

Figura 1. Vista de la zona demarcada por *Xylella fastidiosa* en Alicante (Foto E. Marco-Noales).

Martina Cendoya¹, Elena Lázaro¹, David Conesa², Antonio López-Quílez², Vicente Dalmau³, Amparo Ferrer³, Francisco Beitia¹, Ester Marco-Noales¹, Antonio Vicent¹

¹Centre de Protecció Vegetal i Biotecnologia, Institut Valencià d'Investigacions Agràries. Valencia

²Departament d'Estadística i Investigació Operativa, Universitat de València. Valencia

³Servei de Sanitat Vegetal, Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica. Silla (Valencia)

Aplicaciones de la modelización epidemiológica en la zona demarcada por *Xylella fastidiosa* en Alicante

En 2017 se detectó por primera vez *Xylella fastidiosa* en la provincia de Alicante, donde afecta principalmente al almendro y, en menor medida, a varias especies de *Prunus* y plantas arbustivas. Como en otras enfermedades infecciosas, los modelos epidemiológicos de la distribución de *X. fastidiosa* permiten estimar su dinámica y optimizar así los programas de vigilancia fitosanitaria y las estrategias de control. En este estudio se ajustaron modelos jerárquicos bayesianos a los datos de las prospecciones oficiales realizadas en la zona demarcada. El modelo resultante indicó que *X. fastidiosa* presentaba una fuerte agregación espacial, siendo las variables climáticas poco informativas a la hora de predecir su presencia en la zona. Este resultado subraya la importancia de implementar las medidas de control y evitar así la expansión de la enfermedad por proximidad a la zona infestada. Se evaluó también una estrategia de vigilancia epidemiológica de tipo secuencial y adaptativa. A diferencia de la estrategia actual que establece la Decisión de Ejecución (UE) 2015/789, esta nueva estrategia va aumentando progresivamente la resolución espacial de inspección de 100 ha a 25 ha y 1 ha. La intensidad de muestreo en cada una de estas resoluciones espaciales se calcula mediante un algoritmo de optimización. Los resultados obtenidos indicaron que la estrategia secuencial adaptativa propuesta permitiría ejecutar el programa de vigilancia epidemiológica en la zona de Alicante con la misma eficacia, pero reduciendo los costes de inspección, muestreo y análisis.

En junio de 2017 se detectó por primera vez *Xylella fastidiosa* en la península ibérica, en parcelas de almendro (*Prunus dulcis*) de la provincia de Alicante (Figura 1). Los árboles presentaban una sintomatología típica, con necrosis marginal en las hojas, rodeada por un halo clorótico, característica del quemado de la hoja del almendro (*almond leaf scorch*). En algunos casos se observaban solo unas pocas ramas afectadas, mientras que en otros los síntomas se extendían por todo el árbol, confiriéndole una coloración amarillo-dorada en toda la copa (*golden death*). En este punto, es importante señalar que una de las características de *X. fastidiosa* es que las plantas infectadas pueden permanecer asintomáticas durante mucho tiempo y, en ocasiones, los síntomas son poco específicos, confundiéndose con los causados por la sequía u otros factores abióticos.

Aunque la principal planta hospedante de *X. fastidiosa* en la zona de Alicante es el almendro, la bacteria se ha detectado también en otras once especies: *Polygala myrtifolia*, *Calicotome spinosa*, *P. armeniaca*, *P. domestica*, *Rhamnus alaternus*, *Helichrysum italicum*, *H. stoechas*, *Rosmarinus officinalis*, *Phagnalon saxatile*, *Lavandula dentata* y *L. latifolia*. No obstante, en estas especies se han dado pocos casos y siempre en zonas circundantes a las parcelas de almendro afectadas. Hasta el momento, en los análisis realizados se ha identificado siempre la subespecie *multiplex* y el tipo genético ST6. Las cepas de *X. fastidiosa* aisladas de Alicante muestran muy poca diversidad genética, lo que sugiere que en esta zona se produjo una única introducción de la subespecie *multiplex* y que podría ser relativamente reciente, aunque hoy por hoy no es posible datar con exactitud la fecha de introducción (Landa y col., 2020).

