

Nuevas tecnologías para el manejo de las labores del tomate de industria



Cómo cultivar cada terreno en función de sus necesidades de fertilizantes, agua y fitosanitarios

El tomate de industria es el cultivo hortícola más importante de la Región, con más de 20.000 hectáreas de cultivo y más de 1,8 millones de toneladas al año. El incremento en la rentabilidad ha sido debido principalmente al aumento en la producción, siendo hoy la media regional de 80 t/ha, lo cual ha sido posible con la mejora en las variedades y de las técnicas culturales, como la extensión del riego localizado por las zonas de cultivo.

Así mismo las nuevas tendencias conducen a un aumento del tamaño de las explotaciones apoyado por las nuevas tecnologías en maquinaria que facilitan la gestión de estas enormes superficies. Sin embargo, parámetros esenciales para cultivo como el riego y la nutrición pasan a ser muy difíciles de controlar cuando nos enfrentamos a la gestión de grandes superficies de cultivo de tomate de industria.

Sandra Millán, Rafael Fortes, María del Henar Prieto y Carlos Campillo.

Grupo de Riego y Nutrición. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX). Junta de Extremadura.

En este contexto, con producciones medias de 80-90 t/ha, podría considerarse que aún existe margen para mejorar el cultivo del tomate de industria en Extremadura. Las claves para el avance serán la incorporación al cultivo de los conocimientos y tecnologías disponibles. El futuro del cultivo pasa por mantener producciones elevadas y de calidad,

optimizando el uso de los medios de producción, de forma que se mantengan la rentabilidad del cultivo, pero al mismo tiempo, adoptando prácticas del cultivo respetuosas con el medio ambiente, frente a una sociedad cada vez más exigentes en estos aspectos. Las claves para este avance serán la incorporación al cultivo de los conocimientos y tecnologías disponibles. Las

nuevas tecnologías permiten cultivar cada terreno en función de sus necesidades de fertilizantes, agua y fitosanitarios según la orografía, el tipo de suelo y utilizando técnicas agronómicamente sostenibles.

Preparación del terreno

A la hora de la preparación del terreno, el agricultor sabe que la elección adecuada del tractor y aperos más apropiados para cada labor agrícola pueden ayudar a conseguir una reducción de los costes de producción de las explotaciones agrícolas. La introducción de las nuevas tecnologías al campo permitirá mejorar la preparación del terreno y ajustarlo a las diferentes necesidades que tenga cada zona de la parcela o del sistema que se vaya a utilizar para el riego del cultivo.

En este sentido, por ejemplo, los tractores disponen hoy en día de tecnología GPS que les ayuda a moverse con toda precisión por el terreno. El sistema de auto-guiado proporciona numerosas ventajas como la de ahorro de insumos, reducen el número de zonas solapadas en las diversas pasadas (entre un 8-12%), con el consiguiente ahorro de gasóleo. Este sistema de auto-guiado, tiene elevada importancia en el riego por goteo enterrado debido a que su aplicación en el campo se debe llevar a cabo con la máxima eficiencia posible según las condiciones que el medio impone, ya que será necesario realizar alguna serie de labores posteriores a su enterrado para lo cual y con el fin de evitar roturas el tractor debe conocer perfectamente dónde está enterrada la cinta de riego.

Este sistema de riego está teniendo cada vez una mayor implantación en el cultivo del tomate, realizándose estudios en el Cicytex en los que se ha comprobado la idoneidad y ventajas del riego por goteo enterrado respecto al sistema de riego superficial, debido a un ahorro de agua a la vez que suma otras ventajas de interés como puede ser mejorar la infiltración en suelos con poca estructura y poca materia orgánica,

muy comunes en Extremadura.

