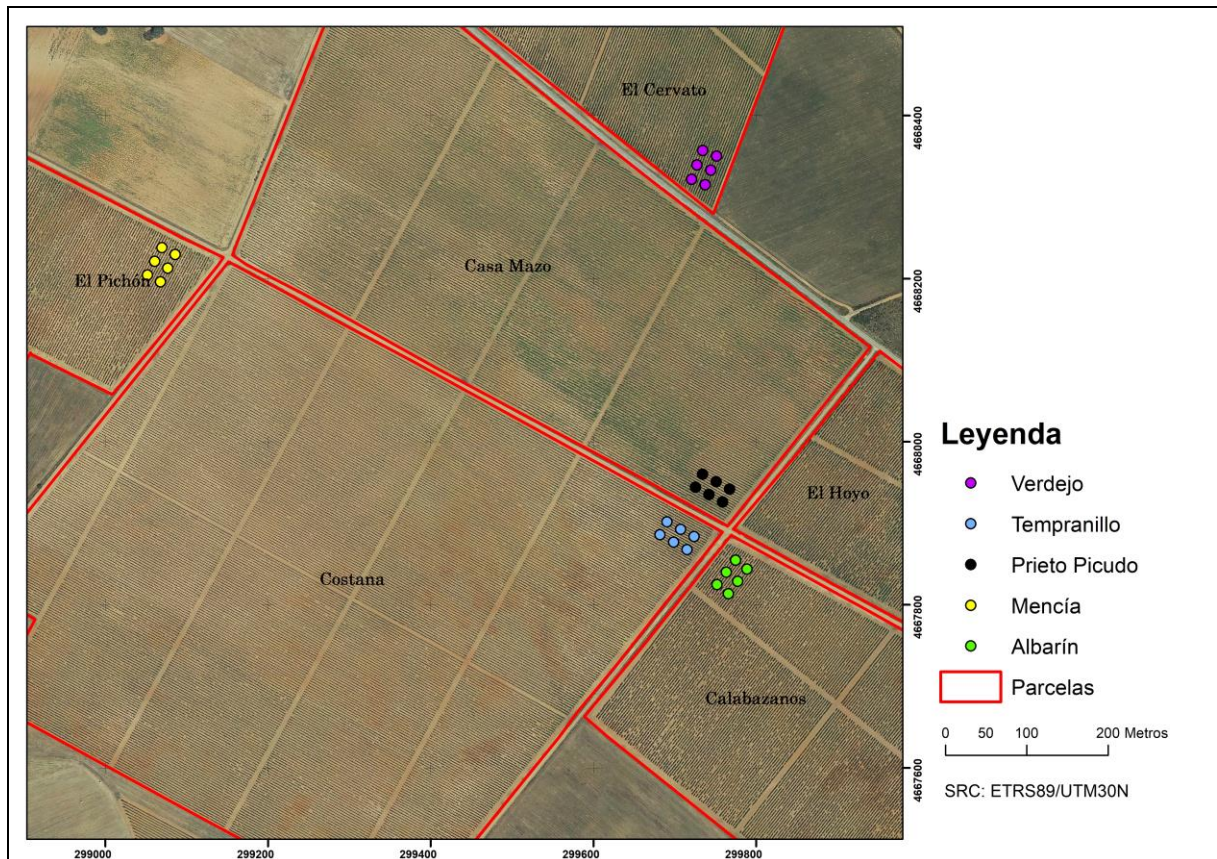


Figura 4. Localización de las trampas dentro de las parcelas de estudio.

La trampa CROSSTRAP (Econex, 2022) fue seleccionada como la trampa de referencia (Figura 5) dado que este tipo de trampa ha sido ampliamente utilizada para el control de otros coleópteros como el escarabajo de la corteza (*Ips typographus*), o el escarabajo del pino de montaña (*Dendroctonus ponderosae*). Además, este tipo de trampa se ha utilizado en pruebas anteriores para la evaluación en el campo de los compuestos 3-hidroxi-2-hexanona y etanol como atrayentes de adultos de *X. arvicola* (Rodríguez-González *et al.*, 2017c)

La trampa consta de una tapa de polipropileno de 33 cm de diámetro con un colgador en el centro sujeto a esta con un muelle. Dos láminas de PVC reforzado ancladas en su parte superior a la tapa por medio de cuatro muelles, como elementos de suspensión dinámica, sirviendo de amortiguadores para la fuerza del viento ejercida sobre la trampa y evitar así su

rotura en el campo; y sujetas mecánicamente en la parte inferior a un embudo de polipropileno de 30 cm de diámetro. En la parte inferior del embudo se encuentra el bote colector de capturas, sujeto a este con tornillos. Las láminas, el embudo y el colector están tratados con Fluon® un producto deslizante que aumenta considerablemente las capturas, impidiendo además que escapen. El colector tiene unas medidas de 10 cm de diámetro por 13 cm de altura y una capacidad aproximada de 1 litro, y está provisto con un fondo de malla de acero inoxidable que drena el 100% del agua de lluvia y facilita la ventilación del mismo. Los señuelos utilizados están compuestos por piezas de algodón impregnadas con 1 ml de etanol contenidos dentro de bolsas de polietileno, de manera que el atrayente se libera a la atmosfera mediante evaporación. Los señuelos se cambiaron cada diez días durante el transcurso del estudio.



Figura 5. Trampa Crosstrap colocada en el área de estudio.

La posición de las trampas fue georreferenciada con un receptor inteligente Multi-GNSS y Multifrecuencia (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS, IRNSSy Atlas® L-band) de Carlson (modelo BRx7); Software SurvPC (para Windows) de Carlson. Este receptor permite trabajar en tiempo real (RTK), obteniendo precisión centimétrica si recibe correcciones de una red permanente de bases GNSS. En este caso de estudio se estableció conexión con protocolo NTRIP con la red de estaciones permanentes GNSS del ITACYL que ofrece servicio libre y gratuito de posicionamiento de alta precisión con receptores GNSS dentro del territorio de Castilla y León en datum ETRS89. La conexión con esta red proporciona correcciones de fase en tiempo real, ofreciendo una precisión centimétrica con tiempos de inicialización y robustez en zonas o entornos de alto multipaso. Esta red constituye un marco de referencia geodésico activo en ETRS89, que sustituye y complementa con ventaja a las tradicionales redes geodésicas basadas en vértices fijos.

2.2.2 Estimación del volumen de madera

Para estimar el volumen de madera en cada una de las trampas, se tomó como referencia las cepas colocadas un radio de 3 metros alrededor de cada una de las trampas. Se tomaron medidas de 6 cepas circundantes a cada trampa: las dos cepas situadas en la misma fila de la trampa (separadas a 1,5 m) y además las dos cepas situadas en las filas colindantes (las filas están separadas 3 m). Para poder realizar las mediciones se empleó un calibre digital (Figura 6) que permitió tomar las medidas de la sección de los brazos y del tronco de la vid. Las medidas tomadas en los brazos de las vides por debajo de 30 mm fueron desestimadas debido a que por debajo de esta sección las larvas del insecto no pueden desarrollarse. Con una cinta métrica se midió la longitud total de los brazos, para la longitud del tronco se tomó los 60 centímetros de altura de formación de la planta. Conociendo la sección y la longitud, se estimó el volumen de madera de los brazos y tronco considerando el volumen de un cilindro, obteniendo el volumen de cada una de las cepas y finalmente el volumen total de madera para cada una de las trampas.



Figura 6. Medición del diámetro de los brazos de la vid con calibre digital

2.3 Análisis estadístico

La información obtenida con el número de individuos de *X. arvicola* por trampa y día permitió calcular el número de capturas anuales por trampa en cada parcela. Una vez calculado el volumen de madera por trampa se estimó el número de capturas anuales por metro cúbico de madera en cada una de las trampas. Con el fin de comprobar la influencia de la variedad de vid en el número de capturas por metro cúbico de madera se realizó un análisis de varianza de un factor, considerando como factor el tipo de variedad de vid (Mencía, Prieto Picudo, Albarín, Tempranillo y Verdejo).

Se contrastó la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas. Para el estudio de la normalidad se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov; esta prueba compara la función de distribución acumulada observada de una variable con una distribución teórica normal. Para el estudio de la homocedasticidad de varianza se utilizó la prueba de Levene; esta prueba estadística de inferencia permite evaluar la igualdad de las varianzas para una variable calculada para dos o más grupos. Debido a que no se cumplieron los supuestos de normalidad de los datos

y homogeneidad de varianza, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis (método no paramétrico) que permite detectar diferencias significativas entre grupos. Cuando esta prueba detectaba diferencias significativas entre grupos para un nivel de significación del 95%, se utilizó el test de Mann-Whitney para validar diferencias entre pares de variedades. Todos los análisis estadísticos han sido realizados con el programa informático RStudio (R Core Team, 2021).

2.4. Análisis espacial

Para la caracterización de la distribución espacial de *X.arvicola* en el viñedo se utilizaron métodos de análisis espacial. Los métodos de interpolación espacial permiten estimar el valor de una variable (en este caso el número de individuos del insecto), a partir de valores medidos en puntos de localización conocida (en este caso las trampas) (Moral García *et al.*, 2004). Para este análisis se optó por la utilización de un método determinísticos de interpolación: Distancia Inversa Ponderada (IDW). Este método de interpolación estima los valores intermedios calculando promedios de los valores de los datos más cercanos. El análisis se llevó a cabo utilizando el software ArcMap (ESRI, 2001). La información recogida en campo (posición de las trampas georreferenciadas y el número de capturas por volumen de madera) en cada uno de los años de estudio fue representada en una capa de tipo punto. Se utilizó como Sistema de Referencia de Coordenadas el EPSG:25830 (ETRS89/UTM30N).

3. RESULTADOS

3.1 Curva de vuelo

Para la elaboración de las curvas de vuelo, se tomó como referencia para cada uno de los días en los que se hizo el seguimiento el valor obtenido de la suma total de las seis trampas colocadas en cada una de las parcelas. Las Figuras 7,8,9 y 10 muestran las curvas de vuelo obtenidas entre los años 2017 y 2020, expresadas como número de capturas por día, lo cual ha permitido determinar el período de inicio de emergencia de los individuos adultos y la época de máximo vuelo.

En 2017 la capturas de *X. arvicola* comenzaron a finales de mayo, se mantuvieron constantes durante la primera semana de junio, alcanzando el pico máximo durante la segunda semana del mes (Tabla 2) cuando la temperatura media diaria se vio incrementada en las trampas localizadas en las variedades Mencía y Prieto Picudo, a partir de esta fecha el número de capturas fue decreciendo hasta llegar al mes de julio donde no se produjo ninguna captura (Figura 7).