Respecto a los insectos vectores, en la zona demarcada se han identificado cuatro especies de afrofóridos: *Philaenus spumarius*, *Neophilaenus campestris*, *Neophilaenus lineatus* y *Cercopis intermedia* (Beitia y col., 2019; Navarro-Campos y col., 2019). De ellas, las dos primeras son las más abundantes, con más del 95% de las capturas realizadas; además, estas dos especies son las únicas en las que se ha detectado la presencia de la



Figura 2. Representación geográfica de la proporción de muestras positivas para *Xylella fastidiosa* sobre cuadrículas de 100 ha en la zona demarcada de Alicante.

bacteria en su aparato bucal, lo que indica su potencialidad como vectores de la misma (Beitia y col., 2019; Navarro-Campos y col., 2019). Sin embargo, el porcentaje de ejemplares de *P. spumarius* infectados es muy superior al de *N. campestris*, lo que hace pensar que sea el primero el responsable de la dispersión de *X. fastidiosa* en la zona (Beitia y col., 2019).

Las condiciones ambientales, así como la distribución y densidad de las plantas hospedantes, influyen enormemente en la incidencia y severidad de las enfermedades causadas por *X. fastidiosa* y en la abundancia de los insectos vectores (Navas-Cortés y col., 2017). En la medida que seamos capaces de modelizar estos procesos y sus interacciones con el entorno, podremos conocer mejor la dinámica de la enfermedad y su evolución. Los modelos epidemiológicos permiten abordar aspectos tan importantes como la expansión de la enfermedad, optimizar los programas de vigilancia y las medidas de control. Mediante la inferencia bayesiana es posible además cuantificar la incertidumbre asociada a las predicciones de los modelos, un aspecto esencial para los gestores de riesgos fitosanitarios durante el proceso de toma de decisiones.

Se han realizado varios estudios de modelización epidemiológica de las enfermedades de *X. fastidiosa* en Europa. Por una parte, se han ajustado modelos de distribución de especies que han permitido obtener mapas de idoneidad climática para *X. fastidiosa* a nivel europeo (EFSA, 2019). Estos

mapas de favorabilidad se han combinado con modelos de dispersión de *X. fastidiosa* subsp. *pauca* para evaluar su impacto económico potencial en olivo en Europa (Schneider y col., 2020). A nivel más regional, se han utilizado modelos de procesos para predecir la dispersión y evaluar las medidas de control de *X. fastidiosa* subsp. *pauca* en Italia (White y col., 2017). El modelo SIR (Susceptibles-Infectados-Eliminados) se ha aplicado para trazar el origen de la introducción de *X. fastidiosa* en Córcega (Soubeyrand y col., 2018). Se ha utilizado también el análisis de redes para evaluar las estrategias de gestión de *X. fastidiosa* y el efecto de dispersión a larga distancia en Italia y Andalucía (Strona y col., 2017, 2020). Aunque los aspectos conceptuales de estos modelos son extrapolables a otros escenarios, en general sus parametrizaciones no son directamente aplicables a la situación concreta de Alicante, ya que se han desarrollado bajo diferentes condiciones agroclimáticas y para otras subespecies de *X. fastidiosa*. Por lo tanto, es necesario desarrollar y evaluar modelos epidemiológicos específicos para Alicante, de manera que puedan ayudar en la gestión de la enfermedad en esa zona.

Presencia de *Xylella fastidiosa* en función de los factores climáticos y la proximidad espacial

Para este estudio se utilizaron datos georreferenciados en cuadrículas de 100 ha de resolución, obtenidos en

dosier

| *Xylella fastidiosa* |

las primeras prospecciones oficiales realizadas en Alicante, tras la primera detección de *X. fastidiosa* en 2017 (Figura 2). En total se muestrearon más de ochenta especies vegetales, aunque solo se detectaron positivos en almendro. Sobre la base de estos datos se calculó la prevalencia de *X. fastidiosa* (proporción de muestras positivas) en cada una de las cuadrículas muestreadas. Los datos climáticos se obtuvieron también a una resolución de 100 ha de la base de datos WorldClim v.2 (Fick y Hijmans, 2017), con promedios mensuales (1970-2000) para 19 variables de temperatura y precipitación. Se calcularon también las categorías de riesgo de Purcell, basadas en la temperatura mínima invernal (Anas y col., 2008).