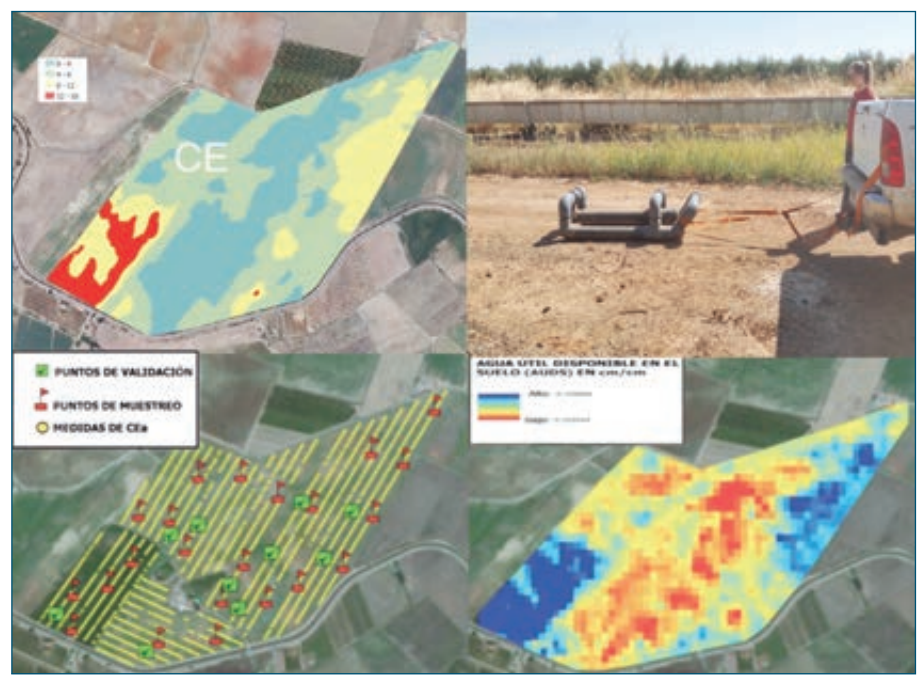
El suelo constituye un factor fundamental desde el punto de vista agronómico, siendo muy importante tener en cuenta la diversidad y complejidad del mismo a la hora de realizar un manejo adecuado de las labores en el tomate de industria. La variabilidad espacial en la distribución del suelo complica en gran medida la representatividad de las analíticas cuando nos enfrentamos a la caracterización de grandes superficies de terreno.

Para disminuir este problema podemos ayudarnos de las tecnologías auxiliadas por información GPS que nos permiten realizar una caracterización del suelo de manera rápida y masiva con respecto a diferentes parámetros. Uno de ellos es la conductividad eléctrica aparente (CEa) que ha demostrado ser un indicador eficaz y rápido de la variabilidad y productividad del suelo (Kitchen

et al., 1999), variable esta que mide la capacidad para conducir la corriente eléctrica a través del suelo. Existen dispositivos comerciales que han desarrollado medidas rápidas y útiles en la toma de decisiones de gestión agrícola (Siri-Prieto *et al.*, 2006). Estudios realizados en el Cicytex han demostrado la relación existente entre la CEa con la textura del suelo y con el contenido de agua útil en las distintas partes de la parcela, siendo esta información muy útil para el diseño del riego tanto antes como durante la campaña de riego, permitiendo la agrupación de los sectores de riego con un tipo de suelo o contenido de agua en el suelo similar, evitando situaciones de estrés en las zonas arenosas o exceso de riego en las arcillosas (Fortes *et al.*, 2015) (**figura 1**).

Hay otras medidas de suelo que se pueden realizar de manera masiva como es el caso del pH, obteniéndose una información

FIG 1. A) Dualem, sensor que mide la CEa del suelo. B) Plano general de CE de la parcela de estudio. C) Plano general de la parcela de estudio en el cuál se indican los puntos de muestreo en función de las distintas zonas presentes en la parcela. D) Mapa predictivo del agua útil disponible en el suelo obtenido utilizando la metodología de co-krigeado a partir de la medida de CEa y de las medidas puntuales. Proyecto AE-11-0255-4.



global y localizada de grandes superficies de terreno, permitiéndonos dirigir de manera efectiva las enmiendas con el consecuente ahorro económico que esto conlleva.

