

TÉCNICAS DE CULTIVO



El manejo integrado de los nutrientes

HACIA UNA FERTILIZACIÓN SOSTENIBLE Y RESILIENTE

En la nueva Política Agraria Común (2023-2027), la intensificación del cuidado del medio ambiente y la acción por el clima, y la conservación del paisaje y la biodiversidad, se convierten en un objetivo principal, que ha de llevarse a cabo a través del conocimiento, la innovación y la digitalización en las zonas rurales. En relación también con el Pacto Verde Europeo y la Agenda 2030, la gestión sostenible de los recursos naturales, la reducción de la generación de residuos y el uso responsable de los productos químicos (fitosanitarios, fertilizantes y antimicrobianos) serán clave para un crecimiento ecológica y resiliente. Este nuevo marco incluye estrategias que afectan al sector agrario valenciano, como la Estrategia sobre Biodiversidad, el Plan para la Economía Circular o la Estrategia de la Granja a la Mesa. Concretamente esta última tiene por finalidad la creación de un sistema alimentario

más saludable y sostenible a través del uso eficiente de los recursos y el apoyo en herramientas de agricultura de precisión.

Con respecto a la nutrición de los cultivos, la Estrategia de la Granja a la Mesa impone una serie de objetivos muy ambiciosos, como reducir las pérdidas de nutrientes al menos a la mitad sin deteriorar la fertilidad del suelo, disminuir el uso de fertilizantes de síntesis en más del 20% y mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno en al menos un 10%.

En 2022 se publicaron las **normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios** (RD 1051/2022) de aplicación en España, con el objetivo de regular el aporte sostenible de nutrientes y lograr, además:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero,
- Evitar la contaminación de las aguas,

- Preservar y mejorar las propiedades biológicas de los suelos agrarios,
- Evitar la acumulación de metales pesados,
- Preservar la biodiversidad,
- Mantener y aumentar la capacidad de los suelos agrarios como sumideros de carbono, y
- Fomentar la adaptación y mayor resiliencia de los cultivos frente al cambio climático.

Para ello, las prácticas actuales de fertilización racional de los cultivos deben contemplar el manejo integrado de los nutrientes, basándose, como vemos en la **imagen 1**, en el incremento de la materia orgánica del suelo; la implantación y mantenimiento de cubierta vegetal, y la aplicación de fertilizantes minerales de forma sostenible, así como de nuevos productos agronutrientes y bioestimulantes.

IMAGEN 1: EL MANEJO INTEGRADO DE LOS NUTRIENTES

Incrementar la materia orgánica de los suelos

- Aporte de productos orgánicos (estiércol, purines, gallinaza, compost, vermicompost y otros productos orgánicos de origen vegetal y urbano).
- Aporte de residuos valorizables (ver **Ley 7/2022**).
- Aporte de restos de cultivo (poda, órganos caídos y desvío).

Implantar y mantener cubiertas vegetales

- El cultivo de plantas específicas protege el suelo de la erosión.
- Mejora la calidad del suelo:
 - Aumenta la materia orgánica
 - Retiene la humedad
 - Controla malezas y plagas
- Mejora la eficiencia del uso de los nutrientes:
 - Reduce pérdidas por lixiviación
 - Reduce pérdidas por volatilización



Aplicar los fertilizantes minerales de forma sostenible e incorporar el uso de nuevos productos agronutrientes y bioestimulantes

- Fertilizantes minerales (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.)
- Agronutrientes bioestimulantes y biofertilizantes:
 - Sustancias húmicas (uso en agricultura ecológica, AE)
 - Extracto de algas (AE)
 - Aminoácidos e hidrolizados de proteínas (AE)
 - De origen microbiano (AE)
 - Microorganismos micorrízicos
 - Microorganismos no micorrízicos
 - De origen no microbiano (uso en agricultura convencional, AC)
 - Inhibidores de la nitrificación
 - Inhibidores de la desnitrificación
 - Ureasa

Las nuevas prácticas de manejo racional de la fertilización influirán en el desarrollo vegetativo de los cultivos y, por tanto, en la absorción de agua y nutrientes por la planta. Requieren, además, una adecuación de los planes de abonado, los cuales, hasta ahora, han venido considerando el suelo como un mero soporte de los cultivos. Del mismo modo, para reducir de forma racional el aporte de fertilizantes de síntesis, se debe considerar el aprovechamiento de los productos de origen orgánico, agronutrientes y bioestimulantes en función de su composición, sus factores de variación y su capacidad fertilizante.