En la Figura 3 se muestran a modo de ejemplo dos de las variables climáticas más representativas. En estos gráficos se aprecia que la temperatura y la precipitación en la zona de estudio presentaron muy poca variabilidad, sin diferencias sustanciales entre las zonas con presencia o ausencia de *X. fastidiosa*, entendiendo como presencia la detección de al menos un positivo para *X. fastidiosa* en la cuadrícula muestreada. La temperatura media anual osciló entre 12,62°C y 17,35°C en las zonas con presencia de *X. fastidiosa*, y entre 11,18°C y 17,62°C en las zonas con ausencia. De la misma forma, la precipitación del mes más lluvioso fue de 120,4-151,5 mm en las zonas donde se detectó la presencia de la bacteria respecto a 120,5-168,5 mm en las zonas donde no se detectó.

Aunque la extensión de la zona de estudio era relativamente limitada, se encontraron representadas las cuatro categorías de riesgo de Purcell. Éste es un hecho bastante singular, ya que es poco habitual que coincidan más de una o dos categorías en la misma zona. Las diferencias de cota (~1230 m) y su proximidad al mar parecen ser determinantes en esta particular configuración de la zona de estudio. No obstante, como se observa en la Figura 4, las cuatro categorías de riesgo definidas por Purcell presentaron una prevalencia de *X. fastidiosa* similar. Este resultado era en cierta forma esperable, ya que estas categorías de riesgo se definieron en EE UU para la enfermedad de Pierce de la vid, cau-

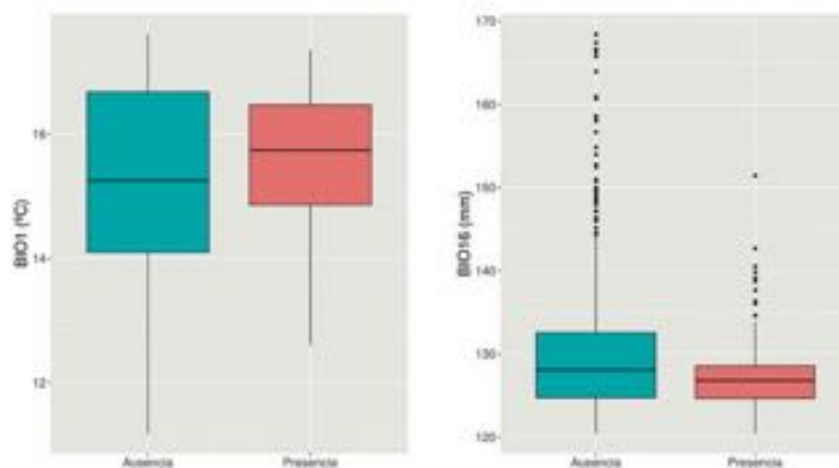


Figura 3. Representación gráfica de la temperatura media anual (BIO1) y la precipitación del mes más lluvioso (BIO16) para las cuadrículas negativas (ausencia) y positivas (presencia) para *Xylella fastidiosa* en la zona demarcada de Alicante. Los gráficos indican máximo, mínimo, mediana y rango intercuartílico.

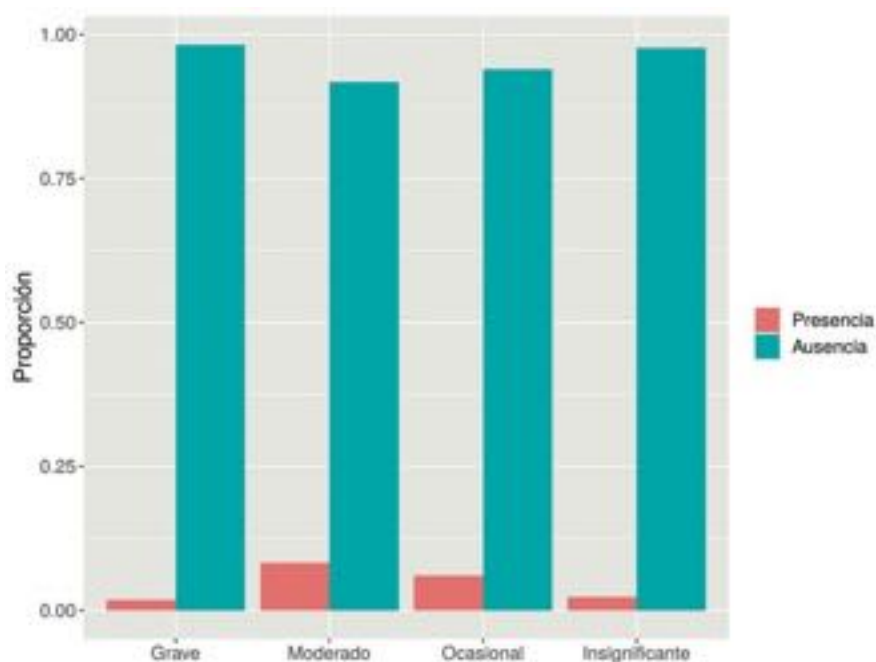


Figura 4. Proporción de cuadrículas positivas (presencia) y negativas (ausencia) para *Xylella fastidiosa* en la zona demarcada de Alicante para las cuatro categorías de Purcell basadas en la temperatura mínima invernal (Anas y col., 2008).

