

MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES



InnoCereal



Proyecto cofinanciado por la
Unión Europea a través del programa LIFE
LIFE21-CCM-ES-LIFE Innocereal EU/101074009

Duración del proyecto: 01/07/2022 - 30/06/2026

Agrifood Comunicación

Calle Daoiz, 6, Bajo B
28004, Madrid
917 21 79 29
agrifood@agrifood.es
www.agrifood.es

Editores:

Emilio J. González Sánchez, Universidad de Córdoba (UCO)
Francisco Márquez García, Universidad de Córdoba (UCO)
Antonio M. Conde López, Universidad de Córdoba (UCO)

Diseño y maquetación:

Manuel Ramírez Torrescusa

ISBN: 978-84-09-57976-1

Autores:

Emilio J. González Sánchez, Universidad de Córdoba (UCO), Francisco Márquez García, Universidad de Córdoba (UCO), Jesús A. Gil Ribes, Universidad de Córdoba (UCO), Gregorio L. Blanco Roldán, Universidad de Córdoba (UCO), Antonio M. Conde López, Universidad de Córdoba (UCO), Rafaela M. Ordoñez Fernández, Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA), Rosa M. Carbonell Bojollo, Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA), Ricardo Migueláñez, Agrifood Sector Communication S.L. (AGRIFOOD), Óscar Córdoba, Agrifood Sector Communication S.L. (AGRIFOOD), José M. Basanta Reyes, Asociación Española de Técnicos Cerealistas (AETC), Julio Román Vázquez, European Conservation Agriculture Federation (ECAAF), Manuel R. Gómez Ariza, Asociación Española de Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV), Óscar Veroz González, Asociación Española de Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV), Francisco M. Sánchez Ruiz, Asociación Española de Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV), Jorge Blanco Gallego, Greenfield Technologies S.L. (GF), Miguel Córdoba Pérez, Greenfield Technologies S.L. (GF), Ignacio Solís Martel, Cooperativas Agro-Alimentarias de España U. de Coop. Sociedad Cooperativa (CAE), Antonio Catón Vázquez, Cooperativas Agro-Alimentarias de España U. de Coop. Sociedad Cooperativa (CAE), Sagrario Sáez Mejía, Heineken España S.A. (HEINEKEN-HESA), Agustín Martínez Navarro, Heineken España S.A. (HEINEKEN-HESA), Jaime Mas, Productos Alimenticios Gallo S.L. (GALLO), Juan Gabriel Vargas Olmo, Cuetara S.L.U. (CUETARA), Javier de Sebastián Arnaiz, Limagrain Iberica S.A. (LIMAGRAIN), Agustín del Canto, Artadi Alimentacion S.L. (OKIN), Elisabete Ferreira, M. Ferreira & Filhas LDA (PAO DE GIMONDE), Pablo Granell Albert, Sipcam Iberia S.L (SIPCAM), Ricardo Salvador Soldado, Antonio Tarazona S.L.U. (TARAZONA), Paloma Polo, Harinas Polo S.A. (HARINAS POLO), Paula Elso, Monbake Grupo Empresarial S.A.U. (MONBAKE), Rafael Eraso, Inter Malta S.A. (INTERMALTA).

ÍNDICE

Abstract.....	9
1. Siembra directa.....	11
2. Rotación de cultivos.....	15
3. Semilla certificada y semilla de reemplazo.....	19
4. Uso de sistemas de ayuda al guiado.....	22
5. Recolección de cosecha con monitor de rendimiento.....	26
6. Distribución variable de fertilizantes.....	31
7. Optimización en el uso de productos fitosanitarios.....	35
8. Abonado de fondo incorporado en la línea de siembra.....	39
9. Aplicación de fertilizantes con sistemas de control de liberación en suelo.....	42
10. Utilización de productos bioestimulantes mezclados con los fitosanitarios.....	46
11. Utilización de cadenas de aprovisionamiento de proximidad.....	49
12. Indicadores.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Implantación de un cultivo de cereal sobre restos vegetales de girasol (Fuente: Antonio M. Conde López).....	11
Figura 2. Sistema detallado esparcidor de residuos en la cosechadora de cereales (Fuente: European Conservation Agriculture Federation (ECAAF)).....	11
Figura 3. Sembradora directa monodisco de cereal (Fuente: Antonio M. Conde López)....	12
Figura 4. Sembradora directa de reja de cereal (Fuente: Antonio M. Conde López).....	12
Figura 5. Rotación girasol-trigo (Fuente: Antonio M. Conde López).....	15
Figura 6. Esquema de rotación de cultivos (Fuente: elaboración propia).....	15
Figura 7. Ensayo de variedades de cereal (Fuente: Ignacio Solís Martel).....	19
Figura 8. Semilla certificada (Fuente: Asociación Nacional de Obtentores Vegetales (ANOVE)).....	20
Figura 9. Sistema móvil acoplado directamente sobre el volante (Fuente: Trimble).....	23
Figura 10. Mapa de rendimiento generado en la cosecha de trigo (Fuente: Severiano Real Moreno).....	26
Figura 11. Pantalla de monitor de rendimiento Ceres 8000i (Fuente: RDS Technology). 27	
Figura 12. Mapa de prescripción de abonado variable (Fuente: proyecto Innovatrigo).. 28	
Figura 13. Quad preparado para muestrear suelo (Fuente: proyecto Innovatrigo)..... 31	
Figura 14. Mapa de prescripción y de abonado variable realizado en función de la producción de la parcela (Fuente: proyecto Innovatrigo).....	32
Figura 15. Caudal másico en función de la superficie de apertura de los tres principales abonos utilizados en el cultivo de cereal: fosfato diamónico "PDA", urea y nitrato amónico "Nitrato" (Fuente: proyecto Innovatrigo).....	32