Una labor de preparación del terreno con precisión, nos va a permitir identificar el tipo de labor a realizar y el momento oportuno para llevarla a cabo en cada una de las zonas que existen en nuestra parcela además de poder establecer distintas zonas. Estos datos nos permitirán realizar una selección más objetiva de los puntos de muestreo de suelo y poder utilizar estos datos para realizar diferentes mapas a partir de herramientas de geoestadística. La adecuación de elección de zonas representativas para la instalación de sensores tanto para la medida del contenido de agua de suelo como para la determinación del estado hídrico o nutricional del cultivo pueden ser de gran utilidad para obtener unos valores más adaptados a la parcela completa.

Trasplante

La modernización de la maquinaria para la realización de estas labores ha permitido la posibilidad de realizar un trasplante semi-automático permitiendo aumentar la superficie que puede ser trasplantada en un solo día. En este caso, el manejo de la planta en el invernadero puede ser un factor clave a la hora de un correcto trasplante automático y un buen establecimiento de la planta en campo que permita reducir las pérdidas de planta. En este sentido, las nuevas tecnologías están siendo utilizadas en el invernadero para ajustar la conformación del cepellón y establecer las pautas en el riego de la planta en el invernadero para su correcto desarrollo.

Otro de los adelantos en el trasplante es el cambio de bandejas de alveolos de poliestireno expandido Poliespan a bandejas de polipropileno plástico que están permitiendo una mejor adaptación de la planta al campo y menores problemas de fitotoxicidad. En la **figura 2** podemos ver un mapa de desarrollo de las plántulas de tomate a par-

tir del valor del índice de cultivo normalizado (NDVI) con distintos tratamientos de riego realizados dentro del proyecto EE-13-0021-4 y CDTY Hortiplas, mediante la instalación de un sensor de medida de la reflectancia de cultivo instalado sobre el carro de riego que pretende ser un prototipo para poder ser integrado para la automatización del agua aplicada en cada una de las zonas del invernadero que permitan obtener plantas homogéneas y de alta calidad.

Gestión del cultivo

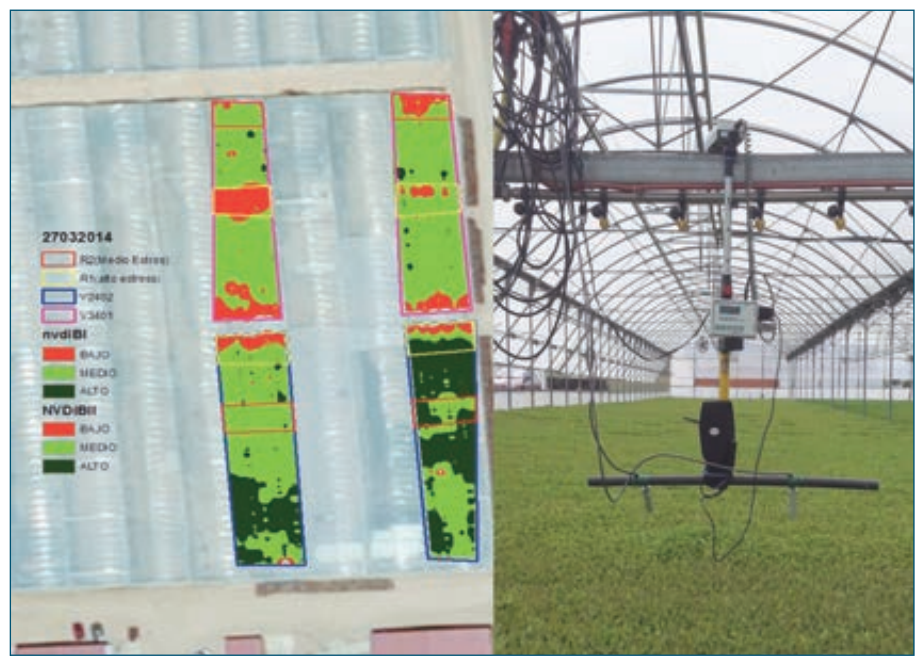
Otro pilar fundamental en la gestión agrícola es la planta, conocer el estado general del cultivo es fundamental a la hora de la gestión de grandes superficies agrícolas, detectar deficiencias hídricas o nutricionales sobre el cultivo de manera rápida o detección temprana de plagas o enfermedades, permite establecer medidas correctoras mejorando los rendimientos y calidad del producto final, ajustando las labores a cada momento y zona.