sada por *X. fastidiosa* subsp. *fastidiosa*. La actividad de esta subespecie en las plantas de vid se ve afectada negativamente por las bajas temperaturas (Lieth y col., 2011). Sin embargo, *X. fastidiosa* subsp. *multiplex* parece adaptarse mejor a diferentes climas y está presente incluso en regiones septentrionales con inviernos fríos (Goodwin y Zhang, 1997). Por otra parte, las categorías de riesgo de Purcell están asociadas principalmente a la gravedad de los daños de la enfermedad (severidad) y no tanto a la prevalencia de *X. fastidiosa*, que es la

variable analizada en nuestro estudio. Tras un proceso previo de selección de variables, se ajustaron varios modelos jerárquicos bayesianos empleando el método INLA (Rue y col., 2009). En estos modelos se analizaron diferentes variables explicativas de tipo climático basadas en temperatura y precipitación, incluyendo también la clasificación de Purcell. Se consideró también un efecto de proximidad espacial a las cuadrículas muestreadas para *X. fastidiosa*. Este análisis estadístico indicó que las variables climáticas eran poco informativas a la hora

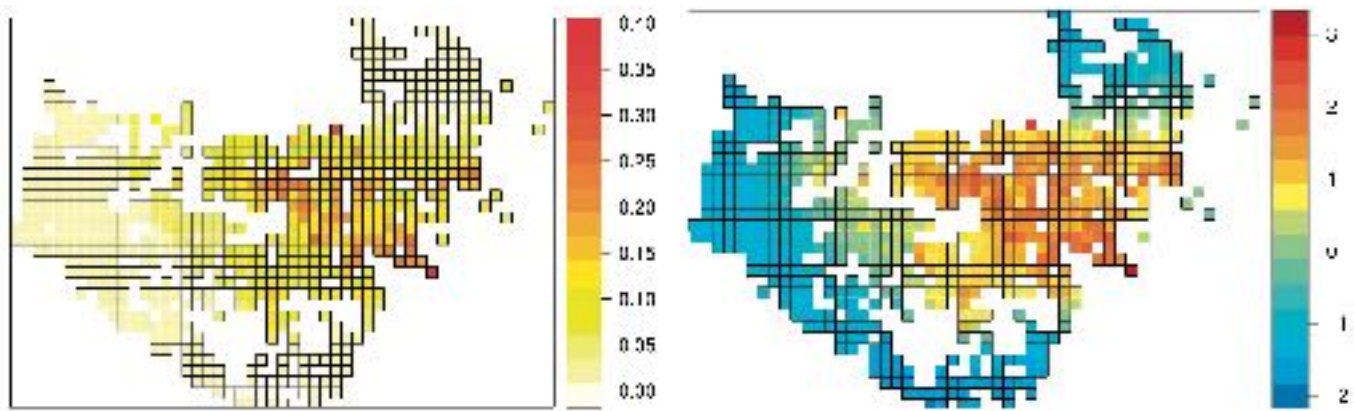


Figura 5. Modelo de la distribución geográfica de *Xylella fastidiosa* en la zona demarcada de Alicante. Probabilidad de presencia de *X. fastidiosa*, media de la distribución posterior predictiva (izquierda). Magnitud del efecto espacial, media de la distribución posterior del efecto espacial (derecha).

de predecir la presencia o ausencia de *X. fastidiosa* en la zona demarcada de Alicante (Cendoya y col., 2020). Este resultado vendría determinado por la poca variabilidad que presentan las variables climáticas en la zona de estudio, que por otra parte no parecen ser determinantes en la presencia de *X. fastidiosa* (Figuras 3 y 4).

