



2022  
Lleida

27·1  
junio · juny  
julio · juliol

Cataluña  
Catalunya

## 8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

**Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**

**ISBN 978-84-941695-6-4**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



## Distribución de *Philaenus spumarius*, *Neophilaenus campestris* y *N. lineatus* (Hemiptera, Aphrophoridae) en la interfaz agrícola-forestal de la Región de Murcia y su relación con variables bióticas y ambientales

GALLEGO CAMBRONERO, D.<sup>1,2</sup>, LENCINA GUTIÉRREZ, J.L.<sup>1</sup>, SANCHÍS LEAL, A.<sup>1,2</sup>, SABAH MAZZETTA, S.C.<sup>1</sup>, CARRILLO LÓPEZ, A.F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SANIDAD AGRÍCOLA ECONEX S.L.

<sup>2</sup> Departamento de Ecología, Universidad de Alicante

<sup>3</sup> LATIZAL S.L.

### Resumen

El interés por el estudio de subfamilia Cicadellinae (Hemiptera, Cicadomorpha, Aphrophoridae) ha ido en aumento en los últimos años por tratarse de insectos que se alimentan de fluidos xilemáticos y ser vectores conocidos en la península ibérica del microorganismo cuarentenario *Xylella fastidiosa*. Hasta el momento, las especies vectoras detectadas en Europa son los Aphrophoridos *Philaenus spumarius* y *Neophilaenus campestris*, aunque como potenciales vectores se consideran otras especies del género *Neophilenus* y los géneros *Cercopis*, *Aphrophora* y *Lepyronia*. Se presentan los resultados de la distribución potencial y efectiva de estas especies en la Región de Murcia. Se estableció la red de muestreo compuesta por 96 puntos situados en la interfaz agrícola-forestal, que fue sometida a muestreo aleatorio cada 15 días, consistente en muestreo exhaustivo mediante red entomológica de barrido. Se estudió la dinámica espacio-temporal de los insectos, modelizando también su distribución mediante Máxima Entropía, mediante el uso de las variables bioclimáticas, de composición de paisaje, de series de vegetación y de morfología del paisaje. Las especies objetivo representan entre el 8 y 4 % de los individuos totales de la comunidad de Fulguromorpha y Cicadomorpha para toda la Región de Murcia. Estas especies no presentan distribución uniforme, estando ausentes en el tercio sur de la Región y siendo muy abundantes en el norte y noroeste, representando la mitad o más de las capturas. Se han conseguido modelos predictivos de la distribución, incorporando el modelo de *P. spumarius* y *N. campestris* 11 variables y el de *N. lineatus* 5 variables. Las variables más explicativas del modelo de *P. spumarius* son de tipo bioclimático (temperatura media y precipitación estival) y de paisaje (proporción de bosque). El modelo de *N. campestris* incorpora una variable muy explicativa, la variabilidad de la precipitación, y las 10 restantes aportan explicaciones residuales. En cambio, las variables más explicativas del modelo de *N. lineatus* son de tipo series de vegetación, de precipitación en el mes más seco y la proporción de matorrales en el paisaje. Se presentan mapas de distribución potencial de las tres especies.

### Palabras clave

Cicadomorpha, Cicadellinae, Máxima Entropía, WorldClim, Distribución potencial.

### 1. Introducción

*Xylella fastidiosa* es uno de los patógenos vegetales que más preocupación causa en la Unión Europea. Esta bacteria está incluida en la lista A2 de EPPO y ha sido incluida en el anexo IA2 de la Directiva 2000/29/CE como organismo de cuarentena fitosanitaria. Se han publicado decisiones como la Decisión 2015/789, modificada a su vez por la Decisión de Ejecución 2018/927 de la comisión de 27 de junio de 2018, sobre medidas para evitar la introducción y propagación dentro de la Unión de *Xylella fastidiosa*. La primera detección de *X. fastidiosa* en Europa ocurrió en octubre de 2013 en Apulia, al sur de Italia. Se aisló en olivos con sintomatología, así como en adelfa, almendro y *Quercus* spp. Actualmente se ha detectado en 32 especies hospedadoras en la zona. En

febrero de 2019 se ha detectado otro foco fuera de la zona demarcada, aunque muy próximo, en la provincia de Bari. En diciembre de 2018, se notificó un nuevo brote al norte de Italia, en la región de la Toscana, afectando a 11 especies de plantas, entre ellas el almendro. Posteriormente ha sido detectada en 2015 en el sur de Francia y Córcega; en Alemania, en un invernadero en Sajonia, en 2016, aunque se considera el brote erradicado; en Portugal en 2019, en el distrito de Oporto (multiplex). En España se detectó por primera vez en 2016 en Baleares. La primera detección de *X. fastidiosa* en la Península Ibérica se notificó en 2017, en una parcela de almendros en la comarca de la Marina Baixa, Alicante.

*X. fastidiosa* es transmitida entre plantas por medio de insectos chupadores que se alimentan de los fluidos que transporta el xilema. Estos insectos pertenecen al orden Hemiptera, suborden Cicadomorpha, incluidos en las familias Aphrophoridae, Cercopidae, Cicadellidae, Cicadidae y Clastopteridae. Estos insectos se caracterizan por tener un potente aparato succionador, que les permite alimentarse del xilema. Si uno de estos insectos se alimenta de una planta cuyo xilema contenga suficiente carga bacteriana, estas bacterias serán también succionadas hasta su aparato bucal y su intestino anterior, donde se instalan en la cutícula del precibario y de la bomba cibarial formando biopelículas.

Se conocen 39 especies pertenecientes a 19 géneros de Cicadellinae con capacidad vectora de *X. fastidiosa* en el continente americano, donde la enfermedad es conocida desde principios del siglo XX. En cambio, en Europa, debido a la reciente introducción de la bacteria, los vectores europeos no han sido tan ampliamente estudiados como los americanos. Hay que tener en cuenta que tan sólo una especie vectora (*Philaenus spumarius* (Linnaeus, 1758)) es compartida entre la fauna europea y americana. Hasta el momento, las especies vectoras confirmadas en Europa son *Neophilaenus campestris* (Fallen, 1805) y *P. spumarius* (Aphrophoridae). Como potenciales vectores se consideran otras especies del género *Neophilaenus* y géneros que son vectores conocidos en América, como *Cercopis*, *Aphrophora* y *Lepyronia*.

La transmisión de la bacteria está positivamente correlacionada con la abundancia de los vectores. De este modo, los brotes más severos de *X. fastidiosa* se han dado en lugares donde las poblaciones de los vectores son más densas (y donde estos vectores pasan más tiempo alimentándose de hospedadores adecuados (revisión en Godefroid et al 2021)). Se ha realizado un estudio sobre la tolerancia climática de los vectores que pueden transmitir *X. fastidiosa* al olivo *P. spumarius*, *N. campestris* y *Aphrophora alni* utilizando modelos basados en máxima entropía a escala de la cuenca mediterránea (Godefroid et al 2021). Estos autores proponen un mapa de riesgo de transmisión de *X. fastidiosa* basado en la distribución de sus vectores y potenciales vectores con importantes aplicaciones prácticas para optimizar estrategias de control de la enfermedad en la región Mediterránea.

## 2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es conocer la distribución de tres especies vectoras o potencialmente vectoras: *P. spumarius*, *N. campestris* y *N. lineatus* en la Región de Murcia, utilizando modelos de distribución potencial basados en máxima entropía, a escala de paisaje.

## 3. Metodología

El área de estudio comprende los 11314 km<sup>2</sup> de la Región de Murcia (S.E. de España), una región con clima mediterráneo seco, 338 mm de precipitación anual media y 18 °C de temperatura media anual. La orografía varía entre los 0 y 2027 m y el efecto Foehn generado por las grandes altitudes del Sistema Bético define esta región como de transición entre los ecosistemas

mediterráneos y subtropicales, actuando como límite de distribución de muchas especies animales y vegetales (Esteve-Selma et al. 2009).