Optimizar la aplicación de N

En relación a la fertilización en el tomate de industria la disponibilidad de N para la planta es un factor clave para asegurar un crecimiento óptimo del cultivo, una buena producción y una buena calidad del producto comercial, aunque el exceso de fertilizante nitrogenado puede afectar negativamente a la calidad del producto. Al ser el coste de estos fertilizantes relativamente bajo en comparación con el precio del producto, suele ser bastante habitual la sobre-fertilización lo que incrementa los costes de cultivo de forma injustificada y provoca problemas medioambientales relacionados con la lixiviación de los excedentes de abono, ya que el nitrato es un compuesto soluble y móvil, que suele terminar como contaminante en aguas subterráneas y cauces superficiales.

Un factor importante en esta gestión eficiente de la fertilización es el manejo de la aplicación del abonado de fondo que se aplica previo al trasplante del cultivo. Este abonado se aplica por toda la superficie de la par-

FIG 2. A) Sensor de reflectancia Crop Circle ACS-470 tomando mediciones en la parcela de ensayo que se encontraba ubicado en un invernadero. B) Mapas de índice de vegetación normalizado (NDVI). Proyecto EE-13-0021-4.



cela de forma constante, de manera que medidas con sensores como los que hemos comentado anteriormente que permitan la zonificación de la parcela y el establecimiento de zonas con diferentes texturas nos pueden ayudar a realizar un análisis del abono inicial que tiene nuestro suelo previo al abonado de fondo. Así, realizando medidas rápidas de contenido de nitrógeno en el suelo, se pueden establecer mapas de dosificación de abonado variable, gracias a las nuevas tecnologías de posicionamiento que llevan los tractores. En el caso de la fertilización durante el cultivo, también puede ser fundamental su gestión a partir de la información tanto inicial del tipo de suelo, como del desarrollo del cultivo y de la determinación de las deficiencias que se puedan detectar durante el cultivo en las diferentes zonas de la parcela, permitiendo realizar correcciones al plan de abonado inicialmente planteado e incluso tener la posibilidad de realizar correcciones en zonas determinadas de la parcela.

Las medidas en planta son las más adecuadas para realizar un seguimiento de las necesidades de N de las plantas a lo largo del ciclo de cultivo. Pueden ser utilizadas para indicar si la disponibilidad inicial de nitrógeno fue suficiente y por lo tanto si es necesaria una aplicación suplementaria. Dentro de las medidas en planta, están recibiendo especial atención las que se basan en la medida de la reflectancia de la cubierta vegetal. La reflectancia se basa en la absorción de la luz por parte de la planta en una longitud de onda específica. Estudios sugieren que la reflectancia en el cultivo puede ser utilizada para monitorizar los condicionantes de la planta a varias escalas (Plant, 2001).

Combinando los valores de reflectancia obtenidos a diferentes longitudes de onda se han propuesto una serie de índices espectrales que se ha demostrado que se relacionan de forma consistente con el contenido en pigmentos de la planta (clorofilas, carotenoides, xantofilas y antocianos), pudiendo ser utilizados como un indicador del estado nutricional del cultivo para el N. Las medidas de reflectancia de la cubierta vegetal se encuadran dentro de lo que se consideran medidas "remotas", en las que la información sobre el cultivo se obtiene de forma no destructiva y sin que exista un contacto directo con el mismo, por lo tanto, la toma de datos puede ser rápida y automatizada. Un atractivo adicional es que se puede asociar un componente espacial a los datos, geoposicionando cada una de las lecturas, de forma que es posible elaborar mapas de reflectancia de la superficie de cultivo y caracterizar la variabilidad espacial en cuanto a la disponibilidad de nitrógeno, lo que proporciona una información valiosa para la gestión eficiente de la parcela.

