

OPTIFRUTAL

Grupo Operativo de la Asociación Europea de Innovación (AEI)



Unión Europea

FONDO EUROPEO DE
DESARROLLO REGIONAL
Una manera de hacer Europa



Junta de Andalucía
Consejería de Agricultura, Ganadería,
Pesca y Desarrollo Sostenible



Europa
invierte en las zonas rurales

Grupo Operativo Optifrutal

Memoria Final del proyecto

Índice

FASE DOCUMENTAL

1. Preámbulo
2. El sector citrícola andaluz y su estado de arte tecnológico
3. Sobre las empresas y organismos que componen el Grupo Operativo OPTIFRUTAL
4. Objetivos del Grupo Operativo
5. Principales elementos innovadores del proyecto
6. Proceso de Modelado KDD
7. Bibliografía

FASE DE CAMPO

8. Tratamiento de datos y ajuste de modelado de plagas (ec2ce)
9. Plan de trabajo de monitorización de plagas (fincas de IFAPA y FOASAT)
10. Informe agronómico de productividad (IFAPA)

FASE DE REDACCIÓN DEL INFORME FINAL

11. Descripción de los resultados obtenidos en la validación in vivo del modelado de plagas
12. Conclusiones, revisión de los trabajos y cronograma final actualizado

FASE DOCUMENTAL

1. Preámbulo

Nos referimos a la Orden de 11 de agosto de 2016, por la que se convocan en régimen de concurrencia competitiva para el ejercicio 2016 las ayudas a la creación y el funcionamiento de grupos operativos de la Asociación Europea de Innovación (AEI) en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas, para la realización de proyectos piloto y el desarrollo de nuevos productos, prácticas, procesos y tecnologías en los sectores agrícola, alimentario y forestal, en el marco del Programa de desarrollo rural de Andalucía 2014-2020 (submedida 16.1, operaciones 16.1.1., 16.1.2. y 16.1.3.), al amparo de la Orden de la Consejería de Agricultura, Pesca y desarrollo rural, de 28 de julio de 2016.

Dicha Orden regula las ayudas previstas en el marco nacional de desarrollo rural para el período 2014-2020, aprobado por la Comisión Europea el 13 de febrero de 2015 y, contempladas, a su vez en el Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Andalucía 2014-2020, adoptado oficialmente por la Comisión Europea el 10 de agosto de 2015. En concreto, se enmarca en la Medida 16 «Cooperación», la Submedida 16.1. «Apoyo para la creación y el funcionamiento de grupos operativos de la AEI en materia de productividad y sostenibilidad agroalimentaria», la cual incluye las siguientes operaciones:

- a) Operación 16.1.1.: Ayudas a la creación de grupos operativos de la AEI.
- b) Operación 16.1.2.: Ayudas al funcionamiento de los grupos operativos de la AEI.
- c) Operación 16.1.3.: Ayudas al funcionamiento de los grupos operativos de la AEI en el sector del olivar.

Tales operaciones se relacionan con una serie de focus áreas de desarrollo rural programados en el PDR de Andalucía que se indican a continuación, de modo que los proyectos que resulten beneficiarios de subvención deberán incidir en alguno de los siguientes ámbitos:

- Focus área 2A: Mejorar los resultados económicos de todas las explotaciones y facilitar la reestructuración y modernización de las mismas, en particular con objeto de incrementar su participación y orientación hacia el mercado, así como la diversificación agrícola.
- Focus área 1A: Fomento de la innovación, la cooperación y el desarrollo de la base de conocimientos en las zonas rurales.
- Focus área 1B: Fortalecimiento de los vínculos entre la agricultura, la producción de alimentos y la silvicultura y la investigación y la innovación, en particular con el fin de mejorar la gestión y la eficacia medioambientales.
- Focus área 3A: Mejora de la competitividad de los productores primarios integrándolos mejor en la cadena agroalimentaria a través de sistemas de calidad, valor añadido a los productos agrícolas, la promoción en mercados locales y circuitos de distribución cortos, las agrupaciones de productores y las organizaciones interprofesionales.
- Focus área 4A: Restaurar, preservar y mejorar la biodiversidad (incluso en las zonas natura 2000 y en las zonas con limitaciones naturales u otras limitaciones específicas), los sistemas agrarios de alto valor natural, así como el estado de los paisajes europeos.
- Focus área 4B: Mejora de la gestión del agua, incluyendo la gestión de fertilizantes y plaguicidas.
- Focus área 4C: Prevenir la erosión de los suelos y mejorar la gestión de los mismos.
- Focus área 5A: Mayor eficacia en el uso del agua en la agricultura.
- Focus área 5B: Mayor eficacia en el uso de la energía en la agricultura y en la transformación de alimentos.
- Focus área 5C: Facilitar el suministro y el uso de fuentes renovables de energía, subproductos, desechos, residuos y demás materia prima no alimentaria para impulsar el desarrollo de la bioeconomía.
- Focus área 5D: reducción de gases de efecto invernadero y de emisiones de amoníaco procedentes de la agricultura.
- Focus área 5E: Fomento de la conservación y la captura de carbono en los sectores agrícola y silvícola.
- Focus área 6A: Facilitar la diversificación, la creación y el desarrollo de pequeñas empresas y la creación de empleo.

Este Grupo Operativo Autonómico, denominado “Optifrutal; aplicación de modelos predictivos de Inteligencia Artificial para mejorar los resultados económicos y la competitividad de las explotaciones de frutales

en Andalucía”, se encuadra dentro del Focus área 2A: “Mejorar los resultados económicos de todas las explotaciones y facilitar la reestructuración y modernización de las mismas, en particular con objeto de incrementar su participación y orientación hacia el mercado, así como la diversificación agrícola.”, y está orientado a la aplicación de modelos predictivos de Inteligencia Artificial para mejorar los resultados económicos y la competitividad de las explotaciones de cítricos en Andalucía, determinando el momento óptimo de recolección y las mejores condiciones agronómicas para optimizar la productividad y la calidad de la producción bajo distintos escenarios de climatología.

2. El sector citrícola andaluz y su estado de arte tecnológico

En los últimos años se ha producido una importante expansión del cultivo de cítricos en Andalucía, impulsada en parte por la aparición de nuevas tecnologías que permiten su cultivo en una mayor diversidad de escenarios edafo-climáticos. No obstante, esta expansión se ha realizado sin considerar la adaptación más idónea de cada variedad a las condiciones edafo-climáticas locales y a la situación actual del mercado, en particular las afecciones de plagas que afectan a dichos cultivos mermando la calidad y la cantidad de frutos, y por tanto el rendimiento agronómico y económico de las explotaciones.

El proyecto Optifrutal ha evaluado la aplicación de nuevas tecnologías para que, en el actual contexto de tecnificación del sector agrario, mejoren la producción y la calidad de las explotaciones de cítricos, y optimicen la gestión de las mismas para maximizar los resultados.

Para ello se han aplicado modelos predictivos numéricos, entrenados matemáticamente a partir de los datos provenientes de las propias explotaciones agrícolas (fenología, condiciones del suelo, variedades, calibres, productividad, manejo y control de plagas, etc) y de las condiciones externas que afectan a dichas explotaciones y son registradas en bases de datos públicas (meteorología, geografía, anomalías climáticas, etc), los cuales permitirán adoptar decisiones con suficiente anticipación para actuar anticipadamente y maximizar la productividad y la calidad de los cultivos, y la competitividad y la sostenibilidad del producto, cuyo principal mercado es la exportación a otras geografías.

Las tecnologías más extendidas en el sector cítrico andaluz, que supone el marco de actuación de este grupo operativo, son aquellas dedicadas a la comercialización online, sistemas de control de fertirrigación, y hardware de toma de datos. Sin embargo el desarrollo de sistemas de modelado en agricultura, y particularmente en este sector, es un espacio aún poco explotado, donde los agricultores y operadores cada vez disponen de más información global, sectorial, local y de su propia explotación, originada a partir de sensores, monitoreo, imágenes aéreas (drones, satélites), sondas meteorológicas, etc. y empiezan a verse desbordados con un exceso de información, que en algunos casos integran en plataformas digitales, pero sin herramientas de gestión que faciliten la toma de decisiones a partir de tal cantidad de datos e información, y sobre todo sin acceso a predicciones de cómo se van a comportar ciertos parámetros de la explotación agrícola que le permitan optimizar la gestión y el control de plagas para maximizar la productividad e incrementar la sostenibilidad del cultivo.

La necesidad de resolver este problema está llevando a que la inversión en lo que se denomina “herramientas de toma de decisión”, que comprenden fundamentalmente sistemas de modelado y gestión, crezca año tras año. Situándonos en el momento del lanzamiento de esta iniciativa de Grupos Operativos, podemos observar que en 2015 la inversión global en tecnología de toma de decisiones representó un 6% del total de la inversión en Tecnologías aplicadas a la Agricultura, mientras que en 2016 este porcentaje subió hasta el 8% (fuente, AgFunder 2016).

El desarrollo de modelos y herramientas predictivas se puede emplear en la toma de decisiones críticas al ayudar a determinar rendimientos esperados, cuándo recolectar, cuándo aplicar fitosanitarios, la optimización de la fertirrigación, qué estrategia comercial a seguir, si asegurar la producción o no y en qué condiciones. El empleo de estos modelos reduce los riesgos, ayuda a incrementar la productividad, y lo hace soportando la introducción de criterios económicos y de sostenibilidad, por lo que se alinea perfectamente con las necesidades crecientes del sector agrario en relación a la incorporación de tecnologías novedosas.

El objetivo de este Grupo Operativo es la aplicación de herramientas de decisión basadas en analítica predictiva, sistemas de inteligencia artificial, y el empleo de técnicas que combinan con el uso de “Big Data”, proporcionando sistemas de simulación y de toma de decisiones.

El empleo de estos modelos reduce los riesgos, ayuda a incrementar la productividad, y lo hace soportando la introducción de criterios económicos y de sostenibilidad, por lo que se alinea perfectamente con las necesidades crecientes del sector agrario en relación a la incorporación de tecnologías novedosas.

Las variedades de cítricos objetivo de este proyecto son las naranjas Lane Late y Navelina.

3. Sobre las empresas y organismos que componen el Grupo Operativo OPTIFRUTAL

Asociafruit es una asociación privada y sin ánimo de lucro, que representa a los productores y exportadores de frutas, hortalizas, flores y plantas de Andalucía. En ella, están representados la práctica totalidad de los principales productos hortofrutícolas y del Sector de la flor y la planta de nuestra región: melocotón/nectarina, ciruela, almendro, nogal, espárrago, cítricos, brócoli/col/coliflor, patata, boniatos, zanahoria, naranja amarga, otras frutas y hortalizas, flores y plantas. Asociafruit es una entidad de representación y servicios: Información legal, económica, cotizaciones de mercados internacionales, prensa, ayudas sectoriales..., constituyen el núcleo de la labor diaria de información. Además de esta actividad informativa, Asociafruit desarrolla una amplia labor encaminada a la mejor defensa de las empresas y los sectores representados: seguimientos de campañas, envíos de observadores a los mercados, campañas de promoción, misiones comerciales, informes comerciales, cursos de formación, convenios de investigación, negociación colectiva, etc.

La empresa Fomento Agrícola Andaluz, S.A.T. (FOASAT), con sede en Peñaflores (Sevilla) fue constituida en 1980 con objeto de producir y comercializar productos hortofrutícolas. En estos años de andadura ha conseguido consolidarse como una de las principales empresas comercializadoras de dichos productos y ha posicionado sus marcas Imperial Gold y Kopasper como un referente de calidad tanto en mercados nacionales como internacionales.

Easytosee agtech SL (ec2ce) es una Joven Empresa Innovadora constituida en Sevilla en enero de 2014 con el propósito de ser un referente tecnológico en el sector agrario, introduciendo sistemas de inteligencia artificial que permitan incrementar la productividad sostenible en agricultura.

IFAPA, Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica es una Agencia Administrativa adscrita a la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, creado por la Ley 1/2003, de 10 de abril y regulado por esta Ley y por sus Estatutos. Dentro de los objetivos propios, determinados en la Ley 1/2003, de 10 de abril, de su creación, se encuentran los de contribuir a la modernización de los sectores agrario, pesquero y alimentario de Andalucía, y a la mejora de su competitividad a través de la investigación, la innovación, la transferencia de tecnología y la formación de agricultores, pescadores, técnicos y trabajadores de estos sectores.

Las funciones de cada participante en el desarrollo de este Grupo Operativo es como sigue:

- Asociafruit: coordinador del proyecto, organización de reuniones de seguimiento, gestión de coordinación, difusión del proyecto y los resultados obtenidos
- Ifapa: selección de variedades objeto del proyecto, aportación de datos históricos para en entrenamiento de modelos, monitorización de plagas en fincas productores para la validación del modelo predictivo, y redacción del modelo agronómico de productividad
- ec2ce: aportación de datos históricos para en entrenamiento de modelos, tratamiento de datos, ajuste y validación de los modelos predictivos de plagas, y puesta en marcha del in vivo para evaluar los resultados del modelado de plagas
- Foasat: selección de variedades objeto del proyecto, aportación de datos históricos para en entrenamiento de modelos, y monitorización de plagas en fincas productores para la validación del modelo predictivo

4. Objetivos del Grupo Operativo y roles de los participantes

Planteamiento de la situación crítica por afección climatológica en los cultivos y la necesidad de competir en un mercado global muy exigente con la sostenibilidad del cultivo

La competitividad del sector cítrico se ve afectada por áreas productivas exteriores, fundamentalmente Brasil, y potencialmente por nuevas áreas productivas en China y en menor medida en otros países como Argentina, Marruecos, Turquía,... Éstas nuevas áreas presentan, por razones obvias, unos costes productivos mucho menores, con especial incidencia en cultivos muy intensivos en mano de obra directa, como son la fruta de hueso y los cítricos. A su vez, cabe añadir la actual tendencia hacia la globalización de los mercados, que provoca la desprotección de nuestra producción.

El sector cítrico en Andalucía tiene una vital importancia dentro del propio sector agrícola. Las características de los cultivos, desarrollados en su mayor parte de manera extensiva, hacen que sean de una gran influencia económica/social en las zonas rurales donde se desarrollan. Entre todas las frutas producidas en Andalucía, los cítricos tienen un papel muy relevante. Según los números publicados por la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Social, se estima una superficie total cítrica –naranjas, mandarinas, limones y pomelos- superior a las 85.000 Has, repartidas por todas las provincias que conforman nuestra región, pero sobre todo en Málaga, Córdoba, Huelva y Sevilla. Puede fácilmente intuirse que el impacto económico y social de ambos es enorme.

Como hemos avanzado, la competencia a nivel internacional crece, sobre todo procedente de países con unos costes laborales mucho menores y de la mano de la liberalización del comercio internacional y la disminución de las barreras arancelarias. Incidir sobre esta tendencia es prácticamente imposible, y la adaptación a esta nueva coyuntura debe proceder del incremento de las productividades y calidades de nuestra producción, consiguiendo una imagen diferenciada.

Es en este punto donde las nuevas tecnologías deben jugar un papel de vital importancia. Que el sector las adopte de manera funcional implicaría una mejora en los actuales sistemas de producción, contribuyendo a la eficiencia económica y por supuesto, con la correcta utilización de los recursos, medioambiental. La optimización de la productividad y calidad, minimizando insumos y facilitando la toma de decisiones en las plantaciones cítricas es algo muy asociado a la producción agrícola sostenible.

Pero no sólo la actual coyuntura del comercio internacional exige una correcta adaptación de nuestro sector cítrico. El cambio climático asociado al calentamiento global es hoy día una realidad innegable avalada por multitud de evidencias científicas, y la lucha frente a sus efectos perjudiciales un objetivo prioritario para la Organización de las Naciones Unidas. En efecto, el “Acuerdo de París” aprobado recientemente en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático reconoce la necesidad de una respuesta progresiva y eficaz a la amenaza apremiante que supone el cambio climático, siempre sobre la base de los mejores conocimientos científicos disponibles. Para el caso concreto de España, se ha previsto un incremento generalizado de las temperaturas, un descenso de las precipitaciones y una mayor probabilidad de ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos -olas de calor, periodos de sequía, lluvias torrenciales, etc. Lógicamente, dichos cambios en las variables climáticas ejercerán una marcada influencia en la productividad y sostenibilidad de los ambientes agrícolas de nuestro país, en muchas ocasiones con efectos perjudiciales que se traducirán en pérdidas económicas derivadas de la reducción de los rendimientos, reducción de la calidad de los productos y, en definitiva, pérdida de rentabilidad de las explotaciones agrarias. Los cítricos se ven afectados, en su producción, por condicionantes climáticos que se pueden paliar o aprovechar mediante una gestión adecuada de las plantaciones, pues las variables críticas que determinan la productividad -calibre, número de piezas por árbol, limpieza de las piezas, calidad organoléptica, color, etc.- dependen de factores como la climatología en cuajado, post cuajado, y de verano, y el efecto de las plagas más significativas, que determinarán la limpieza del fruto.

Dada la situación, entre los efectos perjudiciales del cambio climático sobre la agricultura española podemos destacar los siguientes (MAGRAMA, 2015):

- Incremento en la demanda evapotranspirativa y necesidades de riego de los cultivos.
- Atrasos/adelantos de las floraciones.

- Incremento de las perturbaciones de la producción, especialmente durante las fases críticas del desarrollo vegetativo, por fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor o períodos de sequía.
- Incremento de la incidencia de alteraciones fisiológicas o fisiopatías.
- Cambios en los patrones de comportamiento y distribución de plagas y enfermedades.
- Pérdidas y/o daños de cultivos y cosechas por un aumento de las lluvias torrenciales más frecuentes y violentas.
- Erosión de la tierra y degradación del suelo por aumento de los episodios de precipitaciones intensas.
- Aumento de la vulnerabilidad de los suelos agrarios y los sistemas de la agricultura de regadío a la salinización.

De tal forma que el cultivo de los cítricos en Andalucía puede verse seriamente afectado. Así, puede incrementarse la frecuencia de los siguientes accidentes y/o fallos en la producción:

- Caída de frutitos durante la fase de cuajado motivada por la incidencia de temperaturas extremas.
- Estrés hídrico derivado del incremento en la evapotranspiración y reducción del régimen de precipitaciones (mayor incidencia de periodos de sequía).
- Aumento del decaimiento y pérdida de calidad de los frutos por el efecto de las plagas y las enfermedades, propiciadas por las condiciones meteorológicas.

Por tanto, y en base a los puntos anteriores podemos identificar oportunidades enormes en el desarrollo de modelos predictivos que permitan la toma de decisiones en relación a la mejora de la competitividad y a la sostenibilidad de las explotaciones de cítricos en Andalucía para su mejor orientación al mercado y el cambio climático, así como para reducir su impacto medioambiental.

Los objetivos del Grupo Operativo OPTIFRUTAL se definen para paliar dichos efectos y propiciar una gestión más eficiente y sostenible del cultivo, incrementando la competitividad y sostenibilidad

Aplicar modelos predictivos basados en inteligencia artificial a partir del Big data existente en el sector y en los centros de experimentación de Ifapa, poniendo en valor la inmensa cantidad de información recogida durante años, para realizar mediante la implementación de dichos modelos en los cultivos citrícolas de Andalucía la toma de decisiones relacionadas con la explotación que mejoren la competitividad y la economía del sector frutícola andaluz.

La utilización de dichos modelos predictivos en la toma de decisiones se traducirá en poder anticipar la incidencia de condiciones meteorológicas extremas -olas de calor, heladas, lluvias torrenciales,...- potencialmente perjudiciales para los frutales en las diferentes zonas de cultivo, y proponer con suficiente antelación medidas correctoras que puedan paliar sus efectos.

Adicionalmente, se analizarán las mejores prácticas agronómicas para mejorar el rendimiento de cosecha para las diferentes zonas de cultivo y grupos varietales, así como estimaciones de fecha de recolección para las diferentes zonas de cultivo y grupos varietales en ellas cultivados. Su conocimiento previo facilitará la organización de la oferta, que si por algo se caracteriza en nuestra región es por su desestructuración, y también mejorará la planificación de los programas de ventas en función de la recolección de frutos de manera adecuada puede ser un arma comercial fundamental para la supervivencia del sector. Actualmente los picos inesperados de producción provocan alteraciones en los mercados con efectos muy negativos sobre los precios y la imagen de nuestras empresas. Poder anticipar estos picos o valles de manera precisa sería un factor determinante para la viabilidad de los cultivos.

Para lograr estos objetivos se definen una serie de actividades a llevar a cabo por el Grupo Operativo:

- Ajuste y aplicación de modelos predictivos locales utilizando la información tradicionalmente existente en los cultivos y en las explotaciones participantes en el proyecto.
- Desarrollo de criterios de similitud para extender la validez del uso de los modelos.
- Desarrollo de sistemas de utilización de imágenes satélite para complementar la información tradicional.
- Ajuste de modelos predictivos utilizando la información climática mejorada.
- Validación de los modelos mediante backtesting en las explotaciones participantes.
- Validación de los modelos mediante ensayos en vivo.
- Evaluación de los beneficios económicos y ambientales que se pueden alcanzar con el empleo de esta tecnología.

5. Principales elementos innovadores del proyecto

Para la consecución de los objetivos generales del proyecto es necesario utilizar y desarrollar ex profeso numerosas herramientas que conforman un conjunto de innovaciones asociadas a cada una de las áreas de trabajo comprendidas en el mismo:

- Herramientas y sistemas de adquisición de datos que permitan mejorar la información que es posible obtener a pie de campo y de sistemas de muestreo estándar.
- Herramientas de gestión de la información, incluyendo el uso de Big Data, lo que comprende la gestión masiva de datos procedentes de fuentes diversas y comprobaciones de su nivel de confianza, precisión o chequeos cruzados, etc.
- Ajuste de modelos de analítica predictiva a través de técnicas de minería de datos, identificación de relaciones no inmediatas entre variables, gestión de valores no cuantificables, interrelaciones multidimensionales, simulación mediante sistemas expertos y capacidad de entrenamiento y actualización de los modelos.
- Desarrollo de ensayos en campo específicos para testear el resultado de los modelos.
- Evaluación de los beneficios alcanzados por el uso de estos modelos innovadores.

Además hay que tener en cuenta que los datos de partida son de diversa tipología y su tratamiento matemático e informático ha de ser diverso:

- Datos físicos como por ejemplo información meteorológica, geográfica,...
- Datos cuantificables pero sujetos a valoraciones y aplicación de criterios en su obtención más o menos subjetivos, afectados por las decisiones asociadas a sistemas de muestreo no siempre adecuados.
- Datos cualitativos como por ejemplo el estado del cultivo.

Con toda esta actividad de adquisición y preparación de información, que en sí supone un enorme esfuerzo de desarrollo, se ajustarán modelos predictivos con el objetivo de adelantar en varias semanas la evolución de la productividad en cada variedad objeto del estudio, mediante técnicas numéricas de inteligencia artificial a partir de los datos recogidos de los factores que afectan a la cantidad y calidad de la producción, algo que no se ha hecho con anterioridad.

De nuevo esta generación de modelos predictivos requiere el desarrollo y combinación de diversas tecnologías que incluirán el uso de algoritmos genéticos, diversas técnicas de machine learning, automatización de algoritmos y de selección de variables críticas, y técnicas de optimización, y en general de aprendizaje automático, que permitan la utilización de enormes cantidades de información en tiempo real. Por tanto, este proyecto de innovación tiene un objetivo ambicioso e incorpora en el sector agrario tecnología matemática de última generación con el desarrollo de aplicaciones no existentes a nivel mundial.

La identificación de relaciones entre diversas variables y de éstas con el resultado final de los modelos requiere la aplicación de algoritmos de selección de atributos -Feature Selection- o de reglas de asociación que permitan la identificación de interacción e inferencias entre ellas. Por tanto será necesario evaluar las herramientas de aprendizaje automático y determinar cuáles de los algoritmos existentes en la literatura son aplicables para lograr este objetivo.

Este proyecto presenta un conjunto de objetivos que son innovadores con respecto a la tecnología actual, no sólo porque subjetivamente lo sean para la empresa participante, sino porque representan una novedad sustancial con respecto a las herramientas que actualmente se están usando para resolver los problemas que este proyecto pretende abordar.

El concepto de innovación se fija en el artículo 35 del texto refundido de la Ley del Impuesto de Sociedades (TRLIS) en el Real Decreto Legislativo 4/2004, de 5 de Marzo. En el artículo 35.1 se fija el concepto de investigación: Art 35.1 a) “Se considerará investigación a la indagación original planificada que persiga descubrir nuevos conocimientos y una superior comprensión en el ámbito científico y tecnológico, y desarrollo a la aplicación de los resultados de la investigación o de cualquier otro tipo de conocimiento científico para la fabricación de nuevos materiales o productos o para el diseño de nuevos procesos o sistemas de producción, así como para la mejora tecnológica sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistentes”. Y en concreto, en su siguiente apartado la ley hace especial hincapié en la producción de software: “También se considerará actividad de investigación y desarrollo la concepción de software avanzado, siempre que suponga un progreso científico o tecnológico significativo mediante el desarrollo de nuevos teoremas y algoritmos”. Mientras que el artículo 35.2 define innovación: Art 35.2 a) “Se considerará innovación tecnológica la actividad cuyo resultado sea un avance tecnológico en la obtención de nuevos productos o procesos de producción o mejoras sustanciales de los ya existentes. Se considerarán nuevos aquellos productos o procesos cuyas características o aplicaciones, desde el punto de vista tecnológico, difieran sustancialmente de las existentes con anterioridad”.

Una cuestión importante en este sentido que debe tenerse en cuenta es que, tratándose de la obtención de un nuevo producto o proceso, una actividad pueda ser calificada como de Investigación y Desarrollo, es requisito necesario que la novedad del mismo sea objetiva en el mercado al que se destina -mundial, nacional o incluso sectorial-. Si el producto o proceso no supone una novedad objetiva, podría no obstante constituir actividad de innovación tecnológica, según el artículo 35.2 TRLIS, siempre que el resultado obtenido sea novedoso desde el punto de vista subjetivo, es decir, difiera de los utilizados hasta entonces por el sujeto pasivo.

El problema que se aborda en este proyecto es casi tan antiguo como el hombre: predecir el futuro ha sido un anhelo de todas las civilizaciones. Lógicamente sólo el desarrollo de las matemáticas y sobre todo de la tecnología ha hecho posible aproximaciones rigurosas al problema. Es fácil encontrar miles de publicaciones científicas dedicadas al tema de la predicción de series temporales. Sin embargo pocas publicaciones abordan la aplicación de estos sistemas a problemas relacionados con la producción agraria y el control de plagas.

Las múltiples variables y condiciones que pueden modelar la evolución de sistemas biológicos convierten estas series en un objetivo de investigación de primer nivel. Dentro de las series asociadas a sistemas biológicos ocupan un importante papel aquellas dedicadas a la evolución de población y sus efectos.

Este caso particular de series temporales se tiende a emplear modelos simplificados en los que mediante autoregresión se trata de predecir la evolución de una determinada población en condiciones repetitivas. Sin embargo cuando la evolución no es repetitiva y/o se necesita mucha mayor precisión en la predicción, se hace necesario el acudir a sistemas mucho más complejos que combinan técnicas de Minería de Datos con algoritmos genéticos y redes neuronales.