Los muestreos de campo se han planificado mediante un modelo mixto basado en muestreo aleatorio con repeticiones aleatorias sobre una red de puntos preseleccionados que cubre todo el territorio de la Región de Murcia y todo el periodo de vuelo de las tres especies. Se seleccionaron 95 puntos al azar ubicados en la interfaz agroforestal, utilizando Qgis (Qgis development team, 2020) y las capas de información ambiental disponible en <https://www.miteco.gob.es/>, aplicando filtros de proximidad a viales accesibles (<200). La distribución de estos 100 puntos seleccionados se ilustra en la Figura 1.

Para poder asumir la carga de trabajo se planteó el muestreo quincenal, entre el 22/05/2020 y el 17/12/2020, de una selección al azar de 20 de esos 100 puntos, es decir, cada dos semanas se muestrearía aproximadamente 20 % del total de puntos. La selección se realizó mediante un procedimiento aleatorio de muestreo sin reemplazamiento mediante R. Con ello se obtuvieron 12 selecciones de puntos, a razón de dos muestreos mensuales durante 6 meses, en los que se aseguraba que todos los puntos eran muestreados al menos una vez. Mediante este procedimiento se estableció la frecuencia de visitas ilustrada en la Figura 1, donde se observa que la mayor parte de los puntos serían visitados dos o tres veces, con un máximo de 6 veces.

Se prospectó la presencia y abundancia de las diferentes especies de insectos vectores o potencialmente vectores así como su comunidad asociada, utilizando una manga entomológica reforzada de 45 cm de diámetro (ENTO SPHINX s.r.o, Chequia), con mango corto. El esfuerzo de muestreo aplicando fueron 100 pasadas de manga con desplazamiento, para cada una de las unidades de vegetación de la interfaz: monte y ribazo-cultivo. El esfuerzo total por punto se ha establecido por tanto en 200 pasadas de manga con desplazamiento. Las capturas fueron trasvasadas a una bolsa hermética que contenía una etiqueta de papel con los datos identificativos del punto y de fecha. Para asegurar la integridad de los insectos y facilitar la separación de los ejemplares, se introdujo en cada bolsa un trozo de papel impregnado con acetato de etilo. Para evitar respirar los vapores del acetato de etilo durante los desplazamientos entre puntos, las muestras se introdujeron en un bidón con cierre hermético.

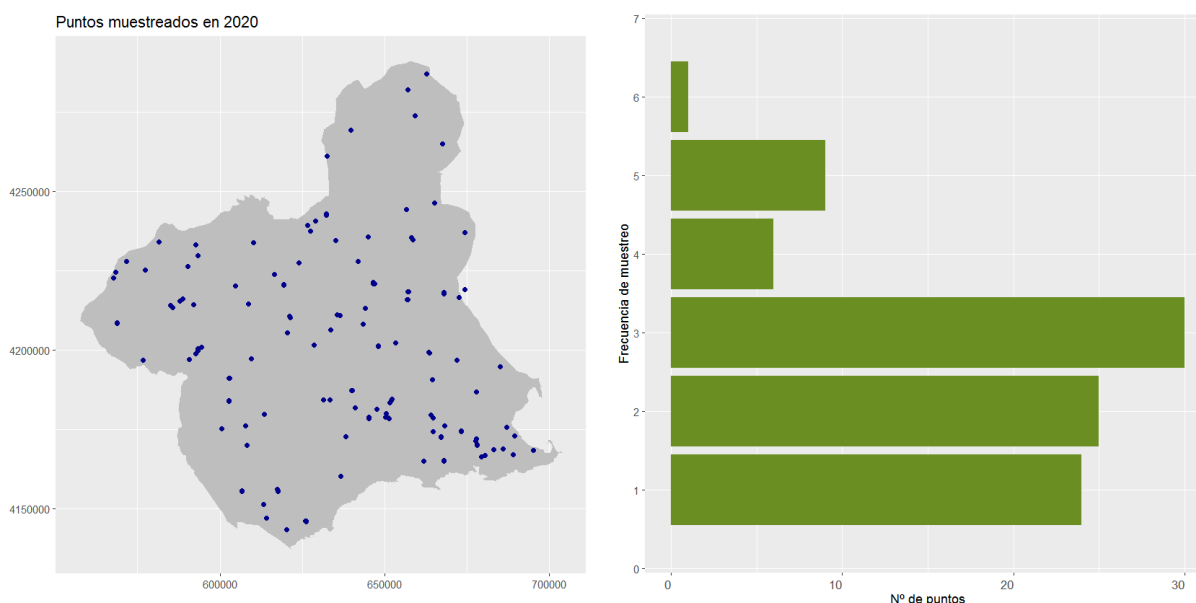


Figura 1. Izquierda: Distribución de los puntos de muestreo de la interfaz agrícola-forestal. Derecha: Histograma de frecuencia de muestreo de los puntos seleccionados.

Una vez en laboratorio las muestras se conservaron en frío hasta su procesamiento, en caso de no poder realizarse en un plazo de 24 horas, las muestras se congelaban para evitar el deterioro de las capturas. De cada muestra se separaron todos los ejemplares de insectos y arácnidos de los restos vegetales, y se conservaron en un vial cerrado con etanol al 70% hasta su identificación bajo lupa binocular. Los individuos pertenecientes a las especies vectoras, potencialmente vectoras y a la comunidad de Fulguromorpha y Cicadomorpha han sido identificadas hasta el máximo nivel taxonómico, especie o familia, según el caso, para cada una de las muestras. Para la identificación de las especies vectoras y otras próximas se ha utilizado la colección de comparación, el libro de Holzinger et al (2003) y otros materiales bibliográficos. El resto de los ejemplares de los diferentes órdenes que aparecían en las muestras se identificaron hasta nivel de familia.

Los mapas de distribución y abundancia de capturas, periodos de vuelo de las especies vectoras y potencialmente vectoras se han calculado y representado mediante las extensiones Raster, maptools y ggplot2 (Hijmans et al 2021, Lewin-Koh and Bivand, 2011, Wickham 2016) in R (R core team 2021).

### Modelos de distribución

Para obtener los modelos de distribución se han usado cinco tipos de datos espaciales: bioclimáticos, distribución cultivos arbóreos, distribución de formaciones naturales, series de vegetación y morfométricos (Tabla 1). Las capas bioclimáticas se han obtenido de WorldClim (<https://www.worldclim.org/>). Las capas raster de proporción de cultivos y formaciones naturales se han calculado a partir de geoprocetos, a partir de capas vectoriales descargadas de <https://www.miteco.gob.es/> y capas facilitadas el Servicio de Sanidad Vegetal de la Región de Murcia. Las capas de morfometría se han calculado o extraído de un modelo digital de terreno descargado de <http://centrodedescargas.cnig.es>. Todos los datos espaciales se han procesado usando Qgis, a un detalle de 1 km<sup>2</sup>.

Tabla 1. Tipo, código y descripción de los datos espaciales utilizados para modelizar las distribuciones.

Tipo de datos/unidades	Capa	Descripción
Bioclimáticos °C, mm	Bio1	Temperatura media anual
	Bio2	Rango medio de temperaturas (media mensual (max temp - min temp))
	Bio3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100)
	Bio4	Estacionalidad de las temperaturas (desviación estándar ×100)
	Bio5	Máxima temperatura del mes más cálido
	Bio6	Mínima temperatura del mes más frío
	Bio7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
	Bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo
	Bio9	Temperatura media del trimestre más seco
	Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido
	Bio11	Temperatura media del trimestre más frío
	Bio12	Precipitación anual
	Bio13	Precipitación del mes más húmedo
	Bio14	Precipitación del mes más seco
	Bio15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
	Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
	Bio17	Precipitación del trimestre más seco
	Bio18	Precipitación del trimestre más cálido
	Bio19	Precipitación del trimestre más frío
Paisaje: cultivos arbóreos 0.06 ha/km <sup>2</sup>	Almond_irr	Proporción de cultivos de almendro en regadío
	Almond_dr	Proporción de cultivos de almendro en secano
	Olive_irr	Proporción de cultivos de olivo en regadío
	Olive_dr	Proporción de cultivos de olivo en secano