Mejorar la gestión de riego

De igual forma que en la fertilización, las nuevas tecnologías están permitiendo mejorar la gestión del riego en el cultivo del to-



Candidatura a Paisaje Cultural
Patrimonio de la Humanidad

 **expoliva** 2017
XVIII FERIA INTERNACIONAL DEL ACEITE DE OLIVA E INDUSTRIAS AFINES
XVIII INTERNATIONAL FAIR OF THE OLIVE OIL AND ALLIED INDUSTRIES

Jaén, 10-13 mayo
Jaén (Spain), may 10-13
RECINTO PROVINCIAL DE FERIAS Y CONGRESOS DE JAÉN

www.expoliva.info



RECINTO PROVINCIAL DE FERIAS Y CONGRESOS DE JAÉN. FERIAS JAÉN S.A.
Prof. Ctra. Granada s/n, 23003 | T: (+34) 953 086 900 - Fax: (+34) 953 245 834 | general@ifeja.org

mate, tal y como hemos comentado anteriormente mediante el establecimiento de los sectores de riego como por la utilización de diferentes sensores tanto de planta como de suelo que permiten determinar las necesidades del cultivo. Ambas tecnologías nos permiten ajustar las programaciones para mejorar la distribución del agua y la eficiencia.

Sin embargo, los problemas causados por la heterogeneidad existente en las parcelas pueden provocar que las medidas pun-

zación de plagas y enfermedades del cultivo permiten adaptar la aplicación de producto en las zonas donde sea necesario, evitando tratamientos a toda la superficie de cultivo identificando el lugar donde se encuentra la plaga o enfermedad.

Ensayos en parcelas experimentales

Toda esta información ofrece una visión global que nos permite localizar las diferentes superficies de actuación, con el consecuen-

base de datos sobre el uso de tecnologías innovadoras y prácticas de manejo en sistemas hortofrutícolas con fertirriego que ayude a una mejor transferencia de la fertirrigación en los cultivos hortofrutícolas.

El desarrollo de índices de vegetación basados en la reflectancia, han permitido un avance en los métodos globales de medida de estado de la planta. Existen muchos índices de vegetación que son utilizados para la monitorización de las condiciones de cultivo, en especial el índice de vegetación de diferen-

cia normalizado (NDVI) es un buen indicador de la vegetación, la biomasa y el estado sanitario del cultivo (Rouse *et al.*, 1973; Tucker, 1979). La ventaja del uso de estos índices de reflectancia sobre otros métodos de evaluación de planta se basa en la obtención de información de manera directa, masiva y georreferenciada mediante el uso de tecnología GPS, permitiendo obtener una información global y localizada de la superficie



UAV justo antes de ser lanzado para el inicio de la toma de imágenes en parcela de estudio. Foto: Agrodrona.

tales mediante sensores puedan no representar lo que está sucediendo en el total de la parcela o no mostrar una situación de déficit. Para solucionar este problema se hace necesaria la monitorización de las superficies agrícolas mediante mapas de cultivo que ofrece a los productores una información directa sobre toda la superficie de cultivo para analizar la variabilidad en la superficie, ayudándoles a justificar sus actuaciones de cara a mejorar las prácticas productivas. Por ejemplo, realizar mapas de estado nutricional de cultivo permite ajustar, adaptar y dirigir la fertilización. Los mapas de estado hídrico en planta permiten adaptar las dosis de riego a las necesidades del cultivo en cada momento de su ciclo y zona y detectar problemas en la aplicación de agua en cada sector de riego. Los mapas de locali-

te ahorro económico y ambiental que ello conlleva respecto a las diferentes labores a realizar durante el cultivo. Desde el Cicytex se llevan a cabo proyectos de investigación nacionales y con diferentes empresas donde se extrapolan los conocimientos de riego y nutrición derivados de las parcelas experimentales a las grandes superficies comerciales de cultivo, mediante el uso de sensores de suelo y planta, así como desarrollando metodologías de gestión del riego y fertilización apoyadas en el uso de la agricultura de precisión, que permiten conocer de manera global el estado hídrico y nutricional del cultivo facilitando así su gestión.