LOS PLANES DE ABONADO

En concreto, por lo que respecta a la referida exigencia de una aplicación sostenible de los agronutrientes y bioestimulantes, los planes de abonado deberán establecer por un lado, las dosis óptimas de nutrientes esenciales y, por otro, las fuentes de nutrientes adecuadas para cada tipo de suelo y condición de cultivo; además del momento y modo de aplicación.

1 Las dosis óptimas de nutrientes esenciales

Para lograr las dosis óptimas de nutrientes esenciales (N, P, K, S, Ca, Mg, Cl, Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo y Ni), debe tenerse en cuenta la demanda nutricional de cada cultivo y considerar el aporte de los nutrientes provenientes del suelo (contenido de materia orgánica y nutrientes disponibles), del agua de riego (N, P, Mg y Ca) y de las reservas de la planta (diagnóstico nutricional).

Para garantizar un uso eficiente de los nutrientes y su aporte correcto a las plantas, se necesitan **herramientas de diagnóstico** dirigidas a evitar la deficiencia o el exceso de nutrientes en los cultivos. El diagnóstico de problemas nutricionales potenciales debe ser una práctica rutinaria en el manejo de las parcelas. Este puede realizarse a través del análisis foliar —o de otros órganos, como flor, savia o tronco, en los que existan tablas de referencia—, del diagnóstico visual o del uso de herramientas de agricultura de precisión.

Cada una de las operaciones que se realicen para cubrir estas dosis óptimas deberá incorporarse a la sección de «fertilización» del cuaderno de explotación siguiendo las directrices del Anexo III del RD 1051/2022.

DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL

Nº ÁRBOLES / SUBPARCELA	Nº ÁRBOLES A MUESTREAR
< 150	1/3
150-250	1/5
250-450	1/9
450-750	1/15
750-1500	1/30
1500-2500	1/50

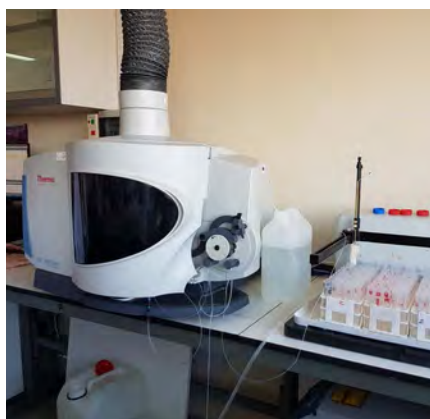
Tabla 1. Relación de los árboles a muestrear en función del tamaño de las parcelas.

El **análisis foliar**, en combinación con el análisis químico del suelo, es muy útil para evaluar el equilibrio nutricional de las plantas. De todos los órganos descritos, la hoja es el de más fácil muestreo. La información proporcionada determina si la planta ha tenido suficiente aporte de un determinado elemento, confirma deficiencias, toxicidades o desequilibrios nutricionales en plantas con síntomas o sin ellos, evalúa la eficacia de los programas de fertilización y proporciona un modo de comparar diferentes tratamientos fertilizantes. Las tablas de referencia para el diagnóstico foliar deben estar establecidas en unas condiciones de cultivo semejantes a la parcela que se está evaluando.

El procedimiento para el análisis foliar se ha estandarizado en los diferentes cultivos, con el objetivo de lograr comparaciones e interpretaciones adecuadas, definiendo el tipo de hoja a analizar y el momento adecuado para realizar el muestreo. Solo así se conseguirá un análisis químico fiable y una interpretación de los resultados sólida que permitirá un correcto ajuste de los programas de fertilización.

La realización correcta del **muestreo foliar** es esencial para un correcto diagnóstico. Para ello, las subparcelas a muestrear deben de ser unidades con condiciones edáficas homogéneas, arbolado uniforme y misma combinación variedad/portainjerto. El tamaño de muestra estará en función del número de árboles en cada subparcela (**Tabla 1**) y, como mínimo, debe constar de unas 100 hojas tomadas de 15 a 20 árboles uniformes, que han recibido el mismo programa de fertilizantes, en las cuatro orientaciones del árbol; hay que evitar hojas inmaduras debido a que cambian rápidamente la composición; no incluir hojas enfermas, dañadas por insectos, muertas ni con tratamiento foliar reciente ni muestrear árboles de apariencia anormal, situados en el borde de las parcelas o al final de las filas, porque pueden estar recubiertos con partículas de tierra y polvo.

De izquierda a derecha. Fraccionamiento en los diferentes órganos del material vegetal. Espectrómetro de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo para el análisis de la ionómica. Clorurímetro para determinación de cloro.