Sin embargo estas herramientas no han sido utilizadas para predecir la productividad esperada -en cantidad y calidad- según los factores mencionados que afectan a la productividad, y tan sólo algunos artículos académicos hacen una pequeña incursión en este campo sin buscar una utilidad posterior.

Así pues, estamos en condiciones de asegurar que no existe en el mercado mundial una herramienta software como la que este proyecto pretende implementar.

Desarrollemos los objetivos propuestos y su capacidad de innovación:

- El primer elemento innovador es la obtención, almacenamiento, limpieza y preprocesado de los datos que servirán como base para el ajuste de los modelos predictivos durante la fase de aprendizaje.

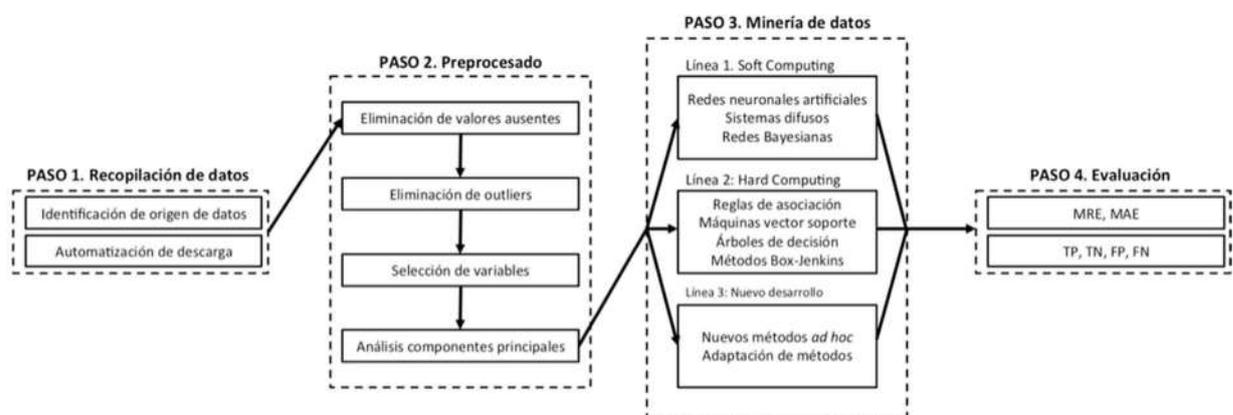
- Modificación de los datos de entrada convirtiéndolos en atributos de entrada a los modelos predictivos, este paso no es habitual y sin embargo presenta numerosas ventajas sobre los sistemas tradicionales de modelado que operan de forma que sea el propio modelo el que internamente optimice las relaciones entre variables. Esta opción permite seleccionar un conjunto de algoritmos que de forma estructurada conforman un superalgoritmo optimizado por pasos y posteriormente de forma global que luego se aplicarán de forma conjunta aprovechando el beneficio individual que cada uno de ellos aporta en cada etapa de predicción. Esta forma de operar no se ha aplicado nunca de la forma propuesta y supone una innovación en este tipo de aplicaciones.
- Generación de modelos predictivos. Nuestro proyecto intentará obtener combinando diversas metodologías tomadas del ámbito del aprendizaje automático, un conjunto de modelos que deberán ser analizados para su uso bien de forma independiente en distintos escenarios o bien como un ensemble que mejore la predicción individual de cada uno de ellos. Esto es también una innovación importante pues la mayoría de las técnicas usadas en la predicción están basadas en un solo modelo.
- Integración de los modelos en una herramienta de carácter comercial. Como se ha señalado existe abundante literatura científica sobre modelos de predicción, pero no existe un sistema software que sea capaz de integrar mediante una interfaz de fácil uso todas las utilidades descritas de tratamiento de datos y modelado de la predicción para la aplicación objeto del proyecto.
- El uso de tecnología de última generación en la obtención de datos de campo va a permitir integrar las herramientas en desarrollo en cualquier sistema innovador de gestión agraria, un sector que avanza hacia lo que se denomina agricultura de precisión y que va a suponer una revolución en los sistemas de producción. Gracias a la tecnología desarrollada en este proyecto el producto resultante va a ser sin duda uno de los elementos que formen parte de cualquier proceso de gestión integrada del sector en los próximos años.

Por tanto el carácter innovador de este proyecto está fuera de toda duda y su capacidad para integrarse en futuros avances del sector.

6. Proceso de Modelado KDD

Las tecnologías de análisis de datos actualmente englobadas bajo el nombre de Ciencia de los Datos - Data Science-, han tenido diversas denominaciones a lo largo de los últimos años, quizás el más extendido haya sido Minería de Datos, que puede ser entendida como parte de un proceso conocido por su acrónimo inglés KDD o Knowledge Discovery in Databases.

Esta metodología se suele dividir en general en cuatro pasos, que se muestran en la siguiente figura:



Adquisición de datos

En este apartado se realiza la identificación y selección de todos los datos disponibles y de las parcelas productivas más adecuadas.

Dada la naturaleza tan heterogénea de los datos de origen, así como su gran cantidad, esta primera etapa resulta crucial para el resto del proceso.

En primer lugar, se necesitan identificar todas las variables de entrada al sistema. En su mayoría se tratan de variables cuyos valores evolucionan a lo largo del tiempo. Comúnmente este tipo de datos son referidos como series temporales y, por tanto, muchas de las técnicas que aquí se plantean deberán contar con la capacidad de procesar esta información debidamente.

Además de las variables previamente identificadas -climatología, fenología, datos de producción, calibres, histórico de evolución de plagas y aplicación de fitosanitarios, histórico del estado y la calidad de los cultivos, entre otros- se han encontrado otras variables interesantes para el ajuste de los modelos otras deberán encontrarse conforme el proyecto avance y se vayan contemplando nuevas hipótesis que realimenten al sistema.

Preparación de los datos

Las bases de datos, procedentes de diversas fuentes, gestionadas con criterios diferentes, con horizontes temporales variados deben ser organizadas, homogeneizadas, y su gestión automatizada.

En este paquete de trabajo se pretende disponer de toda la información homogénea, automatizada la toma de datos en continuo y con sistemas de corrección de valores ausentes, de valores fuera de rango o erróneos. Además es necesario evaluar la fiabilidad de las bases de datos existentes como fuente de información y analizar sus correlaciones con el resto de datos de campo.

Finalmente será necesario definir la información y criterios para incorporar datos económicos y de sostenibilidad a los modelos.

Tratamiento de datos procedentes de base de datos

Una vez obtenidos y homogeneizados los datos, se filtran y se rechazan los no válidos o los incorrectos, según las necesidades, o bien se corrigen o se reduce el número de variables posibles. En esta etapa, por tanto, se plantea la limpieza de los datos recopilados para evitar que sean incompletos -faltan valores de algunos atributos-, ruidosos -contienen errores o valores anómalos-, duplicados o inconsistentes -discrepancia en los valores según los atributos a los que representan-.

Para ello, se plantean diferentes estrategias, según las características de cada una de las series temporales que se desee preprocesar. Estas estrategias abordarán el tratamiento de valores ausentes y de datos anómalos.

En lo que se refiere al tratamiento de valores ausentes, aunque existen numerosas estrategias para el procesamiento de este tipo de datos, este proyecto se centrará en:

- Procedimientos basados en la imputación de valor ausente, o generación artificial de datos a partir de estadísticos que harán que el conjunto de datos sea completo. El algoritmo que se utilizará será MRI -del inglés, Multiple Regression Imputation-.
- Procedimientos basados en máxima verosimilitud. Se basa en suponer que la ausencia de valores es aleatorio y generar matrices de datos considerando máxima verosimilitud con la vecindad. El algoritmo que se utilizará será ML-m -del inglés, Maximum Likelihood – missing-.
- Procedimientos basados en la estimación Bayesiana. Incorporación de información previa en la estimación de la probabilidad de cada valor de la variable que contiene datos ausentes. El algoritmo que se utilizará será BE -del inglés, Bayes Estimator-.

En segundo lugar, se abordará el tratamiento de datos anómalos, también conocidos por su término inglés outliers. En estadística, un outlier es una observación que es numéricamente distante del resto de los datos. Las estadísticas derivadas de los conjuntos de datos que incluyen valores atípicos serán frecuentemente

engañosas. Los outliers suelen provocar que los modelos generados sean imprecisos por eso su detección y temprana eliminación resultan de vital importancia. El algoritmo que se utilizará será LOF -del inglés, Local Outlier Factor-.

Transformación de los datos y selección de los algoritmos

Esta fase consiste en la generación de atributos para la optimización de entrada a modelo y desarrollo de sistemas de tratamientos de grandes volúmenes de información. Este paquete es crítico para un posterior ajuste adecuado de los modelos predictivos.

La identificación de relaciones entre diversas variables y de éstas con el resultado final de los modelos requiere de la aplicación de algoritmos de selección de atributos -FS *feature selection* en inglés- que permitirán la identificación de interacción e inferencias entre ellas. El número de algoritmos de FS existentes es muy amplio, y determinar cuáles de los algoritmos son aplicables y obtienen los mejores resultados para lograr este objetivo será una tarea primordial.

Por otra parte hay que tener en cuenta que los datos se pueden clasificar en cuantitativos y cualitativos. Los datos cualitativos tienen un gran componente de *experiencia* de la fuente y de los que gestionan dicha información. El uso de técnicas basadas en aprendizaje automático trata de limitar este componente subjetivo y aprovechar la riqueza de la *experiencia* de los actores acostumbrados a gestionar decisiones de cultivo y gestión en base a dichos datos cualitativos y a su intuición sobre su efecto en la producción.

En definitiva, esta tarea se puede resumir en:

1. Identificación de los algoritmos de selección de atributos y técnicas de análisis para inferir relaciones entre variables.
2. Evaluación de dichos algoritmos y selección de los más adecuados.
3. Desarrollo de los sistemas de aplicación de dichos algoritmos a los datos preseleccionados.

Generación de atributos

Esta tarea constituye un paso crucial para la buena generación del modelo de conocimiento. Se determinará de forma analítica un grupo de potenciales atributos que infieran potenciales relaciones entre las variables de entrada y se aplicarán técnicas de aprendizaje supervisado para determinar cuáles de ellos tienen una mayor relevancia a la hora de ser usados para predecir la variable objetivo. Nótese que el hecho de intentar ajustar el modelo con atributos que no tengan correlación alguna con la variable objetivo provocaría que el modelo se ajustase de manera errónea. Por ello este trabajo es crítico para lograr la correcta predicción posterior.

Esta tarea comprende dos aspectos fundamentales. En primer lugar, la creación o inclusión de atributos nuevos que pueden no estar generados en la etapa de adquisición de datos. Para su inclusión, se hará un exhaustivo análisis del estado del arte.

En segundo lugar, una vez generados y seleccionados los atributos, se plantea realizar un análisis de componentes principales para comprobar el espacio vectorial en el que los datos presentan una significancia mayor con respecto a la variable objetivo.

- Selección de atributos o variables. Consiste en seleccionar cuál es el tipo de características o rasgos más adecuados para describir los objetos. En esta etapa se espera detectar aquellas series temporales que son más relevantes y que poseen una mayor correlación con la variable que se quiere predecir. Esta etapa resulta especialmente interesante ya que en el Paso 1 se seleccionaron algunas variables que, de manera intuitiva, se suponen correlacionadas. Dada la relevancia de este paso, se utilizarán dos técnicas de manera combinada, con diferente matemática subyacente: ID3 -crea un árbol de decisión y se selecciona un conjunto de variables que permita discriminar entre clases- y ganancia de información -trata de una medida estadística clásica que mide de manera indirecta la correlación entre las variables de entrada y la de salida-.

- Análisis de componentes principales -PCA, del inglés *principal component analysis*-. Con este método, se pretende obtener cuál es el peso de cada variable de entrada a la hora de obtener el resultado predictivo, pudiendo descartar variables que realmente no afecten en gran medida en la predicción. En ese sentido, puede ser complementario al paso anterior o incluso puede sustituirlo por completo. El PCA consiste básicamente en un cambio de base vectorial del sistema, donde esta base será de menor dimensión que la anterior y donde se pueda calcular el peso de cada variable de entrada inicial en cada una de las componentes principales obtenidas.

Adaptación de algoritmos para su aplicación en big data

Como se ha mencionado en tareas anteriores, la información de la que se dispone es muy diversa y heterogénea. Para determinados conjuntos de datos será suficiente con utilizar técnicas estándar de selección y transformación de atributos, como las que se han descrito en el apartado anterior. Sin embargo, para el tratamiento de los datos de carácter masivo, se espera tener que aplicar técnicas novedosas. En particular, técnicas que se ajusten al nuevo paradigma de análisis conocido por su denominación inglesa *big data analytics*.

Se centra esta tarea, por tanto, en la adaptación de algoritmos ya existentes para poder ser utilizados en el entorno *big data* en el que se va a trabajar.

Hasta este momento, se han aplicado las herramientas necesarias para transformar los datos de partida en datos de calidad que sean útiles aplicando diversas técnicas de minería de datos y algoritmos de optimización para la generación de atributos.

Ahora, en la generación del modelo predictivo, se plantean tres líneas de trabajo diferenciadas. Así, la primera línea centrará su estudio en un subconjunto de técnicas conocidas como *soft computing*. La segunda línea se centrará, por el contrario, en el estudio de técnicas *hard computing*. Por último, una tercera línea se centrará en el desarrollo de soluciones *ad hoc* para la resolución del problema en cuestión.

Selección de algoritmos

Durante la realización de esta tarea, se procederá a evaluar un amplio espectro de algoritmos de predicción, tanto los basados en aprendizaje automático como en estadística. Se hará una selección previa de algoritmos candidatos a obtener buenos resultados al poder comparar las particularidades de los datos adquiridos y transformados con la bondad de los algoritmos evaluados.

Las opciones en este caso son enormes: redes neuronales, máquinas de vector soporte, árboles de regresión, vecinos más cercanos, etc. La experiencia previa en este sector, hace pronosticar que los métodos que *a priori* darán mejores resultados son aquellos basados en redes neuronales, aunque se realiza el estudio previo, precisamente, para evitar introducir sesgo alguno en la decisión. Además se valorará la posibilidad de optimizar el resultado combinando todas las opciones, utilizando distintos *ensembles*, dependiendo de la tarea particular que se quiera realizar.

Existen numerosas aplicaciones para los modelos predictivos basados en redes neuronales, pero en ningún caso han sido aplicados a la predicción de evolución de plagas para generar un producto comercial, por lo que una correcta selección de la tipología de red, del sistema de entrenamiento, del filtrado de datos asociado al estatus de entrada será crítico.

Línea de trabajo 1. Predicción de series temporales mediante *soft computing*.

Como técnicas de *soft computing* se incluyen: redes neuronales artificiales, sistemas difusos, redes bayesianas y teoría del caos. Se aplicarán todas ellas salvo técnicas de teoría del caos debido a que las series temporales con las que se van a trabajar no son caóticas (tienen, en general, coeficientes fractales inferiores a los requeridos para considerarse caóticas-).

- Redes neuronales artificiales

Las redes de neuronas artificiales -denominadas habitualmente como RNA o en inglés como *artificial neural networks*, ANN- son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. Se trata de un sistema de interconexión de neuronas que colaboran entre sí para producir un estímulo de salida. En inteligencia artificial es frecuente referirse a ellas como redes de neuronas o redes neuronales.

Una red neuronal se compone de unidades llamadas neuronas. Cada neurona recibe una serie de entradas a través de interconexiones y emite una salida. Esta salida viene dada por tres funciones:

- Una función de propagación -también conocida como función de excitación-, que por lo general consiste en el sumatorio de cada entrada multiplicada por el peso de su interconexión -valor neto-
- Una función de activación, que modifica a la anterior. Puede no existir, siendo en este caso la salida la misma función de propagación
- Una función de transferencia, que se aplica al valor devuelto por la función de activación. Se utiliza para acotar la salida de la neurona y generalmente viene dada por la interpretación que queramos darle a dichas salidas. Algunas de las más utilizadas son la función sigmoidea -para obtener valores en el intervalo [0,1]- y la tangente hiperbólica -para obtener valores en el intervalo [-1,1]-

- Sistemas difusos

La lógica difusa, también llamada lógica borrosa o lógica heurística, se basa en lo relativo de lo observado como posición diferencial. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. Así, por ejemplo, una persona que mida 2 metros es claramente una persona alta, si previamente se ha tomado el valor de persona baja y se ha establecido en 1 metro. Ambos valores están contextualizados a personas y referidos a una medida métrica lineal.

La lógica difusa -*fuzzy logic*, en inglés- sirve para comprender y funcionar mejor con expresiones del tipo "hace mucho calor", "no es muy alto", "el ritmo del corazón está un poco acelerado", etc. La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los cuantificadores de cualidad para nuestras inferencias -en los ejemplos de arriba "mucho", "muy" y "un poco"- . En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos, en los que se basa esta lógica.

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos, que indican en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto difuso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son trapezoidal, lineal y curva.

Se basa en reglas heurísticas de la forma SI -antecedente- ENTONCES -consecuente-, donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos, ya sea puros o resultado de operar con ellos. Sirvan como ejemplos de regla heurística para esta lógica -nótese la importancia de las palabras "muchísimo", "drásticamente", "un poco" y "levemente" para la lógica difusa-:

- SI hace muchísimo frío ENTONCES aumento drásticamente la temperatura.
- SI voy a llegar un poco tarde ENTONCES aumento levemente la velocidad.

Los métodos de inferencia para esta base de reglas deben ser sencillos, versátiles y eficientes. Los resultados de dichos métodos son un área final, fruto de un conjunto de áreas solapadas entre sí -cada área es resultado de una regla de inferencia-. Para escoger una salida concreta a partir de tanta premisa difusa, el método más usado es el del centroide, en el que la salida final será el centro de gravedad del área total resultante.

Las reglas de las que dispone el motor de inferencia de un sistema difuso pueden ser formuladas por expertos, o bien aprendidas por el propio sistema, haciendo uso en este caso de redes neuronales para fortalecer las futuras tomas de decisiones. Tal es el de caso del proyecto que se propone desarrollar.

- Redes Bayesianas.

Una Red Bayesiana, red de Bayes, red de creencia, modelo bayesiano -de Bayes- o modelo probabilístico en un gráfico acíclico dirigido es un modelo gráfico probabilístico -un tipo de modelo estático- que representa un conjunto de variables aleatorias y sus dependencias condicionales a través de un gráfico acíclico dirigido -DAG por sus siglas en inglés-. Por ejemplo, una red bayesiana puede representar las relaciones probabilísticas entre enfermedades y síntomas. Dados los síntomas, la red puede ser usada para computar la probabilidad de la

presencia de varias enfermedades. Este tipo de redes resulta particularmente interesante para la predicción de la serie temporal bajo estudio, debido a las altas relaciones existentes entre todas las variables.

Formalmente, las redes bayesianas son grafos dirigidos acíclicos cuyos nodos representan variables aleatorias en el sentido de Bayes: las mismas pueden ser cantidades observables, variables latentes, parámetros desconocidos o hipótesis. Las aristas representan dependencias condicionales; los nodos que no se encuentran conectados representan variables las cuales son condicionalmente independientes de las otras. Cada nodo tiene asociado una función de probabilidad que toma como entrada un conjunto particular de valores de las variables padres del nodo y devuelve la probabilidad de la variable representada por el nodo. Ideas similares pueden ser aplicadas a grafos no dirigidos, y posiblemente cíclicos; como son las llamadas redes de Markov.

Línea de trabajo 2. Predicción de series temporales mediante hard computing

Esta línea de trabajo contempla la aplicación de métodos basados en *hard computing*. De entre ellos, los solicitantes se centrarán en reglas de asociación -por la naturaleza del problema abordado-, máquinas de vector soporte -por su potencia de cálculo-, árboles de regresión -por su fácil interpretación- y modelos lineales Box-Jenkins -por sus exitosos resultados en series temporales no caóticas-.

- Reglas de asociación

Se tratan de unos algoritmos capaces de extraer información de la forma: si X ENTONCES Y, donde X e Y pueden ser varias variables definidas en distintos intervalos. Esta información resulta muy útil en situaciones tales como si la temperatura está entre 35 y 40 grados Celsius, si el tiempo no va a cambiar en los próximos 30 y 40 días, entonces la cosecha se arruinará.

Las reglas de asociación están preparadas para trabajar con datos tanto numéricos como categóricos. El caso particular que aquí aplica, en principio, estará compuesto por datos numéricos por lo que se utilizarán el subconjunto de algoritmos encargado de generar reglas cuantitativas. El algoritmo de control que se usará será QARGA.

- Máquinas vector soporte -SVM, del inglés *support vector machines*-.

Las SVM son algoritmos que poco a poco han ido adquiriendo mayor relevancia en el mundo del aprendizaje automático. Su uso en la actualidad está muy extendido y se postulan como los sucesores naturales de las ANN, algoritmos que aún hoy siguen siendo utilizados por gran parte de la comunidad científica. Su uso es un poco más complejo debido a la fuerte parametrización a la que está sometido, pero los resultados, cuando este obstáculo se salva, suelen ser muy satisfactorios.

Estos métodos están propiamente relacionados con problemas de clasificación y regresión. Dado un conjunto de ejemplos de entrenamiento -de muestras- podemos etiquetar las clases y entrenar una SVM para construir un modelo que prediga la clase de una nueva muestra. Intuitivamente, una SVM es un modelo que representa a los puntos de muestra en el espacio, separando las clases por un espacio lo más amplio posible. Cuando las nuevas muestras se ponen en correspondencia con dicho modelo, en función de su proximidad pueden ser clasificadas a una u otra clase.

Más formalmente, una SVM construye un hiperplano o conjunto de hiperplanos en un espacio de dimensionalidad muy alta -o incluso infinita- que puede ser utilizado en problemas de clasificación o regresión. Una buena separación entre las clases permitirá una clasificación correcta. El algoritmo que se utilizará será SMO.

- Árboles de regresión

Los árboles de regresión son una técnica de análisis discriminante no paramétrica que permite predecir la asignación de muestras a grupos predefinidos en función de una serie de variables predictoras. Es decir, que teniendo una variable respuesta categórica, los árboles de regresión nos van a permitir crear una serie de reglas basadas en variables predictoras que nos van a permitir asignar una nueva observación a un grupo u a otro. Es una técnica discriminante porque permite discernir entre grupos.

Más importante que la interpretación de la relación entre la variable dependiente y las variables predictoras, es aquí la capacidad predictiva del modelo que se genera. Los árboles de regresión proporcionan las reglas de manera jerárquica y generan tantos modelos lineales como hojas tenga el árbol regresado. El algoritmo que se utilizará será el C4.5.

- Algoritmos clásicos basados en metodología Box-Jenkins.

Se trata de una familia de métodos lineales de predicción cuyo uso ha sido muy extendido hasta la llegada de los métodos de minería de datos. Aunque en la actualidad estos métodos comienzan a utilizarse cada vez menos, existe una serie de datos sobre los cuales su capacidad predictiva es innegable. Por ese motivo se ha decidido también probarlos aquí.

De todos los métodos existentes, se evaluarán cinco: autorregresivo –AR-, de media móvil –MA-, autorregresivo de media móvil –ARMA-, ARMA integrado –ARIMA- y vectores autorregresivos –VAR-. Básicamente estos modelos se basan en el análisis de tendencias de los valores históricos y en la predicción en función de los mismos.

Evaluación del modelo y backtesting

El último paso que todo sistema KDD debe incorporar es el de la evaluación de los resultados. Para este fin se van a utilizar distintas medidas de calidad, dependiendo de la técnica en cuestión.

El ajuste inicial de los modelos desarrollados se realizará siguiendo el esquema clásico de división del conjunto de datos en entrenamiento y test. Este conjunto de datos estará formado por el histórico almacenado. En particular, se utilizará la división clásica de 70%-30% para evaluar el rendimiento de los modelos generados en pruebas retrospectivas.

El modelo se evaluará en base a dos parámetros de error absoluto, el error relativo medio –MRE- y el error absoluto medio –MAE-, así como sus desviaciones típicas. En base a estos valores se tratará de analizar la bondad de los modelos desarrollados utilizando datos históricos.

El test in vivo de los modelos desarrollados tiene aspectos muy interesantes que hay que coordinar para asegurar que se obtiene información adecuada para poder evaluar de forma desagregada cada uno de los aspectos que pueden afectar a la bondad del modelo:

- Toma de datos en campo. Los datos se tomarán de forma tradicional y serán preprocesados para ser introducidos como 9inpts en el modelo de evolución de plagas
- Generación de predicciones de entradas a modelo. Especialmente los datos meteorológicos deben ser predichos en el horizonte temporal en el que se pretenda modelar la productividad de cada variedad estudiada en el proyecto. Se actuará de dos formas diferentes, aquellos datos que puedan ser obtenidos a través de servicios existentes como aquellos que proporcionan fuentes externas nacionales e internacionales, pero otros que se midan localmente en los cultivos, como la humedad del terreno, serán predichos desarrollando algoritmos específicos en base a las sondas locales.

Una vez se dispone de entradas para el modelo éste será operado in vivo, simulando una puesta real en producción para además de validar su capacidad de predicción, evaluar los sistemas implementados de tratamiento de big data y asegurar que es viable su operación comercial.

7. Bibliografía

CAMARGO J., IGUELMAR J. (2009). A genetic algorithm for citrus tree counting and canopy diameter estimation. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril: 6797-6804.

CRAIG J.C., SHIH S.F. (1998). The spectral response of stress conditions in citrus trees: development of methodology. Proc. Soil and Crop Science Society of Florida Annual Meeting, Daytona Beach, Florida. pp. 16-20.

DAVIES S.F., ALBRIG L.G. (1994). Citrus. CAB International. Wallingford, UK.

FLETCHER R.S. (2003). Evaluating high spatial resolution imagery for detecting citrus orchards affected by sooty mould. International Journal of Remote Sensing, 26 (3): 495-502.

HOLLMANN R., MERCHAN C.J., SAUNDERS R., DOWNY C., BUCHWITZ H., CAZENAVE A., CHUVIECO E., DEFURNY P., DE LEEUW G., FORBERG R., HOLZER-POPP T., PAUL F., SANDVEN S., SATHYENDRANATH S., VAN ROOZENDAEL M., WAGNER W. (2013). The ESA climate change initiative. Satellite data records for essential climate variables. American Meteorological Society, Oct-13: 1541-1552.

