

Impacto de eficiencia de aplicación del riego en la fertirrigación nitrogenada en hortícolas

El aprovechamiento del N por la planta es máximo con un manejo de riego altamente eficiente

La aportación más eficiente de los fertilizantes es mediante la inyección del fertilizante en el agua de riego (fertirrigación). En el Centro Rancho de la Merced del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA) se ha incorporado como una de las actividades más importantes dentro del proyecto de Fertilización Sostenible en Zonas Vulnerables de Contaminación. Actualmente se trabaja en la modelización de esta inyección para una mayor eficiencia de aplicación de fertilizantes. En un artículo publicado en septiembre de 2024 en esta misma revista y titulado “Evaluación del uso de nitratos y mejora de la eficiencia en el cultivo de tomate de industria” (Salvatierra *et al.*, 2024), se obtuvieron conclusiones positivas a la hora de mejorar la eficiencia del abonado nitrogenado mediante una inyección continua y adaptada a las necesidades de cada día del ciclo del cultivo.

Como sabemos una de las premisas para conseguir una alta producción es, por un lado, poner a disposición de la planta la humedad óptima en el suelo para que la planta contabilice el menor estrés hídrico posible y llegue a su mayor nivel productivo, y por otro, optimizar el suministro de los fertilizantes, con su mayor exponente en la alta solubilidad como ocurre con el

Benito Salvatierra Bellido, Eugenio Gómez Durán y Manuel López Rodríguez.

IFAPA, Centro Rancho de la Merced, Chipiona.

El objetivo de este trabajo es evaluar la mejora de la eficiencia del abonado nitrogenado aumentando la eficiencia de aplicación del riego. Para llevar a cabo este estudio se ha planteado la aplicación del riego con mayor precisión para satisfacer en todo momento del día las necesidades hídricas y nutritivas de la planta escogida como modelo, tomate de industria al aire libre, dada la facilidad para evaluar los resultados.



Imagen del ensayo de 2024 en la fase de crecimiento vegetativo del cultivo.

nitrógeno en forma de nitratos. Por tanto, si esta práctica está unida al riego, ambas demandas pueden y deben ser optimizadas según el ritmo exigido por la planta. Pero para ello es determinante contar con

un sistema de riego eficiente y preciso. Hoy la tecnología de sensórica y de telegestión del riego y la fertirrigación nos permite optimizar ambos recursos con precisión y conseguir una alta productivi-

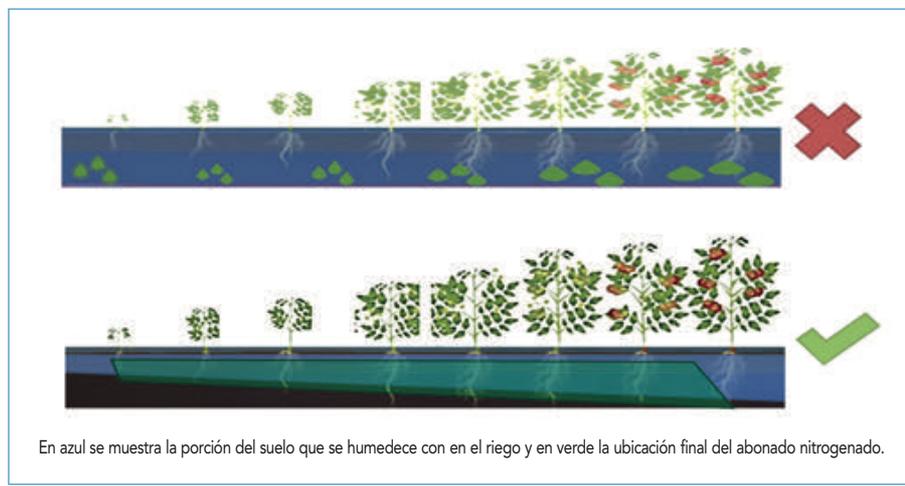
dad. Es por ello por lo que, en el artículo anterior (Salvatierra *et al.*, 2024), se recogen una serie de premisas en relación al manejo de la fertirrigación, pero quedando pendiente la reducción de la pérdida de abonado por lixiviación. Por tanto, completando esta cuestión se conseguirían más altas rentabilidades, tanto reduciendo los costes en insumos como alcanzando una alta productividad. Dicha estrategia de manejos óptimos combinados evitaría posibles efectos de contaminación difusa por lixiviación de productos fertilizantes y fitosanitarios.

