

TITULO DEL PROYECTO: ADAPTACIÓN DE UN MODELO PREDICTIVO PARA EL CONTROL Y MANEJO DE LA POLILLA DEL RACIMO (*Lobesia botrana*) EN LA D.O. LA MANCHA, BASADO EN LA CORRELACIÓN ENTRE FACTORES CLIMÁTICOS Y EL DESARROLLO DE LAS DISTINTAS GENERACIONES.

Organismo Financiador: Consejería de Agricultura, Agua y Desarrollo Rural de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y Fondo Europeo de Desarrollo Rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), conforme a la Orden 49/2018 de 22 de marzo, de la Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural, por la que se establecen las bases reguladoras de las ayudas a proyectos piloto innovadores en el ámbito de la sanidad animal y vegetal promovidos a través de la cooperación entre agentes, en el marco del Programa de Desarrollo Rural de Castilla-La Mancha para el período 2014-2020.

Entidades participantes: Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal (IRIAF), Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Consejo Regulador de la Denominación de origen “La Mancha” y Vinícola de Tomelloso S.C.L.

Investigador/Coordinador: Mercedes Vicente Muñoz (IRIAF) y Jaime Villena Ferrer (UCLM).

Duración: desde julio 2019 hasta octubre de 2022

Nº de Proyecto: SV-2019-01

Beneficiario: IRIAF

Financiación: Total 117.096,98 €

PERSONAL COORDINADOR DEL PROYECTO PILOTO DE INNOVACIÓN:

EQUIPO PARTICIPANTE	SITUACIÓN ADMINIST. (*)	DEDICACIÓN (UNICA O COMPARTIDA)	CENTRO
COORDINADORA: Mercedes Vicente Muñoz	Funcionaria	Compartida	IRIAF-CIAG
COORDINADOR Jaime Villena Ferrer	Profesor asociado y personal investigador	Compartida	ETSIA-UCLM

OBJETIVOS

El principal objetivo de este proyecto es adaptar un nuevo modelo predictivo de desarrollo de las distintas fases o eventos de *L. botrana* ajustado a las condiciones climáticas del área de estudio. Ésta se centrará en viñedos pertenecientes a los municipios incluidos en la superficie acogida a la Denominación de Origen “La Mancha”, de tal forma que sirva como herramienta para predecir la aparición de polilla del racimo en sus distintas generaciones y poder racionalizar el uso de los distintos tratamientos o estrategias para su control.

Con este objetivo general, se desarrollarán otros aspectos relevantes para el manejo adecuado de esta plaga:

- Análisis de la influencia de los factores climáticos en los niveles de población de polilla del racimo en las parcelas seleccionadas.
- Estudio comparativo de modelos predictivos existentes para determinar el comportamiento que estos presentan en el área de estudio y obtener conocimientos que ayuden a implementar nuestro modelo predictivo.
- Establecer los umbrales de mínimo y máximo desarrollo diario de *L. botrana*.
- Incrementar los conocimientos del comportamiento de *L. botrana* en las condiciones de cultivo de Castilla-La Mancha.

La finalidad última de nuestro trabajo es la aplicación práctica de los resultados obtenidos, facilitando el seguimiento de la plaga y estableciendo una herramienta sencilla, adaptada a las condiciones de nuestra zona de estudio, que ayude al sector a mejorar la gestión integrada de esta plaga.

RESULTADOS MÁS DESTACABLES DEL PROYECTO.

Seguimiento de las curvas de vuelo de *Lobesia botrana* (Denis y Shiffermüller).

Para llevar a cabo el objetivo de este proyecto piloto primero se trabajó en la localización de viñedos en los que estuviera presente la plaga, en base a la posibilidad de obtención de datos de las distintas generaciones de polilla del racimo. Dentro del área de estudio se contactó con vitivinicultores que estuvieran interesados y permitieran realizar el seguimiento de la plaga en sus parcelas.