Figura 16. Abonadora centrífuga de fertilizantes sólidos (Fuente: Amazone).....	32
Figura 17. Consumo medio de energía en cultivos cerealistas	
(Fuente: proyecto Innovatrigo).....	33
Figura 18. Comparación en el uso de boquillas estándar y antideriva	
(Fuente: proyecto Topps-Prowadis).....	37
Figura 19. Disposición del fertilizante incorporado en la línea de siembra	
(Fuente: Antonio Tarazona S.L.U).....	39
Figura 20. Movilidad de los principales macronutrientes en el suelo	
(Fuente: Antonio Tarazona S.L.U).....	39
Figura 21. Distancia máxima de asimilación de nutrientes no móviles en el suelo	
(Fuente: Antonio Tarazona S.L.U).....	39
Figura 22. Distribución de fertilizante mediante una abonadora centrífuga	
(Fuente: proyecto Innovatrigo).....	42
Figura 23. Fertilizante con sistemas de control de liberación en el suelo de un cultivo	
de trigo (Fuente: Antonio M. Conde López).....	43
Figura 24. Inhibidor de la ureasa (Fuente: Antonio Tarazona S.L.U).....	43
Figura 25. Momentos de aplicación de los bioestimulantes	
(Fuente: Antonio Tarazona S.L.U).....	46
Figura 26. Estructura L-aminoácidos a la izquierda y D-aminoácidos a la derecha	
(Fuente: Antonio Tarazona S.L.U).....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de combustible y solapes de operaciones agrícolas en cultivos anuales con implantación de sistemas de ayuda al guiado (Fuente: proyecto LIFE+Agricarbon).....	24
Tabla 2. Consumo de combustible y solapes de operaciones agrícolas en cultivos anuales bajo laboreo convencional (Fuente: proyecto LIFE+Agricarbon).....	24
Tabla 3. Emisiones de CO₂ equivalente (kg/ha) de distintos tipos de abonado y dosis de aplicación (Fuente: proyecto Innovatrigo).....	40
Tabla 4. Impacto de las Buenas Prácticas en diferentes indicadores (Fuente: elaboración propia).....	51

The Best Practices Guide for cereal production consists of 11 good practices focused mainly on reducing the impact of the production of the cereals under study, durum wheat, soft wheat and barley, on climate change and promoting adaptation and mitigation, but always from the point of view of promoting sustainable and innovative agriculture, which facilitates the adoption of new technologies. In addition, at the end of the Manual, a table summarises the positive impact of each of the Best Practices described on different agronomic, economic and environmental indicators.

The objective of the Manual is to help improve the economy of farmers, to increase the sustainability of cereal production and to fight against climate change by adopting innovations developed through training, not only for farmers but also for all the actors in the cereal chain and society in general.



Siembra directa

El no laboreo es una práctica agronómica en cultivos anuales incluida en el primer principio de Agricultura de Conservación: "Perturbación mínima del suelo" (también denominada Cero Laboreo o Siembra Directa) y se refiere a la práctica de cultivo en la que no se perturba el suelo de una campaña agrícola a otra. El objetivo de esta práctica es establecer un cultivo anual directamente en un lecho de siembra que no ha sido perturbado mecánicamente, modificando las propiedades físico-químicas del suelo (Kassam *et al.*, 2009) (Figura 1).



Figura 1. Implantación de un cultivo de cereal sobre restos vegetales de girasol (Fuente: Antonio M. Conde López)

Introducir esta práctica en el ámbito nacional requiere de un cambio de mentalidad ya que implica la eliminación total de las operaciones que alteran la estructura del suelo. Su adopción por parte de los agricultores implica disponer de maquinaria específica, así como de conocimientos técnicos y agronómicos sobre su manejo. Requiere una gestión diferente del suelo y del sistema de cultivo.

Para una buena implantación y desarrollo del cultivo es necesario que durante la cosecha del cultivo precedente la cosecha-

dora realice un adecuado picado y distribución homogénea de los restos vegetales.

Por tanto, se recomienda que la cosechadora de cereal disponga de picadora y esparcidora de restos de cultivo cosechados (Figura 2).

La operación de siembra debe de producir una alteración mínima del suelo, en caso contrario se favorece la pérdida del carbono del suelo y la emisión del CO₂ contenido en el espacio poroso.

Las sembradoras de siembra directa disponen de varios dispositivos para la correcta colocación de la semilla en el suelo con el objetivo de favorecer una correcta germinación y establecimiento del cultivo, teniendo en cuenta las condiciones del suelo sin labrar y el volumen de restos vegetales.



Figura 2. Sistema detallado esparcidor de residuos en la cosechadora de cereales (Fuente: European Conservation Agriculture Federation (ECAAF))

Estas sembradoras directas, como se denominan las de siembra directa, están equipadas de varios dispositivos que nos permiten regularlos independientemente en función de las características de la siembra que se vaya a proceder, condicionando el tipo de sembradora directa, entre las que hay:

🌱 **Sembradora directa de disco.**

Dispone de discos de corte delanteros al tren de siembra de restos vegetales con el borde exterior liso o estriado, dependiendo del volumen y tipo de restos vegetales y mejorar el corte y el esparcido. En tren de siembra está formado por discos que abren el lecho de siembra pudiendo ser simples o dobles. En ambos casos, están inclinados respecto a la superficie del suelo. Una peculiaridad es que las sembradoras monodisco no suelen tener el disco cortador delantero, ya que los discos de siembra realizan las funciones de corte de restos vegetales y apertura del surco de siembra. Finalmente, el cierre del surco de siembra se procede a través de ruedas tapadoras, está varían su forma, materia y disposición en función del fabricante (Figura 3).



Figura 3. Sembradora directa monodisco de cereal
(Fuente: Antonio M. Conde López)

🌱 **Sembradora directa de rejas.**

Disponen de rejas para abrir el surco de siembra, ejerciendo un corte vertical sobre el suelo. En este tipo hay que tener en cuenta que la separación mínima entre rejas debe ser 40 cm para evitar la acumulación de restos vegetales entre ellas (Figura 4).



Figura 4. Sembradora directa de reja de cereal (Fuente: Antonio M. Conde López)

La elección de la sembradora más adecuada ya sea de discos o de rejas, es una de las decisiones más importantes para los agricultores ya que garantizará una siembra correcta. Para ello debe de tener en cuenta lo siguiente:

- 🌱 El manejo de los residuos del cultivo precedente debe hacerse con un sistema eficaz de corte de restos vegetales en cada unidad componente y/o facilitando el movimiento de los restos vegetales entre las rejas aumentando la separación entre líneas de siembra. Incluso puede acoplarse un dispositivo delantero que separe los residuos antes de los elementos de corte dejando la línea de siembra con menor volumen de restos vegetales.