- IGLESIAS D.J., CERCÓS M., COLMENERO-FLORES J.M., NARANJO M.A., RÍOS G., CARRERA E., RUIZ-RIVERO O., LLISO I., MORILLON R., TADEO F.R., TALON M. (2007). Physiology of citrus fruiting. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19 (4): 333-362.
- JOHNSON L.F., ROCZEN D.E., YOUKHAN S.K., NEMANI R.R., BOSCH D.F. (2003). Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agricultura*, 38 (1): 33-44.
- LI X., LEE W.S., LI M., EHSANI R., MISHRA A.R., YANG C., MANGAN R.L. (2015). Feasibility study on Huanglongbing (citrus greening) detection based on WorldView-2 satellite imagery. *Biosystems Engineering*, 132: 28-38.
- MAGRAMA (2013). Anuario de estadísticas 2013. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2015). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector agrario: aproximación al conocimiento y prácticas de gestión en España.
- MIRIK M., JONES D.C., PRICE J.A., WORKNEH F., ANSLEY R.J., RUSH C.M. (2011). Satellite remote sensing of wheat infected by wheat streak mosaic virus. *Plant Disease*, 95 (1): 4-12.
- ONU (2015). Convención Marco sobre el Cambio Climático. FCCC/CP/2015/L.9
- PINTER P.J., HATFIELD J.L., SCHEPERS J.S., BARNES E.M., MORAN M.S., DAUGHTRY C.S.T., UPCHURCH D.R. (2003). Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69 (6): 647-664.
- ROMERO-RODRÍGUEZ E., HERVALEJO A., ARENAS F.J. (2013). Efectos del acolchado del suelo con malla negra en cítricos. *Vida Rural*, 15 de octubre 48-51.
- SEELAN S.K., LAGUETTE S., CASADY G.M., SEIELSTAD G.A. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: a learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88: 157-169.
- SHRIVASTAVA R.J., GEBELEIN J.L. (2007). Land cover classification and economic assessment of citrus groves using remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 61: 341-353.
- SINGH R., SEMWAL D.P., RAI A., CHHIKARA R.S. (2002). Small area estimation of crop yield using remote sensing satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (1): 49-56.

FASE DE CAMPO

Esta sección describe las actuaciones científicas y técnicas del Grupo Operativo.

8. Tratamiento de datos y ajuste de modelado de plagas (ec2ce)

Para la consecución de los objetivos planteados en la Sección anterior de la memoria, se va a utilizar una metodología basada en el proceso de modelado a partir de datos descrito en el apartado 6.

Para abordar los pasos de la metodología, dentro del proyecto se han llevado a cabo cinco paquetes de trabajo, que se corresponden a los principales elementos del proyecto:

- Adquisición de datos
- Preparación de los datos
- Transformación de los datos
- Ajuste del modelo
- Backtesting y validación del modelo

Adquisición de datos

En la primera etapa del proyecto, en verano de 2018, se recabaron datos de productividad y control de plagas muy escasos por parte de las empresas del sector participantes en el grupo operativo, datos que contenían muy poca representatividad, de forma que tras el primer análisis y transformación de datos se dedicaron recursos para modelar con los datos existentes a ver si los resultados eran consistentes, y se comprobó que efectivamente no eran suficientemente robustos para obtener predicciones adecuadas.

Desde ese momento se determinó la búsqueda necesaria de bases de datos más extensas, para lo que se dedicó prácticamente todo el año 2019, encontrándose finalmente una base de datos pública en la Red de Alerta Fitosanitaria de Andalucía (RIAF), que contenía históricos de dos plagas críticas en el cultivo de cítricos en Andalucía: la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*) y el piojo rojo (*Aonidiella aurantii*).

Con las bases de datos de monitoreo de plagas obtenidas a través de la Consejería de Agricultura, e integradas con las bases de datos geoespaciales y climáticas, se pudo comprobar al término de 2019 que se disponía de suficiente información para modelar matemáticamente sendas plagas, de modo que se reactivaron y ampliaron los recursos para modelar durante los primeros meses del año 2020, periodo que fue ampliado hasta septiembre por la extensión del plazo del proyecto otorgado finalmente.

Por otro lado, la ausencia de datos similares de productividad obligaron a completar esta parte con los datos agronómicos que logró Asociafruit a través de su subcontratada Ifapa, en un informe agronómico que se desarrolla en el apartado 10 de esta memoria.

Ahora nos centraremos en el modelado predictivo de plagas a partir de las bases de datos públicas. Dada la naturaleza tan heterogénea de los datos de origen, así como su gran cantidad, esta primera etapa resulta crucial para el resto del proceso.

En primer lugar, se necesitan identificar todas las variables de entrada al sistema. En su mayoría se tratan de variables cuyos valores evolucionan a lo largo del tiempo. Comúnmente este tipo de datos son referidos como series temporales y, por tanto, muchas de las técnicas que aquí se plantean deberán contar con la capacidad de procesar esta información debidamente.

Además de las variables previamente identificadas se han encontrado otras variables interesantes para el ajuste de los modelos otras deberán encontrarse conforme el proyecto avance y se vayan contemplando nuevas hipótesis que realimenten al sistema. A continuación, se describen los datos utilizados en el conjunto de las bases de datos integradas:

- Datos de la RAIF Cítricos: se ha utilizado la base de datos de cítricos de la Red de Alertas e información Fitosanitaria de Andalucía. La base de datos posee información desde 2006 hasta 2020. Los datos que contiene son de diversa tipología:

- Información sobre la parcela: se tienen datos identificativos de la parcela (código SIGPAC, coordenadas, altitud, estación meteorológica asociada), así como datos relativos a características de esta (hectáreas, tipo de suelo, variedad del cultivo, etc)
- Muestras de plagas: también se tienen variables relativas al monitoreo de las plagas que afectan a los cítricos, en este caso, nos interesan las variables que monitorean a las plagas de piojo rojo de California y a la mosca de la fruta. Para ambas plagas se tienen diversas formas de monitorización (Número de bichos por placa y día, % fruto picado, etc).
- Tratamientos utilizados: se tienen los tratamientos utilizados frente a las distintas plagas, tanto para prevenirlas como para paliarlas, así como el producto utilizado y la composición del mismo.
- Datos meteorológicos: se obtienen los datos meteorológicos mediante las estaciones meteorológicas de IFAPA y de las RAIF más cercanas a las parcelas que se pueden trazar mediante su código SIGPAC. Aquellas parcelas que no se pueden trazar mediante su código SIGPAC, se obtienen los datos relativos a las estaciones meteorológicas asociadas en la base de datos. Una vez se tiene la estación meteorológica asociada se obtienen datos diarios relativos a:
 - Temperatura: datos diarios sobre la temperatura media, mínima y máxima asociados a la estación meteorológica.
 - Humedad: datos diarios sobre la humedad relativa media, mínima y máxima asociados a la estación meteorológica.
 - Radiación: datos diarios de la radiación captada por la estación.
 - Viento: datos diarios sobre la velocidad (m/s) y dirección del viento asociados a la estación meteorológica.

Preparación de los datos

Las bases de datos, procedentes de diversas fuentes, gestionadas con criterios diferentes, con horizontes temporales variados deben ser organizadas, homogeneizadas, y su gestión automatizada.

La preparación de los datos pretende disponer de toda la información homogénea, automatizada la toma de datos en continuo y con sistemas de corrección de valores ausentes, de valores fuera de rango o erróneos. Además, es necesario evaluar la fiabilidad de las bases de datos existentes como fuente de información y analizar sus correlaciones con el resto de datos de campo.

Una vez obtenidos y homogeneizados los datos, se filtran y se rechazan los no válidos o los incorrectos, según las necesidades, o bien se corrigen o se reduce el número de variables posibles. En esta etapa, por tanto, se plantea la limpieza de los datos recopilados para evitar que sean incompletos -faltan valores de algunos atributos-, ruidosos -contienen errores o valores anómalos-, duplicados o inconsistentes -discrepancia en los valores según los atributos a los que representan-.

Para ello, se plantean diferentes estrategias, según las características de cada una de las series temporales que se desee preprocesar. Estas estrategias abordarán el tratamiento de valores ausentes y de datos anómalos.

En lo que se refiere al tratamiento de valores ausentes, aunque existen numerosas estrategias para el procesamiento de este tipo de datos, este proyecto se centrará en:

- Procedimientos basados en la imputación de valor ausente, o generación artificial de datos a partir de estadísticos que harán que el conjunto de datos sea completo. El algoritmo que se utilizará será MRI -del inglés, Multiple Regression Imputation-.
- Procedimientos basados en máxima verosimilitud. Se basa en suponer que la ausencia de valores es aleatorio y generar matrices de datos considerando máxima verosimilitud con la vecindad. El algoritmo que se utilizará será ML-m -del inglés, Maximum Likelihood – missing-.

- Procedimientos basados en la estimación Bayesiana. Incorporación de información previa en la estimación de la probabilidad de cada valor de la variable que contiene datos ausentes. El algoritmo que se utilizará será BE -del inglés, Bayes Estimator-.

En segundo lugar, se abordará el tratamiento de datos anómalos, también conocidos por su término inglés outliers. En estadística, un outlier es una observación que es numéricamente distante del resto de los datos. Las estadísticas derivadas de los conjuntos de datos que incluyen valores atípicos serán frecuentemente engañosas. Los outliers suelen provocar que los modelos generados sean imprecisos por eso su detección y temprana eliminación resultan de vital importancia. El algoritmo que se utilizará será LOF -del inglés, Local Outlier Factor-.

Por tanto, una vez se tienen todos los datos en bruto, se realiza una limpieza de estos, con el objetivo, de tener un conjunto de datos que refleje la realidad y proporcione más ruido que conocimiento. En esta línea, se realizan las siguientes tareas:

- Descarte de parcelas inservibles: Se eliminan aquellas parcelas que no contienen información relevante de las plagas objeto de estudio, por ejemplo, aquellas en las que no se dispone información de muestreo o directamente, nunca se ha tenido muestra de los mismos.
- Eliminación de parcelas no trazables: Se descartan aquellas parcelas que no pueden localizarse, ya que contiene información insuficiente para poder ubicarla, y por tanto, no se dispone de datos meteorológicos y satelitales.
- Solución de errores en los datos: Se corrigen aquellos datos que contienen errores de escritura, homogeneizando las variables categóricas lo máximo posible.
- Tratamiento de *outliers*: Se detectan y se tratan valores atípicos que pueden conllevar a que el modelo no se ajuste como es debido.
- Análisis de datos ausentes y duplicados: Se realiza un análisis de ausentes y duplicados, para detectar aquellas variables que no están informadas, para eliminarlas o buscar otra fuente de información. También se eliminan aquellos registros que estén duplicados.
- Estudio descriptivo: Se realiza un estudio descriptivo de cada variable para obtener una idea general de la distribución de esa variable, y su posterior tratamiento, en caso de que no tenga un rango lógico.
- Imputación de datos ausentes: Se imputan los datos ausentes que sea posible mediante el uso de técnicas estadísticas que aseguran que el dato introducido sea consistente con el resto.

Transformación de los datos

Cuando se dispone finalmente de un conjunto de datos consistente, que no contiene incoherencias y que los valores de las variables utilizadas están en rangos lógicos, se procede a extraer todo el conocimiento que sea posible de dicho conjunto.

Para ello, se realizan transformaciones de las variables que aporten información adicional, por ejemplo:

- Creación de nuevas variables con un sentido agronómico: Se obtienen variables nuevas que proporcionan información muy valiosa a la hora de saber si se tienen condiciones idóneas para que la plaga proliferen o no. Para ello, se crean variables que simulan condiciones meteorológicas, que son perjudiciales, normales o beneficiosas para la plaga.
- Información reciente: Se construyen variables que contienen información de la plaga en distintos puntos del tiempo, ya sea de esta campaña como de las campañas anteriores.
- Tendencias: Se crean variables que contienen información sobre los incrementos y decrementos de las distintas variables, de forma anual, mensual, etc.

Con todo lo anteriormente descrito, se busca obtener un conjunto de datos que obtenga información valiosa, con sentido agronómico y que sea útil a la hora de realizar un modelo que prediga bien el comportamiento de las distintas plagas.

Ajuste del modelo

En este apartado se describen los modelos creados para cada plaga y cada horizonte predictivo (cuatro semanas a futuro); es decir, una vez se tiene el conjunto de datos tratado, se entrena cada modelo de plaga en distintos horizontes, y se obtienen las variables (atributos) que más influyen en cada uno de ellos, obteniéndose los siguientes resultados:

1. Piojo Rojo de California:

De todos los diferentes algoritmos que se han testado, el modelo con el que mejores resultados se ha obtenido nos ofrece las siguientes variables críticas para los cuatro horizontes predictivos (1, 2, 3 y 4 semanas futuras):

Temperatura media 15d
Temp. máx/min 15d
Anomalías de temp.
Anomalías de humedad
Anomalías de radiación
Anomalías de viento
Anomalías precipitación
Rango histórico conteos
Conteo medio plaga 15d

2. Mosca de la Fruta

De todos los diferentes algoritmos que se han testado, el modelo con el que mejores resultados se ha obtenido nos ofrece las siguientes variables críticas para cada horizonte predictivo (1, 2, y 3 semanas futuras):

Variación Temp. 15d
Variación humedad 15d
Anomalías de temp.
Anomalías de radiación
Anomalías precipitación
Anomalías de viento
Tipo de regadío
Tipo de suelo
Marco de plantación
Variedad aceituna
Índice satelital NAOM
Rango histórico conteos
Conteo medio plaga 15d

Backtesting y validación del modelo

Una vez seleccionadas las variables críticas para cada modelo, y probar distintos modelos con diferentes técnicas de machine-learning, se logra establecer el mejor modelo predictivo que modelará el comportamiento de cada plaga en cada horizonte. Y una vez seleccionados los modelos, es crítico validar el modelo de cálculo desarrollado mediante un proceso de *backtesting*, que consiste en evaluar el comportamiento del modelo en

años anteriores, eliminando el conocimiento del año en test, y realizarlo consecutivamente a lo largo de todos los años del histórico (en la fase documental se definió este proceso de “leave one year out”).

BACKTESTING DEL MODELO DE PIOJO ROJO DE CALIFORNIA

En este apartado se presentarán los resultados del backtesting de los modelos de Piojo Rojo de California en los distintos horizontes estudiados (de una a cuatro semanas vista).

Tal y como se ha descrito en apartados anteriores la variable objetivo de piojo es **número de machos por placa y día** considerando los siguientes niveles de riesgo:

- Nivel de riesgo bajo (verde): Menos de un piojo.
- Nivel de riesgo medio (amarillo): Entre uno y cinco piojos.
- Nivel de riesgo alto (rojo): Más de cinco piojos.

Para cada uno de los horizontes predictivos, se obtiene una tabla con los siguientes campos:

- Total de observaciones en los que se ha realizado el backtesting en el horizonte temporal.
- Porcentaje de acierto.
- MAE: Media del error en número de piojos.

Horizonte	Observaciones	Error medio en el conteo de insectos	% promedio de acierto
1 semana	1190	0.6	44%
2 semanas	1190	5.1	44%
3 semanas	1190	5.0	42%
4 semanas	886	5.7	36%

En el backtesting de piojo rojo de California se pueden observar las siguientes conclusiones:

El porcentaje de acierto medio es bajo, inferior al 45%, y va disminuyendo a medida que el horizonte temporal aumenta, ya que la incertidumbre es más grande y las relaciones entre las variables del modelo son más débiles. Esto se debe a varios factores que afectan a la consistencia de las bases de datos de monitoreo utilizadas en el entrenamiento: no se tienen parcelas con muestras de piojo que tengan un gran histórico, y la mayoría de muestreos de piojo son muy bajos y por tanto no llegan a detectar cuando el nivel de riesgo sube.

A pesar de haber seleccionado el mejor modelo posible, los resultados no son satisfactorios, y habrá que comprobarlos en la demostración in vivo de campo con monitoreo actualizado de la campaña actual para llegar a las conclusiones definitivas.

BACKTESTING DEL MODELO DE MOSCA DE LA FRUTA

En este apartado se presentarán los resultados del backtesting de los modelos de Mosca de la Fruta en los distintos horizontes estudiados (de una a cuatro semanas vista). Tal y como se ha descrito en apartados anteriores la variable objetivo de piojo es **número de moscas en trampa con feromona y día** considerando los siguientes niveles de riesgo:

- Nivel de riesgo bajo (verde): Menos de una mosca.
- Nivel de riesgo medio (amarillo): Entre uno y cinco moscas.
- Nivel de riesgo alto (rojo): Más de cinco moscas.

Para cada uno de estos niveles de riesgo, se tiene una tabla con los siguientes campos:

- Total de observaciones en los que se ha realizado el backtesting en el horizonte temporal.
- Porcentaje de acierto.
- MAE: Media del error en número de moscas.

Horizonte	Observaciones	Error medio en el conteo de insectos	% promedio de acierto
1 semana	5285	0.6	72%
2 semanas	5295	0.6	61%
3 semanas	5300	0.6	60%
4 semanas	3882	0.7	46%

En el backtesting de la mosca de la fruta se pueden observar las siguientes conclusiones:

El porcentaje de acierto es muy razonable en los horizontes a corto plazo 60-70%, y va disminuyendo a medida que el horizonte temporal aumenta, ya que la incertidumbre es más grande y las relaciones entre las variables del modelo son más débiles.

Se puede observar que el porcentaje de acierto en los distintos horizontes temporales para la mosca de la fruta es superior a los obtenidos con el piojo rojo de California. Esto se debe a que se tiene una mayor variabilidad en la muestra de mosca y con un histórico mayor (véase el número de observaciones en ambas plagas).

En la prueba invivo se demostrarán estos niveles de acierto, que son mucho más prometedores para llegar a las conclusiones definitivas.

Antes de la realización del invivo, es necesario que las partes con plantaciones productoras (FOAST e IFAPA) establezcan los protocolos de monitorización en cosecha actual (2020), los cuales se describen en el apartado siguiente.

9. Plan de trabajo de monitorización de plagas (fincas de IFAPA y FOASAT)

INFORME REFERENTE AL SEGUIMIENTO POBLACIONAL DE DOS PLAGAS CLAVES EN LOS CÍTRICOS: PIOJO ROJO DE CALIFORNIA (*Aonidiella aurantii*) Y MOSCA DE LA FRUTA (*Ceratitis capitata*)
SEVILLA, CAMPAÑA 2019-2020



Francisco José Arenas Arenas
Área Hervalejo García
Rocío Calero Velázquez
Estefanía Romero Rodríguez

IFAPA Centro Las Torres (Alcalá del Río, Sevilla)

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, las estrategias destinadas a la regulación de las poblaciones de las principales plagas agrícolas han mostrado una marcada tendencia hacia una reducción parcial o total del uso de plaguicidas (Metcalf y Luckman, 1975; Kirsch, 1988; Martín y Llorens, 2014), consecuencia directa de los numerosos problemas derivados de su aplicación en épocas pasadas (contaminación del medio ambiente, aparición de resistencia, proliferación de plagas secundarias como consecuencia de la eliminación de sus enemigos naturales...).

En este contexto, los métodos alternativos al control químico, y en particular el control biológico basado en artrópodos depredadores y parasitoides, están recibiendo una gran atención. Desafortunadamente, existen ciertas especies de fitófagos que carecen de un control biológico plenamente satisfactorio (las conocidas como “plagas clave”), y sus poblaciones con frecuencia superan los umbrales de intervención que justifican las medidas de tipo químico (Urbaneja *et al.*, 2008). Ante esta situación, una de las opciones que mayor interés han recibido es la integración del control químico y biológico en programas de manejo integrado de plagas. Para ello, es fundamental la compatibilidad de las materias activas utilizadas con la presencia y actuación de la fauna auxiliar que aparece en el ambiente del cultivo, es decir, éstas deben ser capaces de regular las poblaciones de la plaga sin afectar directa o indirectamente a la biología y/o dinámicas poblacionales de los enemigos naturales (Cloyd, 2012).

En nuestro país, las principales plagas clave que hostigan a los cítricos son la mosca de la fruta y el piojo rojo de California en todas las especies y variedades, y diferentes especies de araña roja y pulgones en mandarino, sumado a la amenaza de nuevas enfermedades, devastadoras en otros países e inexistentes (HLB) o recién detectadas (Clorosis variegada de los cítricos).

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue la realización del seguimiento poblacional de dos plagas clave, piojo rojo de California y mosca de la fruta, en el cultivo de los cítricos. Con los datos obtenidos del tamaño de la poblacional y los umbrales de tratamiento establecidos para cada plaga se podría determinar el momento óptimo de intervención para el control de ambas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Parcelas experimentales

3.1.1. Localización de las parcelas de ensayo

El ensayo se localiza en dos parcelas ubicadas en el Centro IFAPA Las Torres en el término municipal de Alcalá del Río (Sevilla) (*Imagen 1*).



Imagen 1.- Vista satélite del área geográfica donde se encuentra la parcela de ensayo en la que se realizó el seguimiento poblacional del piojo rojo de California y mosca de la fruta

La descripción de cada parcela se presenta a continuación:

- **PARCELA EXTERIOR:** conformada con variedades de naranjas dulces del grupo Blancas injertadas sobre *Citrus volkameriana*.
- **PARCELA INTERIOR:** constituida por naranjas dulces del grupo Navel, concretamente de la variedad de media estación 'Lane Late', injertada sobre distintos patrones.

Ambas parcelas están establecidas siguiendo un marco de plantación de 6 x 4 m².



Imagen 2.- Marcaje de las parcelas exterior (izquierda) e interior (derecha)

3.2. Instalación de trampas de feromonas para monitoreo de machos alados

Para el control del **piojo rojo de California** se instalaron dos dispensadores, uno en la parcela exterior y otro en la parcela interior, ambos suficientemente alejados uno de otro.



Imagen 3.- Dispositivo de trampa más feromona colocado en la parcela exterior (izquierda) y parcela interior (derecha) para el seguimiento dle piojo rojo de California

Para el control de la **mosca de la futa** se instalaron dos mosqueros, uno en la parcela exterior y otro en la parcela interior.



Imagen 4.- Conjunto de elementos que conforman las trampas para el seguimiento de la mosca de la fruta: mosquero (arriba), insecticida DDVP (Vapona) (abajo izquierda) y feromona (abajo derecha)

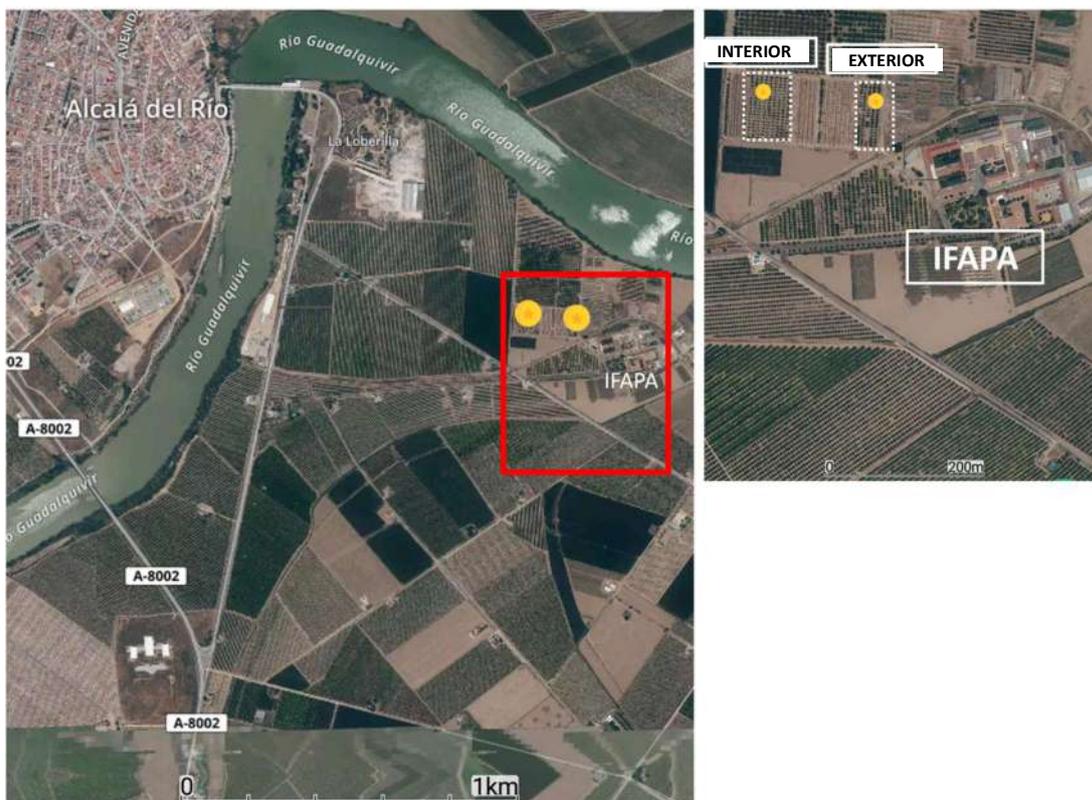


Imagen 5.- Disposición de las trampas en la parcelas exterior e interior del IFAPA Las Torres (Alcalá del Río, Sevilla)

La colocación del dispositivo de trampa más feromona para el control del piojo rojo de California y el mosquero con el insecticida y la feromona para el control de la mosca de la fruta se realizó el 2 de marzo de 2020, dando por iniciado el seguimiento poblacional de ambas plagas.

3.3. Plagas

3.3.1. Piojo Rojo de California (*Aonidiella aurantii*)

El piojo rojo de California es una plaga originaria del sudeste asiático que a día de hoy se encuentra presente en casi todas las regiones cítricas, especialmente en la cuenca Mediterránea.

Las pérdidas económicas que esta plaga genera a los citricultores no sólo se deben a la pérdida comercial de los los frutos, sino también a la gestión y el control de la misma. El control químico convencional resulta complejo y costoso, ya que los estadios inmaduros y vulnerables a los tratamientos se fijan rápido, desarrollando los escudos protectores que impiden la correcta penetración de las materias activas. Ésto unido a su elevada capacidad de proliferación se suelen traducir en poblacionales superiores al umbral de daño económico, recurriendo de forma habitual a las aplicaciones de tratamientos químicos.

No obstante, la tendencia actual es realizar una citricultura mucho más racional y respetuosa con el medio ambiente, reduciendo la aplicación de productos fitosanitarios. Así, en los últimos años se ha suscitado un gran interés por el desarrollo de estrategias de control menos agresivas y más sostenibles a largo plazo, entre las que cabrían destacar la reducción de las dosis de aplicación de materias activas y el control biotecnológico basado en la técnica de confusión sexual.

Identificación, biología y daños

Se trata de un insecto hemíptero de la familia Diaspididae. Es la cochinilla más perjudicial de los cítricos españoles. Aunque es una especie extremadamente polífaga, tiene una marcada predilección por los cítricos, sobre todo en árboles de hasta 10-12 años.

Tienen una reproducción sexual estricta, pudiendo tener de dos a seis generaciones: mayo-junio y septiembre. Las ninfas de las hembras son redondas, mientras que las de los machos son ovaladas (dimorfismo sexual). Tienen un color amarillento-anaranjado.



Imagen 6.- Dimorfismo sexual en *Aonidiella aurantii*, particularmente evidente en los adultos: hembra (izquierda) y macho (centro). En los estadios ninfales, las hembras siempre son redondas, mientras que los machos son ovalados (derecha)

Afecta principalmente a limoneros y naranjos (aunque también a ornamentales, frutales de pepita y hueso, especies forestales). Lo podemos encontrar en frutos, hojas, ramas y tronco, teniendo preferencia por las zonas expuestas al sol. Tienen una marcada preferencia por los frutos, lo que puede provocar una depreciación cosmética, por lo que hay que estar atentos en mayo-junio y en septiembre. Altos niveles de infestación pueden llegar a causar clorosis y caída de hojas, muerte de ramas, caída de frutos e incluso depreciación del fruto debido a los picotazos, provocando un descenso de la productividad.