En este sentido, Cicytex participa en el proyecto europeo Fertinnova que tiene como objetivo el establecimiento de una red temática con el objetivo principal de crear una

del cultivo. En el caso del estado hídrico, la medida de la temperatura del cultivo que se basa principalmente en la diferencia que se produce entre la temperatura de la cubierta en un cultivo que está transpirando y en uno que está estresado y por ende reducida su transpiración, nos permite determinar qué plantas están en una situación de estrés hídrico. Para ello se establece el índice de estrés de cultivo (CWSI) que se fundamenta en la diferencia de temperatura de la cubierta vegetal y la del aire. Cuando una planta transpira sin estrés hídrico, la temperatura de la hoja es entre 1-4°C menor que la temperatura ambiental y cuando la transpiración decrece, debido a una situación de estrés, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4 a 6°C más que la temperatura del aire.

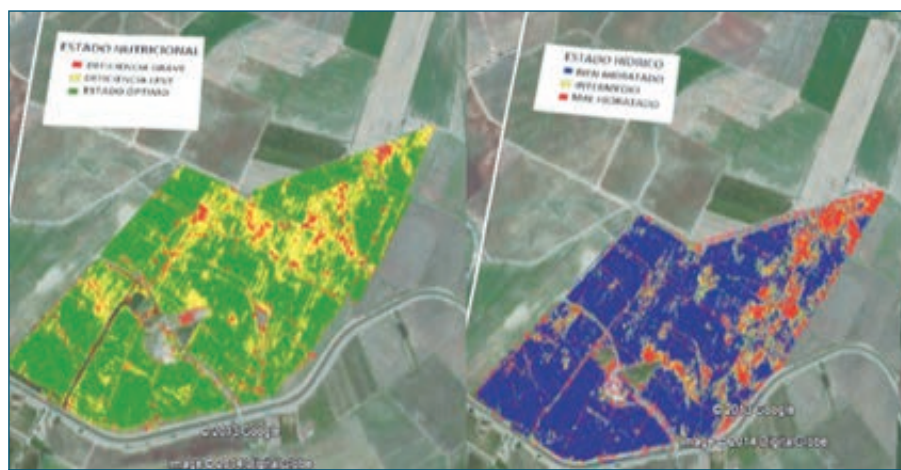
Sin embargo, las posibilidades de estas tecnologías no han sido explotadas en todo su potencial, establecer los índices más adecuados para la detección de deficiencias en los distintos cultivos, o el desarrollo de nuevos índices dirigidos a darnos información sobre nuevos parámetros que resulten interesantes agrónomicamente se encuentran actualmente en proceso de investigación.

La medida de reflectancia y de temperatura de la cubierta, pueden ser realizadas tanto con sensores manuales que pueden ser medidos directamente por el operario en diferentes puntos de la parcela ya establecidos, como por sensores acoplados al tractor que permiten medir la reflectancia de una zona de la parcela aprovechando una labor en el cultivo. Por último, resulta de utilidad el uso de drones o UAVs (**foto 1**) que se pueden usar para sobrevolar y captar información de superficies de cultivo de forma rápida y precisa con resoluciones inferiores a los 5 cm o incluso la utilización de imágenes de satélite.

La principal potencialidad del uso de los drones en agricultura, es la de facilitar a los agricultores la capacidad de observar su explotación desde el aire, obteniendo así una perspectiva de su cultivo que les permita detectar las incidencias en cada campaña agrícola. Un solo dron puede monitorizar cientos de hectáreas de forma precisa, evaluando las condiciones del terreno, con el fin de recoger información sobre la hidratación, la temperatura o el ritmo de crecimiento de los cultivos.