- 🌱 Los aspectos edafológicos y agronómicos de la explotación agrícola.

- 🌱 Disponer de mapas de traficabilidad para evitar problemas de compactación.

- 🌱 Las sembradoras directas son de mayor volumen y de mayor peso, por lo que es recomendable usar neumáticos de alta flotación, para evitar la compactación.

Proporciona una serie de beneficios medioambientales, sociales y económicos tratando de mejorar los ecosistemas de forma sostenible y de mitigar el cambio climático a partir de la supresión del laboreo. Tales beneficios son:

-  Favorece el almacenamiento de carbono en el suelo, alcanzando niveles de secuestros de CO₂ hasta 2 toneladas por hectárea y año. (González-Sánchez *et al.*, 2018).

-  Los agregados del suelo no se rompen y dificultan la liberación de gases de efecto invernadero, minimizando así las emisiones a la atmósfera.

-  Menor consumo de combustible y por tanto menor tiempo y energía consumida.

-  Ahorro de costes y mayor productividad.

-  La biomasa en superficie de los restos vegetales mantiene la humedad del suelo y su descomposición incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo.

-  Mejora la estructura porosa del suelo tras no ser alterada mecánicamente.

-  Conservación y mejora de los microorganismos del suelos y biodiversidad en general.

-  Mayor infiltración y retención de agua.

-  Reducción de la erosión y la escorrentía.

Una correcta siembra directa en cereal junto a una buena selección de los cultivos que se vayan a sembrar entre campañas, implica hacer una rotación de cultivo idónea y como pilares de la Agricultura de Conservación que son la siembra directa y la rotación de cultivos son los aliados

perfectos para mitigar el cambio climático y conservar el medioambiente de forma sostenible.



Bibliografía

González-Sánchez, E. Moreno-García M., Kassam A., Holgado-Cabrera A., Triviño-Tarradas P., Carbonell-Bojollo R., Pisante M., Veroz-González, O., Basch G. (2018). Conservation Agriculture: Making Climate Change Mitigation and Adaptation Real in Europe. European Conservation Agriculture Federation (ECAAF). www.ecaf.org

Kassam, A.H., Friedrich, T., Shaxson, T.F., Pretty, J.N. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustainability* 7, 292-320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>



Rotación de cultivos

La rotación de cultivos consiste en la siembra sucesiva de diferentes cultivos de especies anuales en un mismo terreno, siguiendo un orden definido entre campañas agrícolas (Figura 5). Este concepto se contrapone al monocultivo, basado en la siembra repetitiva de una misma especie en el mismo campo, año tras año.



Figura 5. Rotación girasol-trigo (Fuente: Antonio M. Conde López)

La rotación de cultivos mejora la eficiencia de los sistemas agrícolas para incrementar el carbono orgánico de los suelos frente al monocultivo.

La magnitud de este efecto está en función de la rotación seguida y del manejo de suelo utilizado por el agricultor. Siendo necesario no dejar al azar la sucesión de especies cultivadas, porque sólo así puede planificarse un trabajo agrícola correctamente y en el momento adecuado, atendiendo a las condiciones edafoclimáticas de la zona.

El principio fundamental para elaborar una rotación es muy simple. Se trata de alternar cultivos que tengan tipos de vegetación, sistemas radiculares y necesidades nutritivas diferentes (Figura 6).

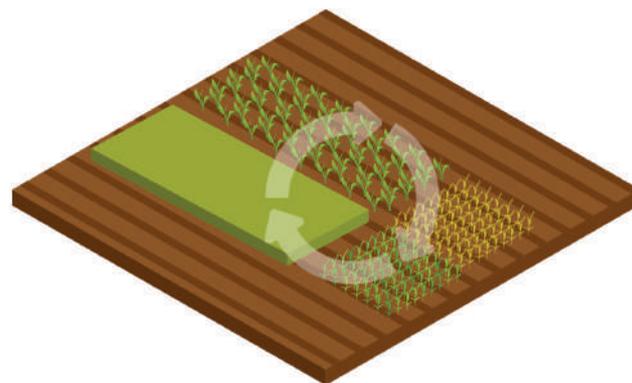


Figura 6. Esquema de rotación de cultivos (Fuente: elaboración propia)

Consiguiendo mantener una productividad equilibrada en el tiempo y no agotando el suelo de nutrientes y agua por completo. Y que la mayoría de las explotaciones de cereal en España son en secano.

Son muchas las ventajas que encontramos en la rotación de cultivos anuales frente al monocultivo, entre las que podemos citar:

- Reduce el riesgo de problemas derivados de plagas y enfermedades, ya que el cambio de especies cultivadas entre campañas no permite que se repita el ciclo de vida de las plagas y enfermedades.

- Control de malas hierbas mediante la selección de especies anuales que sean antes la superficie de suelo no sembrada, mediante la implantación de cultivos de cobertura como pueden ser especies de leguminosas o mediante la implantación de especies como las pertenecientes a la familia de las crucíferas y denominadas abono verde. Estos últimos casos, permiten el aporte de nutrientes al suelo y una protección a las malas hierbas y a otros problemas como la pérdida de humedad del suelo y pérdida de suelo fértil.

Mejora la estructura del suelo y en consecuencia la calidad del suelo, debido a los diferentes comportamientos de los sistemas radiculares de las especies cultivadas.

Mayor eficiencia en el uso de nutrientes y agua.

Regula la cantidad de biomasa en superficie procedente de los residuos de la cosecha.

Mejora y conserva la biodiversidad de la zona cultivada y del entorno.

Incrementa el secuestro de carbono en el suelo debido a un mayor contenido de materia orgánica del suelo y por tanto una mayor fertilidad.

En gran parte del ámbito nacional y europeo la rotación de cultivos conlleva hacerse con todas estas ventajas anteriormente citadas, pero es necesario seguir una serie de recomendaciones tales como:

Usar especies con diferentes requerimientos nutricionales.

