

DIGITALIZACIÓN

Aplicaciones de la monitorización de superficies agrarias

Este artículo describe algunas de las herramientas de que se dispone para la monitorización del territorio y la optimización de la toma de decisiones agrícolas y medioambientales.

Se presentan distintos ejemplos de aplicación, como la monitorización de la Política Agrícola Común (PAC), la generación de un mapa de riesgos de polinización cruzada de cítricos y la teledetección de plagas de caqui. Resalta la conveniencia de poner en valor el importante caudal de conocimiento y bases de datos de que disponemos.

El incremento de la población humana ejerce una gran presión en la demanda de alimentos. Las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señalan que la producción agrícola debe aumentar un 70% para 2050 y este aumento debe ser compatible con la mitigación de los efectos del cambio climático.

Por ello se entiende la importancia y necesidad de la monitorización del territorio. La Unión Europea promueve la teledetección para



la gestión óptima de los recursos agrícolas y forestales a diversos niveles (desde escala regional hasta de parcela), declarar estados de fuerza mayor y apoyar con datos objetivos las políticas relacionadas con el cambio climático.

Por ello está desarrollando Copernicus, el programa de observación de la Tierra más ambicioso de la historia, que proporciona imágenes satelitales precisas, actualizadas y de acceso gratuito. Ya están en órbita las principales misiones de interés agrario. La misión Sentinel-2 está constituida por una pareja de satélites idénticos en órbita polar, desfasados 180°, que capturan la información de la superficie terrestre en 13 bandas espectrales, con resoluciones espaciales entre 10 y 60 m, lo que permite obtener imágenes de una zona cada cinco días. La misión Sentinel 1 también dispone de dos satélites idénticos que proporcionan imágenes de Radar de Apertura Sintética en la banda C con la misma periodicidad.

En la Comunitat Valenciana, la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica necesita herramientas para supervisar a nivel supralocal (comarcal, de cuenca, autonómico, etc.) tanto el impacto de la actividad humana como el de las medidas políticas agrarias y medioambientales sobre la adaptación y mitigación del cambio climático. La monitorización es también un importante apoyo a nivel de explotación individual, a través de las tecnologías asocia-

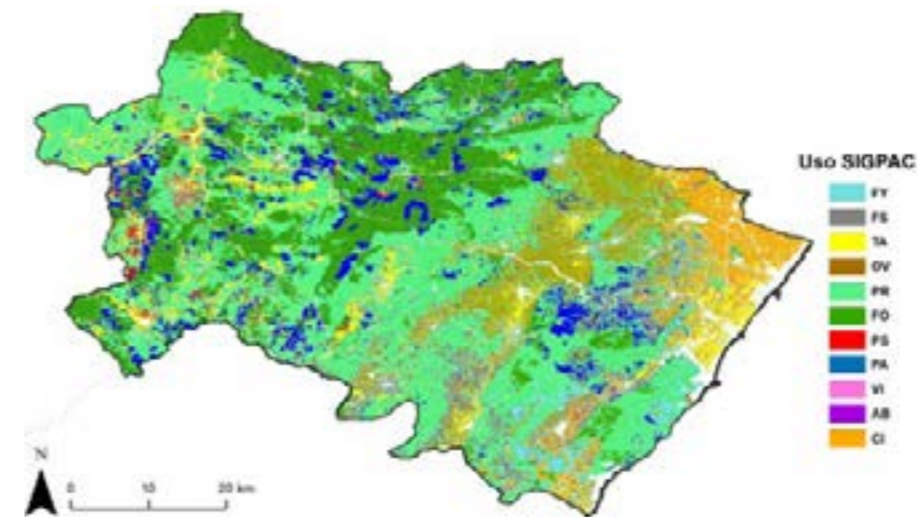
das a la Agricultura de Precisión. Esta es una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales, combinándolos con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo agronómico, con el fin de mejorar la eficiencia, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola.

Pese a su enorme utilidad en términos económicos y medioambientales, la implantación de las tecnologías asociadas a la Agricultura de Precisión y a la teledetección en el sector agrario valenciano es escasa. Entre otras razones, por la falta de información sobre sus posibilidades, por la naturaleza de la producción (asociada principalmente a frutales mediterráneos, debido a su mayor valor añadido) y por el excesivo minifundismo.