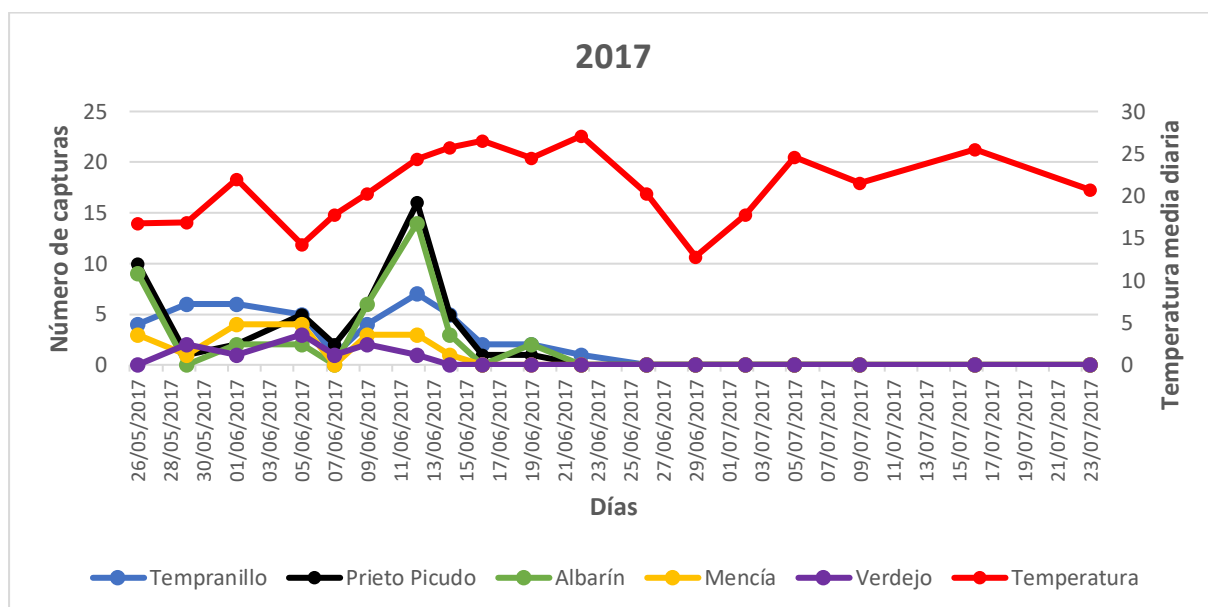


Figura 7. Número de capturas por día en cada una de las variedades de vid para el año 2017

Tabla 2. Fechas con el número máximo de capturas en cada una de las variedades para el año 2017

Fecha	Tempranillo	Prieto Picudo	Albarín	Mencía	Verdejo	Tª media diaria (°C)
26/05/2017	4	10	9	3	0	16,73
29/05/2017	6	1	0	1	2	16,82
01/06/2017	6	2	2	4	1	22,00
05/06/2017	5	5	2	4	3	14,30
07/06/2017	1	2	0	0	1	17,72
09/06/2017	4	6	6	3	2	20,30
12/06/2017	7	16	14	3	1	24,42
14/06/2017	5	5	3	1	0	25,79
19/06/2017	2	1	0	0	0	26,50
22/06/2017	1	0	0	0	0	27,11
Capturas totales	43	49	38	19	10	

En el año 2018 las capturas comenzaron más tarde respecto al año anterior, a partir de la segunda semana de junio y alargándose hasta la segunda semana de julio, a partir de la cual no se obtuvieron más capturas. Se pudieron diferenciar 3 picos en el número de capturas coincidiendo con los picos de temperatura media diaria, el primero en la tercera semana de junio en las trampas localizadas en la variedad Mencía, el segundo en la cuarta semana de junio en las trampas colocadas en las variedades Albarín y Prieto Picudo y por último en la segunda semana de julio en las trampas colocadas en las variedades Tempranillo y Prieto Picudo (Figura 8).

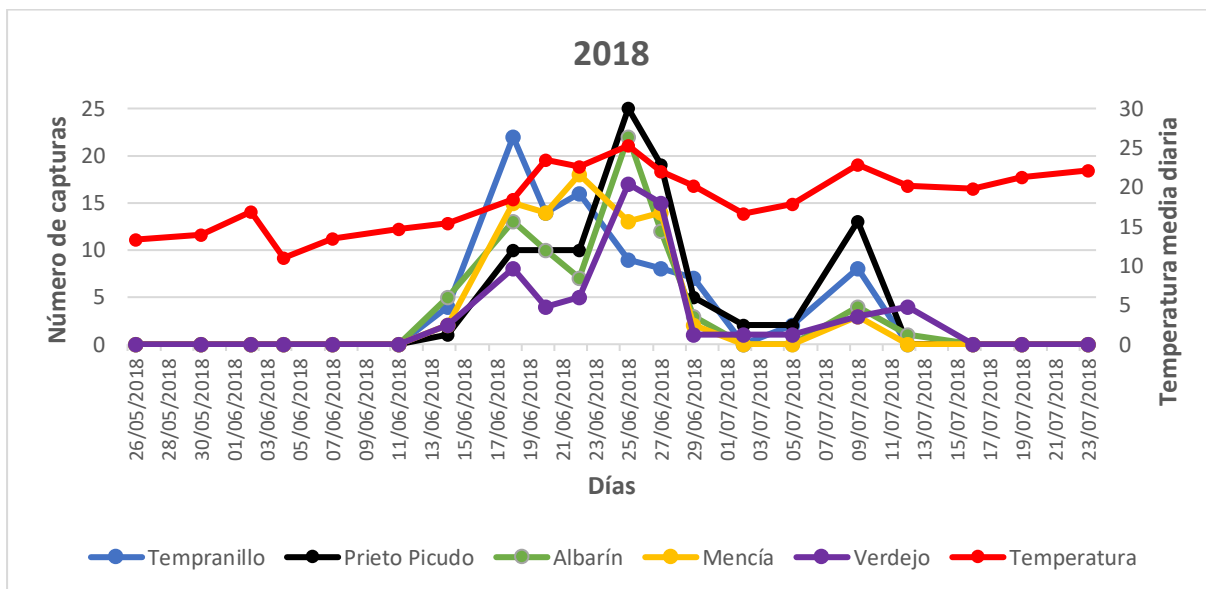


Figura 8. Número de capturas por día en cada una de las variedades de vid para el año 2018

Tabla 3. Fechas con el número máximo de capturas en cada una de las variedades para el año 2018

Fecha	Tempranillo	Prieto Picudo	Albarín	Mencía	Verdejo	T ^a media diaria (°C)
14/06/2018	4	1	5	2	2	15,36
18/06/2018	22	10	13	15	8	18,51
20/06/2018	14	10	10	14	4	23,41
2/06/2018	16	10	7	18	5	22,58
25/06/2018	9	25	22	13	17	25,27
27/06/2018	8	19	12	14	15	21,99
29/06/2018	7	5	3	2	1	20,22
02/07/2018	0	2	0	0	1	16,58
05/07/2018	2	2	0	0	1	17,90
09/07/2018	8	13	4	3	3	22,82
12/07/2018	0	0	1	0	4	20,19
Capturas totales	90	97	77	81	61	

En el año 2019 las primeras capturas se produjeron en la primera semana de junio coincidiendo con el pico de temperaturas medias (Tabla 4) en las trampas colocadas en las variedades Tempranillo, Prieto Picudo, Mencía y Albarín. Se puede observar cómo durante la segunda semana de junio las temperaturas medias decrecieron, lo que se tradujo en un número menor de capturas, a partir de la tercera semana las temperaturas incrementaron, aumentando ligeramente el número de capturas. Durante el mes de julio no se detectaron más capturas (Figura 9).

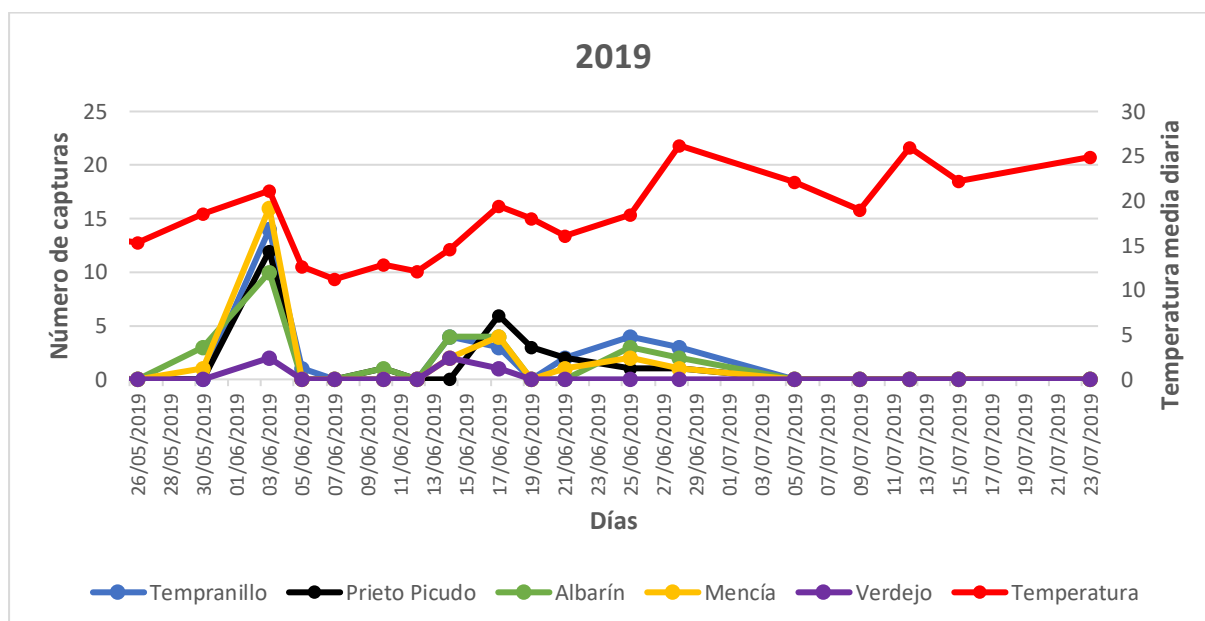


Figura 9. Número de capturas por día en cada una de las variedades de vid para el año 2019

Tabla 4. Fechas con el número máximo de capturas en cada una de las variedades para el año 2019

Fecha	Tempranillo	Prieto Picudo	Albarín	Mencía	Verdejo	Tª media diaria (°C)
30/05/2019	0	0	3	1	0	18,58
03/06/2019	14	12	10	16	2	21,14
05/06/2019	1	0	0	0	0	12,61
10/06/2019	0	1	1	0	0	12,88
12/06/2019	0	0	0	0	0	12,11
14/06/2019	4	0	4	2	2	14,54
17/06/2019	3	6	4	4	1	19,37
19/06/2019	0	3	0	0	0	18,04
21/06/2019	2	2	0	1	0	16,03
25/06/2019	4	1	3	2	0	18,40
28/06/2019	3	1	2	1	0	26,20
Capturas totales	31	28	27	27	5	

En el año 2020 las capturas se iniciaron en la última semana de mayo alcanzando el pico de capturas en la primera semana de junio en las trampas ubicadas en la variedad Tempranillo (Tabla 5). Se puede observar cómo durante las tres primeras semanas de junio las temperaturas medias fueron bajas, los que se tradujo en un número bajo de capturas. A partir de la última semana de junio las temperaturas se incrementaron, aumentando ligeramente el número de capturas. Durante el mes de julio no se obtuvieron más capturas (Figura 10).