No regirse por calendarios de tareas tradicionales, ya que cada campaña agrícola es diferente en cuanto a condiciones climáticas como a condiciones físico-químicas de nuestro suelo.

Uso de semillas certificadas que te aseguren una nascencia óptima, y que conlleva hacer una siembra con la maquinaria adecuada a ese cultivo.

Uso de materias activas diferentes o en su caso dosis especificadas por el fabricante de productos agroquímicos para evitar resistencias ante plagas y enfermedades.

Si se produce un agostamiento de la zona de cultivo, realizar barbechos sembrados con especies que protejan frente a la erosión y que aporten nutrientes y materia orgánica como es el caso de las leguminosas.

Control del tráfico de maquinaria y cambio de dirección de siembra de especies entre campañas para evitar compactación del suelo.

Si se lleva a cabo pastoreo en la zona cultivada, limitar el tiempo de actividad y sectorizar la zona de cultivo para evitar la sobre compactación y la contaminación de nuevas semillas de malas hierbas, aquí influirá el tipo de ganado seleccionado.

Tener en cuenta los calendarios de tareas de campañas anteriores con el cuaderno de campo actualizado.

Hacer uso de la Agricultura de Precisión para optimizar operaciones agrícolas y hacer un uso eficiente de productos agroquímicos.

Tener la figura del Técnico Agrícola o Ingeniero Agrónomo en apoyo a las decisiones que se lleven en campo y que tenga un control del cuaderno de operaciones agrícolas detallado.

A nivel económico, tener en cuenta las cotizaciones de mercado del grano a a nivel internacional.

Esta serie de recomendaciones, campaña tras campaña, avalarán las ventajas de la rotación de cultivos frente al monocultivo, pero además afianza los estudios científicos donde se pone de manifiesto como la rotación de cultivos hace frente al cambio climático, gracias a una mayor eficiencia en las operaciones agrícolas que implica reducir el consumo de energía.



Además, esta reducción del consumo de energía viene dado por una optimización de los insumos como por ejemplo los fertilizantes, las semillas, los productos fitosanitarios, etcétera. Todo esto conlleva emitir menos gases de efecto invernadero a la atmósfera.





3

Semilla certificada y semilla de reemplazo

Asegurar la siembra de cereal con una semilla de calidad es fomentar una buena producción de grano, sin tener en cuenta la influencia climática durante el ciclo del cultivo establecido. Por tanto, elegir una semilla de calidad y la variedad de cereal adecuada es uno de los factores de producción más importantes en el éxito económico de la explotación agrícola y una de las primeras decisiones que ha de adoptar el agricultor cada campaña agrícola. Empleando semilla certificada o semilla de reemplazo, como producto de primera calidad y estandarizado.

Contribuyendo a una agricultura innovadora, rentable y sostenible con los medios que posee el agricultor e incrementado la productividad de la explotación agrícola.

La semilla certificada es el fruto de la investigación en la mejora genética y de la tecnología, que se traslada al sector agroalimentario y es garantía de calidad, trazabilidad, homogeneidad y una mayor sanidad de los cultivos. Conlleva una mayor seguridad alimentaria para los seres humanos que se alimentan de productos transformados procedentes del grano de cereal y para los animales que se alimentan directamente de semillas de cereal o con una previa transformación de estas. Las nuevas variedades que llegan al mercado incorporan resistencias genéticas a los estreses bióticos y abiótico presentes en cada región y se trata de un proceso dinámico debido a las fluctuaciones del clima y a la aparición de nuevas razas de enfermedades y plagas. Al adquirir semillas certificadas estamos contribuyendo a la financiación de los programas de mejora que nos ayudan a resolver los daños causados por dichos estreses (Figura 7).



Figura 7. Ensayo de variedades de cereal (Fuente: Ignacio Solís Martel)

Por ello, la certificación es esencial para garantizar a los obtentores, multiplicadores, agricultores y al resto de la cadena de valor, que la semilla ha sido inspeccionada y verificada desde su origen, durante su proceso de producción en campo, su acondicionamiento, y su almacenamiento, conforme a la estricta normativa de calidad establecida.

Esta certificación supone una serie de beneficios:

- 🌱 Incremento del rendimiento de la cosecha.
- 🌱 Garantiza una buena implantación del cultivo con el objetivo de asegurar y aumentar la producción.
- 🌱 Siembra de semillas de cereal que no estén contaminadas con semillas de malas hierbas.
- 🌱 Menor dosis de siembra como consecuencia de la garantía de la germinación y el óptimo estado sanitario de la semilla.
- 🌱 Favorece una agricultura más competitiva, posibilitando la inversión en

investigación para la creación de nuevas variedades adaptadas al cambio climático para la mejora de la producción.

 Garantiza una adecuada clasificación de las cosechas en función de su calidad, ya que la genética de cada variedad condiciona el destino final de las diferentes partidas de cereal para las industrias maltera, harinera, semolera o de alimentación animal.

La ingeniería genética ha creado una semilla certificada que ha dejado de ser solamente el material vegetal que origina la planta, esta incorpora, además, la capacidad de potenciar la germinación, la implantación y el buen desarrollo del cultivo, favoreciendo la producción (Figura 8).

La semilla certificada es primordial en nuevas variedades de cereal adaptadas a diferentes condiciones edafoclimáticas para tratar de mitigar el cambio climático garantizando su producción, reduciendo los insumos y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a estos y a las operaciones agrícolas.