En la **figura 1**, se esquematiza cómo un manejo adaptado a las necesidades hídricas y nutritivas para cada momento del día, y denominado como manejo sostenible, será el objeto de este trabajo donde se persigue un aumento de la productividad con el uso preciso de agua y nutrientes, atendiendo exclusivamente a la zona radicular y evitando la percolación profunda por lixiviación por debajo de las raíces.

Material y métodos

Para llevar a cabo este estudio se ha planteado la aplicación del riego con mayor precisión para satisfacer en todo momento del día las necesidades hídricas y nutritivas de la planta escogida como modelo, tomate de industria al aire libre, dada la facilidad para evaluar los resultados. En este sentido nos hemos apoyado en el manejo de riego de pulsos de alta frecuencia propuesto por López *et al.* en 2022, que emerge como una técnica prometedora para optimizar la eficiencia del agua y la fertirrigación en suelos agrícolas, a pesar de la anisotropía inherente a estos. Por tanto, la información suministrada en este artículo nos ha llevado a caracterizar el suelo utilizado y la profundidad de raíces de nuestro cultivo y calcular el volumen de agua necesario y específico en cada activación del riego. Esto evitará pérdi-

FIG. 1 Ilustración explicativa para todo el ciclo del cultivo del objetivo del manejo de riego y fertirrigación sostenible (abajo) frente al manejo convencional (arriba).



das por percolación profunda. La aplicación de modelos allí descritos y validados proporciona aproximaciones sólidas para entender el comportamiento del agua en sistemas de riego localizado, crucial para mitigar externalidades negativas en los agrosistemas y preservar recursos esenciales como el agua. Además, esta tecnología no solo apunta a minimizar pérdidas económicas derivadas del uso indiscriminado de fertilizantes, sino también a potenciar el desarrollo radicular en cultivos hortícolas, mejorando así la productividad y sostenibilidad del sistema agrícola.

Salvatierra *et al.* (2024) demostraron que la aplicación continua de nitrógeno en el riego, ajustada a cada estadio de la planta, mejoró la eficiencia de fertilización nitrogenada (71% frente al 43% en manejo convencional) en una parcela franco-arenosa. A pesar de regar en cuatro pulsos diarios y ajustar el riego mediante balance hídrico (Allen *et al.*, 1998), las pérdidas por lixiviación fueron del 35% del agua aplicada en todos los tratamientos, según evaluaciones con lixímetros. Estos resultados motivaron un nuevo ensayo para optimizar la eficiencia del riego. Para ello se desarrolló en 2024 un ensayo experimental para

mejorar la eficiencia del riego a través de la optimización de riego por pulso, de manera que en uno de los tratamientos la activación del pulso de riego se realizaba en función del estado de humedad del suelo y de manera independiente al cálculo de las necesidades hídricas del cultivo. Este se comparó a otros dos tratamientos en los que se realiza la dosificación del riego en función de manejo optimizado de fertirrigación continua realizado en el año anterior y utilizando la metodología de balance de agua en el suelo (Allen *et al.*, 1998) con un coeficiente de cultivo (Kc) más restrictivo (Hanson *et al.*, 2006) al utilizado.

El experimento se diseñó en bloques al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, al igual que el año anterior, y pretendía evaluar la eficiencia de aplicación del abonado nitrogenado partiendo del manejo optimizado de fertirrigación del año anterior de los resultados del ensayo de 2023 (Salvatierra, 2024). Tal y como se ha comentado anteriormente, se compara el manejo optimizado de fertirrigación continua realizado en el año anterior y utilizando el coeficiente de cultivo descrito en Hanson *et al.*, 2006, frente a un tratamiento con la misma metodología en lo que a

la inyección de fertilizantes se refiere pero con un manejo de riego de alta eficiencia mediante pulsos diarios o activaciones del riego de duración constante y frecuencia variable en función al nivel de humedad alcanzado en la zona radicular del cultivo (López *et al.*, 2022). Para ello este último manejo se gestiona mediante el monitoreo continuo de la humedad del suelo a distintas profundidades, utilizando sensores de humedad con transmisión de la información en tiempo real para la determinación del momento de activación de cada pulso de riego.