Para el desarrollo del seguimiento del vuelo de polilla del racimo se instalaron Estaciones de Control (EC) que consistieron en trampas tipo Delta, con fondo engomado, y cebadas con feromonas sexual en formato septum (dos por parcela, separadas al menos 50 m, y situadas desde el nivel de los racimos hasta el techo de vegetación), las cuales se han revisado con periodicidad mínima de 7 días. Esta metodología es necesaria para el control y estudio de datos de captura desde los primeros individuos emergentes de las crisálidas de invierno hasta los últimos datos de captura de adultos en los viñedos.

Inicialmente se trabajó con 29 parcelas vitivinícolas, de las cuales se seleccionaron 24 en base a la variedad, ubicación, datos de captura y distribución respecto a las estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio de los datos meteorológicos. En los años posteriores 2020, 2021 y 2022 se aumentaron y consolidaron para el seguimiento un total de 43 parcelas por año.

Los datos obtenidos a lo largo de las anualidades del proyecto han posibilitado la constatación de tres generaciones de polilla en nuestra área de estudio y han mostrado una buena correlación entre la integral térmica y la curva de vuelo de adultos macho de *L. botrana*. A su vez, los resultados obtenidos se han utilizado para la verificación de modelos predictivos existentes evidenciando que estos no se ajustan a los diferentes eventos del ciclo biológico de la polilla en las parcelas vitivinícolas estudiadas.

Los resultados obtenidos en el número de capturas de adultos nos muestran una gran fluctuación en los niveles de población debido a las diferencias meteorológicas de una campaña a otra. Estas variaciones han mostrado una estrecha relación con la temperatura, que ha condicionado tanto el vuelo de adulto macho de *L. botrana* como la intensidad de este. Además de este factor climatológico, la humedad relativa ha marcado la incidencia y desarrollo de la plaga en el cultivo.

Realización del ajuste del modelo predictivo desarrollado.

Tomando de partida la modelización realizada por Touzeau (Touzeau, 1981), uno de los primeros modelos desarrollados y de los más utilizados como base para el desarrollo de modelos predictivos, se observa con los datos obtenidos de seguimiento que en la mayoría de los casos hay una necesidad de acumulación de menos grados-día con respecto al primer vuelo de polilla del racimo conforme al modelo de Touzeau, en contraposición a un excedente en el segundo y tercer vuelo de adultos. Este modelo considera que el aporte diario (grados-día) es equivalente al exceso de temperatura media diaria por encima de los 10°C y no establece un límite superior de desarrollo para las altas temperaturas. El modelo se puede expresar como $f(t)=\max [t-10,0]$ y presenta un crecimiento lineal en función de la temperatura.

Este análisis de datos da como resultado un desfase temporal en las fechas en que se producen los diferentes eventos del ciclo biológico de la polilla y las constatadas en campo. Por tanto, esto corrobora que los modelos predictivos deben ser elaborados para una zona determinada en función de las condiciones climatológicas propias, y a partir de diferentes rangos de temperatura para el cómputo de la acumulación de integrales térmicas, no siendo extrapolables a otras zonas.

Para el ajuste del modelo logístico se han utilizado los datos obtenidos de las 43 EC sitas en parcelas vitivinícolas distribuidas en los municipios de Alcázar de San Juan, Arenas de San Juan, Argamasilla de Alba, Campo de Criptana, Daimiel, Herencia, Manzanares, Socuéllamos, Tomelloso, Villarta de San Juan y Villarrubia de los Ojos, así como los datos de las distintas estaciones meteorológicas.

Con los resultados obtenidos del seguimiento de vuelo de *L. botrana* 2019, 2020 y 2021 y los datos de temperatura media y humedad relativa media diaria se han ajustado los parámetros de los modelos y los umbrales de acumulación de desarrollo diario, dejando los datos correspondientes al año 2022 para validar los modelos calculados y ver así su comportamiento.