Imagen 7.- Ataque de *Aonidiella aurantii* sobre frutos de distintas especies y variedades de cítricos (naranjas a la izquierda y en el centro, y sobre limón a la derecha).

Muestreo y umbrales

- Periodo de muestreo: desde marzo a junio y durante el mes de septiembre.
- Periodicidad del muestreo: se realizará una observación semanal durante los periodos establecidos.
- Tamaño y tipo de muestra:
 - 4 frutos/árbol, 1 por orientación, entendiéndose por fruto afectado aquél que tenga más de 3 individuos por fruto.
 - Cuando estemos en periodo de recolección, se deben observar 200 frutos, 8/árbol, 2 por orientación, para determinar la presencia de piojo en cosecha y como referencia para la futura campaña.
- Parámetro a determinar: % de frutos afectados.
- Umbral económico de daño (U.E.D.):
 - Si se observa $\geq 2\%$ fruta afectada en la campaña anterior se recomienda tratar en 1ª generación al máximo de formas sensibles.
 - En cosecha pendiente, si se observa $\geq 2\%$ fruta afectada en 2ª generación tratar con aceite al máximo

de formas sensibles (ninfas jóvenes).

Métodos de control

- Control cultural

Se recomienda realizar podas de aireación de la copa, ya que disminuye la humedad relativa, lo que provoca la muerte de los insectos inmaduros.

Aplicar pintura insecticida al tronco de los árboles para evitar la subida de las hormigas.

- Control biológico

El control biológico es efectivo si los niveles de plaga no son muy altos. Como medidas de control biológico contamos con dos parasitoides y varios depredadores:

Parasitoides. Son dos los agentes más eficaces en la lucha frente al piojo rojo de California: *Aphytis melinus* (el más eficiente) perteneciente a la familia Aphelinidae, el cual parasita preferentemente el segundo y tercero estado ninfal de la hembra, y *Comperiella bifasciata*, perteneciente a la familia Encyrtidae, que parasita el estadio de hembra joven y hembra grávida. Se localiza preferentemente en el fruto.

Depredadores. Varios coccinélidos se alimentan del piojo rojo de California, entre ellos *Rhyzobius lophanthae* y *Chilocorus bipustulatus*.

- Control biotecnológico

La confusión sexual del piojo rojo de California ha sido desarrollada como un método de control bioracional de esta plaga. Su aplicación es sencilla y consiste en colocar, una vez al año, entre 400 y 500 difusores mesoporosos por hectárea que liberan feromonas sintéticas (Rescalure 4%) de forma controlada al ambiente, las cuales se asemejan químicamente a las feromonas sexuales que las hembras emiten para atraer a los machos. Con esta disposición y este tipo de emisores se consigue que en el ambiente se alcance una concentración de feromona suficiente para interrumpir la comunicación química entre machos y hembras y, en conclusión, evitar que los machos de la especie puedan encontrar a las hembras receptivas. Esto evita que el piojo rojo de California se reproduzca y, por lo tanto, en el transcurso de las sucesivas generaciones se vayan reduciendo las poblaciones de esta plaga. Además, no interfiere con la actividad parasitaria de *Aphytis* spp.

- Control químico

Este método de control se basa en la aplicación de productos insecticidas. Es de vital importancia comprobar los efectos secundarios sobre los enemigos naturales (parasitoides) de esta plaga ya que algunos productos autorizados pueden resultar tóxicos.

Los momentos de aplicación y las materias activas recomendadas son los siguientes:

- ✘ Sólo si se detecta y supera el umbral de tratamiento, tratar en la primera generación, finales de mayo a mediados de junio. Aplicar Piriproxifen.
- ✘ En segunda generación (fase de engorde del fruto), de julio a agosto. Aplicar aceites minerales.
- ✘ Si nos encontramos con más del 2% de los frutos con presencia de 3 o más escudos habría que realizar un tratamiento. Para ello se muestrean al azar 10 frutos/árbol en 25 árboles.
- ✘ Otras materias activas autorizadas: aceite de parafina, fenoxicarbo spirotetramat.

3.3.2. Mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*)

La mosca de la fruta es originaria del África subsahariana y es una plaga clave en regiones frutícolas de toda la cuenca Mediterránea. Es conocida como una de las plagas más dañinas para la agricultura a escala mundial, siendo objeto de estrictas medidas cuarentenarias en numerosos países en los que aún no está oficialmente

presente. Puede desarrollarse sobre más de 330 especies vegetales, demostrando una gran adaptación a un amplio rango de condiciones climáticas. Actualmente, está considerada como una plaga clave para la agricultura española, siendo los cítricos los frutales más afectados por sus poblaciones.

En Andalucía, esta plaga afecta no sólo a cítricos (tanto a especies y variedades tardías, como tempranas) sino también a las frutas dulces que maduran a finales de primavera y durante el verano. Esta situación se ha agravado, en los últimos años, por la expansión de variedades extraempranas de cítricos.

Identificación, biología y daños

La mosca de la fruta pertenece al orden Hemiptera, familia Tephritidae.

Los adultos presentan un tamaño similar al de la mosca doméstica, alas anchas y transparentes con unas bandas amarillo-parduzcas y finos trazos de color marrón muy característicos. Ambos sexos pueden ser diferenciados fácilmente en estado adulto de acuerdo a la presencia o no de ovipositor, muy desarrollado en las hembras (abdomen muy apuntado posteriormente para inocular los huevos directamente en el interior del fruto). Las larvas son muy parecidas a las de otras moscas, blanquecinas y de aspecto vermiforme y con un aparato bucal anterior muy esclerotizado (oscuro). Cuando completan su desarrollo larvario, se lanzan al suelo y forman un pupario de color marrón y forma de barrilete donde llevarán a cabo la metaformosis.



Imagen 8.- Hembra adulta y larva de la mosca de la fruta alimentándose de la piel de un pomelo

Es una plaga muy polífaga, ataca a todas las variedades de cítricos, aunque tiene menos preferencia por los limoneros. Exclusivamente la podemos encontrar en frutos y aparece principalmente en invierno. Los daños directos se deben al efecto de la picadura de puesta de la hembra sobre el fruto, que es una vía de entrada de hongos y bacterias que descomponen la pulpa; y a las galerías generadas por las larvas durante su alimentación. Además, todo lo señalado produce un descenso directo de la productividad, descomposición parcial del fruto, pérdida de calidad gustativa, cambio de color de la corteza de los frutos, maduración precoz y caída del fruto. Por otro lado, el principal daño indirecto se debe a la restricción impuesta por otros países a la exportación de fruta con riesgo de haber sido atacada por *Ceratitis capitata*.



Imagen 9.- Ataque de *Ceratitis capitata* sobre naranjas (izquierda) y detalle de heridas en la corteza de un fruto ocasionadas por la mosca de la fruta (derecha)

Muestreo y umbrales

- Periodo de muestreo: éste dependerá de a qué grupo de recolección pertenece la variedad a muestrear (tempranas, medias y tardías). El muestreo se iniciará en cada grupo y variedad cuando el fruto en verde

alcance su tamaño definitivo, siempre con estado fenológico anterior al “envero”.

- Periodicidad del muestreo: semanal.
- Tamaño y tipo de muestra: existen dos tipos de muestreo, determinando el nivel poblacional mediante el uso de trampas alimenticias y sexuales o determinando la presencia de los primeros frutos picados, para lo cual se observarán 8 frutos/árbol, 2 por orientación.
- Parámetro a determinar: nº moscas/trampa y día y % frutos picados.
- Umbral económico de daño (U.E.D.): en el caso de muestrear empleando trampas alimenticias, capturas de 0’5 moscas/mosquero y día, antes del envero, indican la necesidad de efectuar algún tratamiento. No obstante, la sola presencia de la mosca de la fruta puede justificar la aplicación.

Tener especial atención con las variedades de clementinas extratempranas, al final del verano, y las variedades de naranja tardía, al final de la campaña (final de primavera).

Métodos de control

- Control cultural

Una medida de control cultural frente a esta plaga es la eliminación y destrucción de la fruta picada de la parcela, tanto del suelo como del árbol.

- Control biológico

A día de hoy, la acción del control biológico no es suficiente para controlar por completo los daños producidos por esta plaga pero no significa que este método no juegue un papel importante en la disminución de sus poblaciones. Los enemigos naturales empleados son los siguientes:

Depredadores. La araña *Pardosa cribata* (Simon) (Araneae: Lycosidae) se alimenta de adultos de la mosca recién emergidos. El carábido *Pseudophonus rufipes* (De Geer) se alimenta de las pupas de la mosca presentes en el suelo. Existen, además, otras especies de arañas, carábidos, estafilínidos y dermápteros que probablemente también se alimentan de la mosca aunque su acción aún no ha sido evaluada.

Parasitoides. Entre los parasitoides autóctonos los más abundantes son los pteromálidos: *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani) y *Spalangia cameroni* Perkins. Ambos son parasitoides de pupas.

- Control biotecnológico

Este tipo de control contempla diferentes técnicas:

- ✘ La quimioesterilización, basada en el empleo de trampas cebadas con atrayente y gel esterilizante (lufenurón; inhibidor de la síntesis de quitina). Éstas producen esterilidad y existe una transmisión horizontal. Además, inhiben la eclosión de huevos.
- ✘ Trampeo masivo con un alto número de trampas con Tripack (atrayente de hembras, sexual o alimenticio) + insecticida.
- ✘ Técnica de insectos estériles (TIE), que consiste en la liberación masiva de machos previamente esterilizados. Se llevan a cabo en grandes superficies y existen biofábricas de machos (dependientes de la Administración).

- Control químico

Aunque recurrir al tratamiento con productos fitosanitarios no es el sistema más recomendable ni deseable contra la mosca de la fruta, en el caso de acudir a él por haber una infestación de nuestro campo que no ha

podido ser evitada por medio de otros métodos alternativos, los compuestos a utilizar son: Etofenprox (sólo pulverización cebo), Lambda cihalotrin (sólo pulverización cebo), Spinosad(sólo pulverización cebo) y Lufenurón (trampas de esterilización).

3.4. Toma de datos

Para el seguimiento poblacional de piojo rojo de California y mosca de la fruta se realizaron muestreos semanales en ambas parcelas (exterior e interior), iniciados en marzo de 2020. Las fechas de muestreo fueron las siguientes: 9 de marzo; 3, 13, 21 y 30 de abril; 5, 11, 18 y 25 de mayo; 1, 8, 15, 22 y 29 de junio; 6, 13, 20 y 27 de julio; y 3, 18, 24 y 31 de agosto; de 2020. Comentar que dada la situación de confinamiento impuesta a mediados de marzo por el COVID-19 no se pudieron realizar los muestreos pertenecientes al mes de marzo, los cuales fueron reanudados con normalidad en abril.

Los muestreos consistieron en recogida y sustitución de trampas para el seguimiento del piojo rojo de California; y recogida de machos muertos de los mosqueros para el seguimiento de la mosca de la fruta, en ambas parcelas. Una vez en laboratorio se procedió al recuento de individuos de ambas plagas. Por otro lado se consideró en cuenta la caducidad de las feromonas e insecticidas empleados. Así, la feromona atrayente del piojo rojo fue sustituida cada 2 meses y la feromona atrayente e insecticida de la mosca de la fruta cada 2,5.

4. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el conteo de individuos (machos alados) de piojo rojo de California (*Figura 1*) y mosca de la fruta (*Figura 2*) en la distintas fechas de muestreo en las dos parcelas evaluadas, exterior e interior, durante el transcurso del ensayo.

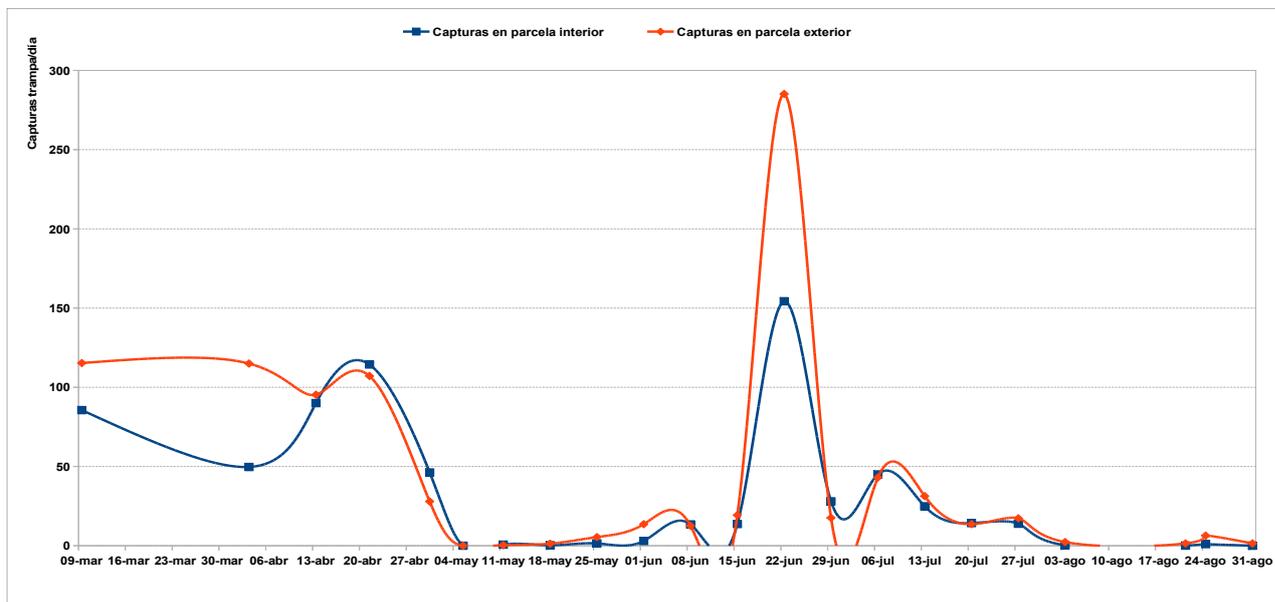


Figura 1.- Evolución de la población (machos alados) del piojo de California en las distintas fechas de muestreo en ambas parcelas evaluadas, exterior (rojo) e interior (azul).

Capturas trampa/día calculada mediante la siguiente fórmula= n° individuos capturados / $(f_m - f_{m-1})$

f_m : fecha de muestreo.

f_{m-1} : fecha de muestreo anterior.

$(f_m - f_i)$: días transcurridos entre la fecha de muestreo y la fecha de muestreo inmediatamente anterior.

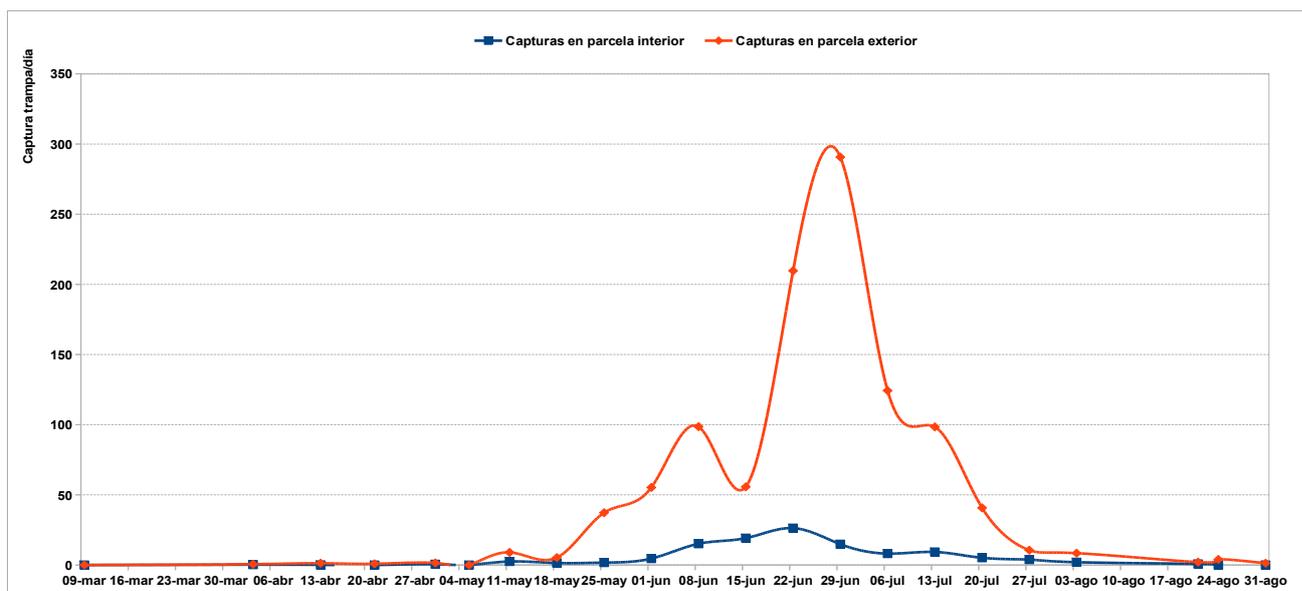


Figura 2.- Evolución de la población (machos alados) de la mosca de la fruta en las distintas fechas de muestreo en ambas parcelas evaluadas, exterior (rojo) e interior (azul)

Capturas trampa/día calculada mediante la siguiente fórmula= nº individuos capturados / (f_m-f_{m-1})

f_m: fecha de muestreo.

f_{m-1}: fecha de muestreo anterior.

(f_m-f_i): días transcurridos entre la fecha de muestreo y la fecha de muestreo inmediatamente anterior.

Con los datos obtenidos en este trabajo se puede observar los periodos donde se da un mayor reputen de piojo rojo de California y mosca de la fruta, permitiendo decidir, en función a los umbrales establecidos, el momento óptimo de intervención para el control de ambas plagas.

5. BIBLIOGRAFÍA

Cloyd, R.A. 2012. Indirect effects of pesticides on natural enemies. En "Pesticides – Advances in Chemical and Botanical Pesticides. Pag: 127-150.127-150.

KIRSCH P. 1988. Pheromones: their potential role in control of agricultural insect pests. American Journal of Alternative Agriculture, 3 (2-3): 83-97.

Marín, A. y Llorens, J.M. 2014. Guía de gestión integrada de plaga de cítricos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España, Madrid.

Metvalf, R.L. y Luckman, W. 1975. Introduction to Pest Management. John Wiley and Sons, New York.

Urbaneja, A., Jacas, J.A. y García-Marí, F. 2008. Control biológico en cítricos. En "Control biológico de plagas agrícolas". Ed. Jacas A., Urbaneja A. MV Phytoma-España.

Monitorización de plagas en la finca de FOASAT:

La empresa FOASAT ha llevado a cabo la monitorización de las plagas de Ceratitis y Piojo Rojo en cuatro fincas de su propiedad ubicadas en el entorno productivo del valle del Guadalquivir, entre las poblaciones de Peñaflores y Palma del Río, con monitoreo semanal para ambas plagas y de forma independiente por parcela.

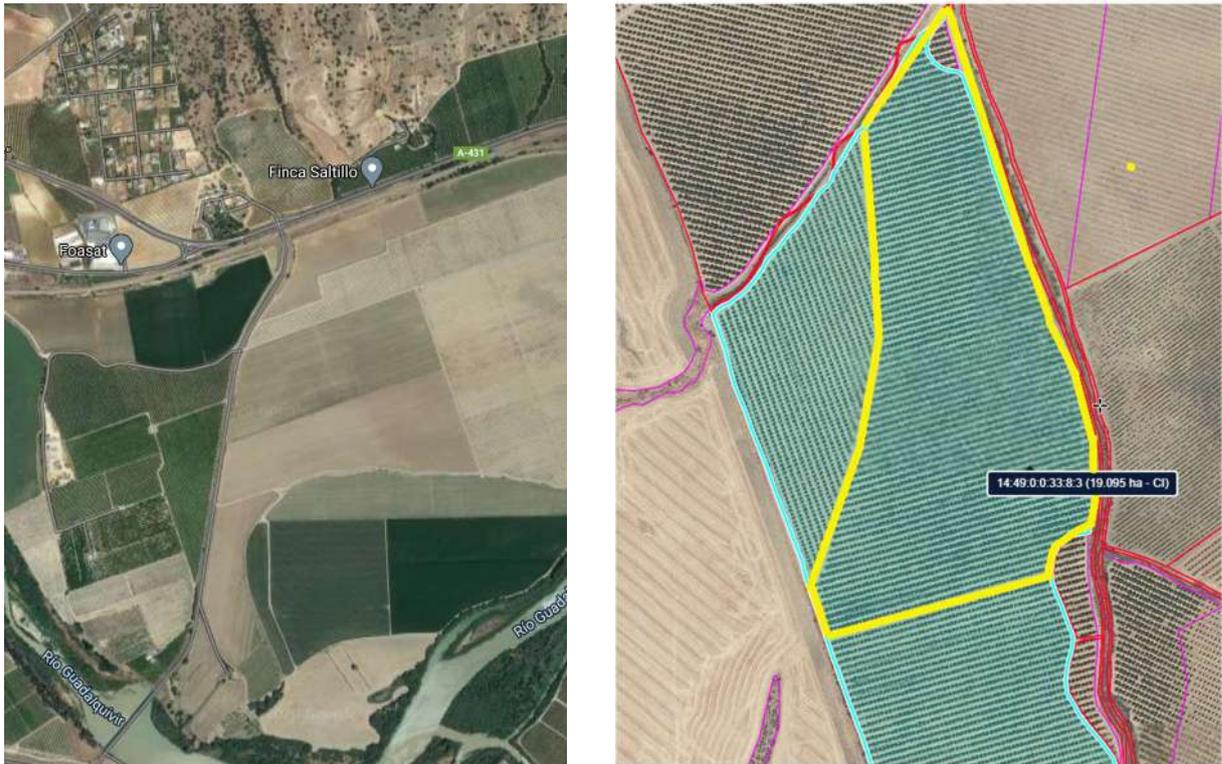


Figura 1: ubicaciones de las fincas de FOASAT

Los protocolos de monitoreo para sendas plagas han sido los mismos que los utilizados por iFAPA, descritos en el apartado anterior.

Los resultados de los muestreos han sido los siguientes (se especifican por finca y variedad):

La Isla: Lane
 Alcopavir: Valencia
 Miravalles: Powell
 M.Carmen: Salustiana

SIG PAC	14-49-0-0-4-37-1			14-49-0-0-33-9-2			14-49-19-0-0-4-1			14-36-0-0-42-6-1		
FINCAS	LA ISLA LANES			ALCOPAVIR VALENCIA			MIRAVALLS POWELL			MARI CARMEN SALUSTIANA		
	CERATITIS	Capturas	PIOJO ROJO	CERATITIS	Capturas	PIOJO ROJO	CERATITIS	Capturas	PIOJO ROJO	CERATITIS	Capturas	PIOJO ROJO
04-mar	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	3
11-mar	0	0	299	0	0	0	1	0,142	0	0	0	10
18-mar	0	0	877	0	0	0	0	0	0	0	0	76
25-mar	0	0	81	0	0	3	0	0	0	1	0,142	68
01-abr	0	0	511	1	0,142	1	0	0	0	1	0,142	111
08-abr	0	0	633	0	0	0	0	0	0	1	0,142	372
15-abr	0	0	145	3	0,428	2	0	0	0	0	0	98
22-abr	0	0	3117	0	0	0	1	0,142	0	0	0	946
29-abr	0	0	536	0	0	0	1	0,142	0	0	0	711
06-may	0	0	3046	0	0	0	0	0	0	0	0	399
13-may	0	0	138	0	0	1	0	0	0	0	0	31
20-may	0	0	72	1	0,142	0	0	0	0	3	0,428	14
27-may	0	0	362	1	0,142	1	0	0	0	2	0,285	9
03-jun	0	0	608	1	0,142	0	0	0	0	1	0,142	32
10-jun	0	0	358	1	0,142	1	2	0,285	0	6	0,857	1
17-jun	1	0,142	3243	0	0	0	6	0,857	0	10	1,418	166
24-jun	0	0	5984	2	0,285	0	4	0,5714	0	53	7,5714	461
01-jul	5	0,714	459	3	0,428	9	21	3	0	24	3,428	42
08-jul	16	2,285	1319	3	0,428	0	73	10,428	0	42	6	134
15-jul	10	1,428	5	3	0,428	0	25	3,571	0	52	7,428	6
22-jul	22	3,142	72	0	0	0	41	5,857	0	6	0,857	8
29-jul	9	1,285	130	0	0	0	10	1,418	0	3	0,428	0
05-ago	2	0,285	34	0	0	0	3	0,428	0	3	0,428	6
12-ago	0	0	10	0	0	0	3	0,428	0	0	0	8
19-ago	0	0	16	0	0	1	3	0,428	0	0	0	14

A su vez, en dichas fincas se ha procedido a tratar las plagas con distintos productos para controlar su expansión. Estos tratamientos han sido considerados en la prueba in-vivo para que el modelo predictivo considerase esos inputs en la predicción de las próximas semanas junto al resto de variables:

ALCOPAVIR VALENCIA				
FECHA	Aplicación	Producto	Materia Activa	Nº Registro
02-jun	1ª Gene/Piojo R.	CLOSER	Sulfuxaflor 12%	ES-00461
02-jun	1ª Gene/Piojo R.	PROXIMO	Piriproxifen 10%	24542
MIRAVALLS POWELL				
FECHA	Aplicación	Producto	Materia Activa	Nº Registro
27-may	1ª Gene/Piojo R.	MOVENTO	Spirotetramax 15%	25298
27-may	1ª Gene/Piojo R.	PROMEX	Piriproxifen 10%	24514
MARI CARMEN SALUSTIANA				
FECHA	Aplicación	Producto	Materia Activa	Nº Registro
29-may	1ª Gene/Piojo R.	TENSOMAX	Regulador pH	N/P
29-may	1ª Gene/Piojo R.	EVOMAZ	Corretor Ziin/Maa	N/P
04-ago	2ª Gene/Piojo R.	BREAS	0-0-6	N/P
04-ago	2ª Gene/Piojo R.	MOSPILAN	Acetameprix 10%	23376

10. Informe agronómico de productividad (IFAPA)

Comportamiento Agronómico de `Navelina´ y `Lane Late´ Injertadas sobre Forner-Alcaide nº 5 en el Valle del Guadalquivir. Campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

1.- INTRODUCCIÓN

La citricultura es una práctica muy extendida desde épocas remotas y que ha adquirido una gran importancia económica en multitud de países entre los que destaca España. Respecto a los datos actuales del sector de los cítricos, España se posiciona como el sexto productor mundial de cítricos con 6,1 millones de t, tras Brasil (20,7 millones de t), China (19,5 millones t), EE.UU (10,0 millones t), México (6,9 millones t) e India (6,3 millones t). Además, es el primer exportador mundial con 3,6 millones de t (FAO, 2018).

Las producciones de naranjas dulces y mandarinas sitúan a España como una gran potencia mundial en su comercialización gracias al esfuerzo de los agricultores y exportadores en la Comunidad Valenciana, Andalucía y Región de Murcia, principales zonas productoras de cítricos. Actualmente la Comunidad Valenciana continúa siendo la región productora con más superficie cítrica acaparando el 56,2% del total nacional, frente al 27,1% que representa Andalucía. A pesar de que la Comunidad Valenciana representa a día de hoy más de la mitad del total nacional de cítricos, Andalucía se encuentra en continuo crecimiento y gana cuota de manera creciente. Referente a la distribución por especies, España mantiene su tradicional especialización. Así, la naranja dulce continúan predominando al representar el 49,3% del total de la producción de cítricos, seguida de la mandarina que representan el 37% y del limonero con el 12,9%.