El estudio se llevó a cabo en la misma parcela que el año anterior, en un suelo de textura franco-arenosa, utilizando el mismo sistema de riego, un gotero por planta con un caudal de 4 l/h. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

T1: riego basado en el balance hídrico del suelo (Allen *et al.*, 1998) y el coeficiente de cultivo de Hanson *et al.* (2006), aplicando pulsos de 7 minutos distribuidos regularmente durante el día, según el modelo del ensayo previo (Salvatierra *et al.*, 2024). La fertilización incluyó únicamente fósforo y potasio, inyectados semanalmente según su curva de absorción, sin aporte de nitrógeno.

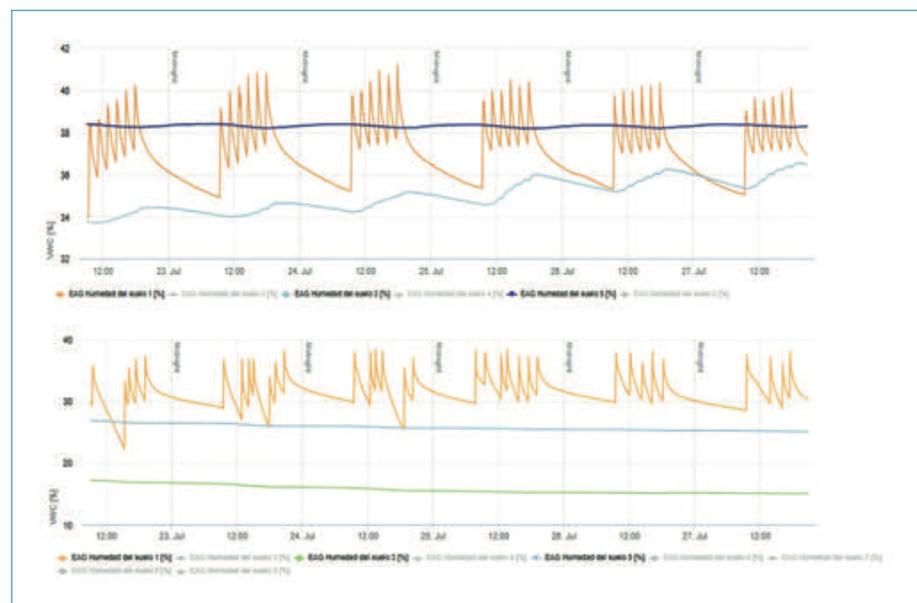
T2: igual que en T1, pero con aplicación continua de nitrógeno en función a la curva de absorción para el tomate de industria (Harzt *et al.*, 2009), utilizando 215 unidades fertilizantes de nitrógeno (UFN).

T3: riego optimizado para mantener la humedad en la zona radicular mediante pulsos de 4 minutos, definidos a partir del análisis de las curvas de humedad del ensayo previo y la evaluación en tiempo real del ensayo en curso. La duración de los pulsos evitó la lixiviación del agua a profundidades inferiores a la zona radicular. La fertilización se aplicó de manera similar al tratamiento 2 (T2).



Foto 1. Imagen del ensayo de 2024 en la fase de inicio de desarrollo del fruto.

FIG. 2 Gráficas de evolución de humedad para un periodo cualquiera (del 22 de julio al 27 de julio de 2024) para distintas profundidades en los tratamientos T1 y T2 arriba y para T3 abajo.



