

Innovación y aplicación de las TIC's en el cultivo de los cítricos

# ec2ce<sup>pest</sup>: un sistema predictivo de plagas efectivo y escalable

Gualberto Asencio Cortés, Pedro Carrillo Donaire, Ricardo Arjona Antolín (ec2ce. Sevilla).

Se presenta en este trabajo una herramienta de toma de decisiones basado en modelos predictivos denominado ec2ce<sup>pest</sup>, la cual permite definir las medidas de actuación en base al pronóstico de la evolución futura del riesgo de la plaga. Además, la herramienta ec2ce<sup>pest</sup> posee la capacidad de aprender del histórico de mediciones de campo de una parcela y extender su aplicabilidad a otras parcelas sin histórico. Esta capacidad ha sido demostrada arrojando resultados que permiten concluir que el sistema ec2ce<sup>pest</sup> es perfectamente aplicable a la predicción de plagas, incluso sin histórico de mediciones de campo. Esta herramienta ha sido validada y demostrada durante la cosecha actual de olivo en Andalucía, con una fiabilidad media de las predicciones en torno al 95%, y la empresa contempla su extensión a otras plagas en cultivos como el algodón y los cítricos.

## Materiales y métodos

Para realizar la validación en campo, se han considerado 23 parcelas de olivar de Andalucía, de las cuales una se ha utilizado como parcela de referencia y las 22 restantes como parcelas de testeo. De la parcela de referencia se tienen datos históricos de mediciones de campo desde 2001 hasta 2014, mientras que de las restantes solo están disponibles datos de 2013 y 2014. En la Tabla 1 se expone el número de muestras disponibles del campo de cada una de las 23 parcelas de estudio en cada año.

La información recolectada y proporcionada por la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía, y en concreto por el Departamento de Sanidad Vegetal, ha sido crítica para la consecución de este proyecto.

En todas las parcelas estudiadas se encuentran plantados olivares de la variedad 'Picual' de aceituna y todas ellas son de regadío. La altitud media de las 23 parcelas es de 556 metros. Para realizar las predicciones de plaga, el modelo necesita de datos meteorológicos, los cuales fueron tomados de una estación automática situada cerca del conjunto de parcelas de estudio. En la Figura 1 se muestra un mapa geográfico con la ubicación relativa entre las 23 parcelas de estudio (señaladas en rojo) y la estación meteorológica (marcada en azul). Tal como se puede apreciar, la distancia máxima entre la estación meteorológica y las parcelas es de 10,7 km.

La herramienta está basada en la creación de un modelo predictivo, obtenido mediante el entrenamiento llevado a cabo por algoritmos de aprendizaje automático sobre los datos obtenidos a partir tanto de las parcelas como de la estación meteorológica. En la Figura 2 se presenta un diagrama que resume esta metodología.

Tal como se aprecia en la Figura 2, el primer paso es la adquisición de los datos, tanto de mediciones de campo de las parcelas de estudio como de la estación meteorológica, para ser integrados entre sí. A continuación, los datos de la parcela de referencia son separados de aquellos obtenidos del resto de las

| PARCELA    | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Total |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Referencia | 15   | 18   | 12   | 17   | 15   | 17   | 16   | 14   | 16   | 16   | 15   | 14   | 17   | 13   | 215   |
| Parcela 1  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 19   |      | 19    |
| Parcela 2  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 17   |      | 17    |
| Parcela 3  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 15   |      | 15    |
| Parcela 4  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 16   | 15   | 31    |
| Parcela 5  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 16   | 15   | 31    |
| Parcela 6  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 19   | 13   | 32    |
| Parcela 7  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 16   | 15   | 31    |
| Parcela 8  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 16   | 15   | 31    |
| Parcela 9  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 16   | 15   | 31    |
| Parcela 10 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 16   | 15   | 31    |
| Parcela 11 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 19   | 13   | 32    |
| Parcela 12 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 16   | 15   | 31    |
| Parcela 13 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 17   | 15   | 32    |
| Parcela 14 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 13   | 13    |
| Parcela 15 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 13   | 13    |
| Parcela 16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 15   | 13   | 28    |
| Parcela 17 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 11   | 11    |
| Parcela 18 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 15   | 15    |
| Parcela 19 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 17   | 13   | 30    |
| Parcela 20 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 12   | 14   | 26    |
| Parcela 21 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 15   | 15    |
| Parcela 22 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 8    | 8     |

Tabla 1. Número de muestras obtenidas del campo en las parcelas de estudio.

parcelas y a su vez divididos en un conjunto de entrenamiento y otro de test. El entrenamiento está formado por las muestras en el periodo 2001-2012, mientras que el conjunto de test en el periodo 2013-2014.