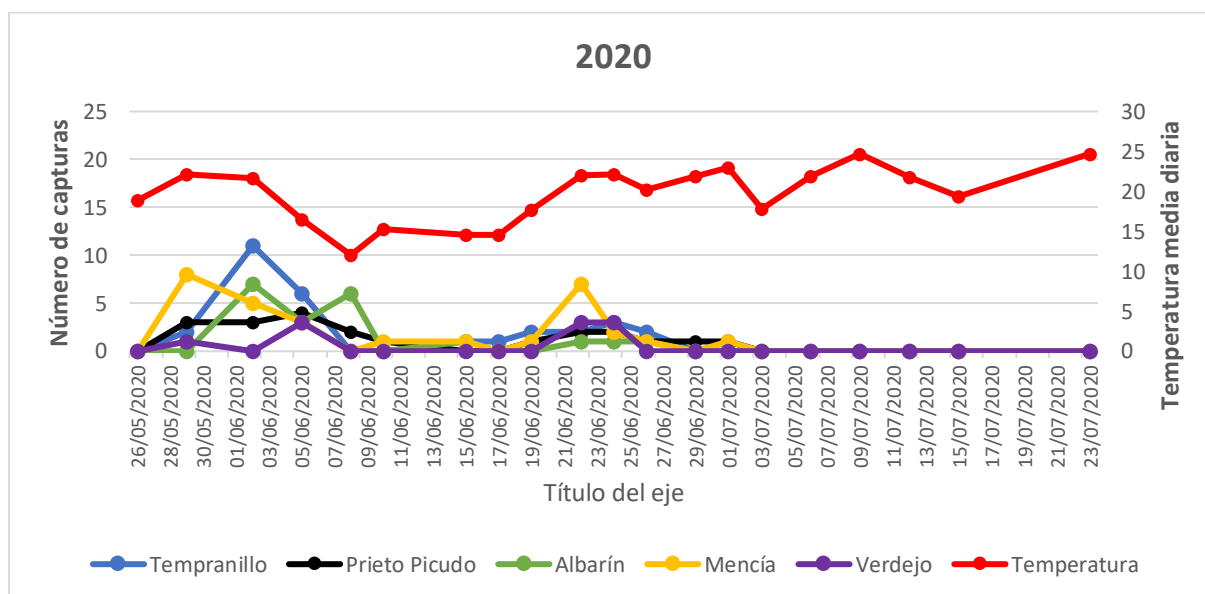


Figura 10. Número de capturas por día en cada una de las variedades de vid para el año 2020

Tabla 5. Fechas con el número máximo de capturas en cada una de las variedades para el año 2020

Fecha	Tempranillo	Prieto Picudo	Albarín	Mencía	Verdejo	T ^a media diaria (°C)
29/05/2020	2	3	0	8	1	22,15
02/06/2020	11	3	7	5	0	21,62
05/06/2020	6	4	3	3	3	16,45
08/06/2020	0	2	6	0	0	12,03
10/06/2020	0	1	0	1	0	15,31
15/06/2020	1	0	1	1	0	14,58
17/06/2020	1	0	0	0	0	14,59
19/06/2020	2	1	0	1	0	17,63
22/06/2020	2	2	1	7	3	21,99
24/06/2020	3	2	1	2	3	22,14
26/06/2020	2	1	1	1	0	20,26
29/06/2020	0	1	0	0	0	21,83
01/07/2020	1	1	0	1	0	22,93
Capturas totales	31	21	20	30	10	

3.2 Relación número de capturas por año

Se observa como para el año 2018 se produce el mayor número de capturas en cada una de las parcelas de estudio (Figura 11) con un total de 406 capturas en todo el año. El número de capturas anuales por trampa osciló entre un mínimo de 5 capturas por trampa en la parcela “El Cervato” (variedad Verdejo) y un máximo de 23 capturas por trampa en esa misma parcela. El año 2017 fue el segundo año con mayor número de capturas, aunque notablemente inferior a 2018, con 159 capturas anuales, el número de capturas anuales por trampa osciló entre un mínimo de 0 capturas por trampa en la parcela “El Cervato” (variedad Verdejo) y un máximo de 14 capturas por trampa en la parcela “Casa Mazo” (variedad Prieto Picudo). Los años con menor número de capturas anuales fueron 2019 y 2020. Con 118 capturas anuales por trampa para 2019 con mínimos de 0 capturas por trampa en la parcela “El Cervato” (variedad Verdejo)

y máximos de 9 capturas por trampa en la parcela “Costana” (variedad Tempranillo). Para 2020 el número total de capturas anuales fue de 112, con mínimos de 0 capturas por trampa en la parcela “El Cervato” (variedad Verdejo) y máximos de 12 capturas por trampa en la parcela “Costana” (variedad Tempranillo).

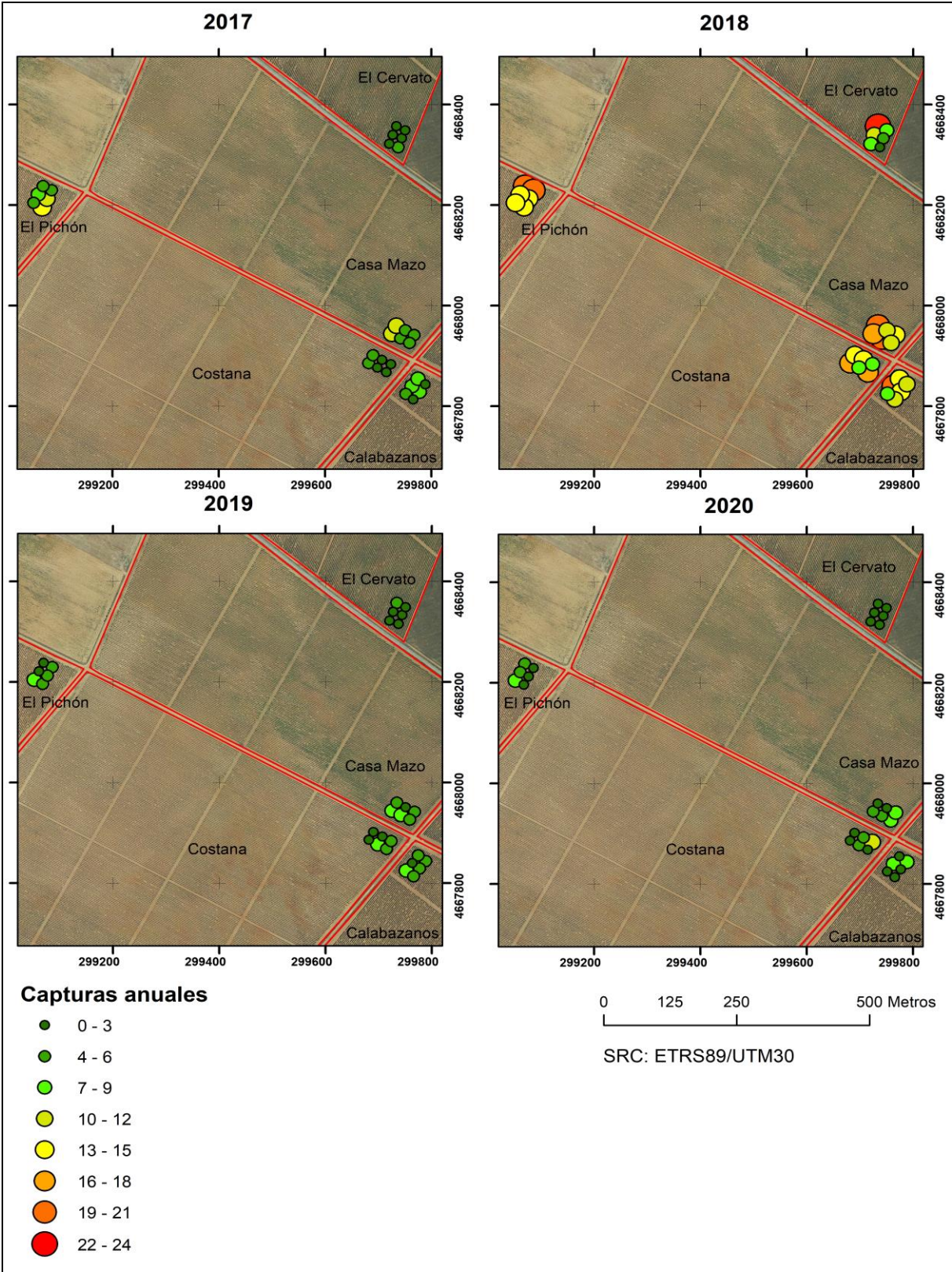


Figura 11. Capturas anuales por trampa.

3.3 Relación número de capturas anuales y el volumen de madera

Al comparar el número de capturas anuales por metro cúbico de madera de las cinco variedades de vid para el año 2017, se puede observar en la Tabla 6 diferencias entre las distintas variedades de vid, siendo Verdejo la variedad con un número capturas medias más bajo, y Albarín la más elevada.

Tabla 6. Análisis descriptivo número de capturas anuales por metro cúbico de madera en las variedades de vid para el año 2017.

Año 2017	Mencía	Tempranillo	Albarín	Prieto Picudo	Verdejo
Mínimo	80,64	136,90	74,98	154,80	0,00
1ºer Cuartil	104,55	156,10	158,90	201,20	11,50
Mediana	167,30	290,80	281,90	277,30	63,77
Media	191,60	285,00	315,25	327,00	72,22
Rango intercuartílico	156,47	228,90	266,45	230,10	91,91
3ºer Cuartil	261,02	385,00	425,35	431,30	103,41
Máximo	358,48	463,80	661,65	593,90	195,07

Como se puede observar en la Figura 12 para el año 2017 la variedad de vid menos afectada resultó ser la variedad Verdejo. Se detectaron diferencias significativas ($\chi^2 = 10,93$; $p=0,027$) respecto a de las variedades Prieto Picudo ($p=0,012$), Tempranillo ($p=0,012$) y Albarín ($p=0,03$) que resultaron ser las variedades más afectadas. No se detectaron diferencias significativas entre la variedad Mencía y el resto de las variedades para este año.

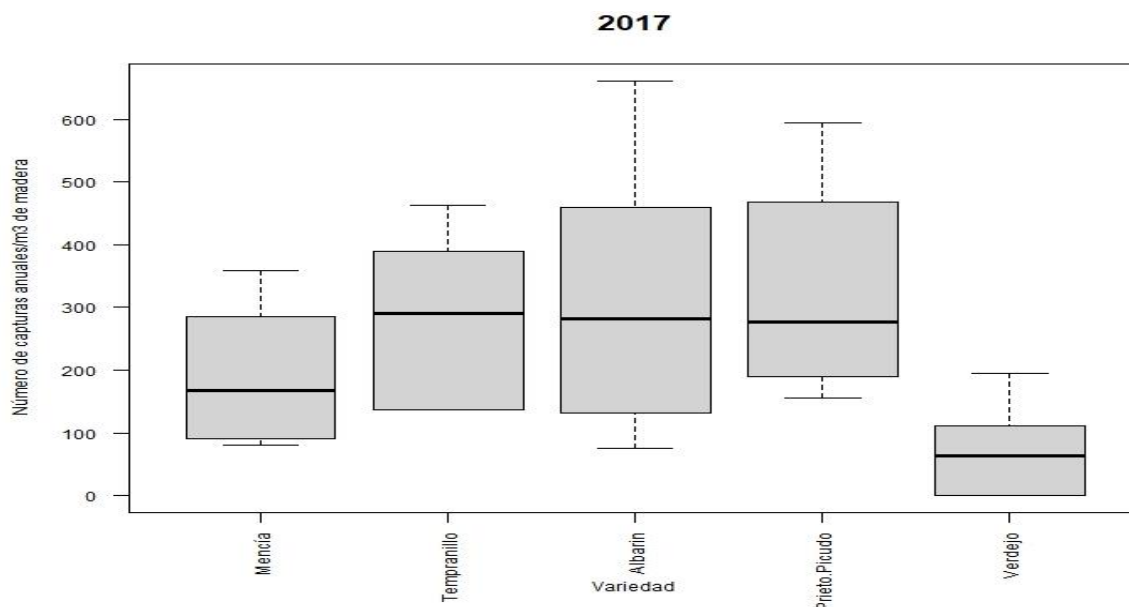


Figura 12. Diagrama de cajas del número total de capturas anuales por metro cúbico de madera en las variedades de vid para el año 2017.