DIAGNÓSTICO FOLIAR CON SENSORES ÓPTICOS. TELEDETECCIÓN

La teledetección se ha convertido en una herramienta esencial para el desarrollo de la agricultura de precisión. Una de sus aplicaciones más prometedora es la determinación del estado nutricional de los cultivos a lo largo del ciclo fenológico mediante sensores ópticos, con el objetivo de optimizar los planes de fertilización de una manera más rápida y menos costosa. Esta metodología permitirá el diagnóstico foliar sin necesidad de análisis químicos que requieren medidas destructivas, no inmediatas, que generan un coste elevado para el agricultor. Las plantas emiten o reflejan energía electromagnética (respuesta espectral), y la forma como lo hacen depende de los componentes estructurales y bioquímicos de los tejidos, entre los que se puede encontrar la concentración de nutrientes. Por ello, la energía emitida por las plantas sanas, con exceso o con carencias nutricionales, pueden tener diferentes respuestas espectrales que se puede detectar mediante sensores.

Los métodos de detección que se están desarrollando en la actualidad se basan en la medición de la reflectancia de las hojas y la búsqueda de relaciones entre la concentración de nutrientes y la respuesta espectral de las plantas. Esto se puede realizar mediante dispositivos específicos como los medidores de clorofila, espectrómetros portátiles o sistemas de imagen multi o hiperespectral. La información espectral se puede analizar para crear modelos estadísticos que relacionen la información medida por los sensores con la concentración de los nutrientes o para crear índices espectrales que puedan indicar el estado de la planta, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el índice transformado de reflectancia de absorción de clorofila (TCARI), el índice vegetativo optimizado ajustado del suelo (OSAVI) o el índice de reflectancia fotoquímica (PRI).

ENLACE WEB

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ROBOTS AL SERVICIO DEL CAMPO VALENCIANO

Artículo de Jose Blasco, Enrique Aguilar, Carlos Ruiz-Catalá y Sergio Cubero en *L'Agrària* #02, p. 20 (diciembre de 2022)

El CDAS, junto con el equipo de los doctores Blasco y Cubero, del Centro de Agroingeniería del IVIA, está desarrollando herramientas digitales basadas en teledetección para el diagnóstico nutricional rápido de cultivos como los cítricos, el caqui y el aguacate.

En las imágenes, índices NDVI y TCARI/OSAVI de una plantación joven de aguacate (parcela izquierda) y una plantación adulta de cítricos (parcela derecha).



2

Las fuentes de nutrientes adecuadas a cada tipo de suelo y condición de cultivo

Hoy en día, se dispone de un gran número de productos fertilizantes, agronutrientes o bioestimulantes. Todos ellos deben estar contemplados en el marco legislativo de productos fertilizantes, que incluye diferentes disposiciones a escala europea y estatal.

Bioestimulantes

En el nuevo Reglamento europeo sobre la comercialización de productos fertilizantes, en vigor desde julio de 2022, aparece por vez primera el término bioestimulante: «Determinadas sustancias, mezclas y microorganismos, denominadas bioestimulantes de las plantas, no son aportes de nutrientes propiamente dichos, si bien estimulan los procesos naturales de nutrición».

El Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, que entró en vigor el 16 de julio de 2022, establece disposiciones relativas a la comercialización de los productos fertilizantes, modifica los Reglamentos (CE) 1069/2009 y (CE) 1107/2009 y deroga el Reglamento (CE) 2003/2003. En él aparece por primera vez el término **bioestimulante** referido a determinadas sustancias, mezclas y microorganismos que no son aportes de nutrientes propiamente dichos, si bien estimulan los procesos naturales de las plantas mejorando la eficiencia en el uso de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico, las características de calidad del producto y la disponibilidad de nutrientes inmovilizados en el suelo o la rizosfera. De esta forma, los bioestimulantes actúan, además de los fertilizantes, con el objetivo de optimizar la eficiencia de dichos agronutrientes y reducir las dosis de aplicación de estos. Pueden ser de origen microbiano (micorrícicos y no micorrícicos) y no microbiano, como los inhibidores de la nitrificación, la desnitrificación o la ureasa. Hay que destacar que, con la entrada en vigor de este reglamento, los bioestimulantes ahora están sujetos a regulaciones específicas para su comercialización en la UE. Esto garantiza que los productos comercializados como bioestimulantes cumplan con los estándares de calidad y seguridad establecidos por la UE y, por lo tanto, ofrece a los agricultores y a los consumidores una mayor protección.