La Agricultura de Precisión se ha desarrollado enormemente en cultivos anuales extensivos. Sin embargo, en la Comunitat Valenciana resulta de interés prioritario su implementación en cultivos plurianuales, principalmente en frutales (naranjos, mandarinos, caquis, granados, aguacates, nísperos, etc.), almendros y viñedos. No obstante, la Comunitat Valenciana tiene centros de investigación punteros, una organización cooperativa y asociativa envidiable, multitud de empresas agrarias de una capacidad adaptativa demostrada y empresas de base tecnológica innovadoras que permiten desarrollar todo el potencial de la Agricultura de Precisión.

LA MONITORIZACIÓN DE LA PAC MEDIANTE TELEDETECCIÓN

En la Comunitat se han realizado pruebas piloto para la monitorización de la PAC mediante teledetección desde 2019. Actualmente, la Conselleria dispone de diversas herramientas de análisis, basadas en teledetección y en Sistemas de Información Geográfica. De especial importancia han sido los trabajos realizados por la Universitat de València y por la Universitat Politècnica de València para la detección automática de los usos del suelo y el abandono de tierras. El primero utiliza técnicas de aprendizaje profundo (Deep Learning) basadas en redes neuronales bidireccionales de memoria a corto y largo plazo (Bidirectional Long Short-Term Memory, BiLSTM), sobre series temporales de imágenes Sentinel 2 (figura 1) (Campos-Taberner et al., 2020). El segundo desarrolla métodos para la detección de parcelas irregulares y modelos para la estimación basados en ortoimágenes y series temporales de imágenes Sentinel 1 y 2 (Ruiz et al., 2020). También es de destacar el trabajo de Morell et al. (2021) para la detección automática del abandono de parcelas de cítricos.



La Unión Europea promueve la monitorización basada en la teledetección para la gestión óptima de los recursos agrícolas y forestales y para apoyar con datos objetivos las políticas relacionadas con el cambio climático. Por ello está desarrollando el programa de observación de la Tierra más ambicioso de la historia.

Figura 1. Ejemplo de mapa de estimación de los usos del suelo del norte de la provincia de Castellón obtenido por el Grupo Teledetección de Medio Ambiente de la Universitat de València (UV-ERS).

LA NECESIDAD DE LA FUSIÓN DE INFORMACIÓN. EJEMPLO DE UNA HERRAMIENTA PARA AUMENTAR LAS CAPACIDADES DE TELEDETECCIÓN

En la monitorización del territorio se emplean distintas tecnologías de recopilación de información, entre las que destaca la teledetección (mediante imágenes captadas por satélites, aviones, drones o vehículos terrestres), los sensores terrestres de parámetros fisiológicos o de características del suelo, y las bases de datos agronómicas y meteorológicas.

Aunque las imágenes satelitales son una fuente importantísima de datos, actualmente ofrecen una resolución espacial relativamente baja, lo que dificulta los análisis a nivel de parcela o de planta. Además, la adquisición de imágenes multi o hiperespectrales de calidad es muy susceptible a la cobertura de nubes. Existe una gran cantidad de literatura científica orientada a establecer relaciones matemáticas entre los parámetros biofísicos o edáficos y determinados índices espectrales que combinan información de dos o más bandas, como el conocido Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y muchos otros. Sin embargo, se hace imposible discriminar el valor de estos índices para el suelo

y para la vegetación en parcelas con cultivos en los que los marcos de plantación son menores que la resolución, o en aquellas en que la vegetación no cubre total y homogéneamente el suelo. Sin embargo, el desarrollo de empresas especializadas en servicios de adquisición de imágenes aéreas (drones o aviones), potencialmente aplicables en agricultura, está creciendo enormemente, lo que permite disponer de imágenes con alta resolución espacial. Los drones ofrecen flexibilidad a un coste relativamente bajo, pero están limitados por su autonomía de vuelo y las condiciones meteorológicas y sujetos a distintas regulaciones de seguridad aérea.

En la monitorización se emplean distintas tecnologías para recopilar información: teledetección (satélites, aviones, drones o vehículos terrestres), sensores terrestres y bases de datos agrometeorológicas.