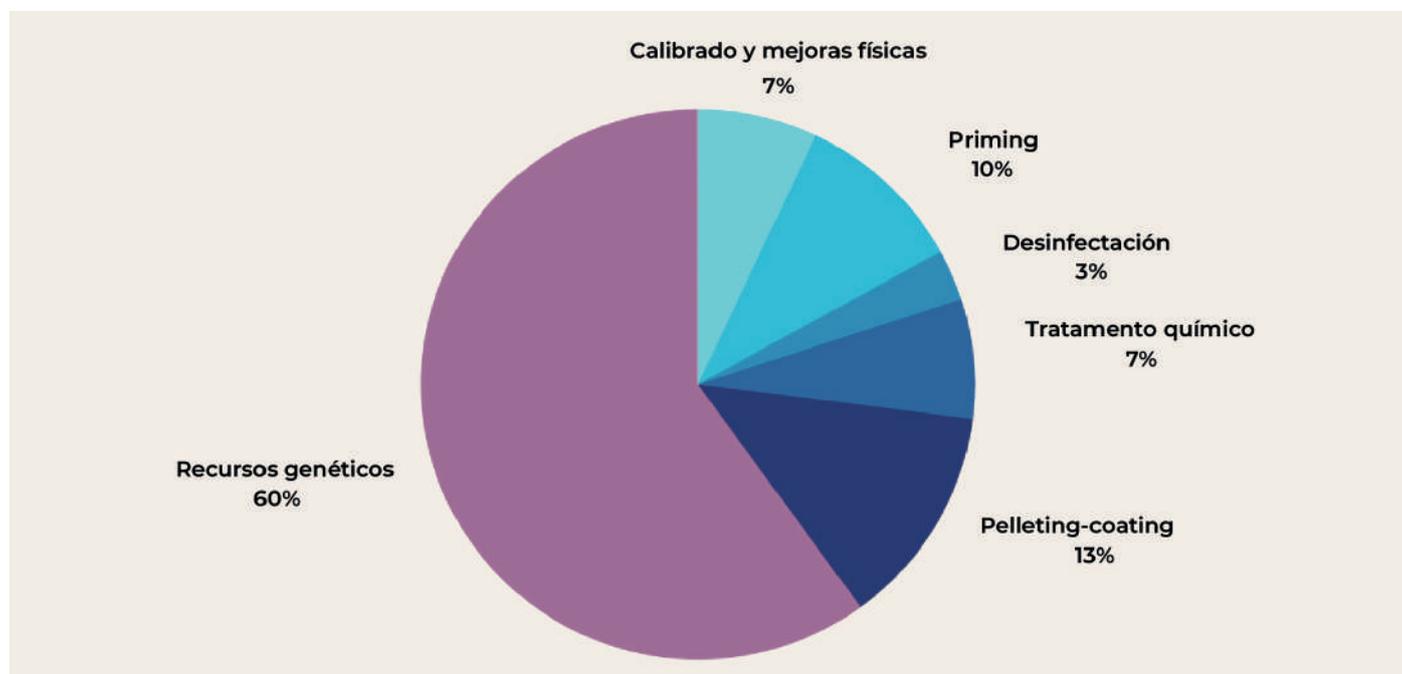


Figura 8. Semilla certificada (Fuente: Asociación Nacional de Obtentores Vegetales (ANOVE))



Uso de sistemas de ayuda al guiado

La definición oficial de Agricultura de Precisión (AP), dada por la Sociedad Internacional de Agricultura de Precisión, es una estrategia de gestión que reúne, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otra información para apoyar las decisiones de gestión de acuerdo con la variabilidad estimada para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola.

Se entiende como el resultado de la Agricultura Inteligente, una noción general para adoptar las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y otras innovaciones de vanguardia en el sector agroalimentario para aumentar la eficiencia en el uso de la maquinaria agrícola y la optimización de los insumos y los recursos naturales.

Gracias a la creación de sinergias entre las tecnologías digitales, el Internet de las Cosas, el Big Data, la inteligencia artificial, la robótica, etcétera, con el fin de analizar de forma precisa los datos recabados en campo mediante sensores e imágenes satelitales y ser capaces de utilizar para optimizar el manejo de las parcelas con maquinaria sensorizada.

Estas sinergias tecnológicas han apoyado y han dado la posibilidad de que la AP sea clave en los sistemas de control del posicionamiento de la maquinaria agrícola mediante los GPS.

Permitiendo identificar en tiempo real y de manera precisa la posición de la maquinaria agrícola.

De esa manera existen en el mercado sistemas de guiado automático y control de aplicaciones por Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) para optimizar las operaciones agrícolas que se llevan a cabo en cultivos anuales.

Así aparecen los denominados tractores inteligentes, que disponen de receptores GNSS, monitores, PC, sensores, etcétera, para poder mostrar y recabar información al mismo tiempo.

Parámetros, información y datos que necesitamos analizar y evaluar más tarde en gabinete, como pueden ser las coordenadas georreferenciadas una maquinaria realizando un abondo de fondo en cereal, mostrando la velocidad de trabajo y/o la cantidad de producto aplicado, por ejemplo.

Estos sistemas cuentan con información previa, conociendo así la maquinaria agrícola a usar en una determinada operación agrícola.

Esto permite en tiempo real que haya una comunicación entre la maquinaria, mediante programas informáticos previamente instalados en la maquinaria y donde la conexión es por cable, pero ya en muchos de los casos actuales esta conexión se realiza de forma inalámbrica.

Esta conexión inalámbrica se denomina ISOBUS (ISO 11783), un protocolo de comunicación en serie para maquinaria agrícola y forestal basado en el protocolo SAE J1939, que también incluye el protocolo CAN-Bus.

Para llevarlo a la práctica, actualmente, se implantan los sistemas de guiado automático, donde podemos diferenciar dos tipologías:

- 🌿 Sistemas móviles que permiten instalarlos en diversos equipos y que se acoplan directamente sobre el volante (Figura 9).

- 🌿 Sistemas fijos que actúan directamente sobre el sistema de dirección del tractor, por lo general en el sistema hidráulico de la dirección.



Figura 9. Sistema móvil acoplado directamente sobre el volante (Fuente: Trimble)

Ambas tipologías son válidas para realizar operaciones agrícolas en cultivos anuales donde muchas veces la orografía no es un problema, y la precisión de trabajo es despreciable, pero si es un problema la conexión GPS.

Por tanto, hay que tener en cuenta a la hora de implantar esta Buena Práctica Agrícola la conexión red móvil o satelital para poder gestionar estos sistemas.

Son múltiples los beneficios que conlleva su implantación, como pueden ser:

- 🌿 Eficiencia en el uso de los insumos. Menores emisiones de gases de efecto invernadero.

- 🌿 Reducción de la compactación del suelo, gracias al control del tráfico de la maquinaria.

- 🌿 Ahorro de energía y de tiempo, ya que no se aprecian solapes en las diferentes operaciones agrícolas como puede ser la siembra o la aplicación de un producto fitosanitario.