Lógicamente, a partir de este resultado obtenido en la zona demarcada de Alicante no podemos inferir de forma general que el clima no sea un factor determinante en la distribución geográfica de *X. fastidiosa*. Modelos desarrollados a mayor escala, abarcando áreas geográficas más grandes, y por lo tanto integrando una mayor variabilidad climática, indican que la presencia de *X. fastidiosa* estaría relacionada con determinadas variables climáticas (EFSA, 2019). Sin embargo, lo que sí nos dice el modelo es que las variables climáticas serían de poca o ninguna ayuda a la hora de predecir dónde está o no presente *X. fastidiosa* en nuestra zona de estudio. Como veremos más adelante, esto tiene implicaciones importantes desde el punto de vista de las estrategias de vigilancia epidemiológica y gestión de la enfermedad.

El modelo obtenido para la zona demarcada de Alicante vino determinado casi exclusivamente por el efecto de proximidad espacial de las cuadrículas muestreadas para *X. fastidiosa* (Cendoya y col., 2020). En la Figura 5 se observa que el efecto espacial tiene valores positivos en las zonas donde se ha detectado *X. fastidiosa* y negativos en las zonas de ausencia. De esta forma, las zonas cercanas a una cuadrícula afectada tendrán mayor pro-

abilidad de presencia de *X. fastidiosa* debido a este efecto de proximidad espacial, mientras que la probabilidad de presencia disminuye en aquellas cuadrículas rodeadas por otras en las que no se ha detectado la presencia de *X. fastidiosa* (Figura 5). Este efecto espacial vendría determinado por los mecanismos de diseminación propios de *X. fastidiosa*, principalmente a través de los insectos vectores, pero también por el movimiento de material propagativo infectado. Como veremos más adelante, para diseñar estrategias de vigilancia fitosanitaria eficientes es fundamental tener en cuenta este efecto de proximidad. Por otra parte, pone de manifiesto la importancia de aplicar medidas de gestión efectivas para evitar la expansión de la enfermedad a partir de la zona infestada. Estas medidas se basan fundamentalmente en la reducción del inóculo, mediante la eliminación de las plantas infectadas, y el control de las poblaciones del vector.

Optimización de la vigilancia epidemiológica

Las estrategias de vigilancia epidemiológica de enfermedades vegetales tienen dos componentes: i) la inspección, observación visual de las plantas (i.e., unidades de inspección) en un área determinada y ii) el muestreo, recogida de material vegetal en una muestra representativa de las unidades de inspección para su análisis en laboratorio. Actualmente, las estrategias de vigilancia epidemiológica para *X. fastidiosa* en la UE están reguladas por la Decisión de Ejecución (UE) 2015/789 de la Comisión. Tras la primera detección de la bacteria en

una zona, esta Decisión de Ejecución establece el procedimiento para demarcar la zona afectada y acotar así el área de aplicación de las medidas de erradicación o contención, según el caso. Esta zona demarcada se compone de una zona infestada (definida como 'zona infectada' en la Decisión de Ejecución) y una zona tampón. La zona infestada se delimita con un radio de 100 m alrededor del foco de infección. Posteriormente, la zona tampón se extiende considerando un radio de 5 km alrededor de la zona infestada.

La zona tampón queda sometida a vigilancia epidemiológica para *X. fastidiosa* bajo dos intensidades de inspección diferentes. En el primer kilómetro de la zona tampón (i.e., considerando un radio de 1 km alrededor de la zona infestada) se inspeccionan cuadrículas de 1 ha, mientras que en el resto de la zona tampón se inspeccionan cuadrículas de 100 ha. La intensidad de muestreo es común en ambas zonas y se limita a aquellos vegetales que presenten síntomas, así como los vegetales asintomáticos situados en su proximidad.

La actual estrategia de vigilancia epidemiológica en la zona demarcada para *X. fastidiosa* implica una alta intensidad de inspección en las proximidades de la zona infestada, mientras que es mucho menor en el resto de la zona tampón, ya que el número de áreas a inspeccionar se reduce como consecuencia de la menor resolución espacial de la cuadrícula. En relación a la intensidad de muestreo, la selección de muestras se basa exclusivamente en la observación de síntomas. Ciertamente, la presencia de síntomas

de *X. fastidiosa* es un criterio a tener en cuenta a la hora de priorizar el muestreo, ya que por lo general mejora la sensibilidad de los análisis de laboratorio. No obstante, como se ha indicado anteriormente, *X. fastidiosa* se caracteriza por su largo período de incubación y poca especificidad de los síntomas. En estas condiciones, la toma de muestras basada exclusivamente en un criterio de inspección visual no parece ser un método de vigilancia epidemiológica completamente fiable.