	Vineyard_irr	Proporción de viñedo en regadío
	Vineyard_dr	Proporción de viñedo en secano
	High_vineyard	Proporción de cultivos en parral
	Citric	Proporción de cultivos de cítricos
	Stone_fr_irr	Proporción de cultivos de frutales de hueso en regadío
	Stone_fr_dr	Proporción de cultivos de frutales de hueso en secano
<b>Paisaje: formaciones naturales</b> 0.06 ha/km <sup>2</sup>	Forest	Proporción de bosque
	Forest_mos	Proporción de mosaico forestal
	Bush	Proporción de matorral
	Bush_mos	Proporción de mosaico de matorral
	Pasture	Proporción de pastos
	Wveg	Proporción de áreas sin vegetación
<b>Series de vegetación</b> presencia/ausencia	Oro	Presencia de la zona oromediterránea
	Supra	Presencia de la zona supramediterránea
	Meso_cd	Presencia de la zona mesomediterránea fría
	Meso_he	Presencia de la zona mesomediterránea cálida
	Termo_hi	Presencia de la zona termomediterránea superior
<b>Morfología</b> m, grados	Altitud	Altitud media
	Abrupt	Índice de abruptosidad
	Slope	Pendiente media

VARIABLES ALTAMENTE CORRELACIONADAS (>0.8 ,índice de correlación de Pearson) NO HAN SIDO INCLUIDAS EN LOS MODELOS. PARA OBTENER LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN SE HAN USADO LAS EXTENSIONES DISMO Y ENMEVAL, EN R (Hijmans et al., 2020, Kass et al., 2021) LOS CUALES USAN EL ALGORITMO DE MÁXIMA ENTROPÍA. DE ACUERDO CON PHILLIPS ET AL. (2006) SE HAN UTILIZADO CINCO CLASES (LINEAR (L), CUADRÁTICA (Q), PRODUCTO (P), UMBRAL (T), CATEGÓRICA (C) AND BISAGRA (H)) DE CADA UNO DE LOS MODELOS OBTENIDOS MEDIANTE EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE MEJOR PREDICEN LAS COMBINACIONES DE VALORES MULTIPLICADORES DE REGULARIZACIÓN (QUE VAN DE 0,5 A 4, CON INCREMENTOS DE 0,5) Y LAS COMBINACIONES DE CLASES (“L”, “LQ”, “H”, “LQH”, “LQHP”, “LQHPT”) DE CON ACUERDO RADOSAVLJEVIC AND ANDERSON 2014, GODEFROID ET AL, 2021 ). POSTERIORMENTE SE SELECCIONAN LOS MEJORES MODELOS CON VALOR 0 DEL CRITERIO DE AKAIKE (AIC) (MUSCARELLA ET AL 2014). TODOS LOS MODELOS HAN SIDO EVALUADOS USANDO EL CONJUNTO DE DATOS “PRES-ABS-SPAIN1” (GODEFROID ET AL, 2021), UN CONJUNTO DE DATOS BINARIOS DE PRESENCIA-AUSENCIA DE ESTAS ESPECIES OBTENIDOS POR NOSOTROS EN 2019 EN LA REGIÓN DE MURCIA MEDIANTE UN MUESTREO SISTEMÁTICO DE 20 PUNTOS DE MUESTREO FIJOS.

#### 4. Resultados

Se han capturado 8581 ejemplares de insectos de la comunidad de Fulguromorpha y Cicadomorpha en toda la Región de Murcia, de los cuales el 20,37 % son vectores o potenciales: 666 ejemplares de *P. spumarius* (7,76 %), 38 ejemplares *N. campestris* (3.93 %), 530 ejemplares *N. lineatus* (6.17 %) y 216 ejemplares *L. coleoptrata* (2.51 %). Teniendo en cuenta solamente los puntos donde las especies están presentes las abundancias relativas oscilan entre el 0,56 y 46,2 % para *P. spumarius*, 0.44 % y 48.3 % para *N. campestris*, 0.3 % y 66.7% para *N. lineatus* and 0.64 % to 31.9 % para *L. coleoptrata*.

La evolución temporal de las capturas de estas especies se muestra en la Figura 1. Ejemplares de *P. spumarius* y *N. campestris* han sido capturados a lo largo del todo el periodo de muestreo, desde primavera a finales de otoño, con la excepción de mediados de verano, donde no son capturadas. Las poblaciones de *P. spumarius* en la interfaz agro-forestal muestran un pico de abundancia a mediados de junio, manteniéndose más o menos constantes a lo largo del tiempo, con la excepción de mediados de verano. Durante el otoño sus capturas tienden a ir en descenso hasta finales de otoño. En cambio, *N. campestris* muestra dos claros picos de capturas a finales de

primavera y el segundo tercio del otoño, mientras que durante principios de primavera y verano su capturas son muy escasas en las zonas de muestreo.

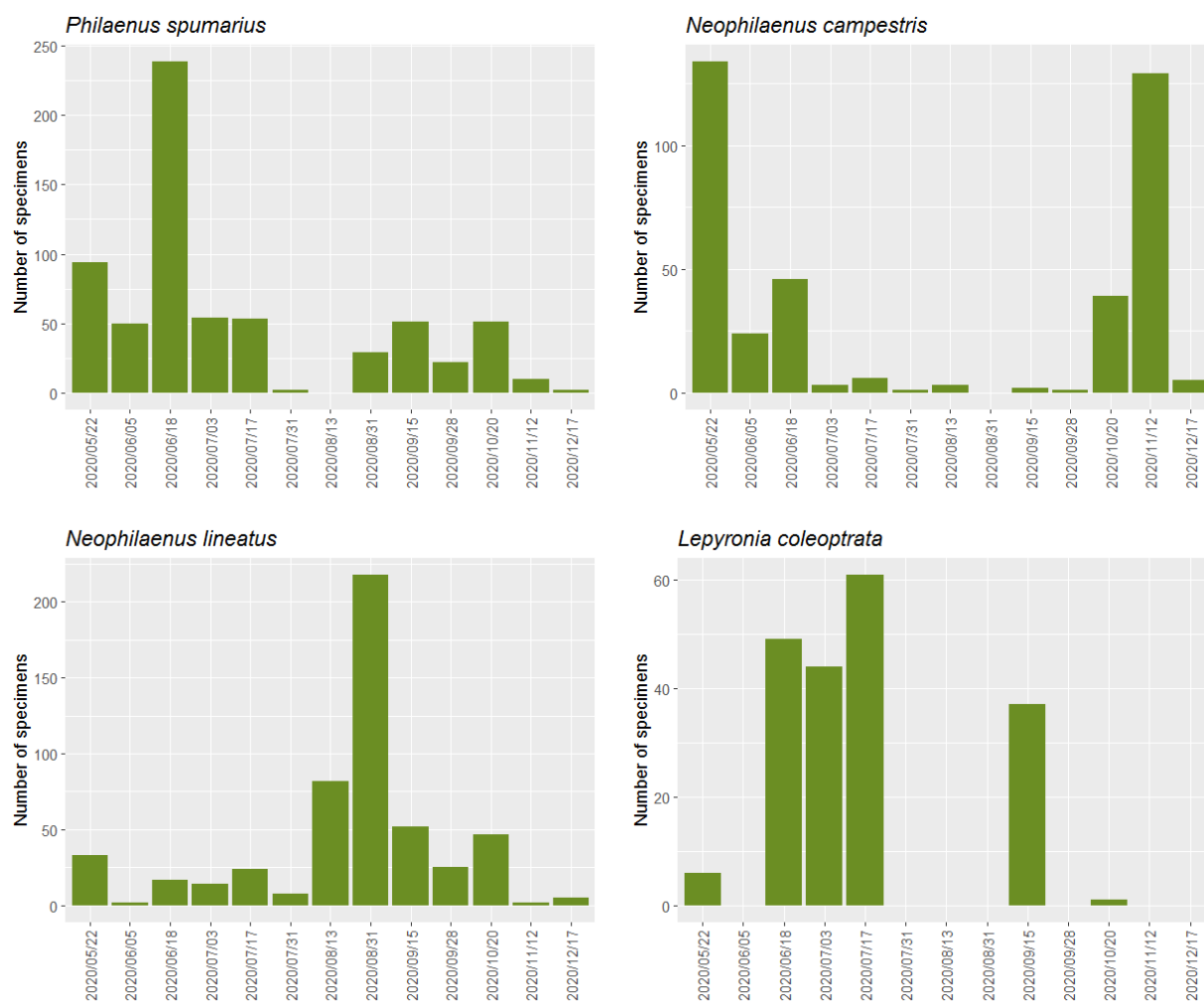


Figure 1. Número de ejemplares de vectores o potenciales vectores capturados a lo largo del tiempo en la interfaz agroforestal.