Los resultados analizados nos indican que para el desarrollo de nuestro modelo predictivo es necesario la incorporación por pasos de los distintos parámetros para ir realizando los ajustes necesarios. En este procesamiento de datos es necesario para establecer criterios los más ajustados posibles por lo que se necesitan datos de diferentes anualidades en campo para discriminar las distintas variables que puedan condicionar el modelo predictivo.

El modelo propuesto por los autores de este trabajo es un modelo logístico, ampliamente utilizado en todas las áreas de las matemáticas y que presenta un crecimiento en forma de S con una temperatura máxima a partir de la cual no se produce un mayor desarrollo de polilla, de forma que se pueda evitar el error por las temperaturas elevadas que se dan en nuestra región durante la época estival ya que el hecho de temperaturas medias más altas no implican un mayor desarrollo de la polilla. Este modelo, adaptado por Amo-Sala, además recoge la inclusión de la humedad relativa media diaria (h) a la hora de modelizar el desarrollo de la polilla. Este modelo se puede expresar como $f(t, h) = (e^{a+b.t+c.h}) / (1 + e^{a+b.t+c.h})$, donde a , b y c son los parámetros que han sido ajustados con los datos recogidos del seguimiento y las estaciones meteorológicas para encontrar el modelo adecuado en nuestra región.

Como uno de los resultados más significativos, esta herramienta matemática y estadística ha permitido establecer con anticipación uno de los eventos relevantes en el ciclo biológico de la polilla del racimo como es el máximo de vuelo de adultos macho ($\theta_1 = 102$, $\theta_2 = 734.4$, $\theta_3 = 1454.6$), así como evaluar otros como el inicio de cada generación, la cual ha tomado

especial relevancia debido a los productos fitosanitarios utilizados actualmente para el control de la polilla dentro de la gestión integrada de plagas.

Con este modelo logístico se han considerado dos opciones, ajustando únicamente con la temperatura media y ajustando con las medias de temperatura y la humedad relativa. Para la primera opción, el modelo requiere el ajuste de dos parámetros, junto con los umbrales. Así los valores obtenidos son: $a=-5.29$, $b=0.36$, $\theta_1=18.6$, $\theta_2=68.3$, $\theta_3=113.2$. Mientras que para el modelo que incluye la temperatura media y la humedad relativa media se han de ajustar tres parámetros. El ajuste obtenido ha sido: $a=-3.64$, $b=0.18$, $c=0.0099$, $\theta_1=26.4$, $\theta_2=67.1$, $\theta_3=105.3$

Una de las cuestiones a destacar de estos modelos es que en el caso en el que se incluye la humedad relativa media, el parámetro asociado a este factor, c , tiene un valor muy pequeño en comparación con el parámetro asociado a la temperatura media, b . Esto indica que la importancia de la temperatura media en el desarrollo diario de la polilla es mucho mayor que el que tiene la humedad relativa media.

En la fase de ajuste de datos, este modelo tiene un error medio de predicción de 6,54 días por parcela y generación, lo que significa que en media hay 6,54 días entre la fecha que predice el modelo como día del pico de máximo vuelo y la fecha real. Es importante señalar, que el modelo original de Touzeau (con los valores de los umbrales de 150, 500 y 900 grados-día) para este conjunto de datos tiene un error medio de 21,93 días por parcela y generación.

los modelos ajustados han sido validados con los datos de 2022, calculándose el error medio cometido a la hora de predecir cada uno de los picos de máximo vuelo durante este año en las parcelas estudiadas. El error medio obtenido con el modelo de Touzeau original ha sido de 19,89 días por parcela y generación mientras que con el modelo de Touzeau ajustado ha sido de 9,31 días por parcela y generación. Para los modelos ajustados a partir del modelo logístico, se tiene que para el modelo que solo contempla la temperatura media el error medio ha sido de 8,66 días por parcela y generación mientras que, para el modelo más completo, que incluye la humedad relativa media se tiene un error medio de 9,72 días por parcela y generación. Se observa por tanto un mayor error que el obtenido en la fase de ajuste de los datos. Esto es debido a que, por un lado, se está midiendo el error para datos no considerados en el ajuste y por tanto es habitual que el error sea algo mayor. Pero, por otro lado, los datos recogidos por las estaciones meteorológicas durante 2022 han sido considerablemente distintos a los recogidos en los años utilizados para el ajuste del modelo, por lo que se ha reducido la capacidad predictiva de los modelos propuestos.