Actualmente existen estrategias que hacen uso de los métodos de optimización y permiten mejorar la eficiencia de los programas de vigilancia epidemiológica. Con estas estrategias es posible conseguir la misma eficacia, pero con un menor uso de recursos. La mejora de la eficiencia es un aspecto fundamental para la sostenibilidad de los programas de vigilancia epidemiológica. Las tareas de inspección y muestreo, el traslado de las muestras y su posterior análisis en el laboratorio suponen un elevado coste económico, que no siempre es posible atender con las disposiciones presupuestarias. Como hemos visto en la sección anterior, *X. fastidiosa* presenta una distribución espacial agregada; en este sentido, los métodos de inspección adaptativos podrían ser más adecuados para su vigilancia y ayudarían a acotar de forma más precisa las unidades de inspección a observar y a muestrear (Brown y col., 2013).

Como alternativa a la actual estrategia de vigilancia epidemiológica establecida por la Decisión de Ejecución, se evaluó una estrategia secuencial adaptativa para la zona demarcada de Alicante (Lázaro y col., 2020). En este tipo de estrategias se va aumentando progresivamente la resolución espacial a partir de los resultados previos. En nuestro caso concreto, la estrategia propone inicialmente dividir toda la zona tampón en cuadrículas de 100 ha y efectuar una primera inspección y muestreo en esta resolución espacial. Únicamente en aquellas cuadrículas donde se detecta al menos un positivo de *X. fastidiosa* se continúa con una inspección y muestreo en cuadrículas de 25 ha. De la misma forma, aquellas cuadrículas de 25 ha donde se detecta al menos un positivo se inspeccionan y muestrean de nuevo

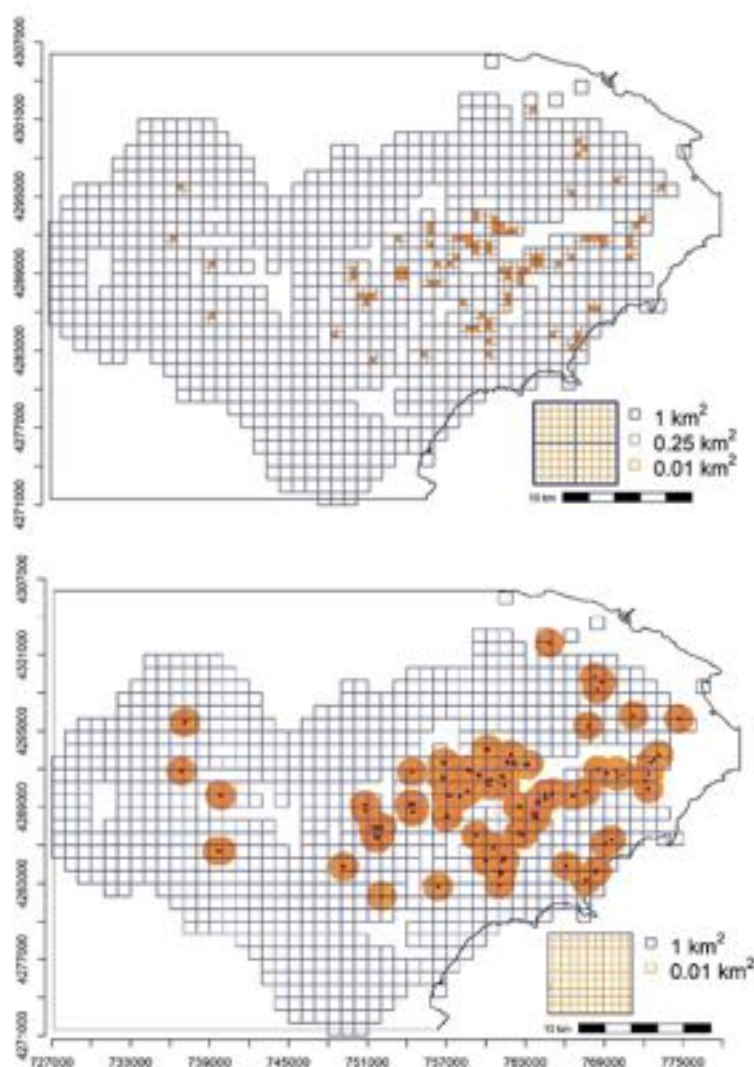


Figura 6. Representación geográfica de la intensidad de inspección en la estrategia secuencial adaptativa (arriba) y según la estrategia de vigilancia actual (Decisión 2015/789/EU) (abajo) en la zona demarcada de Alicante.