En cambio, los vectores potenciales *N. lineatus* y *L. coleoprata* muestran un patrón de capturas claramente diferente (Figura 1). A diferencia de las otras dos especies, *N. lineatus* ha sido capturado en mucho mayor número desde mediados de verano a principio de otoño, con un evidente pico a mediados de agosto. El resto del periodo de muestreo ha sido capturado pero con bajo número de efectivos, aunque a veces en mayor número que especie su congénérica *N. campestris*. La especie con menor número de efectivos capturados es *L. coleoprata*, con casi la totalidad de las capturas concentradas entre mediados de julio y mediados de septiembre. En el resto del periodo las capturas han sido prácticamente nulas salvo por unas capturas puntuales a mediados de septiembre.

La distribución de las capturas de las cuatro especies consideradas se muestra en la Figura 2. Es evidente que ninguna de las especies ha sido capturada en toda la región, sino más bien al contrario parecen estar las capturas preferentemente localizadas en ciertos sectores, así como que existe aproximadamente un tercio al sur de la Región de Murcia en el que no se han capturado ninguna de las cuatro especies. Más acusada esta tendencia se observa en *L. coleoprata*, restringida exclusivamente al extremo noroeste. Las especies vectoras *P. spumarius* y *N. campestris*

muestran un patrón de distribución similar aunque con ciertas diferencias. Ambas han sido capturadas con mayor frecuencia y abundancia en dos áreas de los dos tercios más al norte del área de estudio, separadas por una zona media sin capturas, y en ambos casos con poblaciones más numerosas hacia el sector noroeste. La especie que se ha capturado más al sureste es *P. spumarius*, en dos puntos aislados en cara sur de sierra de Carrascoy, en el límite norte del Campo de Cartagena. En 2019 se capturó un ejemplar de esta especie a mediados de julio, en una localidad aún más al sur, en un mosaico de albadial y pinar junto a cultivos de almendro en secano ubicado a 680 m de altitud. En cambio, las capturas de *N. campestris* muestran un patrón más claro de ocupar la mitad norte y noroeste de la Región de Murcia. *N. lineatus* y *L. coleoprata* presentan una distribución aún más restringida. *N. lineatus* está presente en las porciones noreste y noroeste, con mayores abundancias en el extremo más al norte, separado por un extensa área sin capturas. La especie más rara es *L. coleoprata*, capturada exclusivamente en un área restringida del extremo noroeste.

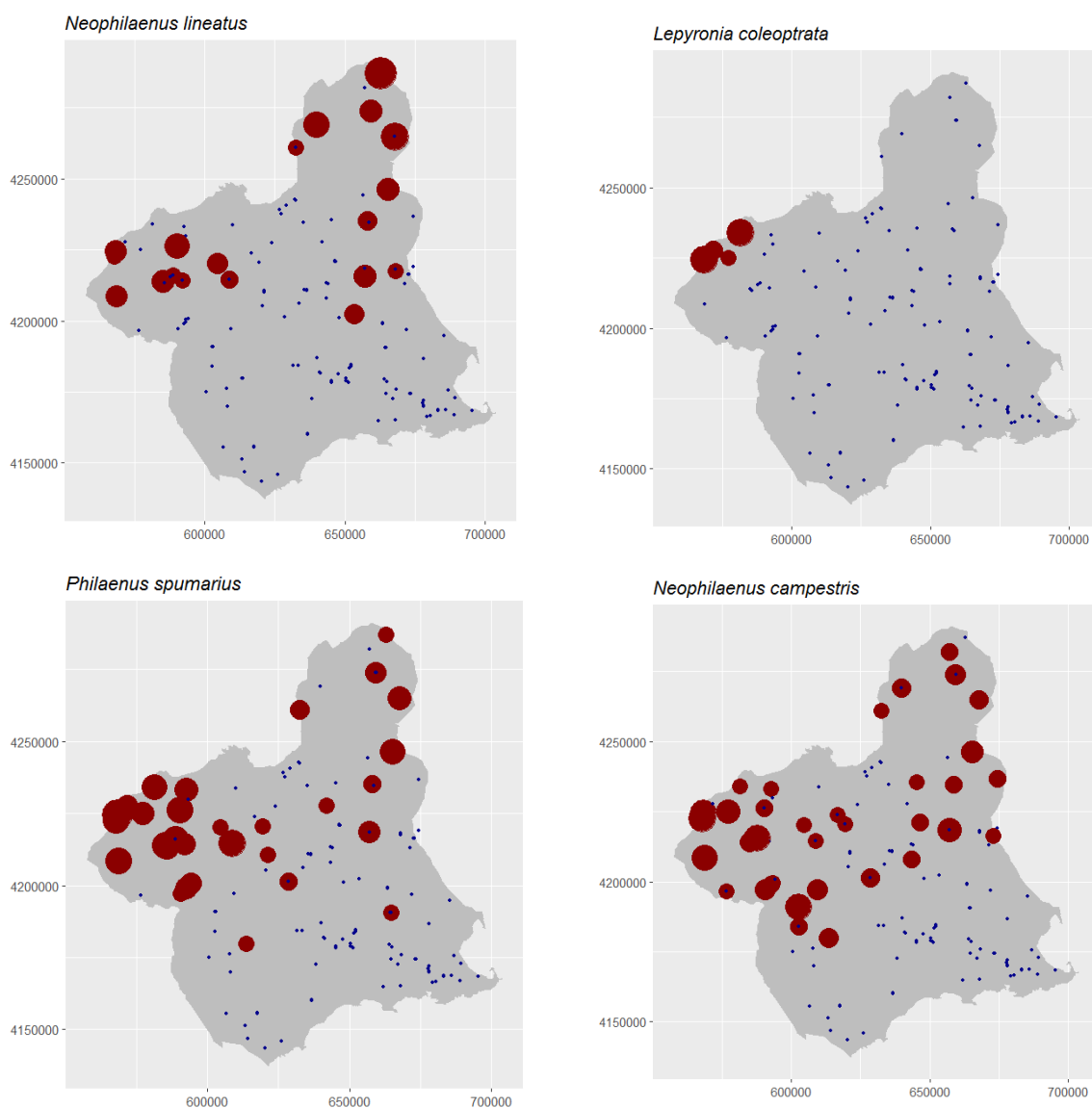


Figura 2. Distribución espacial de los vectores y potenciales vectores de *X. fastidiosa* en la Región de Murcia. El tamaño de los puntos rojos es proporcional al número de ejemplares capturados. Los puntos azules indican ausencia de capturas de la especie. Solapamiento de puntos rojos y azules indica que la especie no ha sido capturada todas las veces que se ha muestreado.



Se han obtenido modelos de distribución potencial que incorporan más de un tipo de variables excepto par *L. coleoprata*, debido al escaso número de puntos donde ha sido capturado y la concentración de los mismos en un área muy restringida. El mejor modelo para *S. spumarius* (Tabla 2) incorpora 11 variables, siendo las más explicativas dos variables bioclimáticas, la temperatura media anual (Bio1) y la precipitación del mes más seco (Bio14), acumulando juntas el 72% de la contribución al modelo (Figura 3). Las curvas respuesta muestra que esta especie prefiere lugares donde la temperatura media anual es menor de 15 °C con una zona de transición entre 15 y 16,5 °C, y cuyas precipitaciones en el mes más seco superen los 8 mm, también con una zona de transición entre 5 y 8 mm. El resto de las contribuciones al modelo (28 %) están distribuidas entre variables paisaje de series de vegetación, de las cuales la densidad del bosque por km<sup>2</sup> es la que más contribuye (12 %). Esta variable indica que *S. spumarius* se hace más raro en paisajes sin bosque y que va siendo más común cuando la proporción de bosque se incrementa. Otras ocho variables contribuyen menos del 5%, y por lo tanto sus curvas respuesta son menos informativas, no obstante es remarcable su rarificación en las zonas ubicadas en el mesomediterráneo frío y cálido, y las zonas con mayor proporción de cultivos de cítricos.