A partir del conjunto de entrenamiento se obtiene, mediante algoritmos de aprendizaje automático, un modelo que es capaz de realizar predicciones (caja verde "Modelo" en la Figura 2). Este modelo es aplicado al conjunto de test de la parcela de referencia (caja azul "Test"), produciendo una predicción de referencia (caja amarilla "Predicción de referencia"). Análogamente, el modelo es también aplicado a las 22 parcelas de test, produciendo las predicciones de

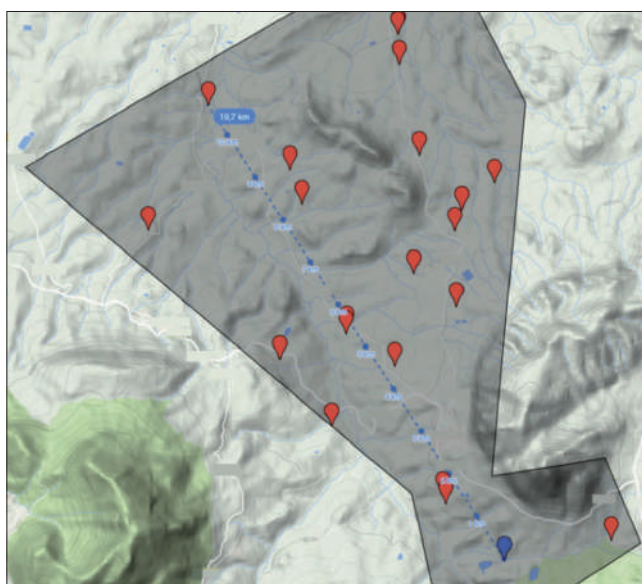


Figura 1. Mapa geográfico con las parcelas de olivar (rojo) y la estación meteorológica (azul).

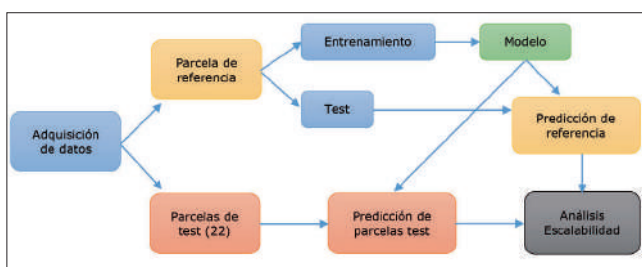


Figura 2. Metodología de predicción y escalabilidad.

parcelas de test (caja roja "Predicción de parcelas test"). Una vez obtenidas ambas predicciones, se comparan entre sí para realizar el análisis de escalabilidad (caja gris oscuro), el cual permite determinar el grado de eficacia del modelo cuando este es extrapolado a parcelas sin histórico (parcelas de test).

## Experimentación y resultados

Con el objetivo de probar la capacidad de la herramienta *ec2cep<sup>pest</sup>*, se han realizado dos estudios en el presente trabajo: el primero de ellos para probar la eficacia de la herramienta en la parcela de entrenamiento (parcela de referencia) y el segundo se centra en probar la fiabilidad de las predicciones en parcelas distintas a la de entrenamiento (22 parcelas).

En las Figuras 3 y 4 se muestran gráficas con los resultados predictivos en los años 2013 y 2014 en la parcela de referencia. En dichas gráficas, la línea verde representa el riesgo de plaga mediante el porcentaje de aceituna picada por trampa y día real obtenido en una serie de fechas de medición. Por otra parte, la línea azul representa la predicción realizada por *ec2cep<sup>pest</sup>*. Además, se han fijado dos umbrales de alerta (líneas horizontales amarilla y roja) en los valores 1 y 5, a modo de ejemplo, útiles para disparar una recomendación de aplicación de fitosanitarios.



Figura 3. Predicción de % aceituna picada en 2013 en la parcela de referencia.