Pese a la importancia económica y social, el sector cítrico español actualmente se encuentra amenazado por la globalización de los mercados y la presencia de países que, con costes de producción muy bajos, presionan los precios a la baja. En el mercado de la UE-28, hacia donde se canaliza cada campaña entre un 90-93% de las ventas exteriores españolas, España tiene como competidores a países terceros entre los que destacan Marruecos en mandarinas, Sudáfrica y Egipto, principalmente en naranjas, y Turquía en limones.

Esta situación requiere de medidas, tales como la mejora de la calidad de las producciones y la reducción de los costes de producción, que permitan el desarrollo de un sector más competitivo. En este sentido, el conocimiento del comportamiento agronómico (maduración, calidad y producción) de las variedades existentes en el mercado o de nueva incorporación, se plantea como una estrategia en la mejora de la competitividad de las explotaciones, proporcionando mayor valor añadido al producto y facilitando su salida al mercado.

No se puede olvidar que en los cítricos, al igual que ocurre con otros frutales, el cuajado y el desarrollo de los frutos, junto a la producción, son consecuencia de factores endógenos y exógenos. Entre los primeros, se encuentran las características genéticas de la especie y de la variedad y entre los segundos, las condiciones del medio y el cultivo. Éstos últimos presentan una marcada influencia en la determinación de la producción y la calidad final del producto. Por tanto, es esencial conocer las condiciones climáticas y edáficas de la zona de producción, así como realizar correctas prácticas culturales, fundamentalmente riego y fertilización.

En este contexto, en el presente trabajo se evalúa la influencia de las temperaturas y precipitación en la producción, calidad de fruta y momento óptimo de recolección de dos variedades del grupo Navel, de recolección temprana y de media estación, injertadas sobre Forner-Alcaide nº 5, bajo las condiciones del Valle del Guadalquivir, más concretamente Hornachuelos (Córdoba), durante tres campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020.

2.- MATERIAL Y MÉTODOS

2.1.- Parcela experimental

2.1.1.- Localización

El ensayo experimental se localiza en una parcela ubicada en el término municipal de Hornachuelos (Córdoba) (*Imagen 1*).

Imagen 1.- Vista general de la parcela experimental. Campaña 2017/2018.



2.1.2.- Datos climáticos

Los datos climatológicos referentes a la parcela de ensayo han sido obtenidos a partir de las series de datos mensuales ofrecidas por la Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIA) para la estación de Hornachuelos. Los datos de precipitación y temperatura, media, mínima y máxima, que se facilitan en este documento se corresponden con las 3 campañas estudiadas, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020, para observar la incidencia de estos parámetros sobre la producción y calidad final de la fruta.

- 2017/2018:

Según datos del primer aforo de producción de cítricos en Andalucía realizado por la Junta de Andalucía en octubre de 2017, se observó un buen desarrollo del cultivo, con una aceptable floración y cuajado en primavera. Por otro lado, las altas temperaturas registradas en los meses de verano y la falta de precipitaciones pudieron tener consecuencia en la calidad y producción final de la fruta, registrándose un alto volumen de fruta con un calibre pequeño o mediano frente a la de mayor tamaño. Se resaltó que las futuras precipitaciones que se esperaban podrían mejorar los calibres de los frutos. Además, se estimó al inicio de campaña un descenso del 2,8% de la producción final respecto a la campaña anterior (2016/2017), aunque suponría un aumento del 1,6% respecto a la media de las últimas 4 campañas. Referente la cosecha de naranjas dulces se previó que disminuirán un 4,3% respecto a la campaña anterior.

Los datos climáticos registrados referentes a precipitación (mm) y temperaturas (mínima, máxima y media; °C) de la campaña de riego 2017/2018 se muestran en la Figura 1. Estos datos muestran una marcada sequía estival que en este caso se extendió desde el mes de junio hasta el mes de septiembre, ambos incluidos. Entre otras características climáticas cabe destacar una precipitación anual de 440,2 mm, una temperatura máxima entre 15,1°C (en diciembre) y 37,2°C (en julio y agosto) y una temperatura mínima entre 3,2 °C (en enero) y 20,2 °C (en agosto).

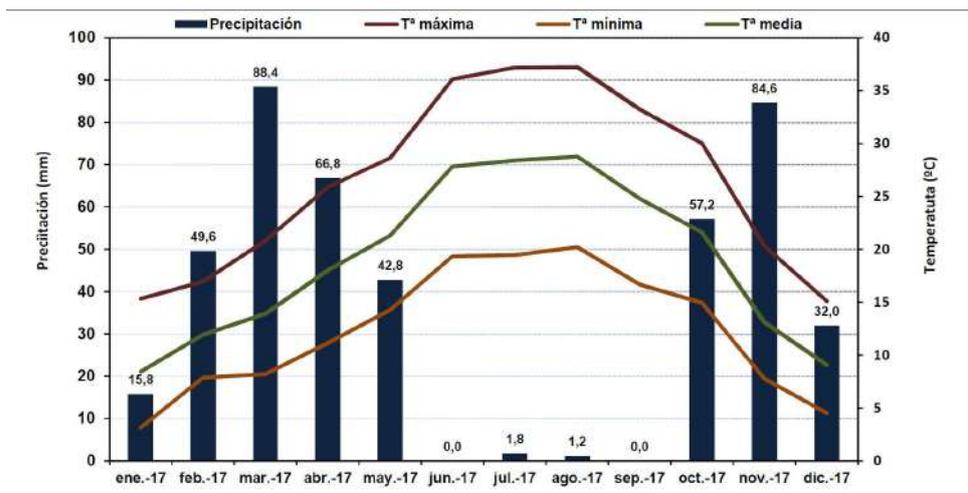


Figura 1.- Datos de precipitación (mm) y temperatura (°C), media, mínima y máxima, de la estación agroclimática de Hornachuelos (Córdoba) desde enero a diciembre de 2017

- 2018/2019:

Según datos del primer aforo de producción de cítricos en Andalucía realizado por la Junta de Andalucía en octubre de 2018, la campaña se caracterizó por la ausencia de incidencias climatológicas extremas y buen estado fitosanitario de las parcelas, con niveles bajos de plagas en general. En cuanto a los datos registrados se desarrolló una primavera lluviosa y un verano más suave de lo habitual que favorecieron la floración y el cuajado de frutos, aunque con cierto retraso respecto a campañas precedentes. También, la falta de precipitaciones a inicios del otoño obligó a aplicar riegos de apoyo en determinadas zonas productivas. Asimismo, indicaron que las altas temperaturas registradas en otoño ocasionarían retrasos en la coloración externa de la fruta en árbol. Además, se estimó al inicio de campaña un aumento del 2,5% de la producción final respecto a la campaña anterior (2017/2018), lo que supondría un aumento del 10,1% respecto a la media de las últimas 4 campañas. Referente a la cosecha de naranjas dulces se previó una cosecha similar (-0,3%) a la campaña anterior.

Los datos climáticos registrados referentes a precipitación (mm) y temperaturas (mínima, máxima y media; °C) de la campaña de riego 2018/2019 se muestran en la Figura 2. Estos datos muestran una marcada sequía estival que en este caso se extendió desde el mes de mayo hasta el mes de agosto, ambos incluidos. Entre otras características climáticas cabe destacar una precipitación anual de 672,6 mm, una temperatura máxima entre 15,0°C (en enero) y 37,9°C (en agosto) y una temperatura mínima entre 3,5 °C (en febrero) y 20,6 °C (en agosto).

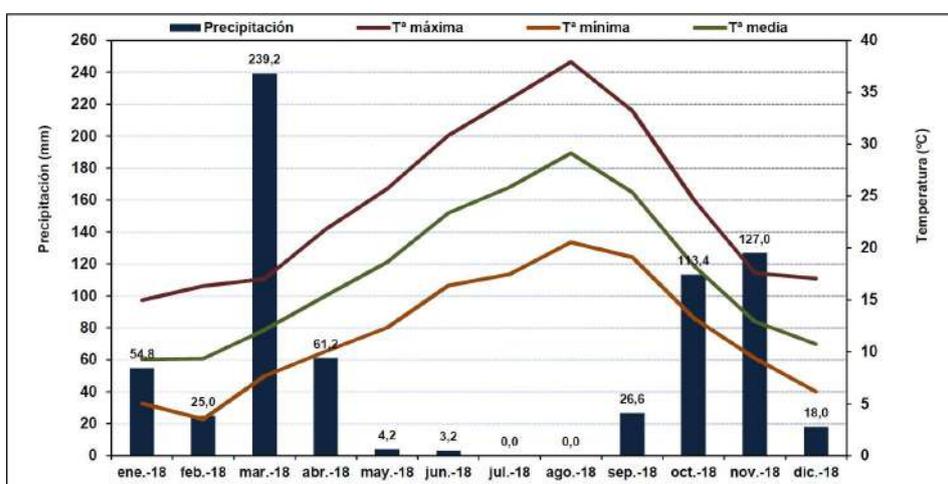


Figura 2.- Datos de precipitación (mm) y temperatura (°C), media, mínima y máxima, de la estación agroclimática de Hornachuelos (Córdoba) desde enero a diciembre de 2018

- 2019/2020:

Según datos del primer aforo de producción de cítricos en Andalucía realizado por la Junta de Andalucía en septiembre de 2019, la campaña se caracterizó por la ausencia de incidencias climatológicas extremas durante el desarrollo del cultivo. No obstante se registró un déficit hídrico considerable, que obligó a incrementar los riegos en gran parte de las zonas productoras de Andalucía. De forma general se registró un invierno seco y una primavera cálida que condicionaron la baja presencia de plagas y enfermedades en el cultivo y su buen estado fitosanitario en conjunto. Además, se estimó al inicio de campaña un descenso del 6,1% de la producción final respecto a la campaña anterior (2018/2019), aunque supondría un aumento del 3,7% respecto a la media de las últimas 4 campañas.

Los datos climáticos registrados referentes a precipitación (mm) y temperaturas (mínima, máxima y media; °C) de la campaña de riego 2019/2020 e inicios de 2020 (meses de enero y febrero) se muestran en la Figura 3. Estos datos muestran una marcada sequía estival que en este caso se extendió desde el mes de mayo hasta el mes de agosto, ambos incluidos. Entre otras características climáticas para la anualidad 2019 cabe destacar una precipitación anual de 284,2 mm, una temperatura máxima entre 15,9 °C (en enero) y 36,9°C (en agosto) y una temperatura mínima entre 3,8 °C (en febrero) y 18,8 °C (en julio).

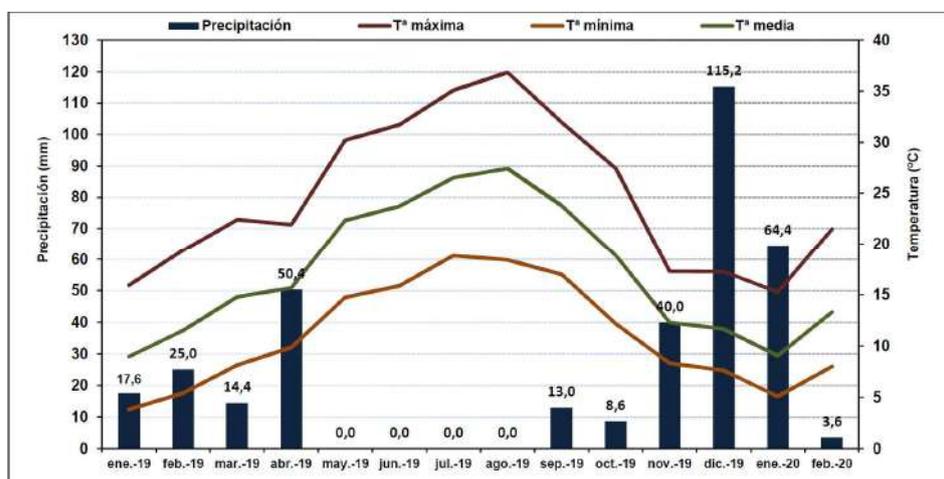


Figura 3.- Datos de precipitación (mm) y temperatura (°C), media, mínima y máxima, de la estación agroclimática de Hornachuelos (Córdoba) desde enero de 2019 a febrero de 2020

2.1.3.- Material vegetal

El material vegetal que conforma la parcela de ensayo son 32 variedades de cítricos, mandarinas y naranjas dulces, tanto del grupo Navel como Blancas y Pigmentadas. Las variedades de naranjas que se presentan en este trabajo pertenecen al grupo Navel. Este grupo de naranjas surgió a principios del siglo XIX y su principal característica es que son mutaciones naturales de la naranja las cuales presentan una especie de ombligo en la parte inferior del fruto. Esto es debido a que se va desarrollando un segundo fruto en el interior del fruto. Además, presentan limonina, sustancia responsable del sabor amargo del zumo. Los árboles son vigorosos, no tienen espinas y el follaje es de color oscuro. Las flores carecen de polen.

Las variedades estudiadas fueron las siguientes:

- ‘Navelina’ (*Imagen 2*): se trata de una mutación de ‘Early Navel’ originada en California. El árbol es de tamaño mediano con forma más o menos redondeada y hojas de color muy oscuro. El fruto presentan un ombligo poco prominente y es de tamaño grande, con forma redondeada o ligeramente ovalada y sin semillas. La pulpa es muy jugosa, con la piel de color naranja intenso. Variedad que entra rápidamente en producción, y lo hace abundantemente. Es una de las más cultivadas y su principal destino es el consumo en fresco. Destacar de esta variedad ciertas observaciones agronómicas tales como sensibilidad a clareta, ligera alternancia de cosechas e

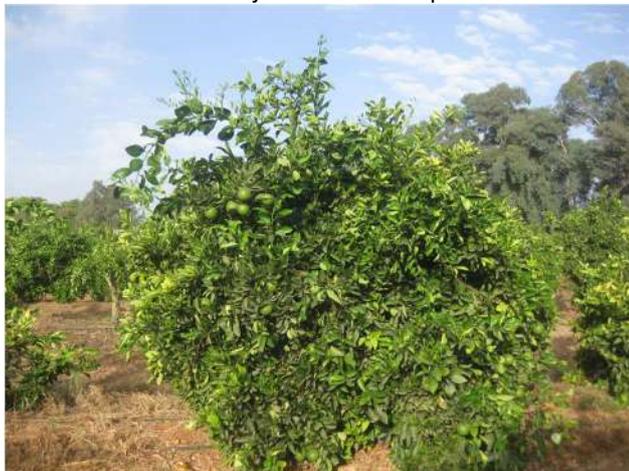
interesante para todas las zonas citrícolas, pero especialmente en las que sea mayor el riesgo de heladas e interese una recolección temprana. Variedad de recolección temprana (periodo de recolección desde mediados de octubre a mediados de enero).

Imagen 2.- Árbol de la variedad 'Navelina' injertada sobre el patrón Forner-Alcaide nº 5. Octubre 2017



- 'Lane Late' (*Imagen 3*): se trata de una mutación de Washington originada en Australia. El árbol es vigoroso, con alguna espina en las ramas de mayor vigor. Es quizás la más dulce de todas las naranjas del mercado y al final de la maduración no muestra el sabor a "pasada" que se aprecia en otras variedades. Presenta un contenido bajo en limonina. De buena y constante productividad. Destacar que en madurez, el fruto mantiene una buena adherencia al pedúnculo, aunque no tanto como otras variedades de su grupo de maduración tales como 'Barnfield', 'Chislett', Navel Powell' o 'Rohde Summer'. Variedad de media estación (periodo de recolección desde mediados de enero a mediados de abril) aunque el fruto se conserva bien en el árbol hasta finales de junio, pudiendo ser una variedad interesante para prolongar el periodo de recolección de las naranjas del grupo Navel.

Imagen 3.- Árbol de la variedad 'Lane Late' injertada sobre el patrón Forner-Alcaide nº 5. Octubre 2017



Ambas variedades fueron injertadas en 2011 sobre el patrón Forner-Alcaide nº 5 [mandarino 'Cleopatra' (*Citrus reshni*) x *Poncirus trifoliata*]. Forner-Alcaide nº 5, patrón obtenido por el Dr. J. Forner y A. Alcaide en el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) de Moncada (Valencia), está descrito como patrón semienanizante, de buena productividad y calidad de fruta, resistente a caliza, salinidad, sequía, asfixia radicular y frío, así como a *Phytophthora* spp. y a los nematodos de los cítricos. En ensayos realizados bajo condiciones edafo-climáticas andaluzas este patrón, Forner-Alcaide nº 5, se ha comportado como patrón subestándar (Arenas *et al.*, 2011; Arenas *et al.*, 2014a; Arenas *et al.*, 2014b, González-Moreno *et al.*, 2016), interesantes para variedades de cualquier época de maduración, ya que sin retrasar la maduración del fruto induce un mayor aguante de la calidad

del mismo en el árbol, induciendo sobre la variedad una buena calidad interna (organoléptica y funcional) de la fruta (Hervalejo *et al.*, 2020).

2.1.4.- Diseño experimental y técnicas de cultivo

La parcela presenta un diseño estadístico de 4 bloques al azar con una parcela elemental de 3 árboles por variedad y bloque.

Los árboles se encuentran establecidos en meseta (caballón) distribuidos a un marco de plantación de 6 x 4 m², con un sistema de riego localizado y manejo según las recomendaciones del reglamento específico de Producción Integrada para Cítricos en Andalucía (Orden de 10 de febrero de 2015, BOJA nº 34).

2.2.- Toma de datos

2.2.1.- Calidad de la fruta

Se realizaron varios muestreos en distintas fechas a lo largo de las tres campañas estudiadas (2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020) para caracterizar ambas variedades en base a la calidad de su fruta y su momento óptimo de recolección en función de la madurez del fruto (*Tabla 1*).

Tabla 1.- Calendario de recolección de muestras para los análisis de calidad. Campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
'Navelina'	2017/2018	2017/2018	-			
	2018/2019	2018/2019	2018/2019			
	2019/2020	2019/2020	2019/2020			
'Lane Late'				2017/2018	2017/2018	2017/2018
				2018/2019	2018/2019	2018/2019
				2019/2020	2019/2020	-

De cada parcela elemental se tomó una muestra de fruta consistente en 15 frutos procedentes de los tres árboles. En cada muestra se evaluaron los siguientes parámetros:

- *Calidad morfológica del fruto.* Hace referencia a los aspectos externos del fruto que son los componentes principales de la decisión de compra para el consumo en fresco y viene determinada por los siguientes parámetros: índice de color, peso (g), diámetro (D; mm), altura (H; mm), forma (D/H) y espesor de corteza (mm).
- *Calidad organoléptica del zumo.* Hace referencia a características sensoriales del fruto, generalmente no perceptibles, tratándose de parámetros internos del mismo, en el caso de los cítricos, relativos al zumo. Viene determinada por los siguientes parámetros: contenido en zumo (%), densidad (g/cm³), azúcares o sólidos solubles totales (SST; °Brix), acidez (AT; g/100cm³) e índice de madurez (IM=SST/AT).

2.2.2- Producción

Se realizó la recolección de la fruta en cada una de las campañas de estudio (2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020) registrando la producción para cada árbol del ensayo.

3.- RESULTADOS

3.1.- Calidad de la fruta

La norma del Reglamento de Ejecución (UE) nº 543/2011 tiene por objeto establecer los requisitos de calidad que deberán cumplir los cítricos siempre y cuando se destinen al consumo en fresco, con exclusión de los cítricos destinados a la transformación industrial, tras su acondicionamiento y envasado. Los valores establecidos como requisitos mínimos a cumplir para las naranjas del grupo Navel son:

- Calibre= 53 mm.

- Contenido en zumo= 33%.
- Índice de madurez (sólidos solubles totales (azúcares) / acidez total)= 6,5.

Así, ambas variedades en su primera fecha de muestreo de las tres campañas (octubre en `Navelina` y enero en `Lane Late`), los frutos de todos los árboles de ambas variedades alcanzaron los valores mínimos para su comercialización en fresco tal y como recoge el citado Reglamento.

3.1.1.- Calidad morfológica del fruto y organoléptica del zumo de `Navelina`

- **Calidad morfológica del fruto**

Todos los resultados referentes a la calidad morfológica de los frutos de `Navelina` en las tres campañas evaluadas se presentan en la tabla 2.

Tras mencionar que los frutos de `Navelina` alcanzaron en octubre los valores mínimos para su comercialización (superados los valores mínimos de calibre, contenido en zumo e índice de madurez), resaltar que en ese momento (octubre) el índice de color de los frutos aun era muy bajo (IC< -5) manteniendode éstos color verde en la epidermis y no haciendo posible su recolección. Por ello, para su comercialización en el mercado en fresco era necesario esperar a noviembre y someterlos a un proceso de desverdizado en cámara.

	ÍNDICE DE COLOR			PESO		
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017/2018	-10,7	5,3	-	191,7	202,1	-
2018/2019	-13,9	2,3	15,2	199,2	220,5	227,4
2019/2020	-10,7	-0,5	12,1	247,7	264,1	227,4

	DIÁMETRO (mm)			ALTURA (mm)		
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017/2018	69,9	71,2	-	78,6	81,0	-
2018/2019	86,2	74,8	76,6	78,4	81,6	83,0
2019/2020	78,0	78,9	76,6	84,4	86,3	83,0

	FORMA (D/H)			ESPESOR DE SORTEZA		
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017/2018	0,89	0,88	-	5,9	5,5	-
2018/2019	1,10	0,92	0,93	5,6	6,1	5,8
2019/2020	0,93	0,92	0,93	6,3	6,1	5,8

Tabla 2.- Promedio de los parámetros de calidad morfológica del fruto: índice de color, peso (g), diámetro (D; mm), altura (H; mm), forma (D/H) y espesor de corteza (mm) de los frutos de `Navelina` injertada sobre Forner-Alcaide nº 5. Campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

De la mano de lo comentado en un párrafo anterior, la pigmentación de la corteza del fruto es debido a la degradación enzimática de la clorofila del flavedo, proceso que se inicia con la disminución de las temperaturas con la llegada del otoño (septiembre-octubre). El parámetro que determina el color externo de la corteza de los frutos es el *índice de color*, el cual puede variar entre -20 (tonalidad verde) y +20 (tonalidad anaranjada) aproximadamente. Así, en septiembre de 2018 se registró una temperatura media (19,1 °C) superior a las registradas en septiembre de las otras dos campañas evaluadas (2017: 16,7 °C y 2019: 17° C), observándose en octubre de la campaña 2018/2019 un retraso en el color de los frutos respecto a octubre de la campañas 2017/2018 y 2019/2020 (-13,9 vs -10,7 y -10,7). Ya en noviembre, dado el descenso general de las temperaturas durante octubre, el índice de color de los frutos de `Navelina`, independientemente de la campaña estudiada, registraron valores recomendados para el desverdizado en cámara (IC>-5) (Figura 4).

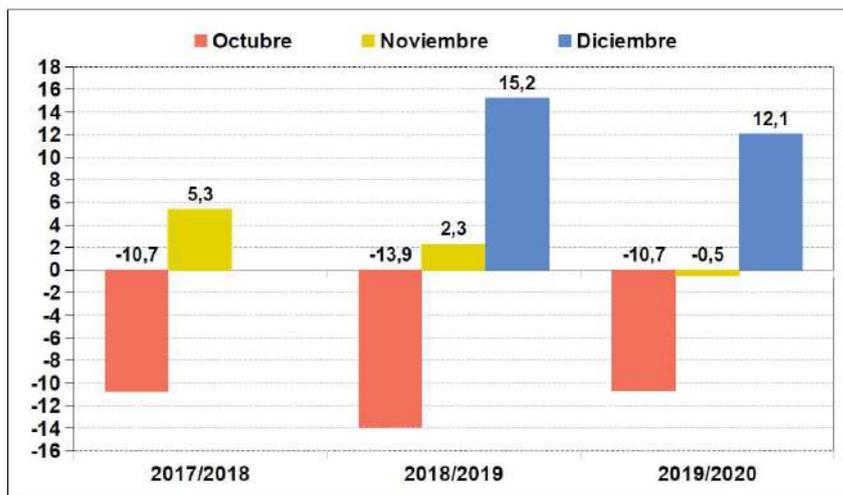


Figura 4.- Evolución del índice de color de los frutos de 'Navelina' injertada sobre Forner-Alcaide nº 5 en cada campaña de estudio, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

- **Calidad organoléptica del zumo**

Todos los resultados referentes a la calidad organoléptica del zumo de los frutos de 'Navelina' en las tres campañas evaluadas se presentan en la tabla 3.

	PORCENTAJE DE ZUMO			DENSIDAD		
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017/2018	37,9	44,5	-	1,031	1,022	-
2018/2019	35,2	40,1	43,1	1,031	1,027	1,032
2019/2020	40,9	43,3	43,1	1,036	1,040	1,032

	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)			ACIDEZ TOTAL (AT; g/cm³)		
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017/2018	10,5	11,2	-	0,75	0,78	-
2018/2019	9,4	9,9	10,5	1,12	0,85	0,68
2019/2020	10,4	11,6	10,5	0,76	0,79	0,68

	ÍNDICE DE MADUREZ (SST/AT)		
	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017/2018	14,1	14,4	-
2018/2019	8,4	11,7	15,8
2019/2020	13,8	14,7	15,8

Tabla 3.- Promedio de los parámetros de calidad organoléptica del zumo: contenido en zumo (%), densidad (g/cm³), azúcares o sólidos solubles totales (SST; °Brix), acidez (AT; g/100cm³) e índice de madurez (IM=SST/AT) de los frutos de 'Navelina' injertada sobre Forner-Alcaide nº 5. Campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

Condiciones de elevada luminosidad y temperaturas medias más altas durante el final de la primavera y el verano, producen condiciones favorables para aumentar la actividad fotosintética y, por tanto, para que se de una mayor acumulación de carbohidratos solubles en el fruto (Sinclair, 1984). Según los resultados obtenidos en las tres campañas estudiadas, se observó una tendencia ascendente en los valores del contenido en azúcar o sólidos solubles totales. Analizando entre campañas, se observaron diferencias en los valores medios obtenidos. Así, en la campaña 2018/2019 se registraron los menores contenidos en azúcar o sólidos solubles totales, en contraposición a lo registrado en las campañas 2017/2018 y 2019/2020. Esto pudo deberse a una menor temperatura media en el periodo de mayo a agosto de 2018 repercutiendo, por tanto, en la acumulación de azúcares finales de los frutos de 'Navelina' en la campaña 2018/2019. Por el contrario, las temperaturas para ese

mismo periodo en 2017 y 2019 fueron superiores, traduciéndose en mayores contenidos en sólidos solubles totales (°Brix) (Figura 5).