TIPO	HÚMICOS	INHIBIDORES	AA	ALGAS	HONGOS	BACTERIAS
Estructura suelo	●			●	●	
Solub/Fijac nutrientes	●		●	●	●	●
Acción quelante	●		●	●		●
Actividad microbiana		●			●	●
Actividad H ⁺ -ATPasa	●					●
Actividad enzimática	●		●			●
Cambios raíz	●		●	●	●	
Producción hormonas			●	●		●

Tabla 2. Mecanismos que incrementan la absorción de nutrientes por las plantas.

En el ámbito estatal, la legislación sobre productos fertilizantes queda definida en el **Real Decreto 999/2017**, que modifica el Real Decreto 506/2013. Según este, el desarrollo de nuevos productos fertilizantes, en concreto aquellos que incorporan microorganismos cuya acción es facilitar la disponibilidad de nutrientes para la planta, exige adaptar el marco legislativo vigente. Aunque no recurre al término bioestimulante, sí contempla este tipo de productos. Como en la legislación europea, para elaborar productos fertilizantes solo podrá emplearse microorganismos que hayan demostrado que, por sí solos o mezclados con un abono, con independencia de su contenido en nutrientes, estimulan los procesos biológicos de la planta mejorando su eficiencia en la absorción o el uso de nutrientes, su tolerancia al estrés abiótico o la calidad de la cosecha, y permiten por tanto la reducción del aporte de fertilizantes minerales. En el Anejo I de este RD aparece la relación de tipos de productos fertilizantes. Y es en el grupo 4 (Otros abonos y productos especiales) donde se integran, junto a ácidos húmicos y fúlvicos, algas, aminoácidos e inhibidores, los productos especiales basados en microorganismos: micorrícicos y no micorrícicos (Tabla 2).

EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD EN LA AGRICULTURA VALENCIANA DE FERTILIZANTES Y ESTIMULANTES DE NUEVA GENERACIÓN



Ensayos que se están llevando a cabo en la Estación Experimental Agraria de Carcaixent (EEAC)

A. Ensayo en agricultura convencional (AC): parcela cv. Lanelate

- T1. Control (sin aplicación foliar)
- T2. Aminoácidos
- T3. Ácidos húmicos y fúlvicos
- T4. Micronutrientes (B, Mn, Zn y Mo)
- T5. Alga *Eclonia maxima*
- T6. Alga *Ascophyllum nodosum*

B. Ensayo en agricultura ecológica (AE): parcela cv. Neufina

- T1. Control
- T2. Producto basado en hongos micorrícicos
- T3. Bacterias *Pseudomonas*
- T4. Bacterias *Lactobacillus*



3 El momento de aplicación

En el caso de los fertilizantes minerales, su aplicación deberá coincidir con los momentos de máxima absorción. Para el uso de productos orgánicos, se desconoce la liberación estacional de nutrientes en forma disponible para las plantas. Para ello, los equipos de la Dra. Pérez y el Dr. de Paz del CDAS-IVIA están realizando, por un lado, una caracterización de los diferentes productos orgánicos y, por otro, estudios de mineralización para conocer la dinámica de nutrientes en el suelo y cuantificar así los nutrientes disponibles procedentes de estas fuentes a lo largo del ciclo de cultivo.

4 El modo de aplicación

El aporte de agronutrientes se realizará principalmente en fertirriego, a través de sistemas eficientes de riego (riego localizado), mediante inyección o enterrado en el terreno de productos y materiales orgánicos y organominerales (para disminuir las emisiones de amoníaco), con un mayor fraccionamiento de las aplicaciones, incorporando los fertilizantes sólidos al terreno, utilizando abonos recubiertos de liberación lenta e inhibidores de la nitrificación, entre otros.

Los agronutrientes y la PAC

Con el objetivo de definir, optimizar e implementar técnicas y estrategias de gestión sostenible en nuestros sistemas de producción agrícola que cumplan con los objetivos de la Agenda 2030 de la nueva Política Agraria Común, se han puesto en marcha ensayos por el Equipo de Nutrición y Fertilidad del Suelo (CDAS-IVIA) en colaboración con la **Estación Experimental de Carcaixent (EEC)** y la participación de empresas pertenecientes a la **Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA)**. En ellos, se está analizando la integración de estos nuevos productos fertilizantes en la fertilización de los cultivos, estudiando su efecto sobre la eficiencia de absorción de nutrientes por la planta y la disponibilidad de estos en el suelo. Los resultados ayudarán definir pautas de abonado que permitan reducir el aporte de fertilizantes de síntesis y las pérdidas de nutrientes del sistema.

>Autora del artículo:

Ana Quiñones

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Centro para el Desarrollo de Agricultura Sostenible.
quinones_ana@gva.es