Tabla 2. Parámetros de MaxEnt de los resultados de ENMeval de los mejores modelos de *P. spumarius*, *N. campestris* y *N. lineatus*, donde:  $\square$  AICc: Akaike Information Criterion; AUC: Area Under Curve; RM: Regularisation Multiplier.

Especie	$\square$ AICc	AUCtest	AUCdiff	RM	Característica <sup>1</sup>	Variables
<i>P. spumarius</i>	0	0.839	0.107	4	L	11
<i>N. campestris</i>	0	0.898	0.0758	0.5	LQHPT	11
<i>N. lineatus</i>	0	0.853	0.096	4	L	5

<sup>1</sup> L: linear, Q: cuadrático, H: bisagra, P: producto, T: umbral.

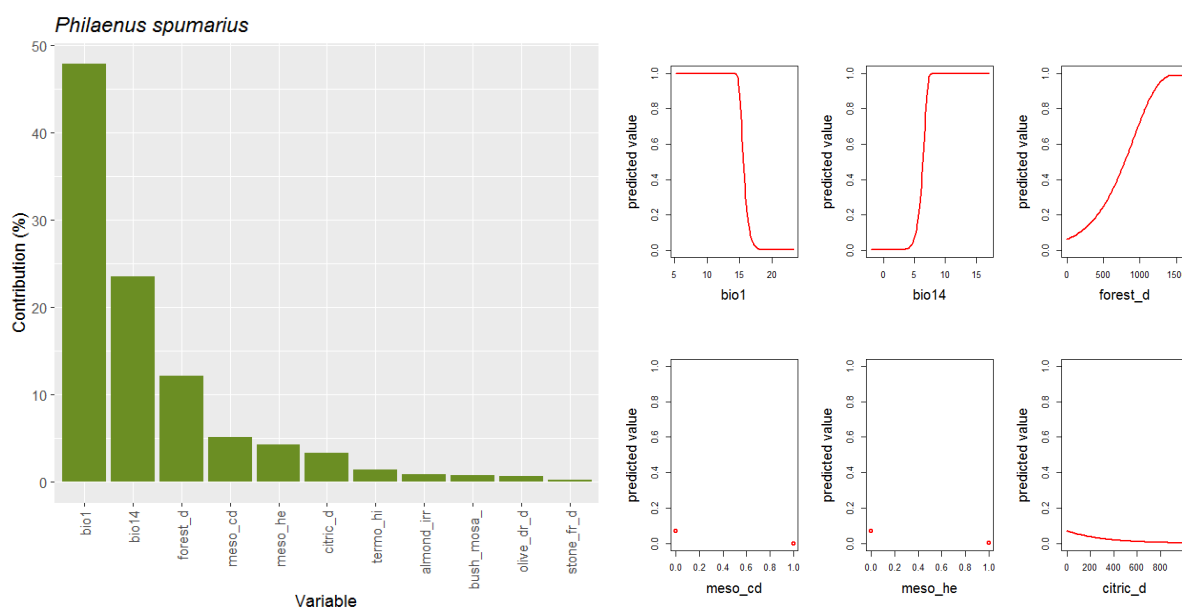


Figura 3. Variables más explicativas y su contribución al modelo (Izquierda) y curvas respuesta de las seis variables más explicativas del mejor modelo seleccionado mediante ENMeval para *P. spumarius*.

El mejor modelo para *N. campestris* también incorpora 11 variables, aunque es una única variable, la estacionalidad de la precipitación (Bio15) la que explica el 99,5 % (Figura 4). El resto de variables sólo aportan una explicación marginal e incluyen variables bioclimáticas y de paisaje. La curva respuesta de Bio15 indica que la especie prefiere zonas donde el coeficiente de variación de la precipitación es menor de 40, y cuando se supera este umbral, la especie está prácticamente ausente. El resto de variables describen preferencias por áreas con temperatura media anual menor de 15 °C, variaciones del rango de temperaturas entre el día y la noche superiores a 13 °C (mayor

continentalidad), en paisajes sin cultivos de regadío de frutales de hueso y con alta proporción de bosques.

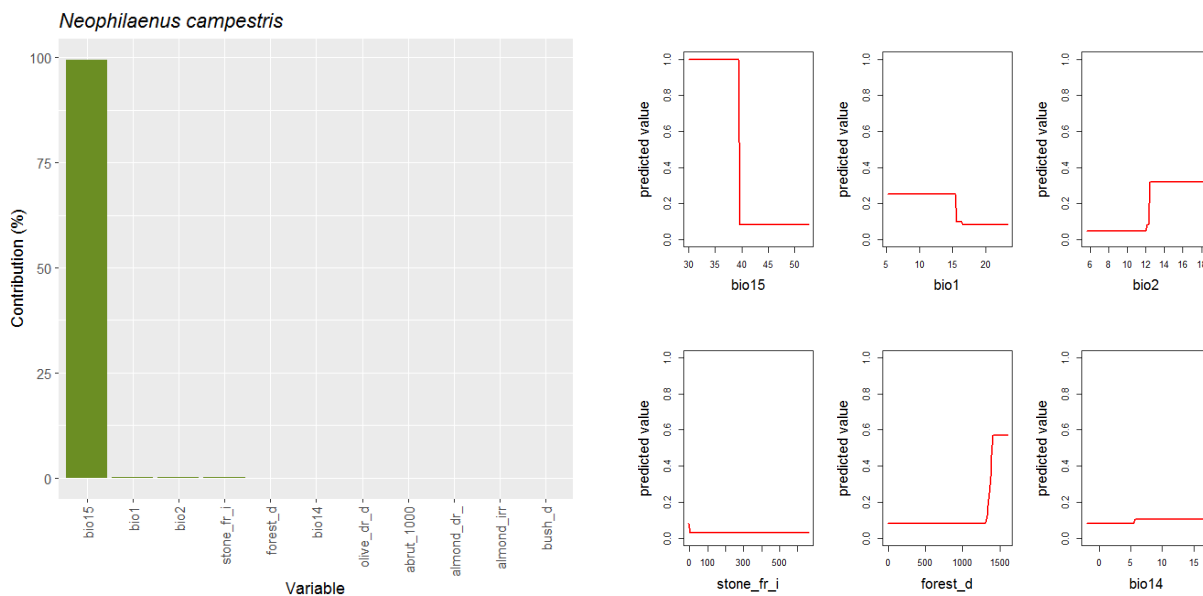


Figura 4. Variables más explicativas y su contribución al modelo (Izquierda) y curvas respuesta de las seis variables más explicativas del mejor modelo seleccionado mediante ENMeval para *N. campestris*.

La distribución de *N. lienatus* está explicada por un modelo que incorpora sólo cinco variables (Figura 5). La variable más explicativa es la presencia de la serie de vegetación mesomediterráneo frío (56 %), seguida de la precipitación en el mes más seco (25 %) y proporción de mosaico de matorral (15 %). Más marginalmente incluye la estacionalidad de la precipitación (3 %) y la presencia de la serie mesomediterráneo cálido (1 %). Esto indica que la especie prefiere zonas incluidas en mesomediterráneo frío, con precipitaciones en el mes más seco superiores a 5 mm, con óptimo a partir de 13 mm, en paisajes con bajas proporciones de mosaico de matorrales. En menor medida prefiere zonas con baja estacionalidad de precipitación (>37), y fuera de área del mesomediterráneo cálido.