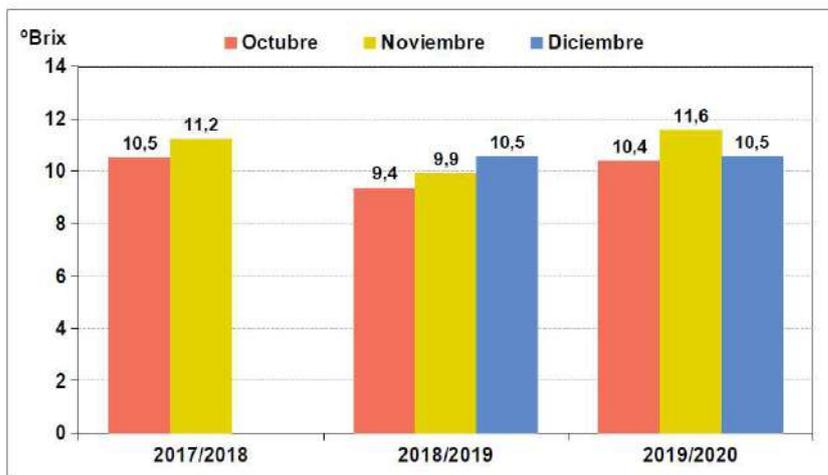


Figura 5.- Evolución del contenido en azúcar o sólidos solubles totales (°Brix) de los frutos de 'Navelina' injertada sobre Forner-Alcaide nº 5 en cada campaña de estudio, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

Existe una relación inversa entre las elevadas temperaturas durante la primavera-verano y el porcentaje de ácidos libres, de manera que a mayor temperatura menor acidez total del zumo. De forma general en las tres campañas estudiadas, se observó una tendencia descendente en los valores de la acidez total del zumo. Tal y como se describió en el párrafo anterior, las campañas 2017/2018 y 2019/2020 registraron mayores temperaturas medias que la campaña 2018/2019 en los periodos de mayo a agosto. Ésta situación incidió en la acidez total del zumo de 'Navelina', de forma que en octubre y noviembre de las campañas 2017/2018 y 2019/2020 se registraron los menores valores de acidez total del zumo a diferencia de los valores observados en la campaña 2018/2019 (Figura 6).

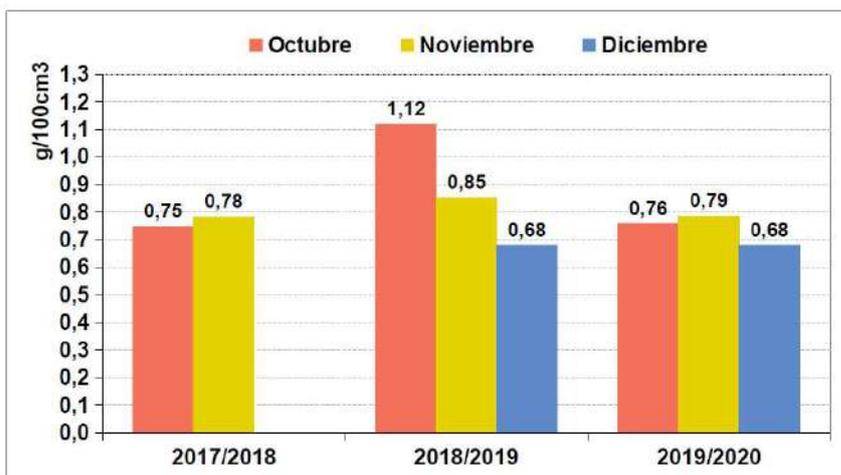


Figura 6- Evolución de la acidez total del zumo (g/100cm³) de los frutos de 'Navelina' injertada sobre Forner-Alcaide nº 5 en cada campaña de estudio, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

El índice de madurez es un importante indicador del sabor del zumo y del momento de recolección. En la figura 7 se observa que en octubre y noviembre de la campaña 2018/2019 hubo un retraso de la maduración interna de los frutos de 'Navelina' respecto a las otras dos campañas estudiadas. Ésto fue debido a la mayor acidez total de los zumos registrada en la campaña 2018/2019, como consecuencia directa de la temperatura, tal y como se comenta en el párrafo anterior. No obstante, aunque el Reglamento de Ejecución (UE) nº 543/2011 establece un índice de madurez mínimo de 6,5 para la comercialización en fresco de frutos cítricos del grupo Navel, valores

muy elevados pueden ser indicativo de una sobre maduración del fruto y la consiguiente pérdida de calidad organoléptica del zumo como consecuencia de la falta de acidez (zumos acuosos dulces). Esta situación puede darse a partir de diciembre como resultado de elevados índices de madurez del zumo.

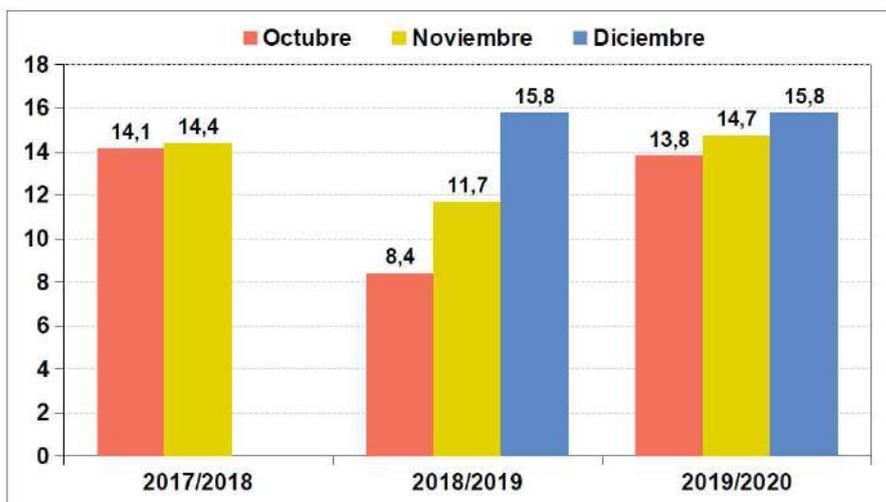


Figura 7.- Evolución del índice de madurez del zumo ($^{\circ}\text{Brix} / \text{g}/\text{cm}^3$) de los frutos de 'Navelina' injertada sobre Forner-Alcaide nº 5 en cada campaña de estudio, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

3.1.2.- Calidad morfológica del fruto y organoléptica del zumo de 'Lane Late'

- **Calidad morfológica del fruto**

Todos los resultados referentes a la calidad morfológica de los frutos de 'Lane Late' en las tres campañas evaluadas se presentan en la tabla 4.

	ÍNDICE DE COLOR			PESO		
	Enero	Febrero	Marzo	Enero	Febrero	Marzo
2017/2018	11,8	14,7	15,0	223,2	228,8	236,5
2018/2019	13,7	13,3	13,2	259,5	267,0	302,3
2019/2020	11,4	13,5	-	306,7	335,0	-

	DIÁMETRO (mm)			ALTURA (mm)		
	Enero	Febrero	Marzo	Enero	Febrero	Marzo
2017/2018	77,1	77,3	77,3	79,6	79,0	82,4
2018/2019	80,3	79,6	83,2	78,1	79,1	84,7
2019/2020	83,3	85,2	-	85,6	90,0	-

	FORMA (D/H)			ESPESOR DE SORTEZA		
	Enero	Febrero	Marzo	Enero	Febrero	Marzo
2017/2018	0,97	0,98	0,94	6,0	5,6	6,0
2018/2019	1,03	1,01	0,98	5,9	5,8	6,4
2019/2020	0,98	0,95	-	5,8	6,3	-

Tabla 4.- Promedio de los parámetros de calidad morfológica del fruto: índice de color, peso (g), diámetro (D; mm), altura (H; mm), forma (D/H) y espesor de corteza (mm) de los frutos de 'Lane Late' injertada sobre Forner-Alcaide nº 5. Campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

A diferencia de lo descrito en 'Navelina' (variedad de recolección temprana), el índice de color de los frutos de 'Lane Late' no condicionó la comercialización de los frutos al tratarse de una variedad de recolección de media

estación. Así, atendiendo al índice de color de los frutos, en enero independientemente de la variedad estudiada pudieron ser recolectados para su comercialización (IC comercial > 6) (Figura 8).



Figura 8.- Evolución del índice de color de los frutos de 'Lane Late' injertada sobre Forner-Alcaide n° 5 en cada campaña de estudio, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

- **Calidad organoléptica del zumo**

Todos los resultados referentes a la calidad organoléptica del zumo de los frutos de 'Lane Late' en las tres campañas evaluadas se presentan en la tabla 5.

	PORCENTAJE DE ZUMO			DENSIDAD		
	Enero	Febrero	Marzo	Enero	Febrero	Marzo
2017/2018	42,1	41,1	42,4	1,023	1,031	1,026
2018/2019	38,8	41,1	44,9	1,031	1,034	1,039
2019/2020	44,3	45,9	-	1,036	1,037	-

	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)			ACIDEZ TOTAL (AT; g/cm³)		
	Enero	Febrero	Marzo	Enero	Febrero	Marzo
2017/2018	10,8	11,0	11,0	0,72	0,67	0,52
2018/2019	10,6	11,1	11,3	0,79	0,74	0,74
2019/2020	10,4	10,8	-	0,66	0,53	-

	ÍNDICE DE MADUREZ (SST/AT)		
	Enero	Febrero	Marzo
2017/2018	15,0	16,5	21,2
2018/2019	13,6	15,1	15,3
2019/2020	15,8	20,5	-

Tabla 5.- Promedio de los parámetros de calidad organoléptica del zumo: contenido en zumo (%), densidad (g/cm³), azúcares o sólidos solubles totales (SST; °Brix), acidez (AT; g/100cm³) e índice de madurez (IM=SST/AT) de los frutos de 'Lane Late' injertada sobre Forner-Alcaide n° 5. Campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

Según los resultados obtenidos en las tres campañas estudiadas, se observó una ligera tendencia ascendente en los valores del contenido en azúcar o sólidos solubles totales. Analizando entre campañas, se registraron valores similares en los meses muestreados, con valores medios de 10,6 °Brix en enero, de 11 °Brix en febrero y de 11,5 °Brix en marzo (Figura 9). La influencia de las temperaturas de los periodos de mayo a agosto de las tres campañas estudiadas sobre el contenido en azúcar observada en 'Navelina', no se observó en 'Lane Late', pudiendo ser debido a una recolección más tardía de esta variedad (media estación: enero-abril) y, por tanto, menos influencia de las condiciones climáticas del periodo mencionado en el contenido en azúcar.

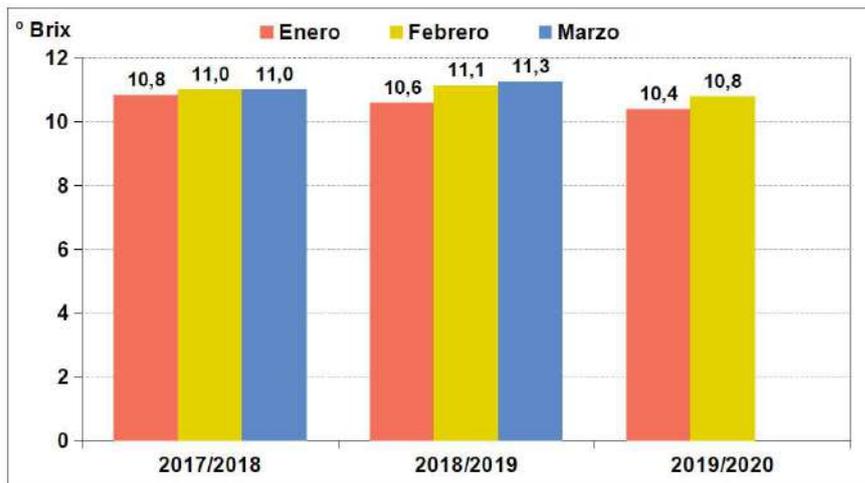


Figura 9.- Evolución del contenido en azúcar o sólidos solubles totales (°Brix) de los frutos de `Lane Late´ injertada sobre Forner-Alcaide nº 5 en cada campaña de estudio, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

De forma general en las tres campañas estudiadas, hubo una tendencia descendente en los valores de la acidez total del zumo. Nuevamente, al igual que lo observado en `Navelina´, se vio una influencia de las temperaturas medias en el periodo de mayo a agosto en la acidez total del zumo. Así, en 2017/2018 y 2019/2020 se registraron los menores valores de acidez total del zumo, coincidiendo con temperaturas medias más elevadas. En cambio, en 2018/2019, cuyas temperaturas medias fueron inferiores, se registraron mayores valores de acidez del zumo (Figura 10).

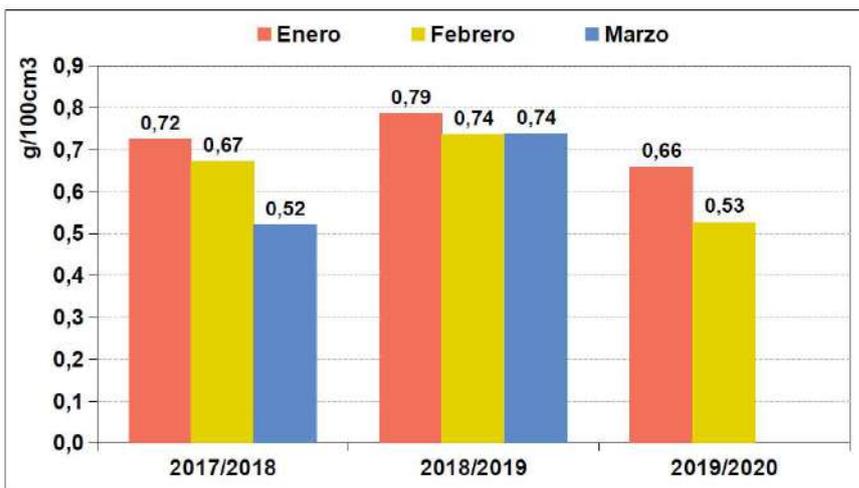


Figura 10.- Evolución de la acidez total del zumo (g/100cm³) de los frutos de `Lane Late´ injertada sobre Forner-Alcaide nº 5 en cada campaña de estudio, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

Si comparamos los resultados de índice de madurez del zumo de `Lane Late´ de la figura 11 con los obtenidos en `Navelina´ se aprecia la misma tendencia. En 2018/2019 hubo un retraso de la maduración interna de los frutos de `Lane Late´ respecto a las otras dos campañas estudiadas, consecuencia directa de una mayor acidez del zumo. Este hecho pudo estar influenciado por temperaturas medias, en el periodo de mayo a agosto, más bajas en esa campaña que en las otras dos estudiadas.

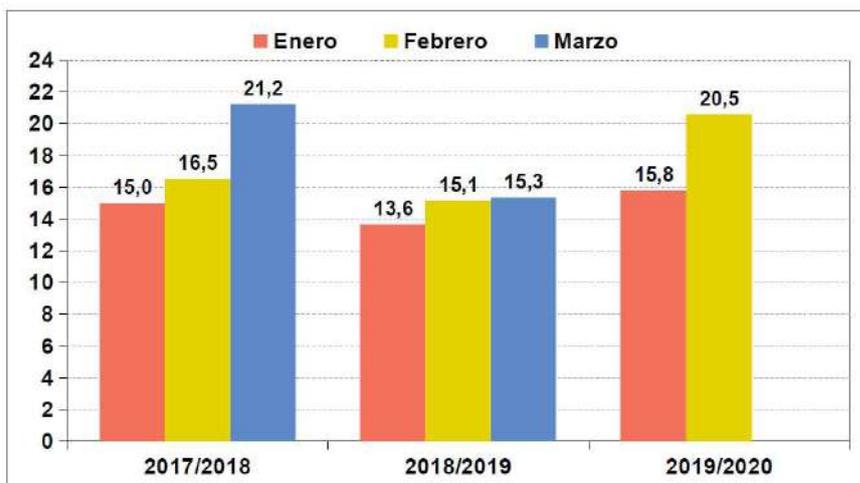


Figura 11.- Evolución del índice de madurez del zumo ($^{\circ}\text{Brix} / \text{g}/\text{cm}^3$) de los frutos de `Lane Late` injertada sobre Forner-Alcaide nº 5 en cada campaña de estudio, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

3.2.- Producción

Las producciones de `Navelina` y `Lane Late` registradas durante las tres campañas de estudio se presentan en kg por árbol (*Figura 12*) y por hectárea (*Figura 13*). En el caso de `Navelina`, en las tres campañas se registraron valores similares con una media de 59,3 kg/árbol y 24.732 kg/ha. En cambio, en `Lane Late` se observó diferencias claras en la producción entre campañas. Así, en la campaña 2019/2020 se registró el máximo valor con una producción por árbol de 139 kg/árbol (57.917 kg/ha), seguida de 64 kg/árbol (26.689 kg/ha) en 2017/2018 y de 34 kg/árbol (14.292 kg/ha) en 2019/2020.

Estas diferencias en la producción entre campañas, principalmente en `Lane Late`, pudo verse afectada por aspectos climáticos, debido a la relación entre la cosecha y la temperatura. Un incremento de la temperatura daría por resultado una reducción en la cosecha final. Esto justificaría la mayor producción obtenida en la campaña 2018/2019 en la cual se registraron menores temperaturas medias que en las otras dos campañas, junto a una mayor precipitación anual.

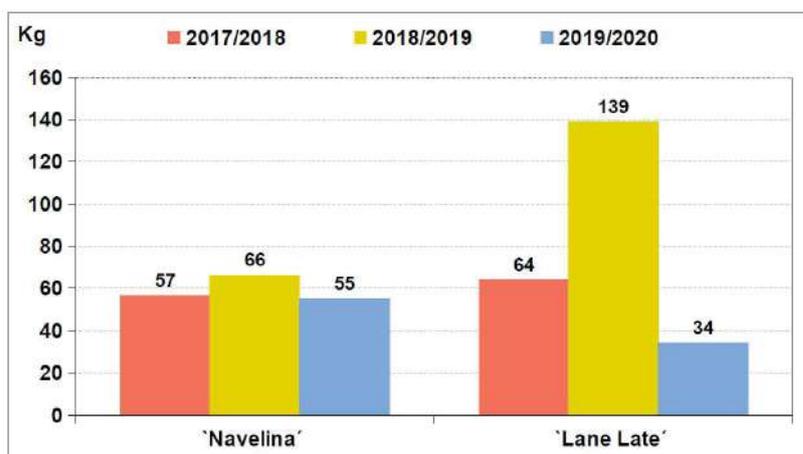


Figura 12.- Producción por árbol (kg/árbol) de `Navelina` y `Lane Late` injertadas sobre Forner-Alcaide nº 5. Campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

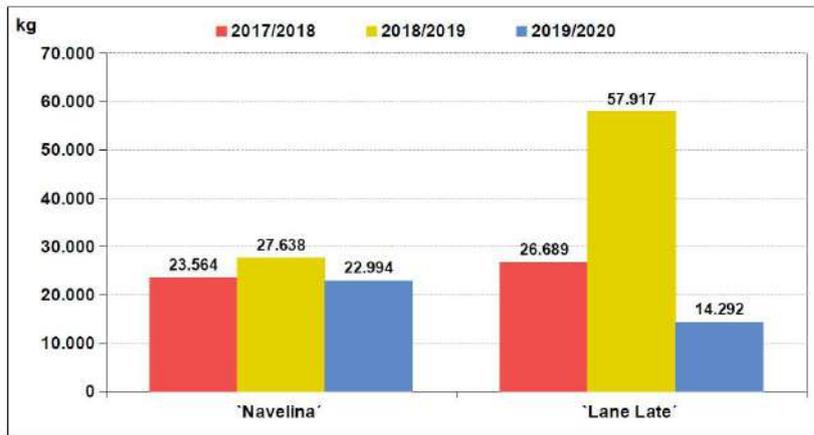


Figura 13.- Producción por hectárea (kg/ha) de 'Navelina' y 'Lane Late' injertadas sobre Forner-Alcaide nº 5. Campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020

4.- CONCLUSIONES

A modo de conclusión tras los resultados expuestos en este trabajo, se observa una clara influencia de la temperatura y precipitación en el comportamiento agronómico (calidad y producción) de dos naranjas dulces del grupo Navel. En el caso de 'Navelina', una mayor temperatura media al inicio de la campaña influyó en el índice de color de los frutos, retrasando su coloración externa y, por tanto, la recolección de los frutos a noviembre. En 'Lane Late', al tratarse de una variedad de recolección de media estación, no hubo influencia de la temperatura media en septiembre sobre la coloración externa de sus frutos, haciendo posible su recolección desde enero. Por otro lado, de manera conjunta en ambas variedades, los aspectos climáticos condicionaron la calidad organoléptica del zumo. Una menor temperatura media en el periodo de mayo a agosto incide directamente en el contenido en azúcar (a menos temperatura menores contenido en azúcar) e indirectamente en la acidez total del zumo (a menos temperatura mayor acidez total), y por consiguiente, en la maduración interna de los frutos.

Para reducir al máximo estas posibles influencias se hace esencial emplear técnicas de cultivo eficientes, tales como elección del material vegetal (variedades y patrones), operaciones de poda, riego, fertilización, aumentando así la calidad y producción final de los cítricos.

5.- BIBLIOGRAFÍA

Arenas, F.J., Hervalejo, A., García-Moreno, J., Salguero, A., Prats, T., Forner-Giner, M.A. 2011. Resultados preliminares del comportamiento agronómico de 'Lane Late' injertada sobre diferentes patrones. Levante Agrícola, 404: 27-30.

Arenas, F.J., Hervalejo, A., Romero-Rodríguez E. 2014a. Guía de comportamiento agronómico de 'Clemenules' sobre distintos patrones. SERVIFAPA, 1-20. <http://servifapa.ifapa.junta-andalucia.es>

Arenas, F.J., Hervalejo, A., Romero-Rodríguez E. 2014b. Guía de comportamiento agronómico de 'Lane Late' sobre distintos patrones. SERVIFAPA, 1-18. <http://servifapa.ifapa.junta-andalucia.es>

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. 2019. Primer aforo de producción de cítricos en Andalucía. Campaña 2017-2018. 8ª Reunión de la mesa de cítricos de Andalucía. Lepe (Huelva). 25 de septiembre de 2019.

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. 2017. Primer aforo de producción de cítricos en Andalucía. Campaña 2017-2018. 8ª Reunión de la mesa de cítricos de Andalucía. San Bartolomé de la Torre (Huelva). 6 octubre de 2017.

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. 2018. Primer aforo de producción de cítricos en Andalucía. Campaña 2018-2019. Reunión de la mesa de cítricos de Andalucía. Alcalá del Río (Sevilla). 18 octubre de 2018.

FAO. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. 2018. Citrus fruit statistics. <http://www.fao.org/home/es/>

González-Moreno, J.M., Hervalejo, A., Casado, G., Arenas, F.J., Romero-Rodríguez, E. 2016. Evaluación del Comportamiento Agronómico de `Clementina de Nules´ sobre Distintos Patrones. Málaga, Campaña 2015/2016. SERVIFAPA, 1-22. <http://servifapa.ifapa.junta-andalucia.es>

Hervalejo, A., Suarez, M.P., Moreno-Rojas, J.M., Arenas-Arenas, F.J. 2020. Overall Fruit Quality of `Lane Late´ Orange on Sub-Standard and Semi-Dwarfing Rootstocks. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22 (1): 235-246.

Reglamento de Ejecución (UE) nº 543/2011 de la Comisión, de 7 de junio de 2011, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 1234/2008 del Consejo en los lectores de las frutas y hortalizas transformadas, Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 157.15 de junio de 2011.

Sinclair WB. 1984. The biochemistry and physiology of the lemon and other citrus fruits. Univ. Calif., Div. Agric. Nat. Res., California, EEUU.

FASE DE REDACCIÓN DEL INFORME FINAL

11. Descripción de los resultados obtenidos en la validación *in vivo* del modelado de plagas

Tras comprobar con el procedimiento del backtesting que se dispone del mejor modelo posible a partir de los datos históricos disponibles, se realiza un test *in vivo* para demostrar su funcionamiento.

Esta prueba *in vivo* de los modelos desarrollados tiene aspectos muy interesantes que hay que coordinar para asegurar que se obtiene información adecuada para poder evaluar de forma desagregada cada uno de los aspectos que pueden afectar a la bondad del modelo:

- Toma de datos en campo. Los datos se tomarán de forma tradicional y serán pre-procesados para ser introducidos como inputs en el modelo de evolución de plagas
- Generación de predicciones de entradas a modelo. Especialmente los datos meteorológicos deben ser predichos en el horizonte temporal en el que se pretenda modelar la productividad de cada variedad estudiada en el proyecto. Se actuará de dos formas diferentes, aquellos datos que puedan ser obtenidos a través de servicios existentes como aquellos que proporcionan fuentes externas nacionales e internacionales, pero otros que se midan localmente en los cultivos, como la humedad del terreno, serán predichos desarrollando algoritmos específicos en base a las sondas locales.

Una vez se dispone de entradas para el modelo éste será operado *in vivo*, simulando una puesta real en producción para además de validar su capacidad de predicción, evaluar los sistemas implementados de tratamiento de *big data* y asegurar que es viable su operación comercial.

Para realizar el *in-vivo* se dispone de los datos relativos a muestreos de mosca de la fruta y piojo rojo de California desde marzo hasta la primera semana de agosto en las siguientes fincas:

- **SIGPAC: 14-049-0019-00004-1**

Finca situada en Palma del Río (Córdoba). La variedad de la parcela es *Navel Powell*.



Ilustración 1: Finca en Palma del Río de la variedad *Navel Powell*.

- **SIGPAC: 14-049-0033-00009-2**

Finca situada en Palma del Río (Córdoba). La variedad de la parcela es *Valencia*.



Ilustración 2: Finca situada en Palma del Río de la variedad Valencia.

- SIGPAC:14-049-0004-00037-1

Finca situada en Palma del Río (Córdoba). La variedad de la parcela es *Navel Lane Late*.



Ilustración 3: Finca situada en Palma del Río de la variedad Navel.

- SIGPAC: 14-036-0042-00006-1

Parcela situada en Hornachuelos (Córdoba) con la variedad *Salustiana*.



Ilustración 4: Parcela situada en Palma del Río de la variedad Salustiana.

En cada una de ellas se compararán los valores reales de los muestreos de mosca de la fruta y piojo rojo de California, con los valores predichos por los modelos.