Se ha comparado estadísticamente el número de capturas anuales por metro cúbico de madera de las cinco variedades de vid para el año 2018. En la Tabla 7 se pueden observar las diferencias entre las distintas variedades de vid, siendo Verdejo la variedad con un número capturas medias más bajo, y Mencía la más elevada.

Tabla 7. Análisis descriptivo número de capturas anuales por metro cubico de madera en las variedades de vid para el año 2018

Año 2018	Mencía	Tempranillo	Albarín	Prieto Picudo	Verdejo
Mínimo	408,00	496,20	360,70	502,50	243,80
1ºer Cuartil	470,10	549,90	430,00	531,40	280,80
Mediana	710,10	585,70	492,90	592,50	315,10
Media	847,80	585,00	636,50	648,20	407,400
Rango intercuartílico	658,00	68,40	193,40	174,50	70,30
3ºer Cuartil	1128,10	618,30	623,40	705,90	351,10
Máximo	1601,30	675,30	1396,80	947,20	937,90

Como se puede observar en la Figura 13 para el año 2018, y como sucedía en el año 2017, la variedad menos afectada resultó ser la variedad Verdejo. Se detectaron diferencias significativas respecto a de las variedades Prieto Picudo ($p=0,045$), Albarín ($p=0,045$) y Mencía ($p=0,030$) que resultó ser las variedades más afectadas. No se detectaron diferencias significativas en el número de capturas entre la variedad Tempranillo y el resto de las variedades.

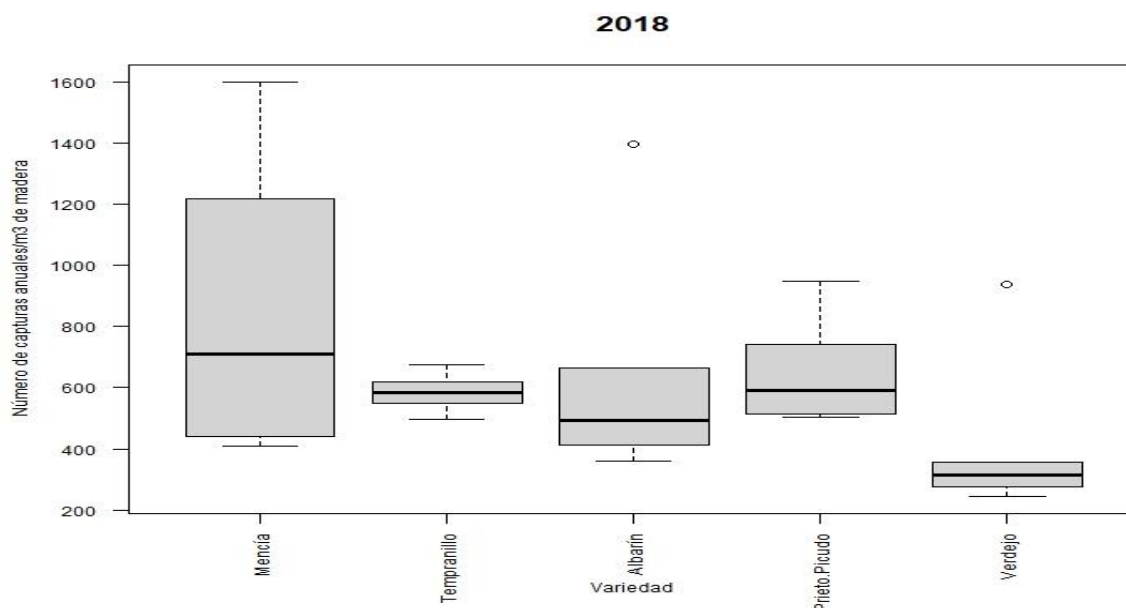


Figura 13. Diagrama de cajas del número total de capturas por metro cúbico de madera en las variedades de vid para el año 2018.

Al comparar el número de capturas anuales por metro cúbico de madera de las cinco variedades de vid para el año 2019, se puede observar en la Tabla 8 diferencias entre las distintas variedades de vid, siendo Verdejo la variedad con un número capturas medias más bajo, y Mencía la más elevada.

Tabla 8. Análisis descriptivo número de capturas anuales por metro cubico de madera en las variedades de vid para el año 2019.

Año 2019	Mencía	Tempranillo	Albarín	Prieto Picudo	Verdejo
Mínimo	121,00	73,77	143,70	119,30	0,00
1ºer Cuartil	177,10	143,33	147,80	145,30	0,00
Mediana	205,00	177,37	184,70	176,40	0,00
Media	279,20	187,67	100,30	181,80	34,85
Rango intercuartílico	182,60	64,29	98,50	54,90	34,49
3ºer Cuartil	359,70	207,62	246,30	200,20	34,49
Máximo	565,20	347,81	280,60	275,00	163,12

De nuevo para el año 2019 la variedad más afectada fue Mencía, y la variedad Verdejo la menos afectada como sucedió para el año 2018 (Figura 14). Se detectaron diferencias entre variedades ($\chi^2=11,49$; $p=0,02$). La variedad Verdejo fue significativamente diferente de las variedades Mencía ($p=0,007$), Tempranillo ($p=0,018$), Albarín ($p=0,018$) y Prieto Picudo ($p=0,018$).

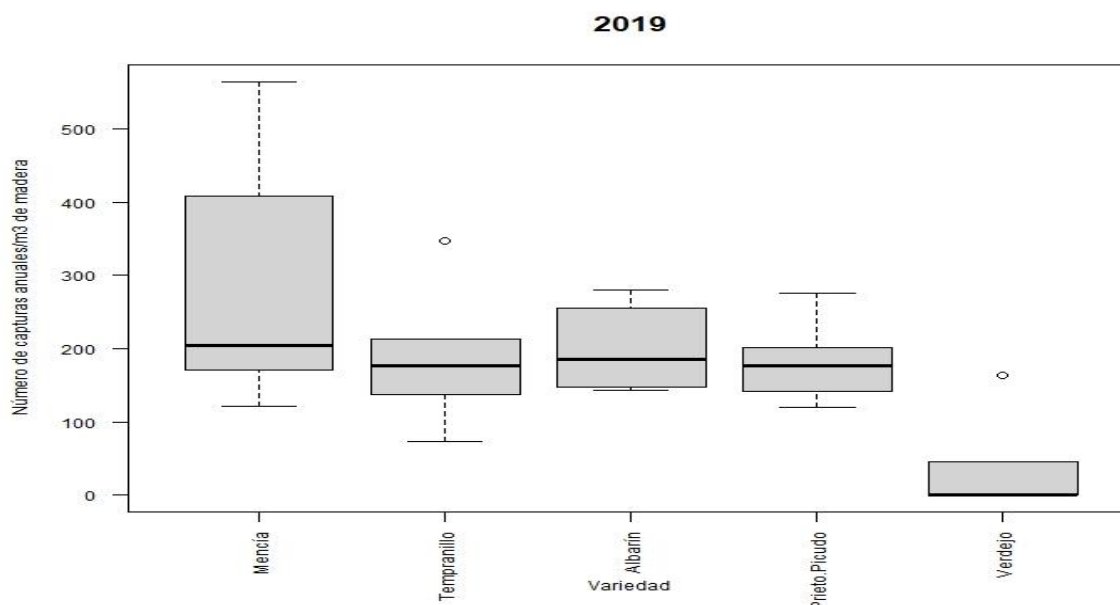


Figura 14. Diagrama de cajas del número total de capturas anuales por metro cúbico de madera en las variedades de vid para el año 2019.

Al comparar el número de capturas anuales por metro cúbico de madera de las cinco variedades de vid para el año 2020, se puede observar en la Tabla 9 diferencias entre las distintas variedades de vid, siendo Verdejo la variedad con un número capturas medias más bajo, y de nuevo Mencía la más elevada.

Tabla 9. Análisis descriptivo número de capturas anuales por metro cubico de madera en las variedades de vid para el año 2020.

Año 2020	Mencía	Tempranillo	Albarín	Prieto Picudo	Verdejo
Mínimo	171,10	65,07	0,00	33,50	0,00
1ºer Cuartil	191,70	139,77	17,96	60,34	46,69
Mediana	208,30	151,06	96,05	126,00	66,27
Media	264,60	199,23	176,32	141,28	67,12
Rango intercuartílico	32,10	129,86	275,5	157,03	50,63
3ºer Cuartil	223,80	269,63	293,46	217,37	97,32
Máximo	584,90	382,05	514,62	275,89	122,34

Como se puede observar en la Figura 15 para el año 2020 y como sucedía en los años anteriores la variedad menos afectada resultó ser la variedad Verdejo, detectandose diferencias significativas ($\chi^2=11,49$; $p=0,02$) respecto a las variedades Mencía ($p=0,005$) que resultó ser la más afectada, y a la variedad Tempranillo ($p=0,020$).

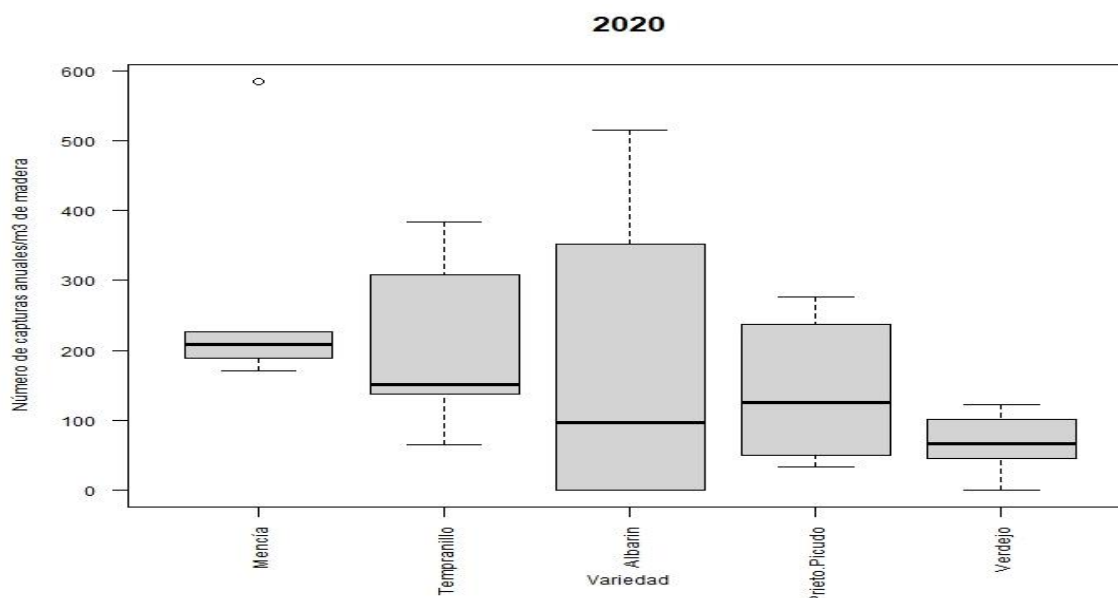


Figura 15. Diagrama de cajas del número total de capturas anuales por metro cúbico de madera en las variedades de vid para el año 2020.