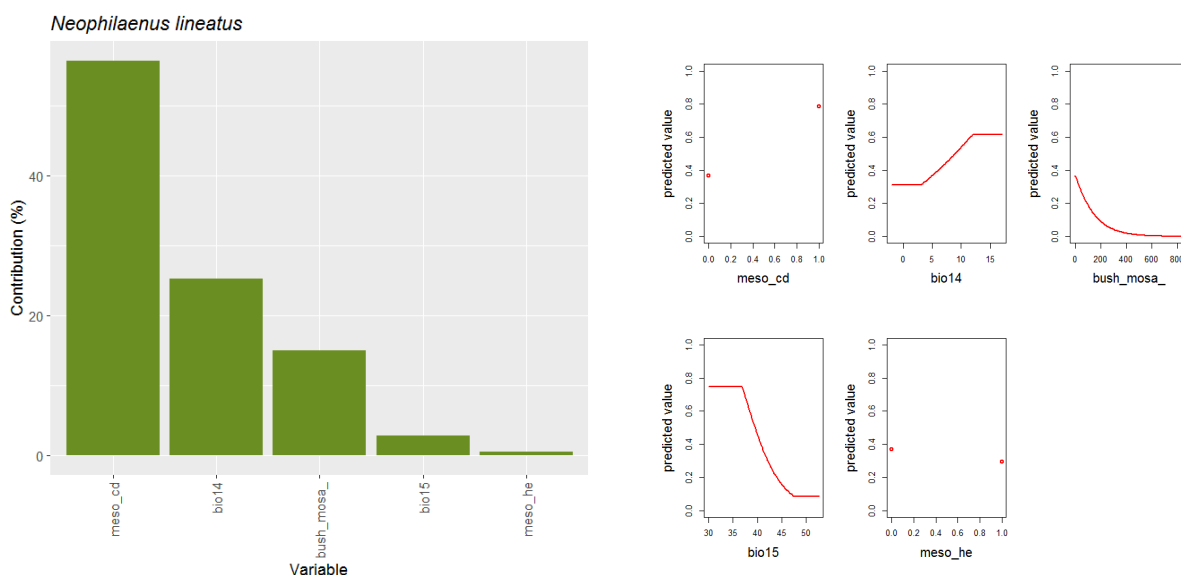


Figura 5. Variables más explicativas y su contribución al modelo (Izquierda) y curvas respuesta de las seis variables más explicativas del mejor modelo seleccionado mediante ENMeval para *N. lineatus*.

La expresión espacial de los modelos en el área de estudio puede considerarse como equivalente a mapas de distribución potencial, y se muestran en la Figura 6. La distribución de *P. spumarius* se predice fragmentada en áreas de alta idoneidad separada por áreas de hábitats no idóneos. La mayor área de ecosistemas idóneos está localizada en el noroeste del área de estudio, y está más o menos conectada con otras áreas idóneas mucho más fragmentadas en dirección sureste. Otra gran área, pero menos continua se observa en la porción norte de la Región de Murcia. Destacan también las zonas desconectadas que se predicen al sur y sureste, y que se corresponden con islas forestales en una matriz agrícola mayoritariamente intensiva, donde el modelo predice que estará ausente. El mapa de distribución potencial de *N. campestris* (Figura 6) muestra un gran área continua de alta probabilidad de presencia al norte, que se va fragmentando en dirección suroeste. Destaca también una gran porción de baja, pero no nula, probabilidad en el extremo oeste. Destaca una muy extensa área de muy baja y nula probabilidad en el la zona sur y este de la Región. En cambio, el mapa de distribución potencial de *N. lineatus* es mucho menos preciso (Figura 6) ya que la máxima idoneidad de hábitats alcanzada en la predicción es 0, 2. En cualquier caso predice que la especie se distribuirá con mayor probabilidad en la zona norte, y algunas zonas muy fragmentadas repartidas por la mitad norte. El resto de la región aparece con idoneidades muy bajas, casi nulas.

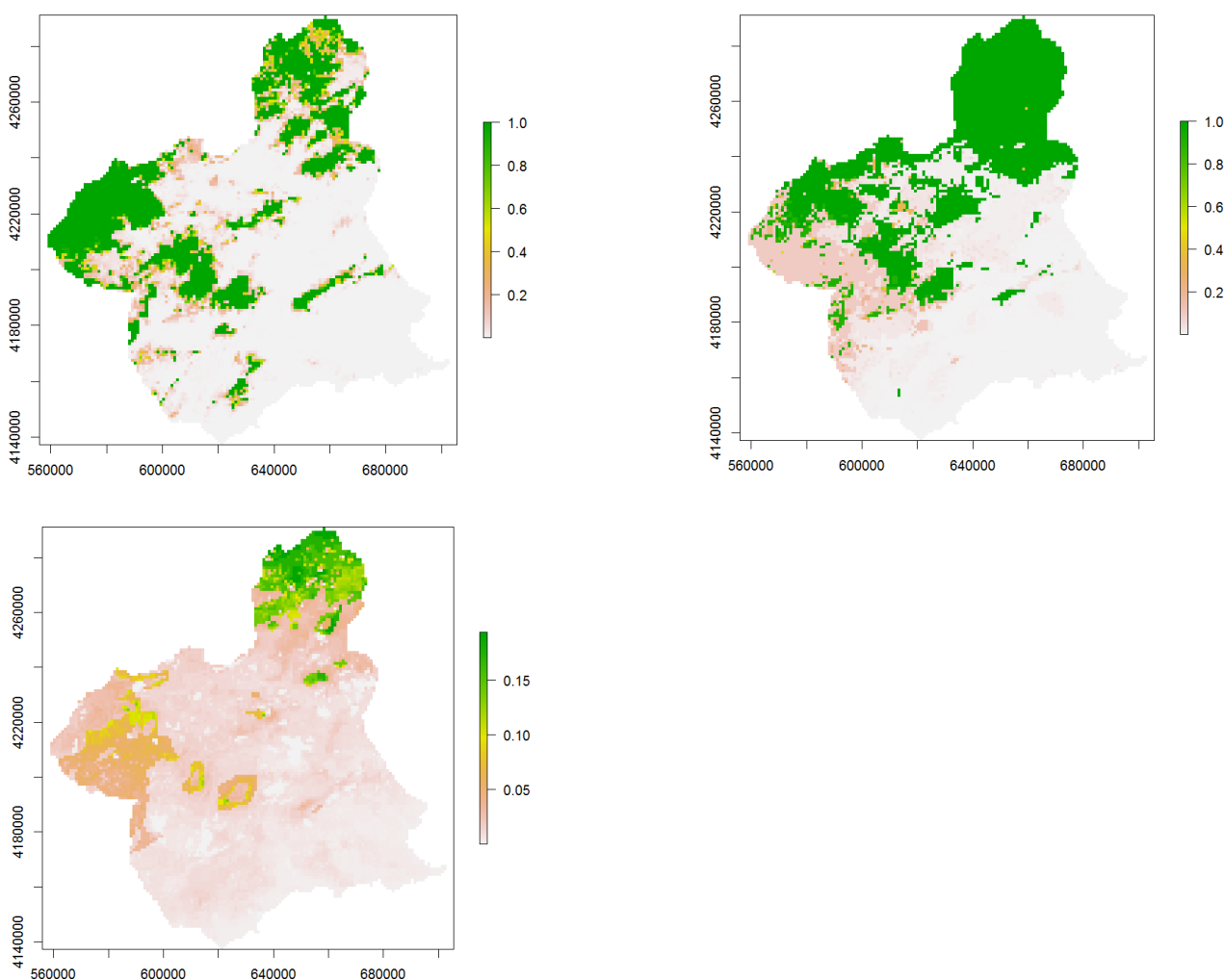


Figura 6. Mapas de idoneidad de hábitats (UTM ETRS89-30N) para *P. spumarius* (arriba, izquierda), *N. campestris* (arriba, derecha) and *N. lineatus* (abajo, izquierda). Las barras de escala representan la escala de color correspondiente a los valores de las idoneidad de acuerdo con el modelo logístico MaxEnt, donde el color verde indican alta idoneidad (= alta probabilidad de presencia) y el color blanco baja probabilidad.