Se hace por tanto necesario continuar y aumentar los seguimientos del modelo propuesto en nuestra región, con la valoración de mayor número de datos, así como su posible adaptación a los cambios climatológicos para la mejora de las predicciones. Teniendo en cuenta que el error mínimo que se ha podido alcanzar son 4,34 días/parcela, se puede considerar que el ajuste del modelo es bueno y podría permitir la predicción apropiada de los días, por ejemplo, de máximo de vuelo, consiguiendo así una herramienta útil para efectuar un programa de tratamientos eficaz.

Concluyendo, es necesaria la continuidad de este proyecto ya que se han abierto líneas importantes a partir de este estudio y del modelo planteado que podrían suponer una mejora en los ajustes predictivos en los distintos eventos de la polilla del racimo adaptados a nuestra climatología y generar una aplicación para dispositivos electrónicos, que tras su instalación pudiera dar a técnicos y vitivinicultores de la zona información precisa de cuando es el momento óptimo para poder realizar los tratamientos fitosanitarios de la manera eficaz.

FORMACIÓN DE PERSONAL EN RELACIÓN AL PROYECTO.

Dirección Trabajos de Máster

Título: Seguimiento de la curva de vuelo de polilla del racimo (*L. botrana*) y aplicación de modelos predictivos.

Nombre del estudiante: Antonio Ruiz-Orejón Sánchez-Pastor.

Directores: Mercedes Vicente Muñoz, Javier Cabrera de la Colina y Marta María Moreno Valencia.

Universidad y facultad o escuela: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Castilla-La Mancha. Máster Universitario en Ingeniería Agronómica.

Fechas de lectura: septiembre 2020.

INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA PROPORCIONADA POR EL PROYECTO.

Artículos científicos y divulgativos, patentes, capítulos de libros, trabajos presentados a congresos, otros trabajos de difusión

Comunicaciones a congresos nacionales

TÍTULO: Adaptación de un modelo predictivo para el control y manejo de *L. botrana* (Denis y Shiffermüller) (lepidóptera: tortricidae), en la Denominación de Origen “La Mancha”.

Autores: Vicente, M.; Villena, J.; Pozuelo-Campos, S.; Amo-Salas, M.; Moreno, C.; Morales Rodríguez, P.A.; Atance, C.

Tipo de participación: Póster.

Congreso: XII Congreso Nacional de Entomología Aplicada.

Lugar de celebración: Málaga. Fecha: 3-7 octubre de 2022.

Actividades divulgativas

TÍTULO: Adaptación de un modelo predictivo para el control y manejo de *L. botrana* (Denis y Shiffermüller) (lepidóptera: tortricidae), en la Denominación de Origen “La Mancha”.

Autores: Mercedes Vicente Muñoz.

Tipo de participación: Ponencia.

Destinatarios: Agricultores y socios de la Cooperativa Vinícola de Tomelloso relacionados con el cultivo de la vid.

Lugar de celebración: Bodega Vinícola de Tomelloso. Fecha 31 de julio de 2019.

TÍTULO: Adaptación de un modelo predictivo para el control y manejo de *L. botrana* (Denis y Shiffermüller) (lepidóptera: tortricidae), en la Denominación de Origen “La Mancha”.

Autores: Jaime Villena Ferrer

Tipo de participación: Ponencia.

Destinatarios: Técnicos, profesorado y alumnos de ETSIA-UCLM

Lugar de celebración: ETSIA em Ciudad Real. Fecha 29 de septiembre de 2022.