Una solución a ese problema consiste en combinar las dos fuentes de información: aprovechar por un lado la mayor resolución espacial que proporcionan las imágenes obtenidas con vehículos aéreos, y, por el otro, la mayor frecuencia temporal y la calidad de imagen de los sensores multispectrales instalados en las misiones satelitales. La fusión de imágenes consiste en aplicar diversas técnicas de tratamiento de datos con este propósito.

El IVIA ha desarrollado un procedimiento para la fusión de imágenes procedentes de la misión Sentinel 2 (baja resolución, alta calidad espectral, alta resolución temporal), ortofotos del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV) (alta resolución, baja resolución temporal) e imágenes obtenidas con drones (muy alta resolución espacial, baja resolución temporal). El procedimiento de fusión se aplica para generar series temporales de imágenes sintéticas de alta resolución. Para ilustrar los resultados, la figura 2a muestra una representación del índice NDVI a partir de una imagen de satélite de una parcela de olivos en Villena (Alicante) sobre la ortofoto del ICV, mientras que la figura 2b representa el mismo índice tras fusionar la imagen satelital con otra de alta resolución obtenida por dron. Se puede observar que en esta última se distingue claramente el suelo de las copas, por lo que el cálculo del NDVI asociado exclusivamente a la vegetación puede ser más preciso.

Figura 2. a) Imagen NDVI generada en una parcela de Villena (Alicante) a partir de la imagen Sentinel 2- 2A del 25 de julio de 2019, b) Imagen NDVI fusionada con una imagen de dron de fecha similar. Los valores bajos de NDVI se representan en colores rojizos, los valores altos, en colores verdosos.



EL MAPA DE RIESGOS DE POLINIZACIÓN CRUZADA DE CÍTRICOS: LA IMPORTANCIA DE UTILIZAR FUENTES DE INFORMACIÓN YA DISPONIBLES

La producción de cítricos valenciana se destina al mercado en fresco, por lo que mayoritariamente se cultivan variedades que no producen semillas, principalmente partenocárpicas y autoincompatibles. Sin embargo, algunas variedades, en circunstancias favorables, inducen la formación de semillas en otras (polinización cruzada).

Este fenómeno se produce principalmente a través de insectos, ya que la polinización anemófila es escasa en los cítricos. Por este motivo, los sectores apícola y cítrícola pueden llegar a tener intereses contrapuestos al llegar la floración. Consecuentemente, la Generalitat Valenciana establece medidas para atender los intereses de ambos. De este modo, limita los asentamientos de colmenas cerca de determinadas zonas de cultivos de cítricos durante la floración y, al mismo tiempo, regula el uso de fitosanitarios perjudiciales para las abejas en estas áreas.

El IVIA ha desarrollado herramientas que permiten gestionar esta cuestión de manera objetiva, utilizando conocimientos científicos y datos sobre el terreno. Para ello plantea un modelo geoestadístico que estima cómo se distribuye el riesgo de polinización cruzada en nuestro territorio. El modelo se basa en dos fuentes de datos:

- REGEPA de la CV, que contiene información geolocalizada de las plantaciones y la declaración de la variedad de cítricos cultivada.
- Estudios realizados por el IVIA sobre la capacidad de cada variedad comercial para inducir semillas en las demás, así como su sensibilidad a la polinización por otros cítricos, durante más de 25 años de experimentación.

El modelo asume que la capacidad de polinización cruzada depende de:

- a) las variedades plantadas,
- b) la cantidad de material susceptible de intervenir en la polinización, y
- c) la distancia entre las parcelas que interactúan.

Se ha desarrollado un algoritmo en el que, para cada parcela plantada con una variedad sensible a la polinización, se determinan todas las parcelas vecinas con capacidad de polinizarla que se encuentran a la distancia máxima del vuelo de las abejas (3 km según Couvillon et al., 2015).

El IVIA ha desarrollado herramientas que permiten gestionar la polinización cruzada de los cítricos de manera objetiva, utilizando conocimientos científicos y datos sobre el terreno. Con ellas se puede optimizar la gestión de la ubicación de colmenas, así como planificar el desarrollo del sector cítrícola.