## 5. Discusión

Las cuatro especies estudiadas son relativamente comunes en el conjunto de las comunidades de insectos estudiadas. Si se considera el total de insectos capturados, el volumen de capturas de estas cuatro especies juntas se supera ligeramente el 20 %. Aunque hay que tener en cuenta que sus capturas presentan cierto grado de agregación. Las especies vectoras, *P. spumarius* y *N. campestris* pueden representar casi mitad de las capturas en las zonas idóneas al norte y noroeste de la región (46,2 y 48,3 %, respectivamente), mientras que en las zonas del borde de su distribución no llegan a representar el 1% de las capturas (0,56 y 0,44 % respectivamente). De cualquier modo, los valores de capturas más altos son diferentes de los reportados por Bodino et al (2019) sobre muestreos realizados en 2016-2018 en la región de Apulia (noroeste de Italia) donde las capturas fueron del 79,4 % of *P. spumarius* and 20.6 % of *N. campestris*, mientras que en Liguria (sureste de Italia) fueron del 73,8 % y 14,7 % respectivamente. Es destacable que la similitud en los valores de capturas en dos zonas de Italia alejadas cientos de kilómetros es muy alta, mientras que en menos de 50 km en la región de Murcia las poblaciones varían en más del 40 %. Si se considera ahora los potenciales vectores *N. lineatus* y *L. coleoptrata*, sus poblaciones oscilan desde el 66,7 y 31,9 %, respectivamente, en las zonas de máximas capturas, hasta un mínimo de 0,3 y 0,64 %, respectivamente, en las zonas donde menos se ha capturado. Además existen amplias zonas en el tercio sur donde ninguna de esas especies ha sido capturada en 2020, ni tampoco en los trabajos de 2019, lo que puede ser compatible que por la zona de estudio pasa el límite de la distribución de cada una de las cuatro especies consideradas. Beal et al (2021) capturó muy bajo número de *P. spumarius* en viñedo en California (EEUU), 17,10 individuos por sitio, con un esfuerzo de 75 pasadas de manga de barrido por sitio, lo que equivale a 0,228 insectos por pasada o barrido. Nuestro máximo valor de *P. spumarius* capturados por pasada es de 49,5. Recordando que nuestro esfuerzo es de 200 barridos por punto, este valor equivale a 0,247 ejemplares/pasada, muy similar al valor de Beal et al (2021). *P. spumarius* es una especie invasora en Norteamérica (Daugherty y Almeida, 2019), introducida posiblemente desde poblaciones de la península Ibérica e Islas Británicas (Maryńska-Nadachowska et al. 2011), por lo que es posible que en las zonas prospectada por Beal et al. (2021) en California sean también límite de distribución de la especie, aunque no necesariamente por los mismos condicionantes ambientales que el posible límite de distribución de la Región de Murcia.

Las cuatro especies consideradas en el presente trabajo son univoltinas, aunque aparentemente nuestras curvas de vuelo muestren aparentemente lo contrario para *P. spumarius* y *N. campestris*, incluso *L. coleoptrata*. Las capturas de estas especies muestran dos picos, uno al final de primavera y otro en otoño, con ausencia de capturas en verano. Tsagkarakis et al. (2018) y Drosopoulos and Asche (2001) obtuvieron resultados similares en Grecia para *P. spumarius*, y propusieron que esta especie eran en realidad bivoltina. Morente et al (2018) discrepan de esta propuesta ya que no se encuentran huevos o ninfas en verano que indiquen que se está desarrollando una generación estival. Estos autores explican la ausencia de adultos por la emigración local por el agostamiento de la vegetación en las zonas de interfaz, los adultos de *P. spumarius* y *N. campestris* abandonan las áreas donde nacieron y vuelan para buscar otros lugares con plantas adecuadas para su alimentación, posiblemente en ecosistemas forestales más o menos próximos, algo también reportado por Cruaud et al (2018) y Bodino et al (2019). En cambio, este comportamiento no parece haberse observado en *N. lineatus*, que muestra un pico de capturas a mediados de verano, en un patrón desacoplado a las otras dos especies, con las que podría competir. Esto evidencia que esta especie se queda en la interfaz agroforestal durante el máximo de sequía estival, pudiendo este comportamiento ser compatible con una reducción de la competencia interespecífica, siendo esta una cuestión abierta a resolver en futuros trabajos.

Las distribuciones de las capturas muestran extensas áreas sin presencia de ninguna de las cuatro especies consideradas. Esto no es lo esperado para especies de amplia distribución como *P. spumarius* y *N. campestris*. Efectivamente, *P. spumarius* y *N. campestris* no han sido capturados más o menos en los mismos lugares, repartidos aproximadamente en un tercio de la región, principalmente en el sur. *N. lineatus* parece que tiene una distribución algo más restringida y se captura en dos áreas de la mitad norte, separadas por una zona media en la que está ausente. La distribución más restringida es la de *L. coleoptrata*, que ha sido capturada únicamente en cuatro puntos del extremo noroeste. Muy posiblemente estas zonas de ausencia se corresponden con áreas fuera del límite de distribución de estas especies. Puede no ser este el caso de *L. coleoptrata* que posiblemente se trate de una especie mucho más estenoica, ligada a ecosistemas de montaña.

Las distribuciones de *P. spumarius*, *N. campestris* and *N. lineatus* han sido explicadas por los modelos MaxEnt, siendo los dos primeros los de mayor precisión. La distribución de *P. spumarius* está explicada principalmente por variables relacionadas con el clima, de manera que el modelo predice que esta especie se distribuye en áreas relativamente más frescas y húmedas, con temperatura media anual menor de 18 °C y precipitación estival mayor de 8 mm en julio. También influye en su distribución la composición del paisaje, prefiriendo principalmente zonas con mayor proporción de bosques. Asimismo, el modelo indica, aunque con muy baja contribución, que tiene baja o nula preferencia por áreas incluidas en la serie de vegetación mesomediterránea y paisajes con alta proporción de cultivos de cítricos. Puede recurrirse a este modelo para explicar las causas de su ausencia en amplias zonas del territorio murciano, precisamente en las zonas más cálidas y secas y con escasa o nula presencia de formaciones forestales en los paisajes. Corana et al (2018) revisó las limitaciones fisiológicas de *P. spumarius* relacionadas con la temperatura, indicando que las ninfas tienen limitaciones a su desarrollo fuera del umbral de 2,8 a 26,7 °C (Zajac et al, 1989). Obviamente, la temperatura media anual referida a la escala de paisaje de nuestro estudio no puede ser considerada como un factor fisiológico limitante para esta especie, aunque sea la variable que mayor contribución aporta al modelo. Godefroid et al (2021) refieren que *P. spumarius* se rarifica en las zonas secas y cálidas del sureste ibérico, aunque estos autores remarcan que factores adicionales como estructura del paisaje, presencia de cultivos intensivos y perturbaciones ligadas a la actividad humana también deben ser importantes en su distribución. Nuestros resultados indican que *N. spumarius* no solo es rara, sino que está ausente en las áreas más cálidas y secas con baja proporción de bosques, donde hay alta proporción de cultivos intensivos. No obstante en estas zonas existen islas de condiciones favorables, localizadas en zonas de montaña, que permiten la presencia de esta especie, aunque con poblaciones muy bajas. Por lo tanto, paisajes compuestos por agroecosistemas de cultivo tradicional o no intensivo, de matriz en mosaico forestal, donde la sequía estival permite el mantenimiento de la vegetación para sustentar sus poblaciones, es muy posible encontrar a *P. spumarius*.

En cambio, aunque el modelo de distribución de *N. campestris* incorpora el mismo número de variables que el de *P. spumarius*, tan sólo una variable aporta la mayor parte de la contribución a su explicación, mientras que las 10 restantes lo hacen de forma residual. Según este modelo, *N. campestris* prefiere áreas con precipitaciones relativamente estables a lo largo del año (en el marco del clima mediterráneo seco, obviamente), siendo muy raro donde esa variabilidad supera cierto umbral. Por lo demás, al parecer *N. campestris* no tiene preferencias muy concretas, sólo parece preferir paisajes con suficiente estabilidad en las precipitaciones, relativamente frescos y con prácticamente nula proporción de cultivos intensivos de frutales de hueso.

El modelo obtenido para *N. lineatus*, está explicado principalmente por la coincidencia con el Mesomediterráneo frío, aunque también en paisajes relativamente húmedos en verano, con alta proporción de mosaicos de matorral y con relativamente alta estabilidad anual en las precipitaciones, fuera del mesomediterráneo cálido. Pero, a diferencia de las otras dos especies, las curvas respuesta no muestran cambios abruptos de idoneidad de hábitat en las variables continuas.