El ahorro energético y de tiempo gracias al uso de sistemas al guiado es debido a una reducción de los solapes en una operación agrícola, consiguiendo hasta un 30% en cultivos anuales.

Esta reducción de solapes supone reducir el consumo de combustible, como observamos en las Tablas 1 y 2, donde aparecen las operaciones agrícolas llevadas a cabo en un cultivo anual bajo Agricultura de Precisión y Laboreo Convencional, respectivamente.

La optimización de los insumos y de las operaciones agrícolas gracias a la Agricultura de Precisión con el uso de sistemas de ayuda al guiado se muestra como un sistema eficaz en la lucha contra el cambio climático y afianza el resto de los beneficios económicos y ambientales que supone su puesta en práctica.

Esta reducción de solapes supone reducir el consumo de combustible, como observamos en las Tablas 1 y 2, donde aparecen las operaciones agrícolas llevadas a cabo en un cultivo anual bajo Agricultura de Precisión y Laboreo Convencional, respectivamente.

La optimización de los insumos y de las operaciones agrícolas gracias a la Agricultura de Precisión con el uso de sistemas de ayuda al guiado se muestra como un sistema eficaz en la lucha contra el cambio climático y afianza el resto de los beneficios económicos y ambientales que supone su puesta en práctica.

TABLA 1. CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y SOLAPES DE OPERACIONES AGRÍCOLAS EN CULTIVOS ANUALES CON IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE AYUDA AL GUIADO (FUENTE: PROYECTO LIFE+AGRICARBON)

OPERACIÓN AGRÍCOLA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (l/ha)		SOLAPE
Sembradora	7,7±1,0	→	5,5±5,9
Barra de tratamientos	1,1±0,3	→	7,4±7,2
Abonadora	0,9±0,4	→	5,5±3,6
Cosechadora	11,4±0,9	→	-

TABLA 2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y SOLAPES DE OPERACIONES AGRÍCOLAS EN CULTIVOS ANUALES BAJO LABOREO CONVENCIONAL (FUENTE: PROYECTO LIFE+AGRICARBON)

OPERACIÓN AGRÍCOLA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (l/ha)		SOLAPE
Sembradora	6,0±1,6	→	8,4±7,0
Barra de tratamientos	1,1±0,4	→	12,7±9,7
Abonadora	0,9±0,5	→	14,7±9,7
Cosechadora	10,0±0,7	→	-



Recolección de cosecha con monitor de rendimiento

Conocer la variabilidad de la producción acontecida en un cultivo sobre una parcela concreta permite conocer de forma precisa la producción total o por superficie en el mismo momento de la recolección.

Sin embargo, conocer estos resultados tiene un aspecto positivo sobre futuras campañas a la hora de tomar decisiones de gestión del mismo u otro cultivo.

Algunas de los principales objetivos de conocer la variabilidad espacial de la cosecha pueden ser:

- Identificar áreas con rendimiento bajo, para tomar medidas para mejorar el rendimiento en esas áreas específicas.

- Aumentar la eficiencia de la cosecha, ajustando las técnicas de cosecha para aprovechar al máximo las áreas con rendimiento alto y reducir la pérdida en áreas con rendimiento bajo.

- Identificar problemas de enfermedades o plagas.

- Mejorar el manejo del suelo identificando las áreas donde el suelo es más fértil o tiene mejor estructura, por ejemplo.

- Identificar áreas para experimentar con variedades, identificando áreas donde ciertas variedades de cultivos tienen mejor rendimiento, lo que permite experimentar con nuevas variedades en esas áreas.

Hoy en día, la tecnología permite crear mapas de cosecha con la ayuda de cosechadoras dotadas con monitores de rendimiento.

Los monitores de rendimiento de cosecha son sistemas utilizados en la agricultura para medir y registrar información sobre la producción de cultivos.

Estos monitores pueden medir diferentes parámetros, como la cantidad de grano recolectado, la velocidad de cosecha, el rendimiento por hectárea, entre otros.

El sistema de monitoreo del rendimiento está diseñado para medir la cantidad de producto que están cosechando instantáneamente, así como conocer las coordenadas geográficas donde se encuentran y guardar esta información punto a punto de la parcela para posteriormente generar mapas de variabilidad de cosecha.

En un proceso posterior, mediante el procesamiento de los datos recogidos a través de un software Sistema de Información Geográfica (SIG), se pueden crear mapas cuyas variaciones colorimétricas indican los diferentes rendimientos obtenidos y su superficie asociada (Figura 10).



Figura 10. Mapa de rendimiento generado en la cosecha de trigo (Fuente: Severiano Real Moreno)

El principio de funcionamiento de estos instrumentos varía en función del modelo utilizado, aunque por norma general tienen un sistema que mide el grano que va pasando en cada momento destacando los métodos de cálculo realizado mediante pesada a través de fotosensores o mediante la determinación el volumen que fluye.

Para ello, las cosechadoras con monitor de rendimiento disponen de diversos elementos y sensores que permiten capturar esta información. Algunos de estos sensores son:

-  Sensores de flujo o de pesada, que determinan la cantidad de grano que fluye a través de un punto específico en la cosechadora.

-  Sensores de velocidad de la cosechadora.

-  Sensores de humedad de grano.

-  Sensor GNSS, para determinar el geoposicionamiento de la maquinaria, por ejemplo, a través de GPS.

Además, todos los sistemas de monitoreo del rendimiento productivo tienen una consola en la cabina que muestra los diversos parámetros que se obtienen de cada uno de los sensores montados: rendimiento instantáneo, rendimiento medio, humedad, superficie trabajada, etcétera (Figura 11).

La adquisición de datos genera una gran cantidad de información referida a puntos o zonas concretas de la explotación agrícola. Todo este conocimiento contiene información valiosa para la toma de decisiones de cara a futuras campañas.

Sin embargo, para poder tratar la cantidad de datos recogida y proporcionarles una componente espacial, es necesario recurrir



Figura 11. Pantalla de monitor de rendimiento Ceres 8000i (Fuente: RDS Technology)

a programas informáticos, ya que el gran volumen de datos a trabajar imposibilita el tratamiento manual de los mismos.