Así esta información permite detectar diferencias en el desarrollo de cultivo y diferentes valores de NDVI que con una serie de algoritmos de interpretación y con apoyos de media en campo pueden indicar como se ve en la **figura 3** las distintas zonas en las que existe un valor menor de NDVI como consecuencia de un déficit nutricional. Esta información puede ser útil a la hora de modificar las programaciones de abono en las zonas que indican una deficiencia. También en el

FIG 3. Mapa general de valores cualitativos de estado nutricional y estado hídrico en función de los valores de NDVI (A) y CWSI (B) respectivamente en parcela de estudio. Proyecto AE-11-0255-4.



En la actualidad existen herramientas geofísicas y de detección remota para manejar el tomate de industria y conseguir cosechas más abundantes y de mejor calidad

caso de realizar las medidas obtenidas con cámara térmica donde se pueden obtener valores de CWSI que nos permitan identificar qué zonas están en una situación de estrés hídrico permitiendo una modificación en las pautas de riego, en el mapa se observa una zona en la parcela donde existe un problema en el estado hídrico del cultivo y que debe ser corregido con un cambio en la programación de riego de esa zona o realizar la programación del riego de la parcela en función del estado hídrico de ésta.

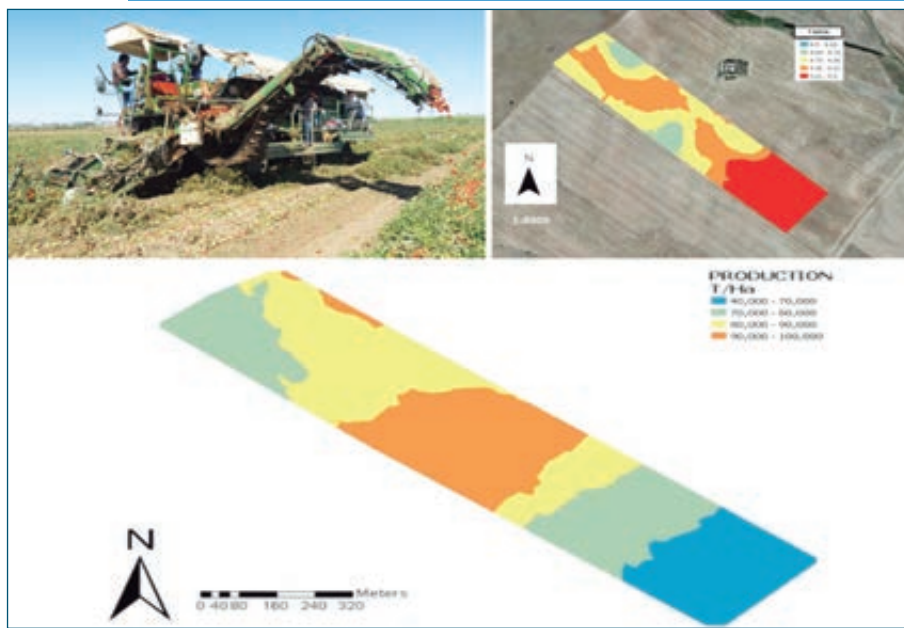
Actualmente, el Cicytex lleva a cabo investigaciones sobre un manejo eficiente de agua y uso óptimo de fertilizantes mediante la utilización de drones.

Recolección

La recolección es una labor fundamental en el cultivo del tomate de industria que ha experimentado un espectacular progreso a lo largo de la última década, con la modernización de las cosechadoras. En relación a las nuevas tecnologías, gracias a las diferentes técnicas de manejo de suelo y planta que han sido comentado anteriormente, se pueden obtener mapas de predicción de cosecha que permiten establecer el momento más adecuado para la recolección, así como la organización de la misma y el análisis de las zonas más productivas. Los usos de tolvas de pesada continua permiten obtener mapas de producción a lo largo de la parcela, y esta información además permite zonificar la productividad de cada zona de cultivo y orientar para la toma de muestras de calidad del cultivo (**figura 4**).