Posiblemente esto indique se trata de una especie algo más eurioica que las dos anteriores, y que, pese a que su distribución está más restringida, puede ser capturada en hábitats más diversos dentro del dominio mesomediterráneo frío. Otra evidencia sobre esta posible característica puede encontrarse en su comportamiento de no migrar fuera de la interfaz agroforestal durante el verano. Pero posiblemente nuestra escala de trabajo no sea la apropiada para inferir estas causa, y que haya que buscarlos variables de escala mucho más detallada. En muchas ocasiones, las capturas de *N. lienatus* han ocurrido en pequeñas zonas con vegetación que medraba en zonas de aporte permanente de agua durante el verano, principalmente pérdidas de conducciones de agua o pequeñas surgencias freáticas.

## 6. Conclusiones

Nuestros trabajos indican que las especies vectoras están presentes en la mitad noroccidental de la Región de Murcia, con mayores abundancias en las zonas noroeste y norte, lo que sería compatible con un límite de distribución dentro de la Región de Murcia.

Existen poblaciones posiblemente aisladas de *P. spumarius* en las sierras del sur de los valles del Guadalentín y Segura.

*P. spumarius* prefiere paisajes de la Región de Murcia en las zonas más frescas y con cierto nivel de precipitaciones estivales y con presencia de bosque, fuera del dominio mesomediterráneo, y con baja presencia de cultivos de cítricos. En cambio *N. campestris* busca lugares con mayor estabilidad de la vegetación gracias a precipitación predecible, y toleran lugares algo más cálidos que *P. spumarius*.

*N. lineatus* parece poseer estrategias de reducción de competencia con las otras dos especies, además de tener preferencias de hábitat más restringidas, que podrían estar actuado a escala mucho más detallada que la escala de este trabajo.

## 7. Agradecimientos

Estos trabajos han sido financiados mediante acuerdos de colaboración con el Servicio de Sanidad Vegetal de la Consejería de Agricultura de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia durante los años 2019 y 2020. Agradecemos el interés, la capacidad de discusión constructiva y los estímulos promovidos por Miguel Ángel Fernández Carrillo, técnico de Sanidad Vegetal de dicho servicio. También queremos agradecer la participación en los trabajos de campo de María del Carmen Muñoz. Asimismo queremos reseñar nuestro especial agradecimiento al Dr. Alberto Fereres y su equipo de investigación del Departamento de Protección Vegetal de ICA-CSIC, Madrid.

## 8. Bibliografía

BEAL, D.J.; COOPER, M.; DAUGHERTY, M.P.; PURCELL, A.H.; ALMEIDA, R.P.P. 2021 Seasonal Abundance and Infectivity of *Philaenus spumarius* (Hemiptera: Aphrophoridae), a Vector of *Xylella fastidiosa* in California Vineyards. *Environ Entomol.* 50, 467-476.

BODINO, N.; CAVALIERI, V.; DONGIOVANNI, C.; PLAZIO, E.; SALADINI, M.A.; VOLANI, S.; SIMONETTO, A.; FUMAROLA, G.; DI CAROLO, M.; PORCELLI, F.; GILIOLI, G.; BOSCO, D. 2019 Phenology, seasonal abundance and stage structure of spittlebug (Hemiptera: Aphrophoridae) populations in olive groves in Italy. *Sci Rep.* 9, 17725 .

CORNARA, D.; BOSCO, D.; FERERES, A. 2018. *Philaenus spumarius*: when an old acquaintance becomes a new threat to European agriculture. *J. Pest. Sci.*, 91, 957–972.

CRUAUD, A.; GONZALEZ, A.A.; GODEFROID, M.; NIDELET, S.; STREITO, J.C.; THUILLIER, J.M.; RASPLUS, J.Y. 2018 Using insects to detect, monitor and predict the distribution of *Xylella fastidiosa*: A case study in Corsica. *Sci. Rep.*, 8, 15628.

ESTEVE-SELMA, M.A.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; HERNÁNDEZ, I.; MONTÁVEZ, J.P.; LOPEZ, J.J.; CALVO, J.F.; ROBLDANO, F. 2010 Effects of climatic change on the distribution and conservation of Mediterranean forests: the case of *Tetraclinis articulata* in the Iberian Peninsula. *Biodivers Conserv.* 19, 3809–25.

DAUGHERTY, M. P.; ALMEIDA R. P. P. 2019 Understanding how an invasive vector drives Pierce's disease epidemics: seasonality and vine-to-vine spread. *Phytopathology*, 109, 277–285.

DROSOPOULOS, S.; ASCHE, M. 2001 Biosystematic studies on the spittlebug genus *Philaenus* with the description of a new species. *Zool. J. Linn. Soc.*, 101, 169–177.

GODEFROID, M.; MORENTE, M.; SCHARTEL, T.; CORNARA, D.; PURCELL, A.; GALLEGO, D.; MORENO, A.; PEREIRA, J.A.; FERERES, A. 2021 Climate tolerances of *Philaenus spumarius* should be considered in risk assessment of disease outbreaks related to *Xylella fastidiosa*. *J Pest Sci.*

Holzinger, W.E.; Kammerlander, I.; Nickel, H. 2003. The Auchenorrhyncha of Central Europe. Brill Publishers, Leiden. 673 pp.

HIJMANS, R.J.; PHILLIPS, S.; LEATHWICK, J.; ELITH, J. 2020 Package 'dismo'. Available online at: <http://cran.r-project.org/web/packages/dismo/index.html>.

HIJMANS, R.J.; VAN ETEN, J. 2021 Raster: Geographic analysis and modeling with raster data. R package version 3.4-13.

KASS, J.M.; MUSCARELLA, R.; GALANTE, P.J.; BOHL, C.L.; PINILLA-BUITRAGO, G.E.; BORJA, R.A.; SOLEY-GUARDIA, M.; ANDERSON, R.P. 2021. ENMeval 2.0: Redesigned for customizable and reproducible modeling of species' niches and distributions. *Methods Ecol Evol.*

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2020 <http://qgis.osgeo.org>

LEWIN-KOH, J.N.; BIVAND, R. 2011. "Package 'Mapproj': Tools for Reading and Handling Spatial Objects," R Package Version 0.8-10.

MARYAŃSKA-NADACHOWSKA, A.; KAJTOCH, L.; LACHOWSKA, D. 2011 Genetic diversity of *Philaenus spumarius* and *P. tessellatus* (Hemiptera, Aphrophoridae): implications for evolution and taxonomy. *Syst. Entomol.* 37, 55–64.

- MORENTE, M.; CORNARA, D.; PLAZA, M.; DURÁN, J.; CAPISCOL, C.; TRILLO, R.; RUIZ, M.; RUIZ, C.; SANJUAN, S.; PEREIRA, J.; MORENO, A.; FERERES, A. 2018 Distribution and relative abundance of insect vectors of *Xylella fastidiosa* in olive groves of the Iberian Peninsula. *Insects*, 9, 175.
- MUSCARELLA, R.; GALANTE, P.J.; SOLEY-GUARDIA, M.; BORJA, R.A.; KASS, J.M.; URIARTE, M.; ANDERSON, R.P. 2014. ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods Ecol Evol.*, 5: 1198-1205.
- PHILLIPS, S.J.; ANDERSON, R.P.; SCHAPIRE, R.E. 2006 Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 190, 231–259.
- R CORE TEAM 2021 R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- TSAGKARAKIS, A.E.; AFENTOULIS, D.G.; MATARED, M.; THANOU, Z.N.; STAMATAKOU, G.D.; KALAITZAKI, A.P.; PERDIKIS, D.C. 2018. Identification and Seasonal Abundance of Auchenorrhyncha With a Focus on Potential Insect Vectors of *Xylella fastidiosa* in Olive Orchards in Three Regions of Greece. *J. Econ. Entom.*, 1–10.
- WICKHAMN, H. 2016 Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York; 2016. Available from: <https://ggplot2.tidyverse.org>
- ZAJAC, M.A.; HALL, F.R.; WILSON, M.C. 1989 Heat unit model for the development of meadow spittlebug (Homoptera Cercopidae) on strawberry. *Environ. Entomol.*, 18, 347–350.