En cada parcela experimental se registraron principalmente los siguientes parámetros: volumen y calidad de los lixiviados, producción total y contenido de sólidos solubles (°Brix) en una muestra representativa. Además, se monitoreó el consumo de agua y fertilizantes (N, P, K) en cada tratamiento, así como la evolución de la humedad del suelo en intervalos de 10 cm hasta una profundidad de 90 cm. Para garantizar el adecuado manejo de cada tratamiento, se complementó el

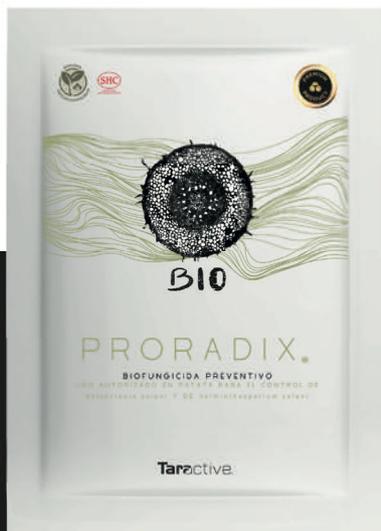
estudio con la evaluación de parámetros adicionales, incluyendo la calidad del agua de riego, imágenes del desarrollo del cultivo y análisis foliar de cada tratamiento.

Resultados y discusión

Para interpretar los resultados del ensayo y analizar las diferencias entre tratamientos, es fundamental destacar el impacto del manejo del riego, principal variable de estudio. La **figura 2** presenta la evolución

PRORADIX®

Pseudomonas sp. (cepa DSMZ 13134)



BIOFUNGICIDA PREVENTIVO

TRATAMIENTO
QUÍMICO



PRORADIX®



Caso de éxito en fresa variedad fortuna.

*Imágenes tomadas el mismo día. Campaña 21-22

LA ÚNICA Y PRIMERA
PSEUDOMONA
REGISTRADA PARA
HORTÍCOLAS

TU SOLUCIÓN
BIOLÓGICA A LOS
PROBLEMAS DE
HONGOS PATÓGENOS
DEL SUELO CON
EFECTO
BIOESTIMULANTE

EFICACIA PROBADA Y
CONTRASTADA
SUPERIOR AL **90%**



La combinación perfecta:



+



pH
4,2
pH ÁCIDO

BIOESTIMULANTE
ORGÁNICO NATURAL
SIN TRATAMIENTO
QUÍMICO

TARAVERT
KING KONG®

Bioestimulante 4.0

Prepara tu suelo con la
mejor materia orgánica y
asegura el mejor
funcionamiento de Proradix®



www.tarazonaagrosolutions.com

Tarazona
AGROSOLUTIONS

CUADRO I

RESULTADOS FINALES DEL ENSAYO REALIZADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN EN TOMATE DE INDUSTRIA.

Tratamiento	Manejo de riego	Frecuencia	Valor del pulso	UFN	Producción media [t/ha]	Eficiencia abonado nitrogenado
T1	100% de las necesidades hídricas según Kc de Hanson, 2006	2 - 6 pulsos/día repartidos uniformemente en las horas del día.	7 min de riego	0	70,0 b	-
T2	100% de las necesidades hídricas según Kc de Hanson, 2006			215	133,5 a	66,8%
T3	Demanda instantánea	Automática	Valor requerido en la zona radicular: 4 min. máximo	215	137,6 a	90,3%

de la humedad del suelo en los tratamientos T1 y T2, donde se aplicó un manejo de riego idéntico, en comparación con el tratamiento T3, que utilizó riego por pulsos ajustados a la demanda del cultivo.

Debajo de la figura 2. Los valores mostrados por orden en la leyenda de cada gráfica son humedades a 5 cm, 25 cm y 45 cm de profundidad respectivamente.

En el **cuadro I** se expone una síntesis de los resultados más relevantes, señalando la eficiencia de abonado nitrogenado para cada tratamiento.

La única diferencia entre el tratamiento T1 y T2 fue la cantidad de abono nitrogenado, siendo para T1 nula, y para T2 se aplicaron 215 UFN. El resultado principal de este ensayo fue que el tratamiento T3 consumió un 45% menos de agua que los tratamientos T1 y T2. Esto tuvo una gran implicación en la eficiencia de aplicación del abonado nitrogenado en el tratamiento T3 frente al tratamiento T2, consiguiendo una eficiencia de aplicación del abonado nitrogenado del 90,3% frente al manejo de riego convencional con un 66,8%.