INVIVO - PIOJO ROJO DE CALIFORNIA

Horizonte temporal de 1 semana

Los resultados obtenidos para la plaga de piojo en el horizonte temporal de una semana son los siguientes:

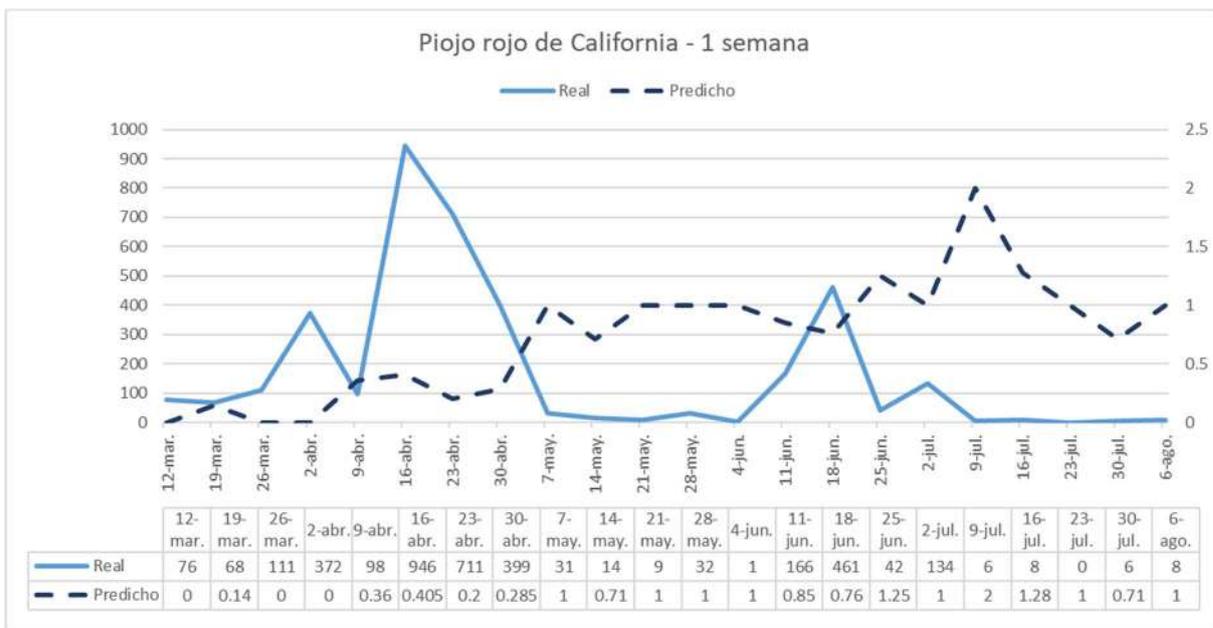


Ilustración 5: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-036-042-00006-1.

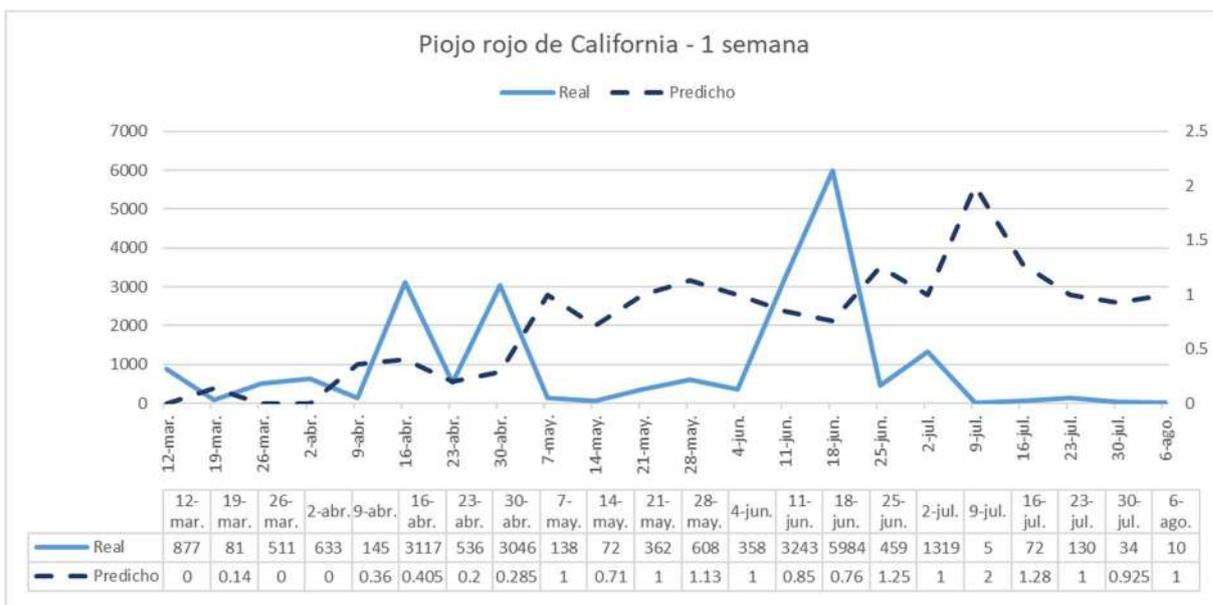


Ilustración 6: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-004-00037-1.

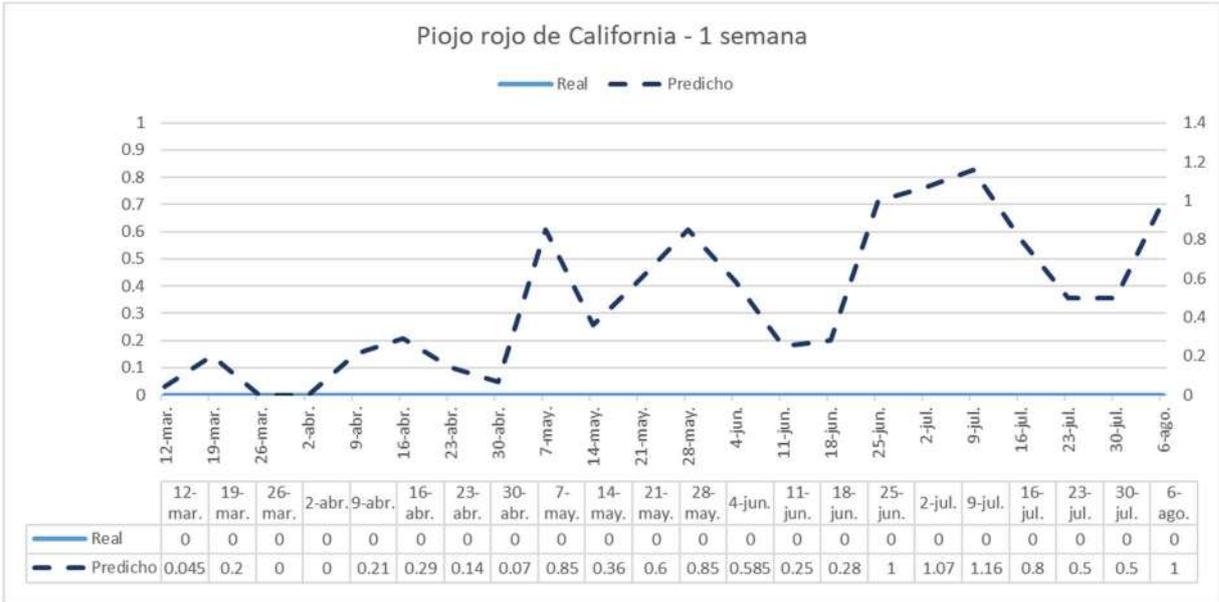


Ilustración 7: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-019-00004-1.

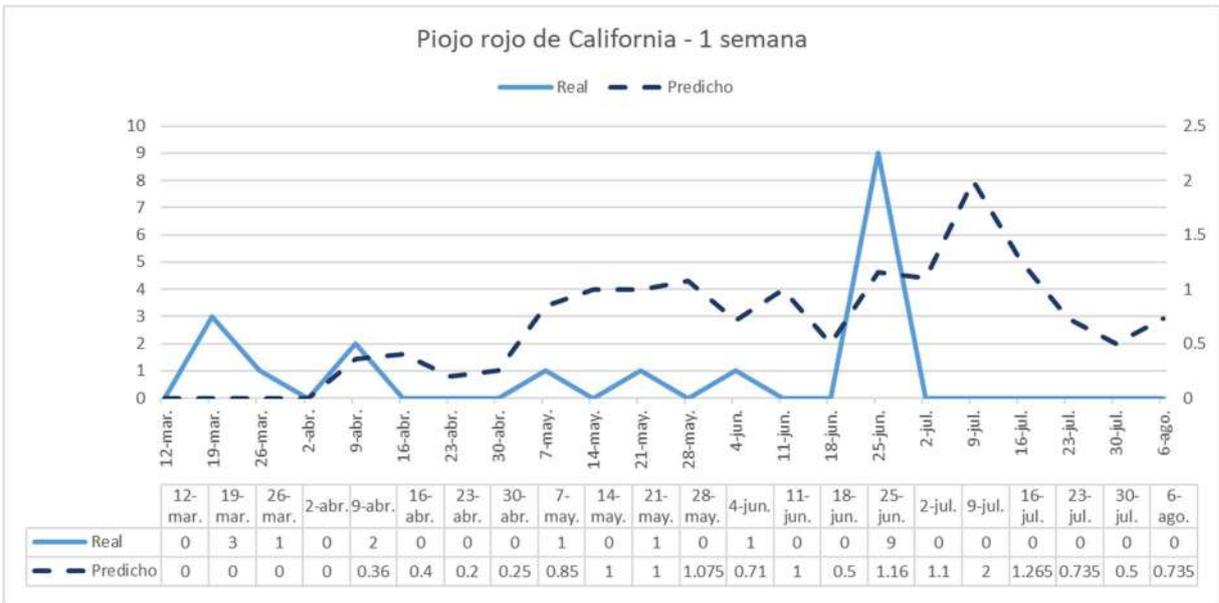


Ilustración 8: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-033-00009-2.

Horizonte temporal de 2 semanas

Los resultados obtenidos para la plaga de piojo en el horizonte temporal de dos semanas son los siguientes:

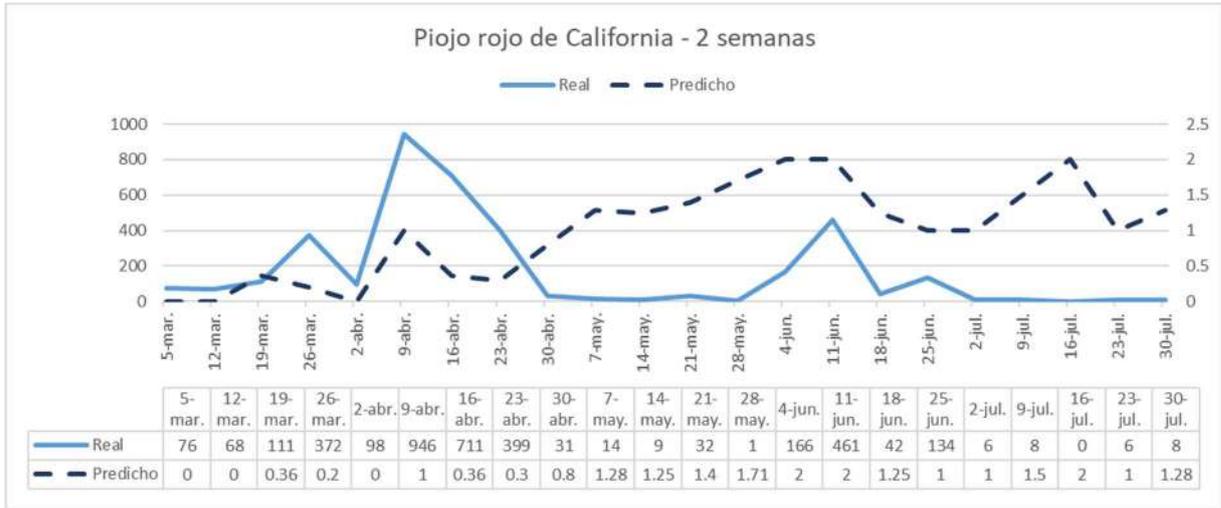


Ilustración 9: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-036-042-00006-1.

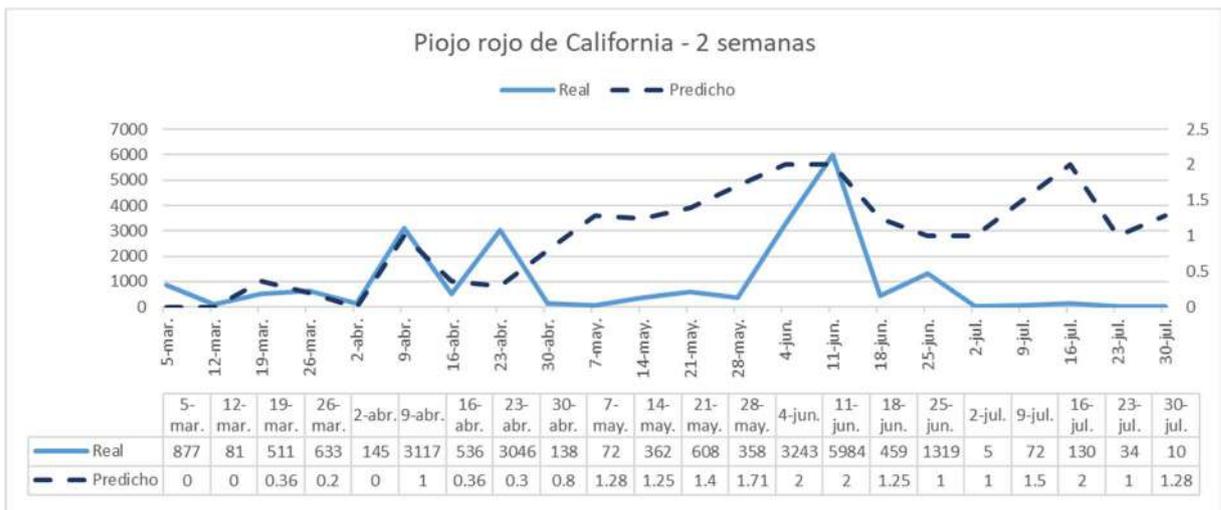


Ilustración 10: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-004-00037-1.

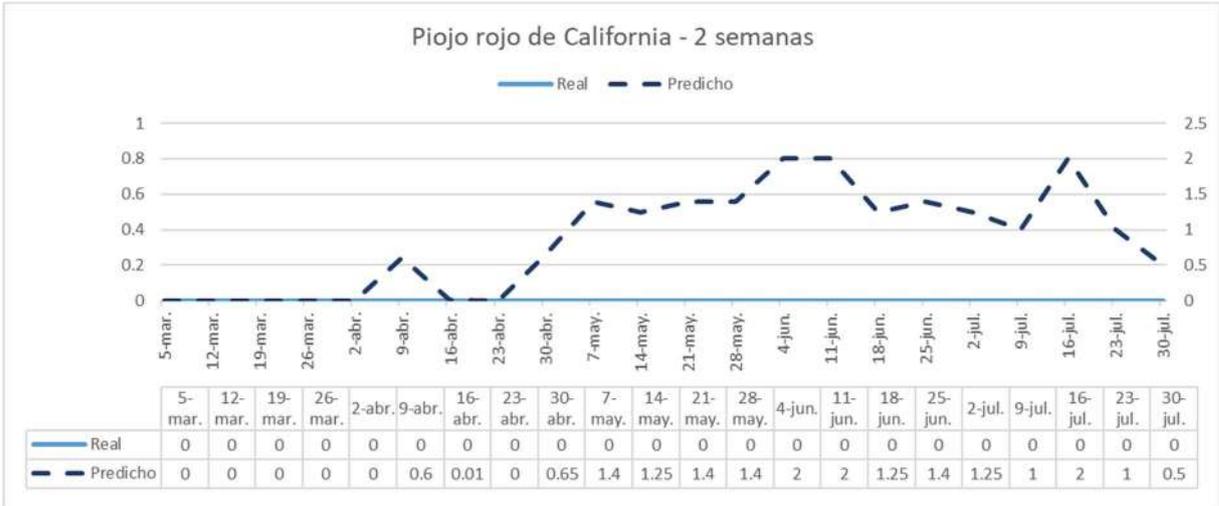


Ilustración 11: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-019-00004-1.

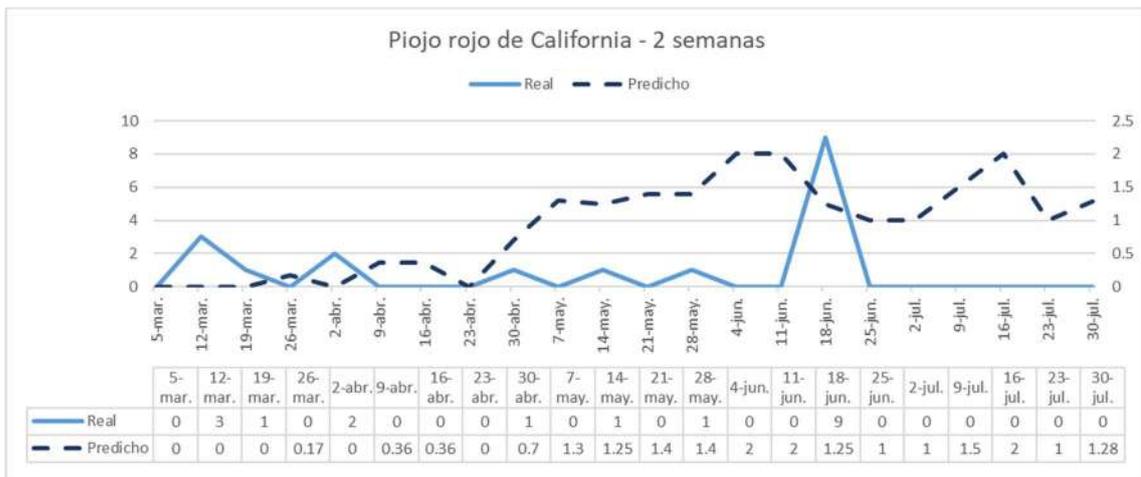


Ilustración 12: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-033-00009-2.

Horizonte temporal de 3 semanas

Los resultados obtenidos para la plaga de piojo en el horizonte temporal de tres semana son los siguientes:

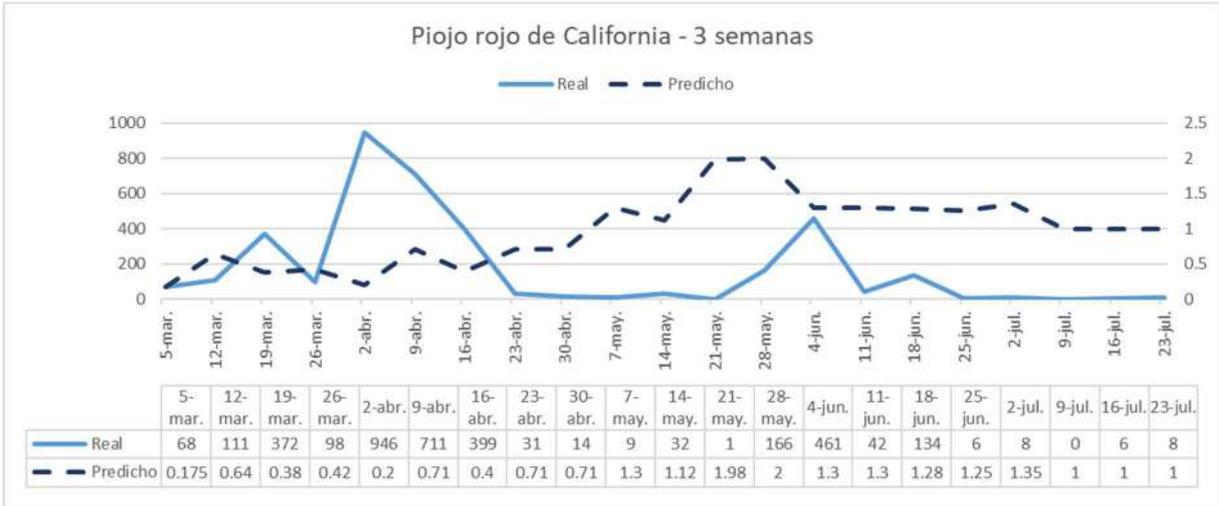


Ilustración 13: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-036-042-00006-1.

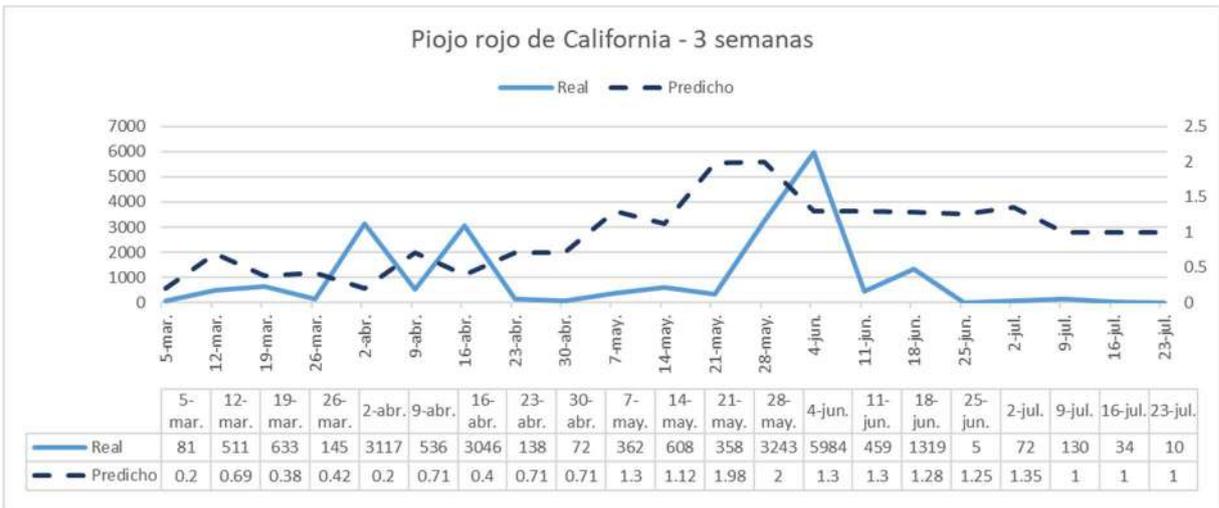


Ilustración 14: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-004-00037-1.

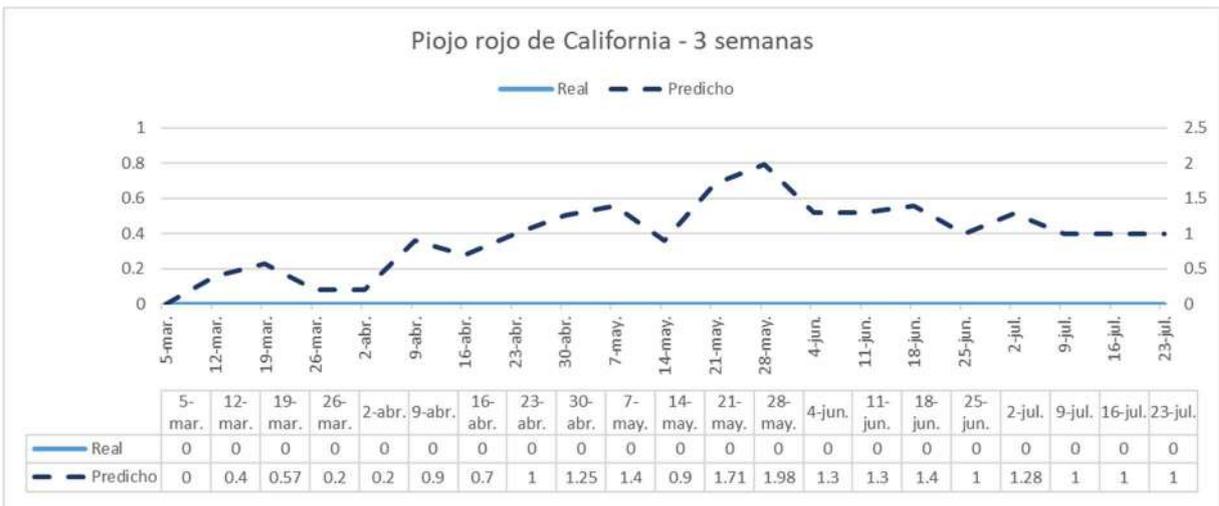


Ilustración 15: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-019-00004-1.

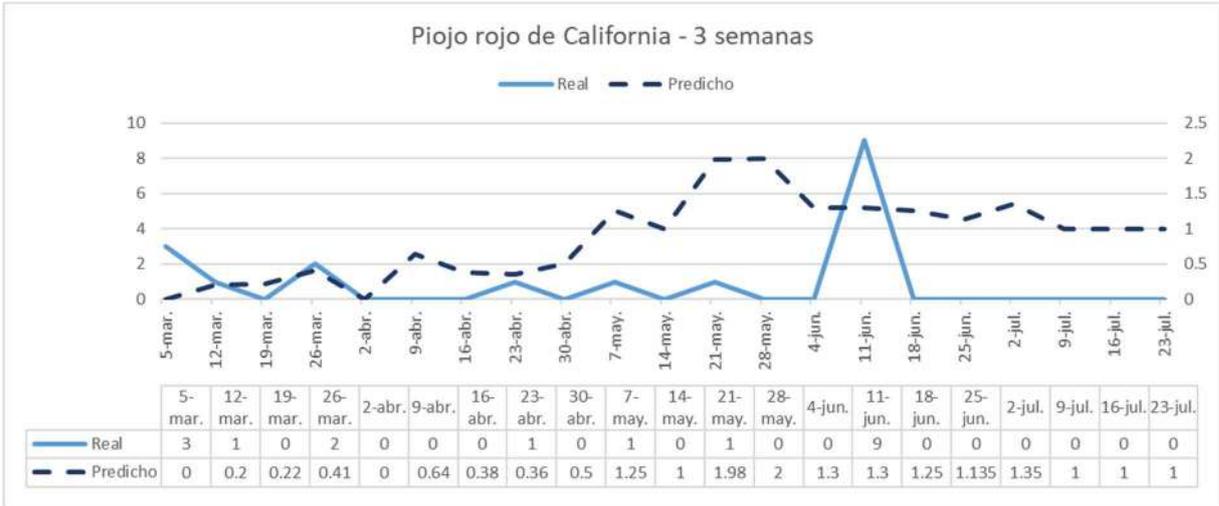


Ilustración 16: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-033-00009-2.

Horizonte temporal de 4 semanas

Los resultados obtenidos para la plaga de piojo en el horizonte temporal de cuatro semanas son los siguientes:

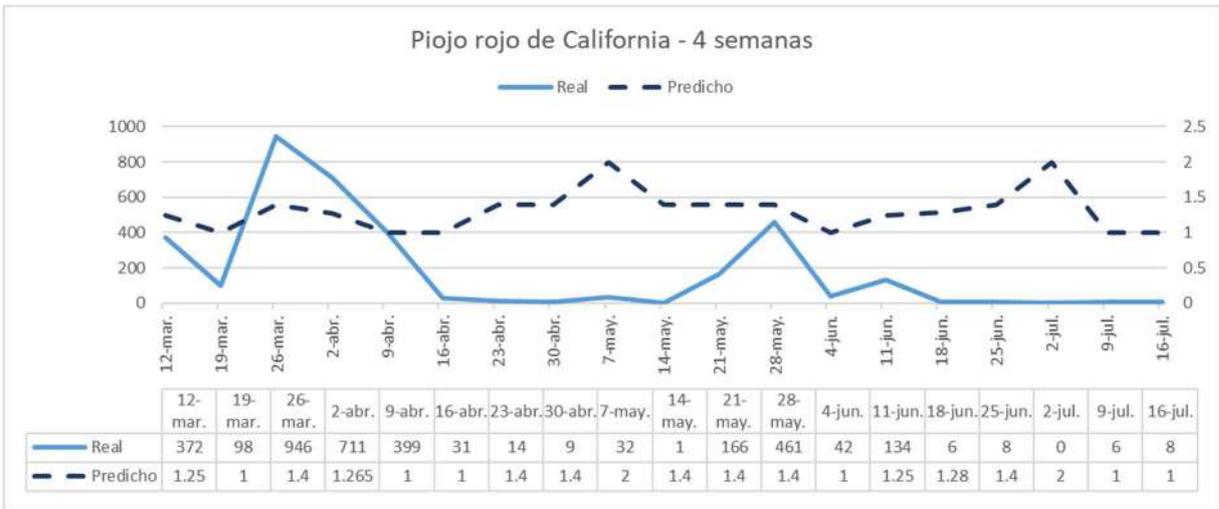


Ilustración 17: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-036-042-00006-1.