En el mercado existen diversos programas enfocados para el tratamiento de datos agrícolas georreferenciados que se conocen con el nombre de "Sistemas de Información Geográfica para Agricultura" (AgGIS), pero también existen softwares SIG de libre uso, como puede ser QSIG, aunque estos no suelen ser específicos de la agricultura.

En términos generales, un SIG es un conjunto de herramientas informáticas que utilizan el geoposicionamiento de los parámetros estudiados para analizar espacialmente y presentar la información.

Para ello, un SIG debe permitir la recopilación, almacenamiento, análisis y visualización de la información que, si abordamos el ámbito de la agricultura, sería aquella relacionada con el suelo, clima, los cultivos o la cosecha, entre otros.

Estos programas permiten hacer un estudio geoestadístico de toda la información almacena, cruzando los datos de tal manera que conseguimos conocer los orígenes de la variabilidad espacial del rendimiento de los cultivos.

Entre los principales potenciales de uso de los SIG en agricultura se pueden mencionar:

- Análisis espacial del suelo, cultivo o clima para identificar patrones o tendencias y zonas problemáticas.

- Creación de mapas temáticos que muestran la variabilidad de los datos recogidos de una forma visual más fácil de comprender que las tablas de datos.

- Integración de los datos de diversa índole (suelo, índices de vegetación, clima, cultivo, cosecha...) que permiten tomar decisiones más objetivas al proporcionar información precisa.

- Monitorización periódica de suelo y cultivo, que permite tomar decisiones rápidas ante problemas o situaciones imprevistas.

En general, en aquellos suelos muy homogéneos texturalmente, la variabilidad espacial del rendimiento vendrá marcada por las características topográficas de las parcelas o por variaciones en la distribución de nutrientes del suelo. Sin embargo, en parcelas muy heterogéneas con diferencias texturales importantes serán las preponderantes en la variación espacial del rendimiento, ya que ocasionarán cambios en la compactación del terreno, su propiedades físico-químicas, su humedad y su contenido nutricional.

Los resultados de los estudios estadísticos realizados con los softwares SIG, a partir de las variaciones espaciales de los diversos indicadores muestreados, se suelen mostrar en forma de mapa de prescripción, que indican al agricultor las zonas donde realizar tratamientos o manejos del cultivo de manera diferenciada, es decir, aplicar

más o menos abono o semilla, realizar o no tratamientos fitosanitarios, labores puntuales en lugares localizados, etcétera (Figura 12).

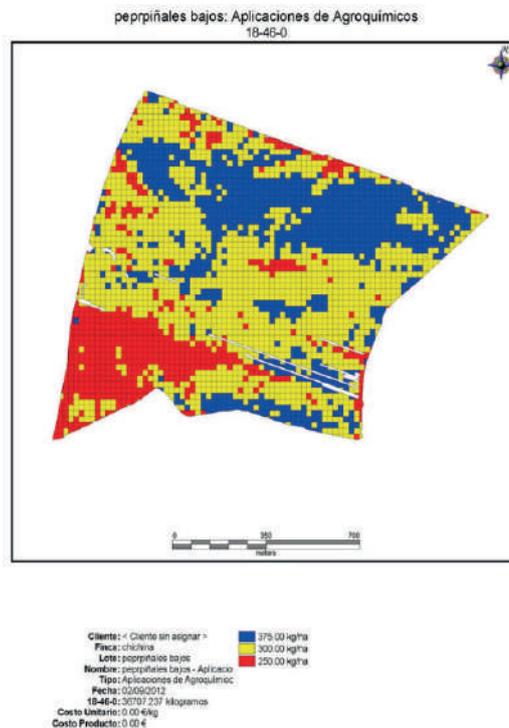


Figura 12. Mapa de prescripción de abonado variable (Fuente: proyecto Innovatrigo)

Se están desarrollando diversas tecnologías que ayude a corregir y validar estos mapas de prescripción sobre el estado del cultivo, bien en campo a tiempo real mientras se realiza la operación de abonado, o de manera anterior a la misma mediante el análisis de datos de comportamiento del cultivo.

La ciencia que permite utilizar este tipo de tecnología se denomina Teledetección. Su uso en el sector de la agricultura debe ser considerar varios aspectos relacionados con la captura de los datos, como pueden ser los dispositivos de captura de datos (plataforma y sensor), las resoluciones utilizadas en la captura de los datos (espacial, temporal, espectral y radiométrica) y los procedimientos de análisis de los datos capturados.

La generación de datos y una correcta manipulación de estos supone crear una información adicional para el agricultor que implica tomar decisiones a corto plazo más concisas.

Con importantes reducciones en niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y de tiempo en las operaciones agrícolas en cultivos anuales.

Debido a la posibilidad de realizar dosificaciones variables de productos fitosanitarios, semillas y fertilizantes.





6

Distribución variable de fertilizantes

La distribución variable de fertilizantes es un método que consiste en aplicar diferentes dosis de abonado en función de mapas prescriptivos en la superficie de cultivo. Con el objetivo de crear un uso eficiente en la aplicación de fertilizantes y garantizar la sostenibilidad y la seguridad medioambiental.

El manejo del cultivo durante todo su ciclo y previo a su siembra requiere de una serie de decisiones que pueden ser apoyadas por las nuevas tecnologías e innovaciones que se están llevando a cabo bajo la Agricultura de Precisión. Permitiendo como veremos posteriormente alcanzar una serie de ventajas medioambientales y económicas que antes con las decisiones empíricas no era posible alcanzar.

Para ello se tienen en cuenta una serie de estudios previos a las operaciones agrícolas a realizar en una explotación agrícola de cereal basados en la variabilidad espacial y temporal de diferentes factores, como pueden ser la producción, el suelo, la calidad del grano cosechado, etcétera.

Tras su análisis y evaluación permitirán tomar decisiones acertadas y adaptadas a distintas zonas homogéneas caracterizadas en una misma explotación agrícola.

Los mapas de zonificación de suelo son fundamentales porque son la base sobre la que se implanta el cultivo y uno de los parámetros más influyentes en la producción, junto con la climatología.