De entre las variedades de vid analizadas, Mencía fue la variedad más afectada en cuanto al número de capturas anuales por metro cúbico de madera para los años 2018, 2019 y 2020, diferenciándose únicamente con la variedad Verdejo. Por otra parte, la variedad Verdejo resultó ser la menos afectada en los difentes años en los que se realizó el estudio diferenciándose significativamente del resto de las variedades.

3.4 Distribución espacial

Una vez generados los mapas de distribución espacial por métodos de interpolación para el área de estudio, se analizó la incidencia de *X. arvicola*, lo cual permitió determinar cuáles fueron las áreas donde la presencia de esta especie fue mayor y en qué años y variedad de vid se produjo un mayor nivel de infestación. Para ello se ha representado mediante mapas con gradientes de infestación en color rojo las zonas donde la incidencia fue mayor, seguido de la incidencia intermedia en amarillo y por últimos las zonas donde la incidencia fue menor se ha representado en verde (Figura 16,17,18,19 y 20).

Se puede observar como para la parcela “Calabazanos” con la variedad Albarín (Figura 16), la mayor incidencia de *X. arvicola* se detectó durante el año 2018, con hasta 1.300 capturas anuales por metro cúbico de madera, durante los años 2017, 2019 y 2020 el número de capturas fue inferior oscilando entre las 100 y las 600 capturas por metro cúbico de madera. El mayor número de capturas se produjo en la trampa A5 durante los años 2017, 2018 y 2020.

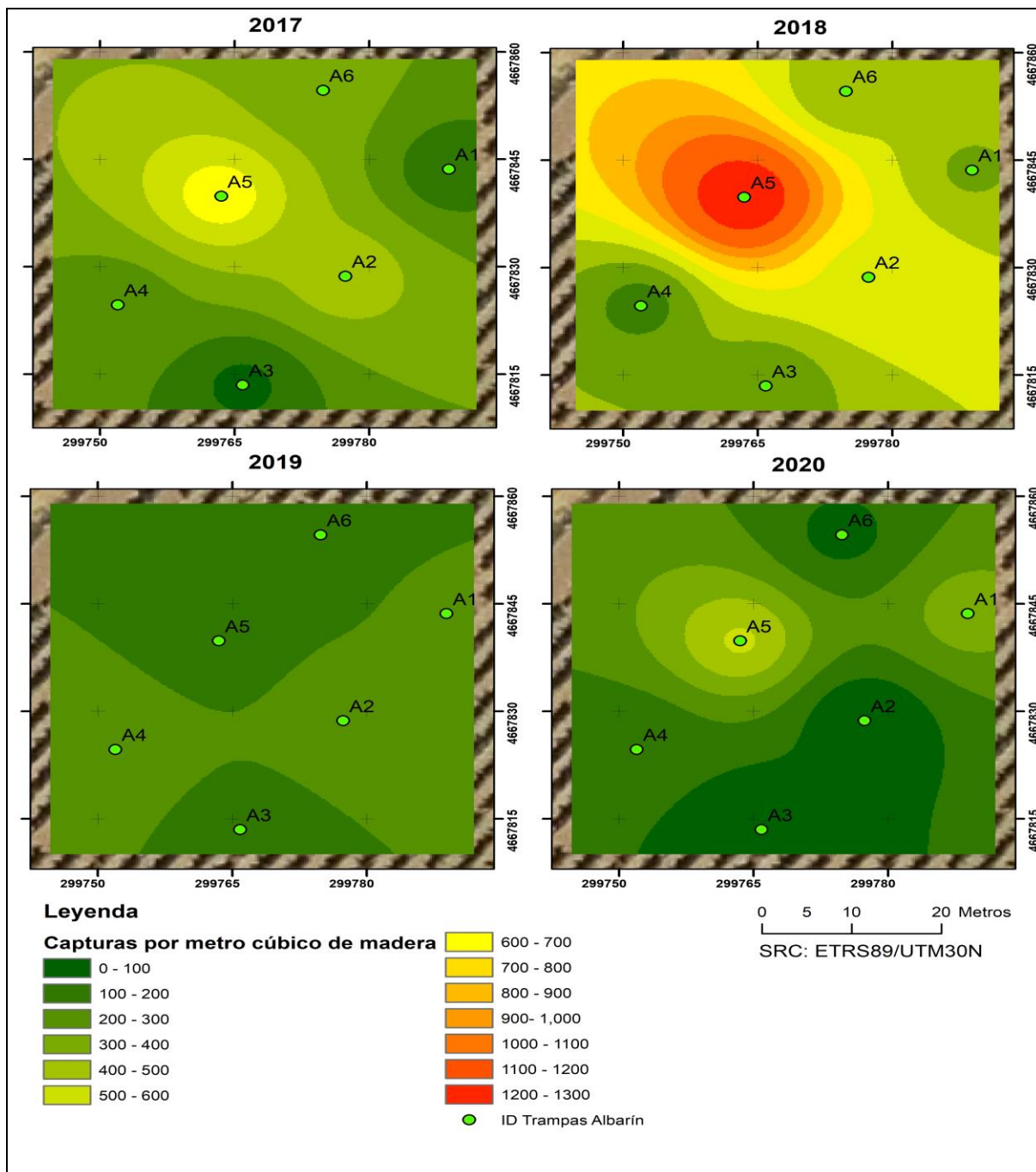


Figura 16. Distribución espacial de *X. arvicola* en la parcela con la variedad Albarín para los años 2017, 2018, 2019 y 2020.

La parcela “El Pichón” con la variedad Mencía (Figura 17), resultó ser la parcela más afectada por *X. arvicola* durante los años de estudio: en 2018 se produjo la mayor incidencia con hasta 1.600 capturas anuales por metro cúbico de madera, durante los años 2017, 2019 y 2020 el número de capturas osciló entre las 100 y las 600 capturas por metro cúbico de madera. No se ha llegado a identificar claramente un patrón de distribución de la especie que se mantenga estable a lo largo del período de estudio.

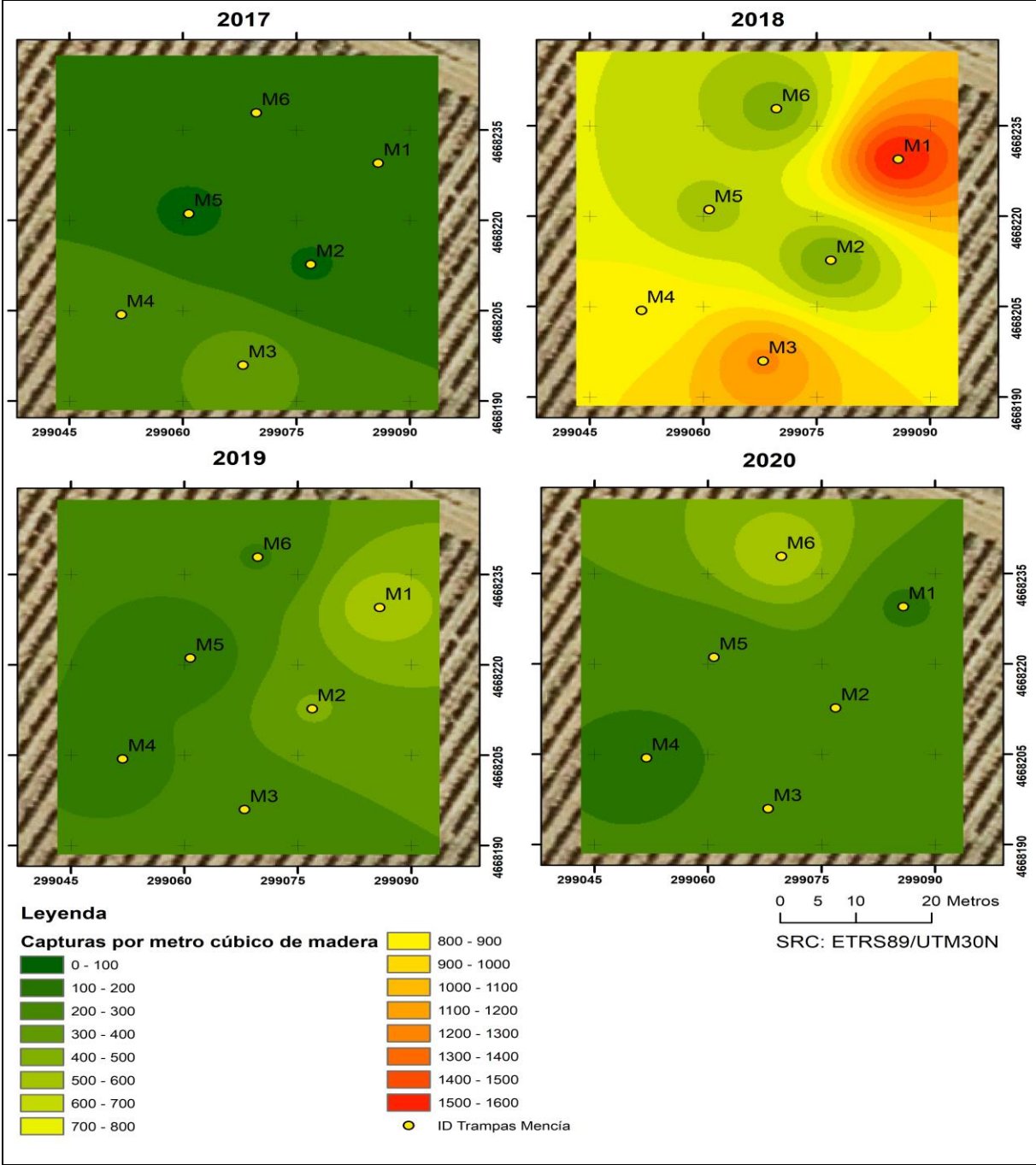


Figura 17. Distribución espacial de *X. arvicola* en la parcela con la variedad Mencía para los años 2017, 2018, 2019 y 2020.

En la parcela “Casa Mazo” con la variedad Prieto Picudo (Figura 18), la mayor incidencia de *X. arvicola* durante los años de estudio, se detectó para el año 2018 con hasta 1.000 capturas anuales por metro cúbico de madera, durante los años 2017, 2019 y 2020 el número de capturas osciló entre las 100 y las 600 capturas por metro cúbico de madera. Como sucedía en la parcela anterior, no se ha podido diferenciar un patrón claro de distribución de la especie que se mantenga estable en el período de estudio.