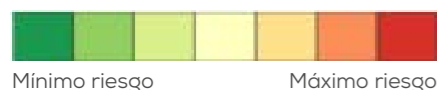
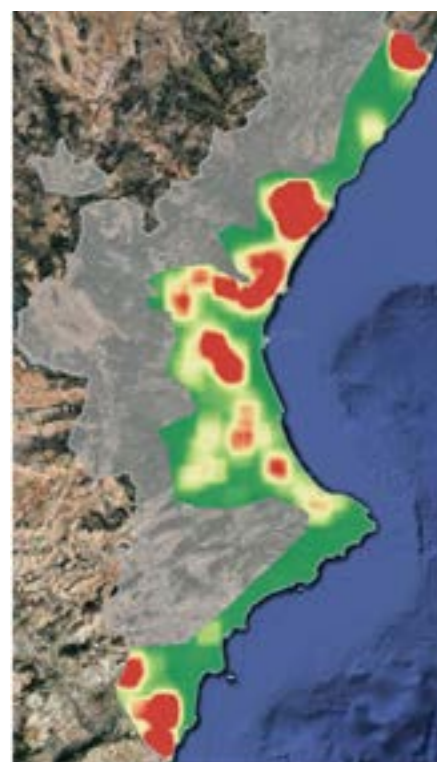


Figura 3. Mapa de riesgos de polinización cruzada de cítricos en la CV. Mapa general (arriba). Detalles a nivel de municipios. Las líneas negras definen los municipios (izq.). Detalles de polígonos (dcha.).

Una vez determinadas las parcelas vecinas, se calcula el riesgo que induce cada una de ellas sobre la parcela sensible, en función de los datos sobre polinización obtenidos del IVIA y aplicando factores correctores de distancia y de superficies plantadas.

Posteriormente, se suman todos los riesgos que inducen las parcelas vecinas a la parcela en estudio. Finalmente, se expresa el riesgo de una determinada zona como la suma de los riesgos de las parcelas incluidas en la misma. El modelo, aunque no incluye los datos de todas las parcelas cítricas de la CV, está basado en más de 218.000 recintos, lo que le proporciona una gran robustez estadística.

Actualmente se dispone de una base de datos en la que se expresa de manera numérica el riesgo de ser polinizada cada parcela del REGPA. Dicha base de datos se puede reflejar en forma de mapa de riesgos en la CV según el ejemplo que aparece en la figura 3.

Gracias a este modelo, se puede optimizar la planificación y gestión de la ubicación de colmenas, favoreciendo la actividad apícola en las zonas en las que exista menor riesgo para los agricultores. Asimismo, se puede planificar el desarrollo del sector cítrico teniendo en cuenta el aumento o disminución de los riesgos de polinización.



GLOSARIO



Espectro electromagnético: distribución de energías de las radiaciones electromagnéticas. Se expresa en términos de la longitud de onda o frecuencia de las radiaciones. Comprende desde las radiaciones con menor longitud de onda (rayos gamma, rayos X) hasta las de mayor longitud de onda (microondas, ondas de radio). La luz visible es una pequeña parte del espectro electromagnético (longitudes de onda entre 400 y 770 nm aproximadamente).

Banda espectral: parte del espectro electromagnético que captura un sensor. Por ejemplo, los sensores de las cámaras de video convencionales (y

nuestros ojos) son sensibles a tres zonas (bandas) del espectro electromagnético en la zona de luz visible, que se corresponden con el azul, el verde y el rojo. Una banda se define por el rango de frecuencias o longitudes de onda que abarca.

Imagen multiespectral: imagen compuesta por varias (pocas unidades o decenas) imágenes con distintas bandas espectrales.

Imagen hiperespectral: imagen compuesta por muchas (varias decenas – centenares) imágenes con bandas espectrales estrechas.

Resolución espacial: mínima distancia real que puede contener un píxel de una imagen.

Resolución espectral: mínima diferencia entre las longitudes de onda o frecuencias que puede distinguir un sensor.

Imagen de radar de apertura sintética: imagen que se obtiene a partir de un radar con una tecnología especial, embarcado en un satélite. La intensidad de la señal que recibe el sensor depende, entre otros factores, de la rugosidad de la superficie observada y de parámetros que pueden estar relacionados con la humedad del suelo.