Toda la información obtenida en el cultivo permite al productor obtener una información valiosa a la hora de analizar los datos obtenidos durante la campaña y analizar mejoras de cara a próximas campañas. Esta información es vital a la hora de estudiar diferentes situaciones que se puedan desarrollar en futuras campañas, esto puede re-

FIG 4. A) Cosechadora de tomates, la cual incluye una tolva de pesada. B) Mapa predictivo de producción de la parcela de estudio, el que se obtiene a través de técnicas geostatísticas. C) Mapa predictivo de °Brix. Proyecto AE-11-0255-4.



alizarse mediante modelos de simulación de cultivos.

El uso de modelos de simulación en los sistemas agrarios se ha incrementado en las dos últimas décadas gracias, en parte, gracias al desarrollo de nuevas herramientas informáticas. Un modelo de cultivo representa de manera sencilla y sintética los procesos fisiológicos y ecológicos más importantes que gobiernan el crecimiento utilizando ecuaciones matemáticas. Nuestra comprensión del funcionamiento y evolución de los principales factores responsables de estas condiciones es adquirida comparando resultados de la simulación con observaciones experimentales. Estas observaciones se pueden diseñar para validar el modelo teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, edáficas y de manejo del cultivo según el lugar de implantación. Una vez realizada esta primera etapa de validación del modelo, el mismo puede ser utilizado para ayudar a analizar e interpretar distintos escena-

rios futuros producto de modificaciones que deseen proponerse en el manejo del cultivo, cambios en las condiciones climáticas o para pronóstico de rendimiento, facilitando la determinación del momento adecuado para la recolección y cuál es la zona donde es necesario empezar para obtener un mayor porcentaje de maduración. Estos datos permitirían que el técnico o la industria tuviera un mejor control de la cosecha en cada una de las parcelas con el objetivo de una mejor organización. En Cicytex se va a llevar a cabo un proyecto para el desarrollo de un modelo de maduración del tomate de industria.

Conclusiones

- En la actualidad, existen herramientas geofísicas y de detección remota para manejar el tomate de industria y conseguir cosechas más abundantes y de mejor calidad.
- El aprovechamiento de las nuevas tecnologías, en labores como la preparación

del terreno, nos posibilita abordar problemas como la heterogeneidad de los suelos, ya que nos permiten realizar mapas de suelo en función de las propiedades físicas de éste y así poder caracterizar el suelo de manera rápida y masiva.

- Las medidas de reflectancia y temperatura de cultivo son herramientas adecuadas para determinar el estado general del cultivo y establecer si existe alguna deficiencia hídrica o nutricional en la totalidad de la parcela o en diferentes zonas de esta. Además, la identificación de las diferentes zonas, permitirá realizar un riego y abonado adaptado a cada zona y homogeneizar la calidad y producción.
- La modelización del cultivo permitirá la incorporación de todas las medidas obtenidas durante la campaña que facilitarán un manejo más eficiente de la recolección y apoyarán al manejo del cultivo estableciendo posibles variaciones de las condiciones climáticas y los problemas en las instalaciones de cara a poder anteponerse a diferentes situaciones que puedan ocurrir durante el cultivo. ■

AGRADECIMIENTOS

A la gerencia y personal de la empresa ROMA SL por la financiación de los Proyectos AE11-0255-4 y EE-13-0021-4, en especial a Laura Martínez por su apoyo y colaboración. Los proyectos han sido cofinanciados por la Junta de Extremadura y fondos FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

- Fortes, R., Millán, S., Prieto, M. H., & Campillo, C. (2015). A methodology based on apparent electrical conductivity and guided soil samples to improve irrigation zoning. *Precision Agriculture*, 16, 441-454.
- Kitchen NR, Sudduth KA, and Drummond ST, 1999. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *Journal of Production Agriculture* 12: 607-617.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW, 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS-1, 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium: 309-317. *Plant RE*, 2001. Site-specific management: The application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agric.* 30(1-3): 9-29.
- Siri-Prieto G, Reeves DW, Shaw JN, Mitchell CC, 2006. World's oldest cotton experiment: relationships between soil chemical and physical properties and apparent electrical conductivity. *Communications in Soil Science Plant Analysis* 37: 767-786.
- Tucker CJ. 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8:127-150.