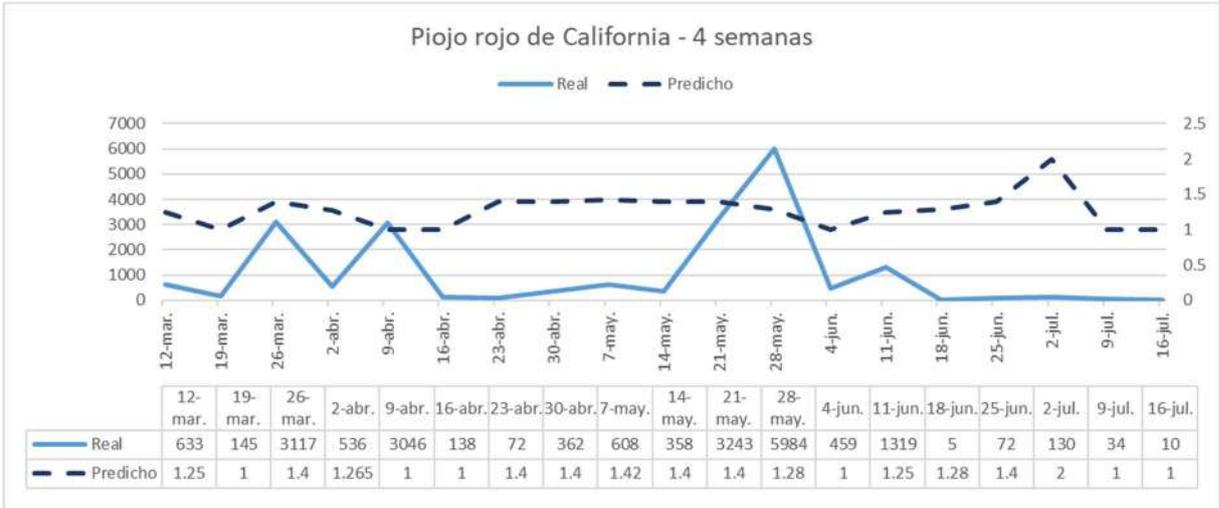


Ilustración 18: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-004-00037-1.

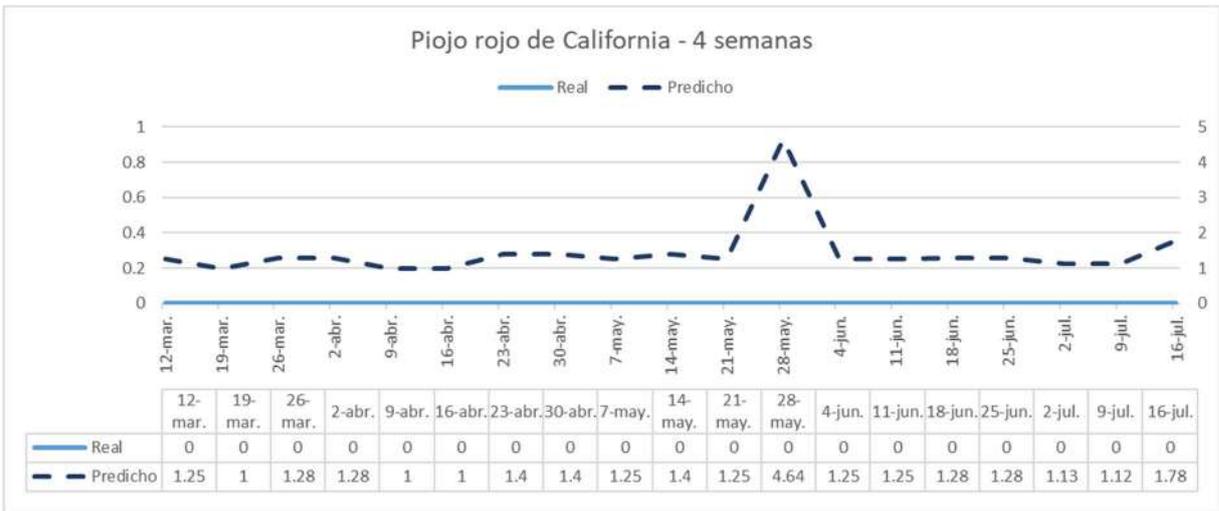


Ilustración 19: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-019-00004-1.

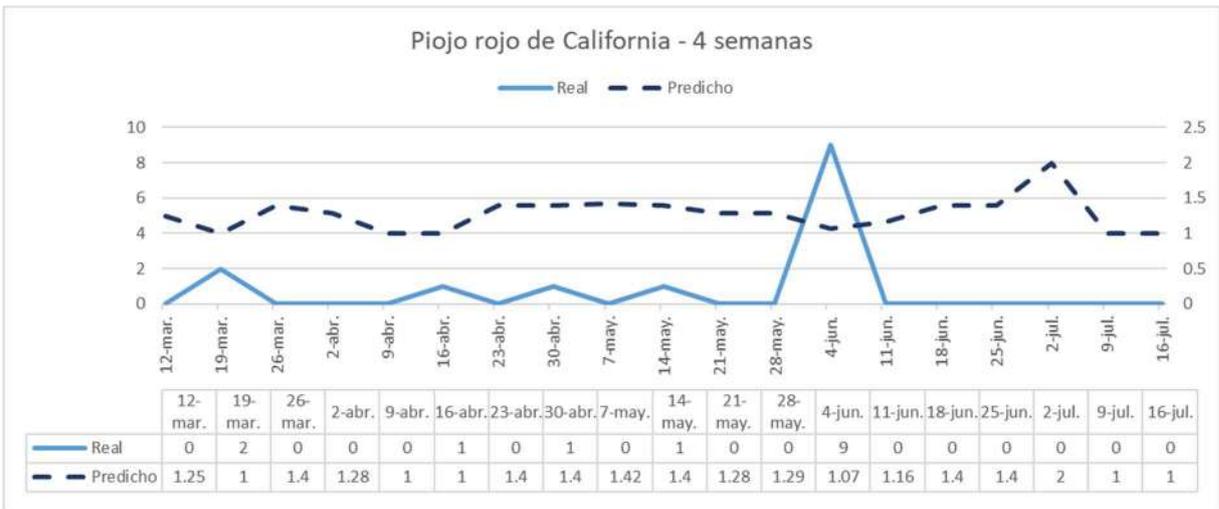


Ilustración 20: Resultados Piojo rojo de California en la finca 14-049-033-00009-2.

INVIVO - MOSCA DE LA FRUTA

Horizonte temporal de 1 semana

Los resultados obtenidos para la plaga de mosca en el horizonte temporal de una semana son los siguientes:



Ilustración 21: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-036-042-00006-1.



Ilustración 22: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-004-00037-1.



Ilustración 23: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-019-00004-1.

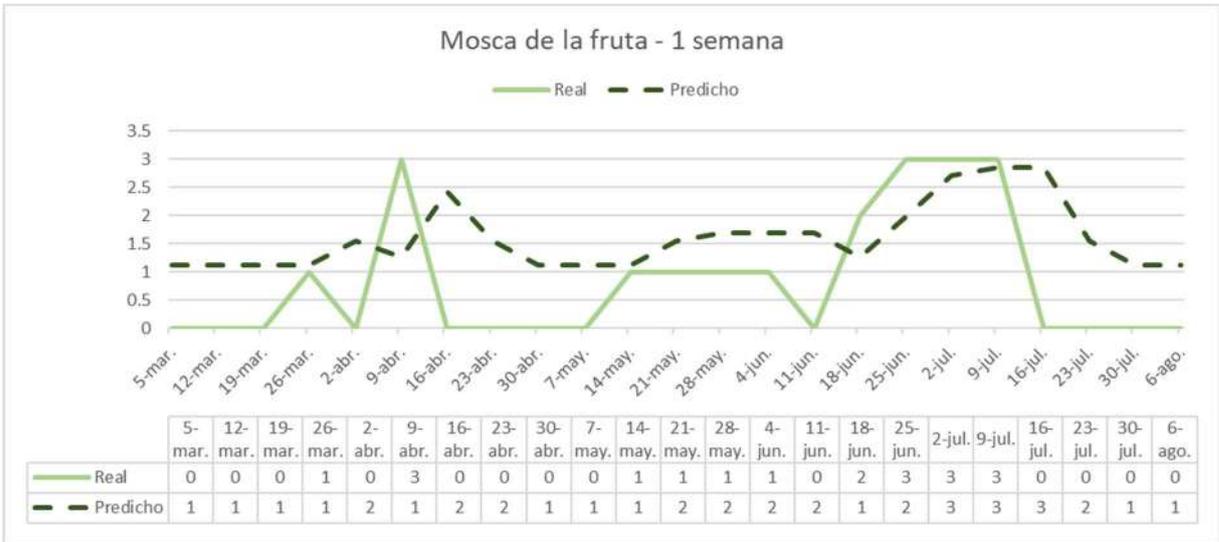


Ilustración 24: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-033-00009-2.

Horizonte temporal de 2 semanas

Los resultados obtenidos para la plaga de mosca en el horizonte temporal de dos semanas son los siguientes:



Ilustración 25: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-036-042-00006-1.



Ilustración 26: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-004-00037-1.



Ilustración 27: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-019-00004-1.

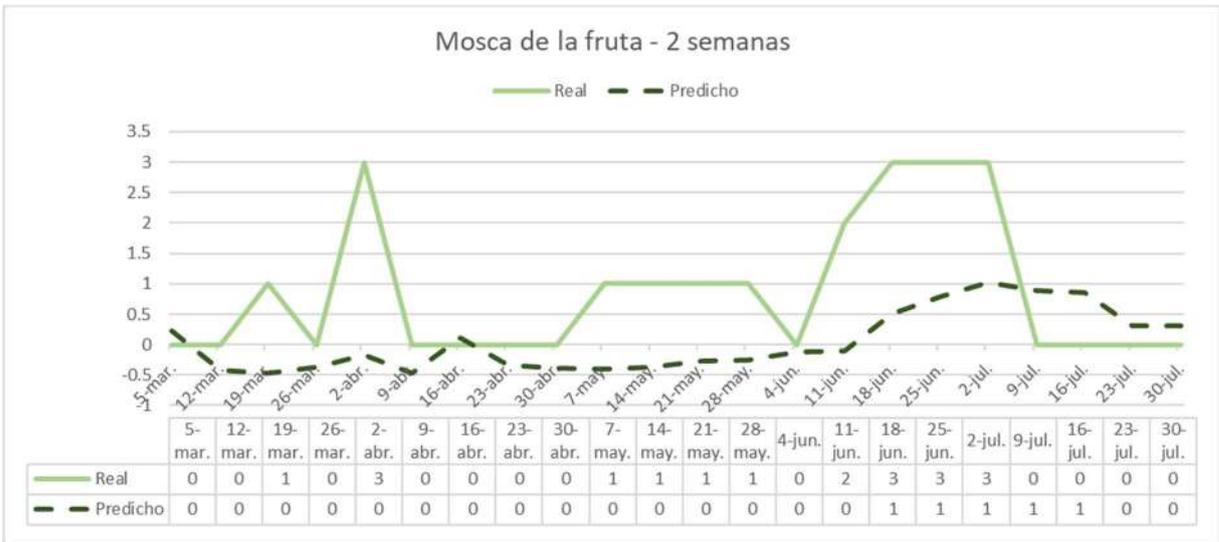


Ilustración 28: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-033-00009-2.

Horizonte temporal de 3 semanas

Los resultados obtenidos para la plaga de mosca en el horizonte temporal de tres semana son los siguientes:



Ilustración 29: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-036-042-00006-1.



Ilustración 30: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-004-00037-1.



Ilustración 31: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-019-00004-1.

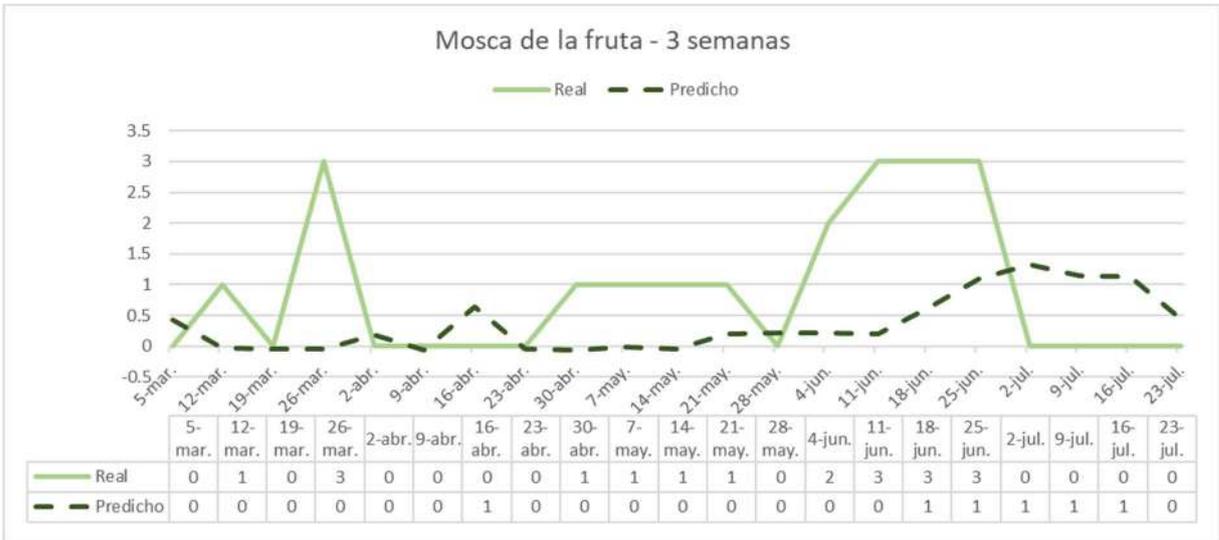


Ilustración 32: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-033-00009-2.

Horizonte temporal de 4 semanas

Los resultados obtenidos para la plaga de mosca en el horizonte temporal de cuatro semanas son los siguientes:



Ilustración 33: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-036-042-00006-1.



Ilustración 34: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-004-00037-1.



Ilustración 35: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-019-00004-1.

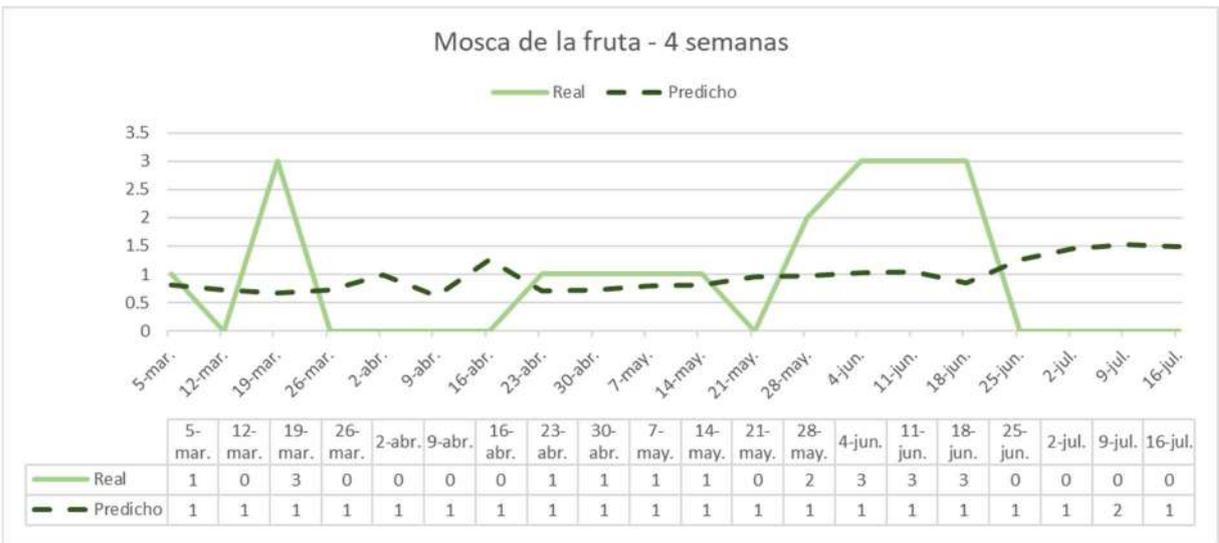


Ilustración 36: Resultados Mosca de la fruta en la finca 14-049-033-00009-2.

PRINCIPALES RESULTADOS DEL INVIVO

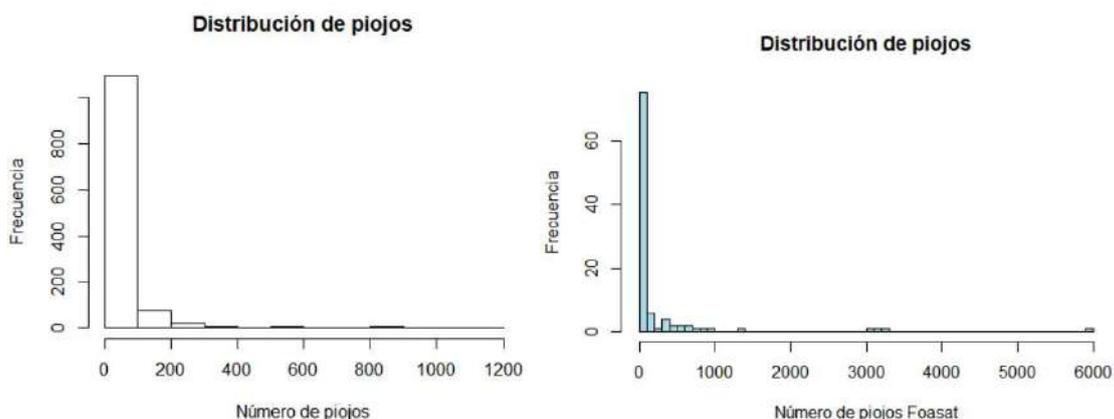
Los resultados obtenidos pueden dividirse en dos partes, las que afectan a las fincas **14-049-0033-00009-2** y **14-049-019-00004-1** y las que afectan a las fincas **14-049-0004-00037-1** y **14-036-042-00006-1**.

Es destacable que el modelo de moscas para el horizonte temporal de una semana se ajusta mejor en todas las fincas.

En las fincas **14-049-0033-00009-2** y **14-049-019-00004-1** los resultados de los modelos se ajustan a los muestreos de piojo y mosca dados, no produciéndose grandes variaciones entre los datos reales y los predichos, en ambas fincas, el **nivel de peligro de la plaga es bajo en ambas fincas**.

En cambio, los modelos realizados para piojo en los distintos horizontes, no se ajustan a los datos procedentes de las fincas **14-049-0004-00037-1** y **14-036-042-00006-1**. Esto se produce por varios motivos:

1. El **rango de los datos** de muestreo es mucho mayor que el rango de los datos relativos a muestreos de piojo y mosca de la base de datos de la Raif



Aquí se puede observar que el número de piojos de los muestreos de las fincas de Foasat son muy superiores a los muestreos que se tienen en la base de datos de la RAIF, por lo el modelo no ha podido entrenar estas situaciones y, por consiguiente, no ha podido reflejar la realidad.

2. La **variabilidad geográfica**: El modelo sólo se ha probado con los datos de la zona de Palma del Río y Hornachuelos. Al estar entrenados con datos de toda Andalucía, debería contrastarse en otros puntos.
3. **Posible falta de datos**: Para poder llevar a cabo el In-Vivo se han obtenido datos de parcelas de la zona de palma del río de años anteriores, tanto de mosca como de piojo, teniendo éstos un rango muy inferior al que se observan en los datos de 2020.

12. Conclusiones, revisión de los trabajos y cronograma final actualizado:

Tal y como se describió en la memoria correspondiente a la primera anualidad, los paquetes de trabajo 1, 2, 3 y 4 fueron realizados en los primeros meses de ejecución del Grupo Operativo, pero durante la realización del paquete de trabajo PT5 “Validación del modelo” se apreció que faltaban datos concluyentes para el modelado matemático, porque los datos aportados por parte de la empresa productora miembro del Grupo Operativo y el IFAPA no abarcaban, como se esperaba inicialmente, una superficie de monitoreo suficiente para lograr un modelo genérico con el que poder ofrecer resultados concluyentes, por ello, el Grupo Operativo solicitó a la Consejería de Agricultura que facilitara los datos públicos disponibles, siendo éstos únicamente relacionados con el monitoreo de las plagas de la mosca de la fruta y el piojo rojo, los cuales se obtienen de las API de cítricos extendidas por Andalucía. Estos datos fueron recibidos en su totalidad al final del año 2019 y sobre ellos ec2ce inició el análisis de representatividad, deduciendo que eran suficientes para modelar sendas plagas. Con respecto al otro modelado de productividad, se decidió proseguir con la actividad de desarrollarlo a través de un análisis agronómico por parte de Ifapa.

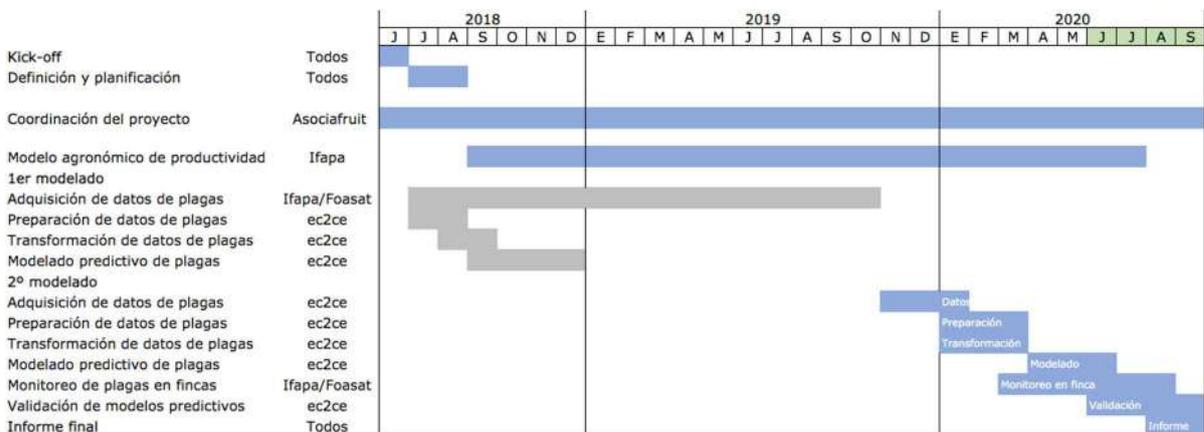
En el primer trimestre de 2020 se inició el modelado de dichas plagas, que se esperaba tener disponible en el mes de abril de 2020. Este modelado incluirá el análisis de los datos, la integración con datos públicos de clima e índices satelitales que afecten a las fincas modeladas, y el análisis de funcionamiento del modelo en base a los resultados históricos (backtesting).

Durante los meses de marzo a agosto de 2020 los socios del proyecto realizaron muestreos de dichas plagas en 5 fincas para hacer una prueba del modelo en cosecha real durante 2020, en concreto 4 fincas de Foasat y 1 finca de Ifapa con diversas variedades de cítricos. En dichas fincas se monitoreo el número de capturas en trampa.

Con respecto al modelo de productividad y mejoras de manejo, al no disponer de datos para poder ajustar un modelo matemático, el Grupo Operativo decidió que Ifapa desarrollase un modelo agronómico del comportamiento de las variedades objeto del proyecto. Ifapa realizó el modelado agronómico de productividad a lo largo de las campañas de 2018, 2019 y 2020, recabando conclusiones y experimentaciones de sendas campañas de cítricos.

Mientras tanto, ec2ce realizó todo el tratamiento y preparación de datos en el primer trimestre de 2020, el modelado de sendas plagas en el segundo trimestre de 2020, y la validación del mismo (backtesting e invivo) en los meses de junio, julio, agosto y principios de septiembre de 2020.

En el cronograma adjunto se resumen las actividades llevadas a cabo en el proyecto:



[Conclusiones del modelo predictivo de plagas](#)

Los resultados del modelado matemático a partir de los datos históricos de monitorización de plagas han sido razonablemente positivos, gracias a que se ha contado con los datos históricos aportados por la Consejería para el entrenamiento de los modelos, y se han establecido las bases técnicas para poder escalar esta aplicación en un escenario en el que se parta de una mayor cantidad de datos históricos de monitoreo, e igualmente poder ser aplicado el modelado matemático a la productividad óptima, partiendo de datos relacionados con este parámetro.

En este sentido, Asociafruit puede desempeñar un importante papel en el futuro, promoviendo entre las empresas del sector cítrico protocolos en la toma de datos que permitan incrementar el porcentaje de fiabilidad del modelo y consiguiendo involucrar a un mayor número de fuentes.

Efectivamente, tras los resultados del backtesting del modelo ajustado con las bases de datos disponibles, y de la prueba in vivo, la principal conclusión del proyecto es que el potencial del modelado desarrollado es de gran utilidad para la gestión de las explotaciones cítricas andaluzas, habiéndose conseguido establecer ya las bases para su aplicación, como bien se ha demostrado en la aplicación de esta tecnología en sectores como el olivar o los frutos rojos en Andalucía.

No obstante, de cara a mejorar los resultados del modelado, en particular en las semanas a más largo plazo, sería conveniente recabar más datos con mayor representatividad para poder modelar de manera más precisa, así como extender esta recogida de datos a otros aspectos de la productividad y calidad de las variedades de cítricos, de forma que se pueda extender el modelado a esos otros aspectos y contar con una herramienta a futuro de utilidad para el sector.

[Conclusiones del informe de productividad](#)

Se observa una clara influencia de la temperatura y precipitación en el comportamiento agronómico (calidad y producción) de dos naranjas dulces del grupo Navel. En el caso de 'Navelina', una mayor temperatura media al inicio de la campaña influyó en el índice de color de los frutos, retrasando su coloración externa y, por tanto, la recolección de los frutos a noviembre. En 'Lane Late', al tratarse de una variedad de recolección de media estación, no hubo influencia de la temperatura media en septiembre sobre la coloración externa de sus frutos, haciendo posible su recolección desde enero. Por otro lado, de manera conjunta en ambas variedades, los aspectos climáticos condicionaron la calidad organoléptica del zumo. Una menor temperatura media en el periodo de mayo a agosto incide directamente en el contenido en azúcar (a menos temperatura menores contenido en azúcar) e indirectamente en la acidez total del zumo (a menos temperatura mayor acidez total), y por consiguiente, en la maduración interna de los frutos.

Para reducir al máximo estas posibles influencias se hace esencial emplear técnicas de cultivo eficientes, tales como elección del material vegetal (variedades y patrones), operaciones de poda, riego, fertilización, aumentando así la calidad y producción final de los cítricos.