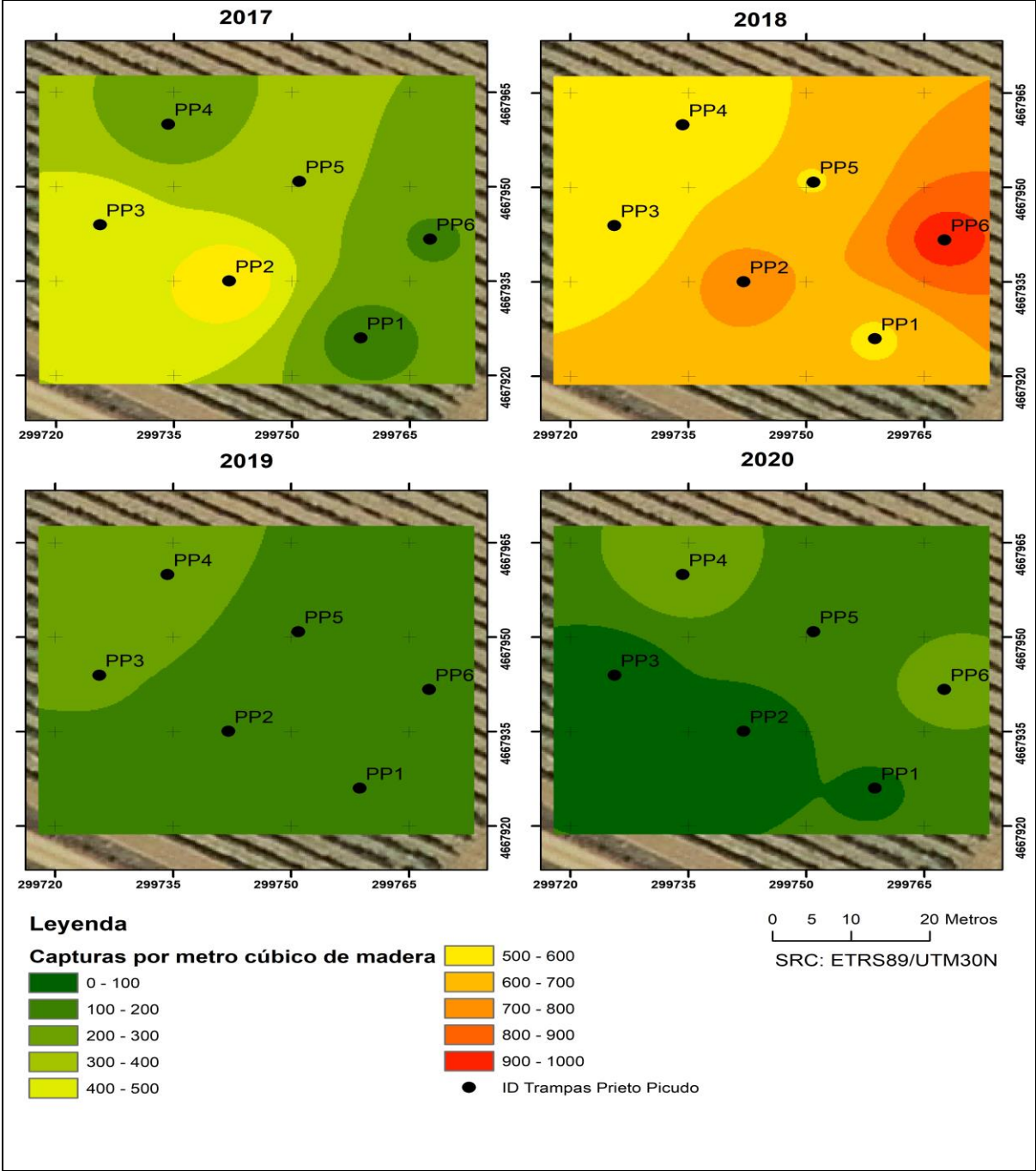


Figura 18. Distribución espacial de *X. arvicola* en la parcela con la variedad Prieto Picudo para los años 2017, 2018, 2019 y 2020.

En la parcela “El Cervato” con la variedad Tempranillo (Figura 19), la mayor incidencia de *X. arvicola* durante los años de estudio, se detectó para el año 2018 con hasta 900 capturas anuales por metro cúbico de madera, durante los años 2017, 2019 y 2020 el número de capturas osciló entre las 100 y las 500 capturas por metro cúbico de madera. No se ha llegado a identificar claramente un patrón de distribución de la especie que se mantenga estable a lo largo del periodo de estudio.

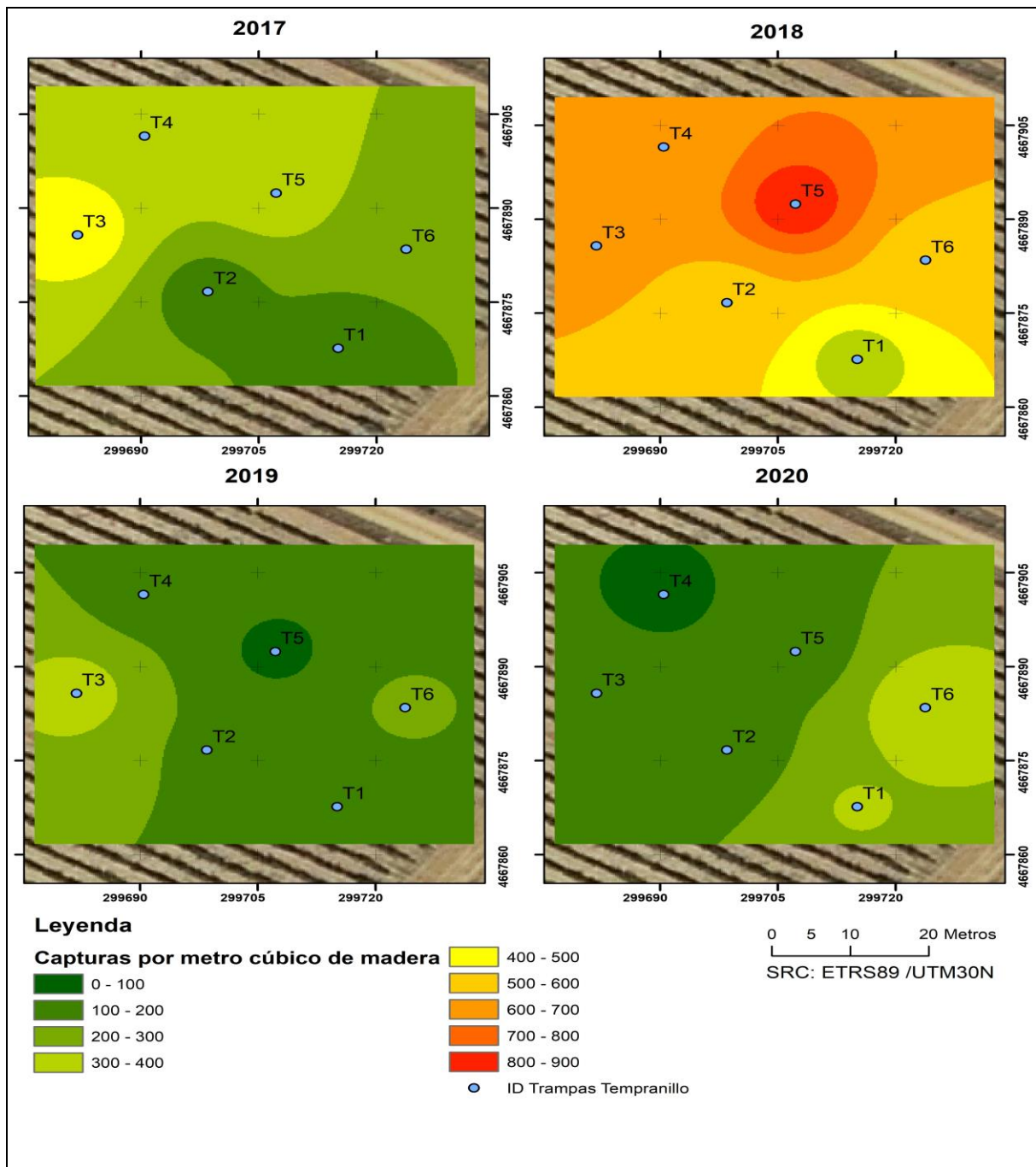


Figura 19. Distribución espacial de *X. arvicola* en la parcela con la variedad Tempranillo para los años 2017, 2018, 2019 y 2020.

En la parcela “Costana” con la variedad Verdejo (Figura 20), la mayor incidencia de *X. arvicola* durante los años de estudio, se detectó para el año 2018 con hasta 900 capturas anuales por metro cúbico de madera, durante los años 2017, 2019 y 2020 el número de capturas osciló entre las 100 y las 300 capturas por metro cúbico de madera. No llegando a diferenciar un patrón claro de distribución de la especie dentro de la parcela. El mayor número de capturas se produjo en la trampa V3 durante los años 2018, 2019 y 2020.

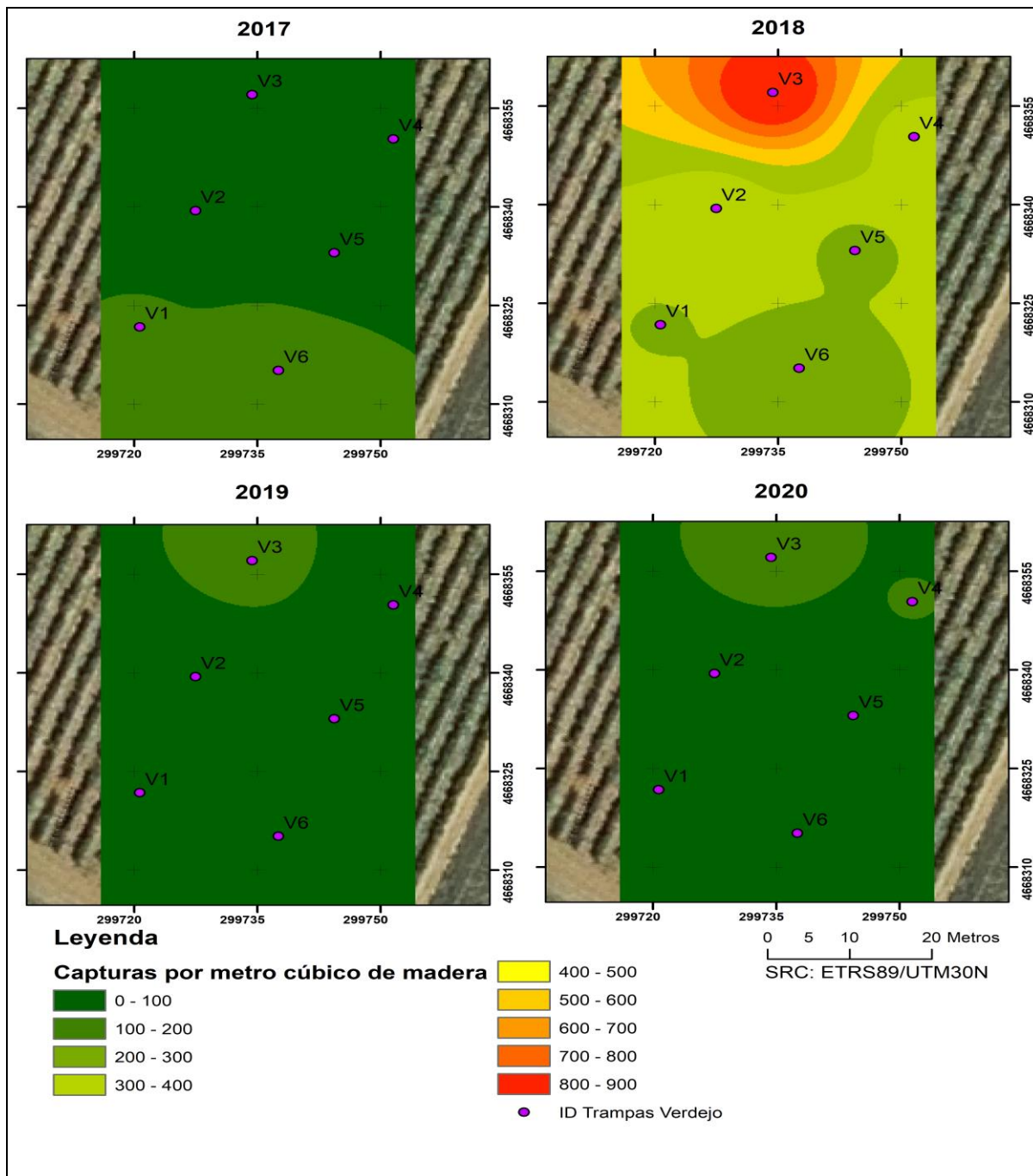


Figura 20. Distribución espacial de *X. arvicola* en la parcela con la variedad Verdejo para los años 2017, 2018, 2019 y 2020.