Estrategia	Cuadrícula	Intensidad inspección	Intensidad muestreo ¹	Muestras totales
Secuencial adaptativa	100 ha	833	51	42.483
	25 ha	284	45	12.780
	1 ha	2.225	14	31.150
				86.413
Decisión 2015/789/EU	100 ha	656	51	33.456
	1 ha	17.700	15	265.500
				298.956

¹ A efectos ilustrativos, en la estrategia actual se considera el muestreo de las cuadrículas de 1 y 100 ha.

Tabla 1. Intensidad de inspección, intensidad de muestreo y muestras totales en la estrategia secuencial adaptativa y en la estrategia de vigilancia actual (Decisión 2015/789/EU) en la zona demarcada de Alicante.

a una resolución de 1 ha. La intensidad de muestreo en cada una de estas resoluciones espaciales se calcula mediante un algoritmo de simulación, que optimiza el tamaño muestral asegurando que se detecten todas las cuadrículas con al menos una muestra positiva para *X. fastidiosa*.

En la Tabla 1 y la Figura 6 se indica el número de cuadrículas a inspeccionar (intensidad de inspección), el tamaño muestral por cuadrícula (intensidad de muestreo) y el número de muestras totales a recoger para nuestra propuesta secuencial adaptativa y la estrategia de vigilancia actual. Los va-



PUP STOP

+

TROMIN OIL



INSUMOS PARA
AGRICULTURA ECOLÓGICA



TUS ALIADOS PARA **PREVENIR** LA TUTA



BIAGRO
www.biagro.es

lores que se estiman se han obtenido considerando los datos parciales de la campaña de vigilancia realizada en la zona demarcada de Alicante durante 2018 en aplicación de la Decisión de Ejecución 2015/789. Estos datos informan de una zona demarcada con 71 zonas infectadas, que cubre una extensión de 83.300 ha que se divide en 17.700 cuadrículas de 1 ha y 656 cuadrículas de 100 ha (Figura 6). A efectos ilustrativos, en la estrategia actual se considera el muestreo de las cuadrículas de 1 y 100 ha.

Como puede observarse, la estrategia secuencial adaptativa supone una reducción sustancial tanto de

los esfuerzos de inspección como de los esfuerzos de muestreo. Para validar esta nueva estrategia, se ajustó el modelo jerárquico bayesiano descrito en la sección anterior, empleando primero los datos de la inspección oficial de 2018 y, luego, degradando esta base de datos a través de un proceso aleatorio de selección de muestras en el que se limita la intensidad de inspección (i.e., número de muestras/cuadrícula). Los resultados obtenidos indicaron que con el tamaño muestral óptimo calculado por el algoritmo, el modelo resultante no sufría una degradación sustancial respecto al obtenido con la base de datos completa.

La estrategia secuencial adaptativa propuesta permitiría, por lo tanto, ejecutar el programa de vigilancia epidemiológica en la zona de Alicante con la misma eficacia, detectando todas las cuadrículas positivas para *X. fastidiosa*, pero reduciendo considerablemente los costes de inspección, muestreo y análisis.

Agradecimientos

Financiación E-RTA 2017-00004-C06-01 FEDER INIA-AEI MICINN y por la Organización Interprofesional del Aceite de Oliva Español; XF-ACTORS H2020 GA No. 727987; TEC2016-81900-REDT y MTM2016-77501-P MINECO; Becas IMA-FSE.