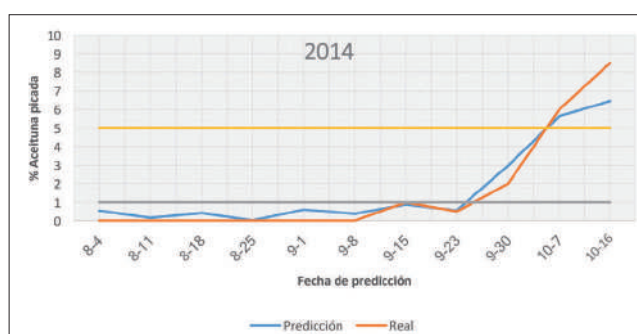


Figura 4. Predicción de % aceituna picada en 2014 en la parcela de referencia.

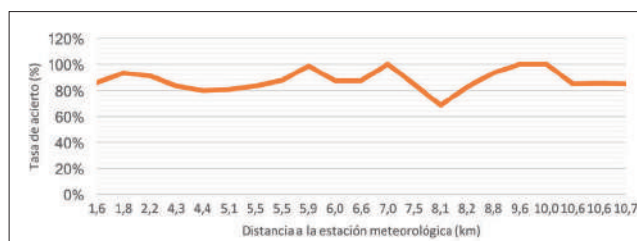


Figura 5. Escalabilidad del modelo con respecto a la distancia a la estación meteorológica.

Como se puede apreciar en ambas gráficas, los valores predichos se acercan en gran medida a la realidad, incluso en los incrementos repentinos de la explosión de la plaga. Además, la herramienta acierta el intervalo de alerta en todos los casos, lo cual tiene especial valor para el agricultor ayudándole en la toma de decisiones de aplicación de fitosanitarios.

En el segundo estudio realizado, se ha probado la fiabilidad del modelo entrenado en la parcela de referencia ejecutándolo sobre las 22 parcelas de test. Para poder resumir tal cantidad de resultados, se ha optado por evaluar la fiabilidad de las predicciones a través de una medida denominada 'Tasa de Acierto (%)', definida según la siguiente fórmula (donde  $P_i$  es la predicción  $i$ -ésima,  $R_i$  el valor real de picada y  $n$  el número de muestras de la parcela):

$$Tasa\ de\ Acierto\ (\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (0 \leq P_i, R_i < 1) \vee (1 \leq P_i, R_i < 5) \vee (P_i, R_i \geq 5)}{n}$$





## Perspectivas de la citricultura ante los nuevos retos y amenazas fitosanitarias

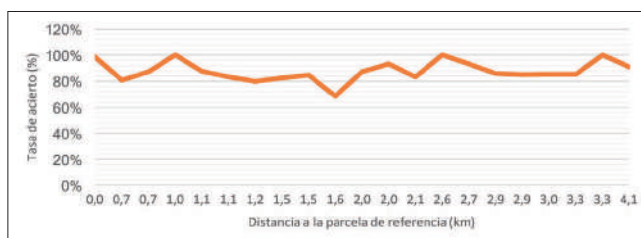


Figura 6. Escalabilidad del modelo con respecto a la distancia a la parcela de referencia.

La 'Tasa de Acierto' mide el porcentaje de predicciones que aciertan el intervalo de alerta (definidos por los umbrales 1 y 5) con respecto al total de muestras de la parcela. En las Figuras 5, 6 y 7 se muestran las gráficas de resultados del segundo estudio. En ellas, se ilustra la 'Tasa de Acierto' del modelo dependiendo de tres características de las parcelas de test: distancia a la estación meteorológica (Figura 5), distancia a la parcela de referencia (Figura 6) y picada media anual (Figura 7).

Tal como se aprecia en las Figuras 5, 6 y 7, la 'Tasa de Acierto' se mantiene constante aproximadamente en el intervalo 80-100%, con independencia tanto de las distancias a la estación meteorológica y a la parcela de referencia, como de la picada media anual. Esto prueba que la herramienta ec2ce<sup>pest</sup> puede ser extendida al menos hasta parcelas que distan 10,7 km de la fuente de datos meteorológicos y hasta 4,1 km de la parcela de entrenamiento del modelo.