4. DISCUSIÓN

Se determinó el rango de emergencia de los individuos adultos de *X. arvicola* para finales de mayo y mediados de julio, coincidiendo con las fechas descritas por (Moreno, 2005) en viñedos cercanos de la provincia de Valladolid (entre marzo y finales de julio), y las fechas descritas por (Soria *et al.*, 2013) para los viñedos de La Rioja (desde finales de junio hasta mediados de julio). Autores como (Peláez *et al.* 2006) señalan que las primaveras más frías podrían retrasar la emergencia de los individuos adultos en los viñedos, lo que provocaría una mayor concentración de adultos en días posteriores. Esto podría explicar que para los años 2017 y 2020 con una temperatura media primaveral más cálida, con 14,70 °C y 13,33 °C respectivamente, el inicio de las capturas se produjese a finales de mayo. Por el contrario, en los años con temperaturas medias primaverales más frías (11,70 °C para 2018 y 12,32 °C para 2019) el inicio de las capturas comenzó en la segunda semana de junio para el año 2018 y en la primera semana de junio para el año 2019, lo que conllevó una mayor concentración de capturas respecto a los años con primaveras más cálidas. La actual dinámica climática está provocando que los inviernos y las primaveras sean cada vez más cálidos como consecuencia del cambio climático, lo cual favorece la expansión de esta plaga desde zonas más frías hasta zonas cálidas donde puedan alcanzar las temperaturas óptimas para su desarrollo. Durante el período de estudio, el mayor número de capturas se obtuvo en los días en los que la temperatura media diaria fue superior a 15 °C (Figuras 7, 8 y 9). (Rodríguez-González *et al.*, 2022) señalaron que la tasa de desarrollo, la emergencia y las capturas de *X. arvicola* en los viñedos está significativamente relacionada con la temperatura, produciéndose el mayor número de capturas cuando la temperatura media superó los 20°C y la acumulación de lluvia fue inferior a 0,40 mm, lo que se considera un ambiente seco.

Tras analizar la incidencia de *X.arvicola* sobre las variedades de vid, la parcela “El Cervato” con la variedad Verdejo fue significativamente la menos afectada respecto al resto de variedades, en los cuatro años en los que se llevó a cabo el estudio. Por el contrario, la parcela “El Pichón” con la variedad Mencía resultó ser la más afectada (número de capturas anuales por volumen de madera) en tres de los cuatro años de estudio. El nivel de afección de las variedades Prieto Picudo, Albarín y Tempranillo fue similar sin llegar a diferenciarse significativamente con la variedad Mencía. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (Moreno *et al.*, 2004) en su estudio dentro de la Denominación de Origen Rueda, donde la variedad Verdejo fue la variedad de vid con menor incidencia de *X.arvicola* mostrando aproximadamente un 20 % de cepas afectadas. En otro de sus trabajos (Moreno, 2005) destacó la influencia de la variedad de vid en la preferencia de *X. arvicola* por el tipo de cepa, la variedad Tempranillo mostró un alto porcentaje de síntomas externos provocados por el ataque de este

cerambícido, mientras que la variedad Mencía y Verdejo mostró un nivel de sintomatología bajo. Resultados similares fueron encontrados en el estudio llevado a cabo por (Ocete y del Tío, 1996) en La Rioja Alta, donde se concluyó que dentro de una misma unidad de explotación, el mayor porcentaje de las cepas afectadas correspondían a la variedad Tempranillo. Es importante destacar que los anteriores estudios fueron realizados sin tener en cuenta el volumen de madera de las cepas, las variedades de vid Tempranillo y Prieto Picudo analizadas en el área de estudio fueron más vigorosas respecto a las variedades Mencía, Albarín y Verdejo lo cual tiene una influencia directa sobre los resultados obtenidos. Sin embargo, el mayor número de capturas anuales sin tener en cuenta el volumen de madera, se produjo en la parcela de la variedad Prieto Picudo (Figura 7 y Figura 8) y Tempranillo (Figura 9). (Rodríguez-González *et al.*, 2022) analizaron el comportamiento de la plaga sobre estas dos variedades de vid durante 8 años, determinando una mayor susceptibilidad de la variedad Tempranillo a ser atacado por *X. arvicola* respecto a la variedad Prieto Picudo. En su estudio (Moreno, 2005) describe como el nivel de infestación de esta plaga está relacionado con el contenido de holocelulosa y lignina de la madera de las diferentes variedades de vid. Se denomina holocelulosa al conjunto de celulosa y hemicelulosa que, junto con la lignina, forman los componentes primarios de la pared de las células de la madera. Este compuesto atrae a los patógenos xilófagos, mientras que la lignina no es un compuesto tan atractivo. El bajo contenido de holocelulosa y el alto contenido de lignina de la variedad Mencía, y al contrario en Tempranillo puede explicar las diferencias en los síntomas externos entre estas variedades.

El método de interpolación espacial IDW, permitió definir el patrón de la distribución espacial de *X. arvicola* en cada parcela, pero este patrón no se mantiene estable durante los cuatro años de estudio. Este método es aplicable a pequeños conjuntos de datos en los que los semivariogramas son difíciles de ajustar debido a número insuficiente de puntos con información o una distancia excesiva entre los puntos de muestreo (Kravchenko, 2003). Pese a las limitaciones, este método ha mostrado su efectividad en otros estudios de distribución espacial de plagas. El estudio realizado por (Reay-Jones, 2010) para el coleóptero *Oulema melanopus* (L.) que afecta a las plantaciones de trigo, muestra la eficacia de este método de interpolación. Otro estudio donde se aplicó este método de interpolación fue el de (Sciarretta y Trematerra, 2011), donde se obtuvo con éxito mapas con la dinámica espacio-temporales de la plaga *Ceratitis capitata* en la zona centro de Italia. Debido a la limitación de la información disponible, los mapas obtenidos no pudieron ser validados. (Bonsignore *et al.*, 2008) muestran la precisión de los mapas obtenidos en la expansión del coleóptero *Capnodis tenebrionis* utilizando una validación cruzada que permitió determinar el error del modelo producido mediante el método de interpolación IDW. Esta técnica consistió en la eliminación de puntos

con información de uno en uno y comparar la estimación dada en el punto con el valor real. El mayor número de puntos involucrados en la predicción y la validación cruzada permitió evaluar el error cometido en la predicción y elaborar mapas más precisos.

Los estudios realizados por (Moral García et al., 2004; Ramírez Dávila et al., 2008) muestran como el método de interpolación alternativo “Kriging” da lugar a mejores estimaciones en cuanto a la caracterización de la distribución espacial de plagas, siempre que se cumplan las asunciones que exige el método. El Kriging presupone que la distancia entre los puntos de muestra refleja una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en el espacio, minimizando el error suponiendo que se conoce el variograma con total exactitud, es decir, se conoce el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida. Inicialmente se trató de determinar la distribución espacial de *X. arvicola* para toda el área ocupada por el viñedo pero, debido a la falta de continuidad espacial de los datos, no se pudo determinar con exactitud el comportamiento espacial de la variable. Por lo que finalmente se optó analizar la distribución espacial de la plaga en las parcelas ocupadas por las diferentes variedades de vid utilizando el método de interpolación IDW. La metodología propuesta en este TFM, ha permitido generar mapas continuos de la distribución de la plaga que ayudan a comprender la ecología de la plaga, lo cual servirá para escoger estrategias respetuosas con el medio ambiente que mitiguen el impacto de la plaga sobre los principales cultivos.

5. CONCLUSIONES

El período de emergencia de los individuos adultos de *X. arvicola* se concentró desde finales de marzo hasta mediados de julio, pero fue diferente en cada uno de los años en los años en los que se llevó a cabo el estudio.

El número de capturas de los individuos adultos de *X. arvicola* está muy relacionado con las condiciones climáticas anuales y en especial por la temperatura, pero esta tendencia no se ve respaldada con los test estadísticos por lo que es necesario aumentar el número de trampas en cada parcela de estudio.

La variedad Verdejo es la variedad menos afectada por *X. arvicola*, mientras que Mencía resultó ser la variedad con mayor incidencia (más individuos adultos por volumen de madera).

El análisis espacial realizado no permitió identificar claramente un patrón de distribución espacial de *X. arvicola* que se mantuviera estable durante el período de estudio.