PRIMEROS RESULTADOS DE DETECCIÓN REMOTA DE PLAGAS

Las moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae) y cochinillas algodonosas (Hemiptera: Pseudococcidae) causan importantes daños en el cultivo de caqui. Además de su efecto sobre el fruto y las hojas, estos insectos producen melazas que sirven de sustrato para el desarrollo de los hongos asociados a la negrilla (Cubian et al., 2021). La negrilla afecta a la función fotosintética y, por tanto, al crecimiento vegetativo, ya que interfiere en el intercambio gaseoso entre la atmósfera y la hoja. En general, esto se traduce en modificaciones de la reflectancia de las copas de los árboles, por lo que este estado de estrés puede ser detectado a partir del análisis de imágenes satelitales. Por este motivo el Centro de Agroingeniería del IVIA está desarrollando algoritmos para estimar el nivel de infestación de negrilla a partir de observaciones proporcionadas por el Centro de Protección Vegetal y Biotecnología del Instituto.

Así, en septiembre de 2021 se realizaron muestreos en 36 parcelas situadas en L'Alcúdia y en Carlet, en las que un experto valoró visualmente el nivel de negrilla codificándolo del siguiente modo: 1 (no hay negrilla), 2 (intermedio) y 3 (grave). Los datos se georreferenciaron utilizando un móvil. Se diseñó un algoritmo de segmentación a nivel de píxel sobre una imagen sintética multiespectral (R, G, B, RedEdge, NIR, SWIR1 y SWIR2) del mes, generada a partir de todas las imágenes con escasa nubosidad de esa zona, procedentes de Sentinel 2. Posteriormente se utilizó un clasificador Random Forest. Por último, la clasificación de la parcela se realizó asignando el valor de la mayoría de los píxeles. Los resultados fueron esperanzadores (100% de clasificaciones correctas en el conjunto de validación, figura 4) y se prevé ampliar las muestras a lo largo de la presente campaña. Asimismo, se pretenden utilizar los resultados del estudio para realizar predicciones epidemiológicas.

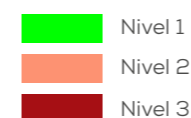


Figura 4. Vista parcial de los primeros resultados de teledetección de niveles de negrilla en cultivos de caqui de la zona de L'Alcúdia y de Carlet en septiembre de 2021.



Este trabajo demuestra la importancia de explotar tanto las técnicas de teledetección como algunas valiosas bases de datos de la Conselleria, así como otras obtenidas a partir de muestreos de campo, para el desarrollo de nuevas herramientas que permiten optimizar tanto la gestión del territorio como la gestión a nivel de parcela.

REFERENCIAS

Campos-Taberner, M., García-Haro, F.J., Martínez, B., Gilabert, M.A. (2020). "Deep learning para la clasificación de usos de suelo agrícola con Sentinel-2". *Revista de teledetección* 56: 35-48

Couvillon, M.J., Riddell Pearce, F.C., Acclerton, C., Fensome, K.A., Quah, S.K.L., Taylor, E.L., Ratnieks F.L.W. (2015). "Honey bee foraging distance depends on month and forage type". *Apidologie* 46:61-70

Cubian, M., Beitia, F. J., Weigand, S. & Monzó, C. (2021). "Phytoseiid mite assemblages and *Dialeurodes citri* (Hemiptera:Aleyrodidae) infestations in persimmon orchards under different soil managements". Poster presented at: *7th International Symposium on Persimmon*. (Kaki 2020), Nara, Japan

Morell-Monzó, S., Sebastiá-Frasquet, M.-T., Estornell, J. (2021). "Land Use Classification of VHR Images for Mapping Small-Sized Abandoned Citrus Plots by Using Spectral and Textural Information". *Remote Sens.* 2021, 13, 681

Ruiz, L.A., Almonacid-Caballer, J., Crespo-Pemarch, P., Recio, J.A., Pardo-Pascual, J.E., Sánchez-García, E. (2020). "Automated classification of crop types and condition in a Mediterranean area using a fine-tuned convolutional neural network". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B3-2020

>Autor del artículo:
Enrique Moltó García
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) Centro de Agroingeniería
molto_enr@gva.es