Además, la herramienta es igualmente extrapolable a distribuciones de picadas cuya media anual esté entre 0 y 7,6. Considerando que la media anual de picadas en la parcela de referencia es de 1,7, el modelo es capaz de extrapolar sus predicciones al menos hasta en un incremento del 4,5x de la picada media anual.

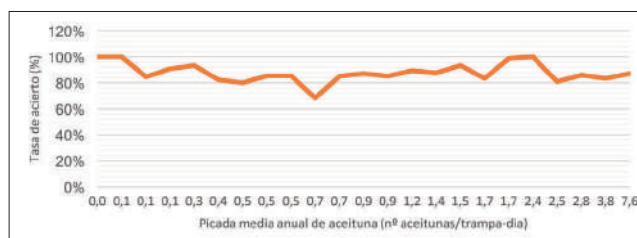
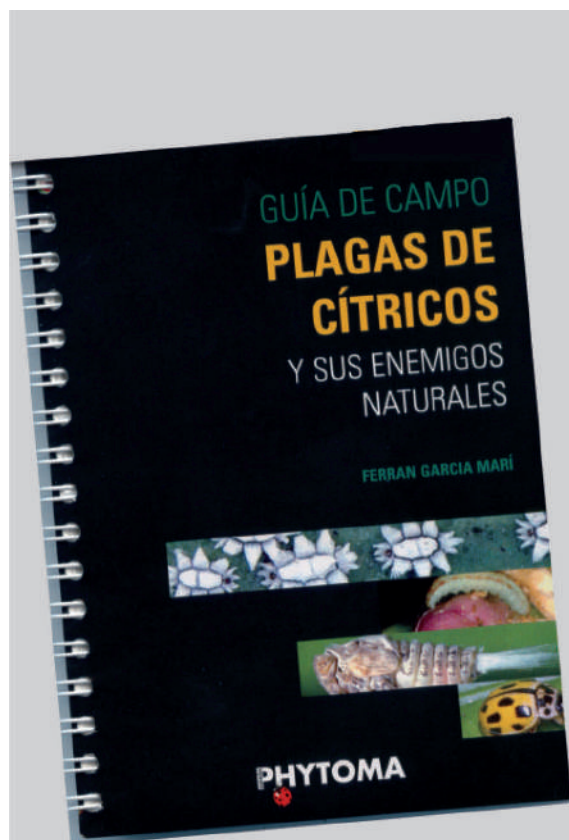


Figura 7. Escalabilidad del modelo con respecto a la picada media anual de aceituna.

## Conclusiones

ec2ce<sup>pest</sup> es una herramienta para la toma de decisiones en la gestión integrada de plagas, que aporta al agricultor la capacidad de anticipar sus decisiones en el tratamiento de plagas con una efectividad media del 95%, cuando el modelo es entrenado en la misma parcela de predicción, y del 80-100% cuando el modelo se extrapola a parcelas sin histórico. Además, esta herramienta puede ser extendida al menos hasta 10,7 km de la estación meteorológica y hasta 4,1 km de la parcela de entrenamiento. Además, es capaz de extrapolar sus predicciones al menos hasta en un incremento del 4,5x de picada media anual.

Estos resultados favorables de efectividad y extrapolación han sido posibles gracias a la capacidad del sistema de generar modelos que poseen gran generalidad y evitan el sobreajuste a los datos de las parcelas. Asimismo el sistema ha sido especialmente diseñado para ser robusto ante anomalías y defectos en los datos.



## GUÍA DE CAMPO PLAGAS DE CÍTRICOS Y SUS ENEMIGOS NATURALES

Por  
**FERRAN GARCIA MARÍ**



Esta guía práctica **describe más de 100 especies** de insectos y ácaros que se encuentran habitualmente en los cultivos españoles de cítricos. La mayoría son plagas potenciales, aunque también se incluyen sus principales enemigos naturales y otros artrópodos asociados. **Más de 600 fotos en color** ayudarán a reconocer las distintas fases de desarrollo de estos artrópodos, así como los daños que producen. La guía de las plagas en el cultivo de los cítricos incluye también una breve información complementaria para su manejo y control, como época y método de muestreo, distribución, importancia y biología.

176 Páginas  
P.V.P.: 29€ (Iva incluido)

[www.phytoma.com](http://www.phytoma.com)