La metodología propuesta permite obtener una cartografía continua de la incidencia de la plaga en cada parcela y año. Estos mapas son una herramienta de gran ayuda para la toma eficiente de decisiones en la lucha contra la plaga, puesto que permite ver dónde, cuándo y de qué modo hay que actuar.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alahmadi, S. S., Ouf, S. A., Ibrahim, R. A. y El-Shaikh, K. A. (2012) "Possible control of date palm stag beetle, *Lucanus cervus* (L.) (coleoptera: Lucanidae), using gut protease inhibitors of different bio-control agents", *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 22(2), pp. 93–101. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258027923_Possible_Control_of_Date_Palm_Stag_Beetle_Lucanus_cervus_L_Coleoptera_Lucanidae_Using_Gut_Protease_Inhibitors_of_Different_Bio-control_Agents (Accedido: 25 mayo 2022).
- Bonsignore, C. P., Manti, F. y Vacante, V. (2008) "Field and tree distribution of *Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1767) (Col., Buprestidae) adults in an apricot orchard in Italy", *Journal of Applied Entomology*, 132(3), pp. 216–224. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-0418.2007.01235.x> (Accedido: 07 julio 2022).
- DO León (2021) *Página web León Denominación de Origen*. Disponible en : <https://www.doleon.es/historia/clima-suelo-do-leon/> (Accedido: 11 julio 2022).
- Duarte, F., Calvo, M. V., Borges, A. y Scatoni, I. B. (2015) "Geostatistics and Geographic Information Systems to Study the Spatial Distribution of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) in Peach Fields", *Neotropical Entomology*, 44(4), pp. 319–327. doi:10.1007/s13744-015-0288-3.
- Dajoz, R. (2001) *Entomología forestal. Los insectos y el bosque*. Ed Mundi Prensa. Madrid: Mundi-Prensa.
- Econex (2017) *ECONEX, Pheromones and traps*. Disponible en: <https://www.e-econex.com/trampas-para-insectos/> (Accedido: 25 mayo 2022).
- García-Calleja, A. (2004) "Estudio de los daños que causa *Xylotrechus arvicola* Olivier", *Boletín de Sanidad Vegetal.-Plagas*, 30, pp. 25–31. Disponible en: <https://docplayer.es/76697901-Estudio-de-los-danos-que-causa-xylotrechus-arvicola-olivier.html> (Accedido: 16 abril 2022).
- García-Ruiz, E., Marco, V. y Pérez-Moreno, I. (2011) "Effects of variable and constant temperatures on the embryonic development and survival of a new grape pest, *Xylotrechus arvicola* (Coleoptera: Cerambycidae)", *Environmental Entomology*, 40(4), pp. 939–947. doi:10.1603/EN11080.
- García-Ruiz, E., Marco, V. y Pérez-Moreno, I. (2012) "Laboratory rearing and life history of an emerging grape pest, *Xylotrechus arvicola* (Coleoptera: Cerambycidae)", *Bulletin of Entomological Research*, 102(1), pp. 89–96. doi:10.1017/S000748531100040X.
- García-Ruiz, E., V. Marco and I. Pérez-Moreno. 2007. *Xylotrechus arvicola*: Posibilidades de control biológico. *Terralia*, 61: 38-44. (Accedido: 25 mayo 2022).
- García Benavides, P., Martín Zamorano, P., Ocete Pérez, C. A., Maistrello, L. y Ocete Rubio, R. (2013) "Biodiversity of pathogenic wood fungi isolated from *Xylotrechus Arvicola* (Olivier) galleries in vine shoots", *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 47(2), pp. 73–81. doi:10.20870/oenone.2013.47.2.1540.
- Gordoncello (2021) *Página web bodegas Gordoncello*. Disponible en: <https://www.gordoncello.com/> (Accedido: 11 julio 2022).
- Kravchenko, A. N. (2003) "Influence of Spatial Structure on Accuracy of Interpolation Methods", *Soil Science Society of America Journal*, 67(5), pp. 1564–1571. Disponible en: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj2003.1564> (Accedido: 07 julio 2022).
- Moral García, F., Carranza Romero, F., Honorio Guisado, F., Rodríguez Bernabé, J. y Cruz Blanco, J. (2004) "Técnicas geoestadísticas aplicadas al análisis de la distribución de capturas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) mediante trampas con feromonas sexuales en una plantación de tomate.", *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 30(4), pp. 733–744. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/28083892_Tecnicas_geoestadisticas_aplicadas_al_analisis_d_e_la_distribucion_de_capturas_de_Helicoverpa_armigera_Hubner_Lepidoptera_Noctuidae_mediante_trampas_con_feromonas_sexuales_en_una_plantacion_de_tomate (Accedido: 16 abril 2022).
- Moreno, C.M. (2005) *Xylotrechus arvicola* (Olivier 1795) (Coleóptera: Cerambycidae): Descripción Morfológica, Ciclo Biológico, Incidencia y Daños en el Cultivo de la Vid. Tesis doctoral. ITACYL, Valladolid, España.

- Moreno, C., Martín, C., Evan, E., Hernández, J. M., Santiago, Y. y Peláez Rivera, H. C. (2004) "Presencia de *Xylotrechus arvicola* (Olivier, 1795)(Coleoptera: Cerambycidae) en viñedos de la zona centro de Castilla y León", *Boletín de Sanidad Vegetal.-Plagas*, 30(3), pp. 475–486.
- Ocete, R., Armendáriz, I., Ocete, C. A., Maistrello, L., Valle, J. M., Rodríguez, Á. y Usategui, L. (2020) "Spread parameters of the borer *Xylotrechus arvicola* (Olivier) (Coleoptera: Cerambycidae) in a “Tempranillo” vineyard in la Rioja (Spain): A long-term study", *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*, 35(2), pp. 148–166. doi:10.1051/ctv/20203502148.
- Ocete, R., Lara, M., Maistrello, L., Gallardo, A. y López, M. A. (2008) "Effect of *Xylotrechus arvicola* (Olivier) (Coleoptera, Cerambycidae) infestations on flowering and harvest in Spanish vineyards", *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(1), pp. 88–91. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/292548005_Effect_of_Xylotrechus_arvicola_Olivier_Coleoptera_Cerambycidae_infestations_on_flowering_and_harvest_in_Spanish_vineyards (Accedido: 17 abril 2022).
- Ocete, R., López, M. A., Gallardo, A., Pérez, M. A. y Rubio, I. M. (2004) "Efecto de los daños de *Xylotrechus arvicola* (Olivier) (Coleoptera, Cerambycidae) sobre las características de los racimos de la variedad de vid Tempranillo en La Rioja", *Boletín de Sanidad Vegetal.-Plagas*, 30, pp. 311–316. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/28160554_Efecto_de_los_danos_de_Xylotrechus_arvicola_Olivier_Coleoptera_Cerambycidae_sobre_las_caracteristicas_de_los_racimos_de_la_variedad_de_vid_Tempranillo_en_La_Rioja (Accedido: 16 abril 2022).
- Ocete, R., Ocete, C. A., Rubio-Casal, A. E., López, M. Á., Soria, F. J., Maistrello, L., Arru, L. y Armendáriz, I. (2017) "Effects of *Xylotrechus arvicola* (Olivier, 1795) (Coleoptera Cerambycidae) infestation on some parameters of grapevine production in Spain", *Redia*, (100), pp. 167–173. doi:10.19263/REDIA-100.17.21.
- Ocete, R., Salinas, J. A., Soria, F. J., Lara, M., Garcia, D., Maistrello, L., Ocete, M. E. y Lopez, M. A. (2009) "Consecuencias de la infestación del tornillo, *Xylotrechus arvicola* (Olivier) (Coleoptera, Cerambycidae), sobre el rendimiento y características enológicas de la variedad Tempranillo y relación de leñosas infestadas en La Rioja Alta", *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 35 (1), pp. 3–13. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf/Plagas%2FBSVP_35_01_3_13.pdf (Accedido: 23 abril 2022).
- Ocete, R. y del Tío, R. (1996) "Presencia del perforador *Xylotrechus arvicola* (Olivier) (Coleoptera: Cerambycidae) en viñedos de la Rioja Alta", *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 22, pp. 199–202. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/plagas/BSVP-22-01-199-202.pdf> (Accedido: 7 junio 2022).
- Ocete, R., Valle, J. M., Artano, K., Ocete, M. E., Ángeles López, M., Ángeles Pérez, M., García, D. y Soria, F. J. (2010) "Evolution of the spatio-temporal distribution of *Xylotrechus arvicola* (Olivier) (Coleoptera, Cerambycidae) in la Rioja vineyard (Spain)", *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 49(2), pp. 67–70. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/R-Ocete/publication/266036557_Evolution_of_the_spatio-temporal_distribution_of_Xylotrechus_arvicola_Olivier_Coleoptera_Cerambycidae_in_La_Rioja_vineyard_Spain/links/56f12a6908ae1da84befd38e/Evolution-of-the-spatio-temporal-distribution-of-Xylotrechus-arvicola-Olivier-Coleoptera-Cerambycidae-in-La-Rioja-vineyard-Spain.pdf (Accedido: 16 abril 2022).
- Peláez, H., Moreno, C., Santiago, Y., Maraña, R., Urbez, J.R. y Lambert, S.M. (2006) “*Xylotrechus arvicola*: Un cerambícido en el cultivo de la vid”. *Terralia* (55), pp. 50–60. Disponible en: https://www.terralia.com/terralias/view_report?magazine_report_id=375 (Accedido: 04 julio 2022).
- Peláez, H.J., Maraña, R., Urbez, J.R. y Barrigón, J.M. (2001). “*Xylotrechus arvicola* (Olivier, 1795) (Coleoptera. Cerambycidae). Presencia en los viñedos de Castilla y León”. *IV Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas*. Cáceres, 7-11 de mayo de 2001. Actas de Horticultura nº30: 1326-1332.
- R Core Team (2020). *RStudio (4.1.1)*. [Programa de ordenador]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

- Ramírez Dávila, J. F., Gonzalez-Andujar, J. L. y Porcayo-Camargo, E. (2008) "Distribución espacial de las larvas del mosquito verde en un viñedo de regadío en Andalucía, España, utilizando el método de SADIE", *Boletín de sanidad vegetal . Plagas*,(34), pp. 607–614. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Plagas%2FBBSVP_34_04_607_613.pdf (Accedido: 08 junio 2022).
- Ramírez, J. F., Porcayo-Camargo, E. y Sánchez, J. R. (2013) "Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L. (Solanales: Solanaceae)", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(2), pp. 13–27. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652013000200002 (Accedido: 08 junio 2022).
- Reay-Jones, F. P. F. (2010) "Spatial distribution of the cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in wheat", *Environmental Entomology*, 39(6), pp. Disponible en: <https://academic.oup.com/ee/article/39/6/1943/358055?login=false> (Accedido: 23 junio 2022).
- Rodríguez-González, Á., Malvar, R. A., Guerra, M., Sanchez-Maillo, E., Peláez, H. J., Carro-Huerga, G. and Casquero, P. A. (2022) "*Xylotrechus arvicola* (Coleoptera: Cerambycidae) capture in vineyards in relation to climatic factors", *Pest Management Science*, (April). doi:10.1002/ps.6928.
- Rodríguez-González, Á., Carro-Huerga, G., Mayo-Prieto, S., Lorenzana, A., Gutiérrez, S., Peláez, H. J. y Casquero, P. A. (2018) "Investigations of *Trichoderma* spp. And *Beauveria bassiana* as biological control agent for *Xylotrechus arvicola*, a major insect pest in Spanish vineyards", *Journal of Economic Entomology*, 111(6), pp. 2585–2591. doi:10.1093/jee/toy256).
- Rodríguez-González, Á., Peláez, H. J., González-Núñez, M. y Casquero, P. A. (2017) "Control of egg and neonate larvae of *Xylotrechus arvicola* (Coleoptera: Cerambycidae), a new vineyard pest, under laboratory conditions", *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(1), pp. 112–119. doi:10.1111/ajgw.12259.
- Rodríguez-González, Á., Sánchez-Maillo, E., Peláez, H. J., González-Núñez, M., Hall, D. R. and Casquero, P. A. (2017c) "Field evaluation of 3-hydroxy-2-hexanone and ethanol as attractants for the cerambycid beetle pest of vineyards, *Xylotrechus arvicola*", *Pest Management Science*, 73(8), pp. 1598–1603. doi:10.1002/ps.4491.
- Rodríguez-González, Á., Peláez, H. J., Mayo, S., González-López, O. and Casquero, P. A. (2016) "Biometric traits of *Xylotrechus arvicola* adults from laboratory and grape fields", *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 55(2), pp. 73–78. doi:10.5073/vitis.2016.55.73-78.
- Rodríguez, J.A. (1998) *Patología de la madera*. Ed Fundación Conde Valle Salazar. Madrid: Mundi-Prensa.
- Sciarretta, A. and Trematerra, P. (2011) "Spatio-temporal distribution of *Ceratitis capitata* population in a heterogeneous landscape in Central Italy", *Journal of Applied Entomology*, 135(4), pp. 241–251. doi:10.1111/j.1439-0418.2010.01515.x.
- Soria, F. J., López, M. A., Pérez, M. A., Maistrello, L., Armendáriz, I. y Ocete, R. (2013) "Predictive model for the emergence of *Xylotrechus arvicola* (coleoptera: Cerambycidae) in la rioja vineyards (spain)", *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 52(2), pp. 91–96. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257628388_Predictive_model_for_the_emergence_of_Xylotrechus_arvicola_Coleoptera_Cerambycidae_in_La_Rioja_vineyards_Spain (Accedido: 16 abril 2022).