Los tratamientos T3 y T2 mostraron una producción significativamente superior en comparación con T1, sin que se detectaran diferencias estadísticamente relevantes entre ellos. No obstante, el tratamiento T3 presentó una reducción significativa en la incidencia de frutos afectados por podredumbre respecto a T1 y T2. En cuanto a la calidad del fruto, el contenido de sólidos solubles (^oBrix), T3 obtuvo valores significativamente más altos que los demás tratamientos.

Los resultados confirman la viabilidad de mantener niveles de producción equivalentes en términos cuantitativos y, al mismo tiempo, mejorar la calidad del producto con una optimización considerable en el consumo de agua. La implementación de riego a demanda y la estrategia de pulsos permitieron reducir la lixiviación a menos del 10% del volumen aplicado, favoreciendo así un uso más eficiente del recurso hídrico. Esto adquiere especial relevancia en contextos de escasez de agua, donde las restricciones pueden limitar la superficie destinada al riego.

Adicionalmente, la aplicación de este enfoque se traduce en beneficios económicos, gracias a la disminución en el consumo de agua, energía y fertilizantes por unidad de producción. Asimismo, estas tecnologías son comercialmente viables y accesibles para los productores, ya que su adopción y amortización resultan rápidas, especialmente en escenarios donde no se cuenta con ellas o no se han optimizado al máximo sus ventajas.

Conclusiones

- La automatización del riego a demanda, mediante pulsos diseñados para humedecer la rizosfera con alta frecuencia, puede reducir significativamente el consumo de agua de riego.
- Este enfoque permite alcanzar una alta eficiencia en la aplicación del abonado nitrogenado y, si la fertirrigación es continua y ajustada a las necesidades del cultivo, maximiza los rendimientos productivos. Además, un

manejo eficiente de la fertirrigación y los fertilizantes garantiza valores óptimos de productividad, fortaleciendo la competitividad y sostenibilidad del cultivo dentro de la rotación agrícola.

- La optimización del riego, controlando con precisión la duración y frecuencia de los pulsos, minimiza las pérdidas por lixiviación, reduciendo así el impacto ambiental en Zonas Vulnerables a la Contaminación por Nitratos.
- El desarrollo tecnológico en telegestión y automatización del riego es clave para mejorar la eficiencia hídrica y la fertilización, contribuyendo a una agricultura más sostenible.
- La transferencia tecnológica, la demostración en campo y la aplicación en parcelas comerciales con agricultores capacitados son esenciales para la adopción y éxito de estas estrategias de riego y fertilización. ■