Bibliografía

- ! Anas O, Harrison UJ, Brannen (2008) The effect of warming winter temperatures on the severity of Pierce's disease in the Appalachian Mountains and Piedmont of the southeastern United States. *Plant Health Progress* 9: 13
- Beitia F, Marco-Noales E, Tormos J, Dalmau V, Ferrer A, Cubillo D, Roselló M, Llopis J M, Rallo E, Pacheco B, García-Marí F, Soto A, Calabuig A, Navarro-Campos C (2019) Relationship between vectors of *Xylella fastidiosa* and the almond leaf scorch disease in the Demarcated Area in the province of Alicante (Spain). 2nd European Conference on *Xylella fastidiosa* (2019), 29-30 Octubre de 2019, Ajaccio (Córcega, Francia)
- Brown JA, Salehi M, Moradi M, Panahbehagh B, Smith DR (2013) Adaptive survey designs for sampling rare and clustered populations. *Mathematics and Computers in Simulation* 93: 108-116
- Cendoya M, Martínez-Minaya J, Dalmau V, Ferrer A, Saponari M, Conesa D, López-Quílez A, Vicent A (2020) Spatial Bayesian modeling applied to the surveys of *Xylella fastidiosa* in Alicante (Spain) and Apulia (Italy). *Frontiers in Plant Science* 11: 1204
- EFSA Panel on Plant Health (PLH) Bragard C, Dehnen-Schmutz K, Di Serio F, Gonthier P, Jacques MA, y col. (2019) Update of the Scientific Opinion on the risks to plant health posed by *Xylella fastidiosa* in the EU territory. *EFSA Journal* 5665
- Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37: 4302-4315
- Goodwin P, Zhang S (1997) Distribution of *Xylella fastidiosa* in southern Ontario as determined by the polymerase chain reaction. *Canadian Journal of Plant Pathology* 19: 13-18
- Landa BB, Castillo AI, Giampetruzzi A, Kahn A, Román-Écija M, Velasco-Amo MP, Navas-Cortés JA, Marco-Noales E, Barbé S, Moralejo E, Coletta-Filho HD, Saldarelli P, Saponari M, Almeida RPP (2020) Emergence of a plant pathogen in Europe associated with multiple intercontinental introductions. *Applied and Environmental Microbiology* 86: e01521-19
- Lázaro E, Sesé M, López-Quílez A, Conesa D, Dalmau V, Ferrer-Matoses A, Vicent A (2020) Tracking the outbreak. An optimized delimiting survey strategy for *Xylella fastidiosa*. *bioRxiv* doi.org/10.1101/2020.03.05.978668
- Lieth JH, Meyer MM, Yeo KH, Kirkpatrick BC (2011) Modeling cold curing of Pierce's disease in *Vitis vinifera* 'Pinot Noir' and 'Cabernet Sauvignon' grapevines in California. *Phytopathology* 101: 1492-1500
- Navarro-Campos C, Calabuig A, Beitia F, García-Marí F, Dalmau V, Cubillos D, Ferrer A, Roselló M, Marco-Noales E, Llopis J M, Rallo E, Pacheco B, Soto A (2019) Vectores potenciales de *Xylella fastidiosa* Wells *et al.* (1987) en el brote de Alicante: distribución, comportamiento e implicación en la transmisión de la enfermedad. Congreso Nacional de Entomología Aplicada (XVII Jornadas Científicas de la SEEA), 4-8 noviembre 2019, Madrid
- Navas-Cortés JA, Montes-Borrego M, Landa BB (2017) Epidemiología. En Landa BB, Marco-Noales E, López MM (eds) Enfermedades causadas por la bacteria *Xylella fastidiosa*. Cajamar Cajarrural ediciones, 320 pp
- Rue H, Martino S, Chopin N (2009) Approximate Bayesian inference for latent Gaussian models by using integrated nested Laplace approximations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 71: 319-392
- Schneider K, Van der Werf W, Cendoya M, Mourits M, Navas-Cortés JA, Vicent A, Lansink AO (2020) Impact of *Xylella fastidiosa* subspecies *pauca* in European olives. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117: 9250-9259
- Soubeyrand S, de Jerphanion P, Martin O, Saussac M, Manceau C, Hendriks P, Lannou C (2018) Inferring pathogen dynamics from temporal count data: the emergence of *Xylella fastidiosa* in France is probably not recent. *New Phytologist* 219: 824-836
- Strona G, Carstens CJ, Beck PS (2017) Network analysis reveals why *Xylella fastidiosa* will persist in Europe. *Scientific Reports* 7: 71
- Strona G, Castellano C, Fattorini S, Ponti L, Gutierrez AP, Beck PS (2020) Small world in the real world: long distance dispersal governs epidemic dynamics in agricultural landscapes. *Epidemics* 100384
- White SM, Bullock JM, Hooftman DA, Chapman DS (2017) Modelling the spread and control of *Xylella fastidiosa* in the early stages of invasion in Apulia, Italy. *Biological Invasions* 19: 1825-1837