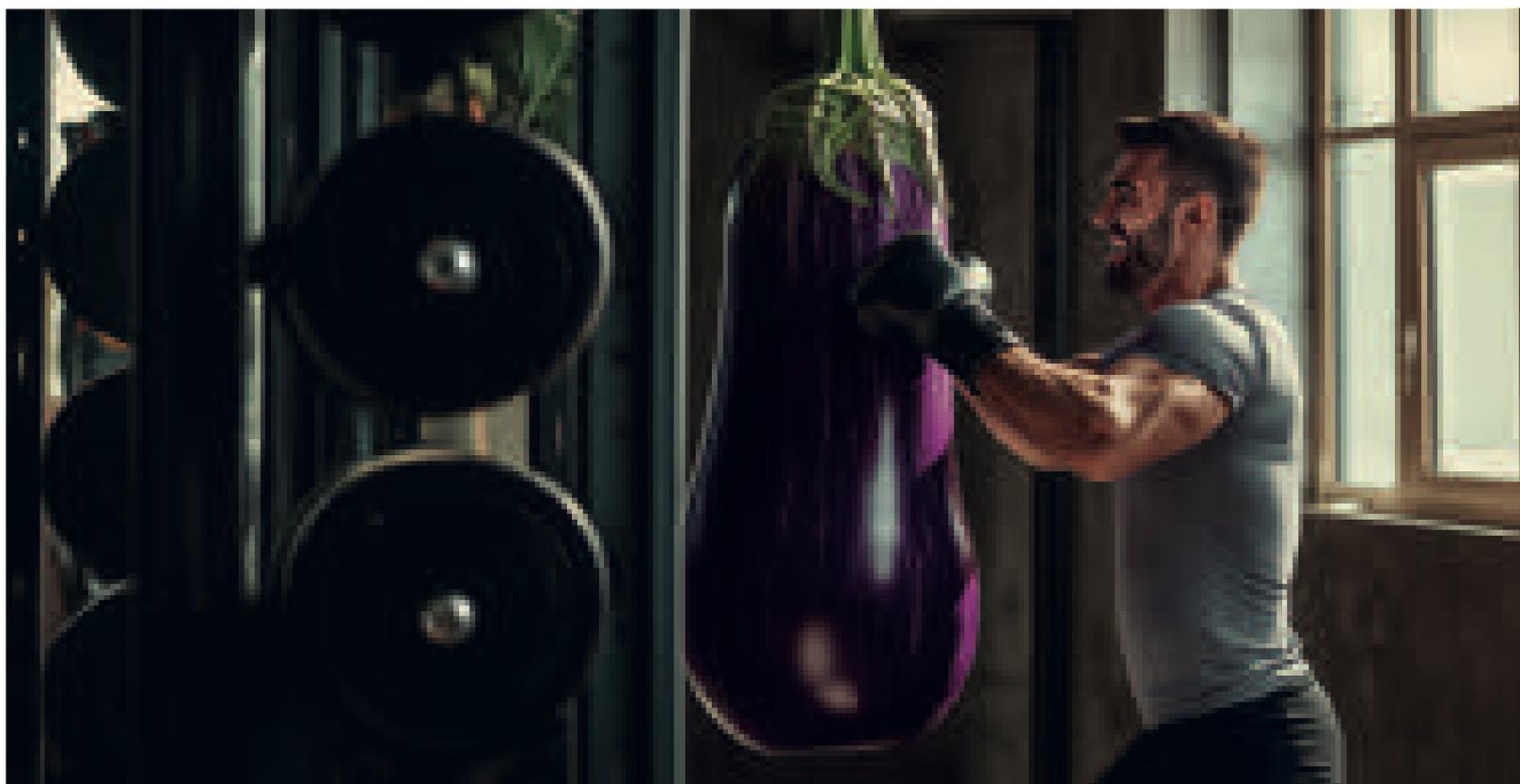
BIBLIOGRAFÍA

- Allen, Richard G., Pereira, Luis S., Raes, Dirk, & Smith, Martin. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Hanson, B. R., & May, D. M. 2006. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management*, 81(3), 381-399.
- Hartz, T., & Hanson, B. 2009. Drip irrigation and fertigation management of processing tomato. University of California, Vegetable Research and Information Center.
- López Rodríguez, M., Jarén Morilla, C, Salvatierra Bellido, B. 2022. Riego Localizado de Alta Frecuencia en Cultivos Hortícolas de la Costa Noroeste de Cádiz. Definición de Usos. LI Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura. Acta del LI Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura.
- Salvatierra, B. López Rodríguez, M. Jarén Morillas. 2024. Evaluación del uso de nitratos y mejora de la eficiencia en el cultivo de tomate de industria. *Revista Vida Rural*, septiembre de 2024
- Salvatierra, B., Viqueira, S. y Real, S. 2018. Guía de planificación del fertirriego en tomate para industria. SERVIFAPA, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2016. Pp:1-15.

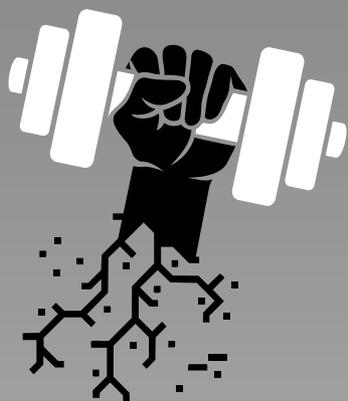


Bioestimulantes SIPCAM

Los entrenadores personales de tus cultivos



TUS CULTIVOS SIEMPRE EN PLENA FORMA



- Entrena a tus cultivos para resistir más.
- Alcanza el máximo rendimiento en tus cosechas.
- Máxima prevención de enfermedades y situaciones de estrés.
- Salud y resistencia para tus frutos.
- Nutrición sostenible para una mejor salud vegetal.

sipcamberia.es



SIPCAM
IBERIA