De este modo, la tecnología también permite pasar del tipo de muestreo de suelo tradicional como puede ser el muestreo de suelo manual con barrenas o vehículos motorizados específicos tales como quads

automatizados (Figura 13), a una metodología donde prima el conocimiento objetivo de la variabilidad de los parámetros edáficos, seleccionando los puntos de muestreo de una forma dirigida hacia áreas homogéneas y características del suelo, permitiendo además optimizar y reducir el número de muestras a la vez que se aumenta en la representatividad.

De este modo, no sólo es interesante conocer las propiedades físicas del suelo sobre el que se va a implantar el cultivo (compactación, textura, distribución de humedad, conductividad eléctrica, etc.) por su capacidad como factor limitante en la cosecha, sino que también es conveniente estudiar las propiedades químicas (materia orgánica, nitrógeno, fósforo, etc.) como factor importante en la prescripción, por ejemplo, de dosis de abonado.



Figura 13. Quad preparado para muestrear suelo (Fuente: proyecto Innovatrigo)

Además, en los últimos años, la salud del suelo en base a una caracterización de los microorganismos presentes en el suelo, tanto beneficiosos como patógenos, es una de las propiedades que puede ser estudiada a través de estos "mapeos de suelo", permitiendo un uso eficiente de bioestimulantes, biofertilizantes y fitosanitarios.

En la actualidad, en los cultivos de cereal estos mapas se utilizan preferentemente para realizar abonados variables en función de la producción obtenida (Figura 14) y de las diversas características físico-químicas del terreno, climatología de la zona, etcétera, pero esto no supone conocer de forma certera la respuesta del cultivo a esa aplicación de fertilizante, por lo que es necesario seguir la evolución del cultivo durante todo su ciclo y apoyarse para ello en imágenes satelitales donde se tiene el control de indicadores como el estado vegetativo de la planta o la humedad del suelo en espacio y tiempo concreto de la explotación agrícola, por ejemplo.

La variabilidad de dosificación de los fertilizantes supone disponer de maquinaria específica para las operaciones de abonado teniendo en cuenta el formato del fertilizante.

En el caso de ser un fertilizante líquido, usamos un caudalímetro que mide instantáneamente la cantidad de líquido que está pasando por la bomba variando esa cantidad en función a los mapas prescriptivos, aunque también pueden ser creados a partir de sensores multi o hiperespectrales. En el caso de ser abono sólido, bien granulado, microgranulado o en polvo es necesario implementar un mayor número de actuadores conociendo el caudal másico que fluye por la abonadora en función de la superficie de apertura del distribuidor (Figura 15).

Disponiendo la abonadora de un actuador, por lo general eléctrico, que las abre o cierra las trampillas de caída en función de la dosis. Las nuevas abonadoras del mercado para cultivos cerealistas poseen un sistema de pesaje controlado y preciso formado por células de pesaje que transmite en línea las diferentes características del abono con una elevada exactitud de medición (Figura 16).

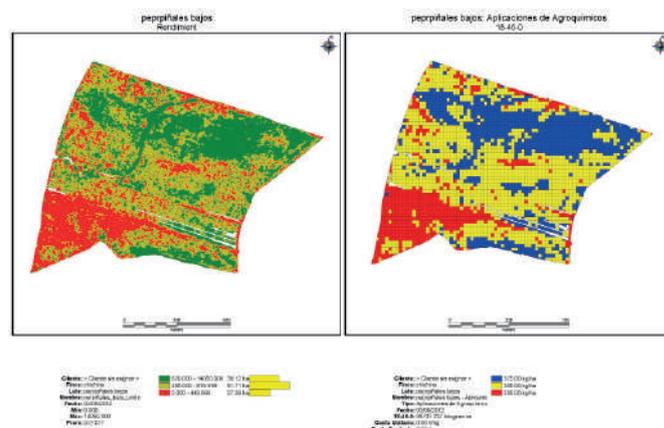


Figura 14. Mapa de prescripción y de abonado variable realizado en función de la producción de la parcela (Fuente: proyecto Innovatrigo)

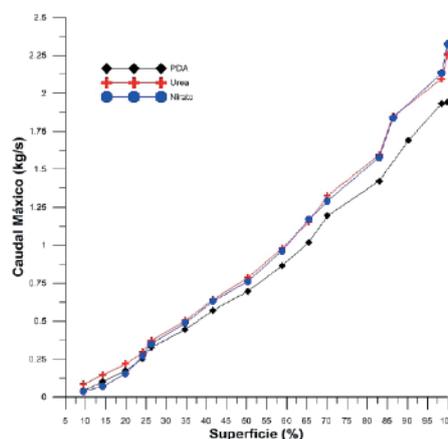


Figura 15. Caudal másico en función de la superficie de apertura de los tres principales abonados utilizados en el cultivo de cereal: fosfato diamónico "PDA", urea y nitrato amónico "Nitrato" (Fuente: proyecto Innovatrigo)



Figura 16. Abonadora centrífuga de fertilizantes sólidos (Fuente: Amazone)

El sistema compara automáticamente la dosis realmente aplicada con la cantidad nominal. Siendo el mecanismo de dispersión mecánico o hidráulico.

Las ventajas que tiene la aplicación variable de fertilizantes en cultivos anuales son:

-  Reducción de las cantidades, ahorros de fertilizante de hasta un 20-30%.
-  Menor gasto energético en la operación de aplicación de fertilizantes.
-  Producción homogénea.
-  Mayor productividad.
-  Equilibrio nutricional de la explotación agrícola.

Aunque esta disminución dependerá de diversos factores entre ellos el tipo de cultivo. En el caso de los cereales el mayor gasto energético se realiza en la aplicación de fertilizante, por lo que será especialmente interesante la aplicación variable de abono.

Poniendo en práctica el uso de sistemas de guiado que optimicen la realización de la aplicación variable de fertilizantes, tanto por la reducción energética, como por motivos medioambientales debido al gran potencial contaminante de éstos.

Además, las reducciones energéticas obtenidas al aplicar de forma variable los fertilizantes dependerán de diversos factores como la heterogeneidad de la explotación. Así en fincas heterogéneas con grandes variaciones productivas asociadas al tipo de suelo, se podrían conseguir ahorros de fertilizante de hasta un 20-30%.

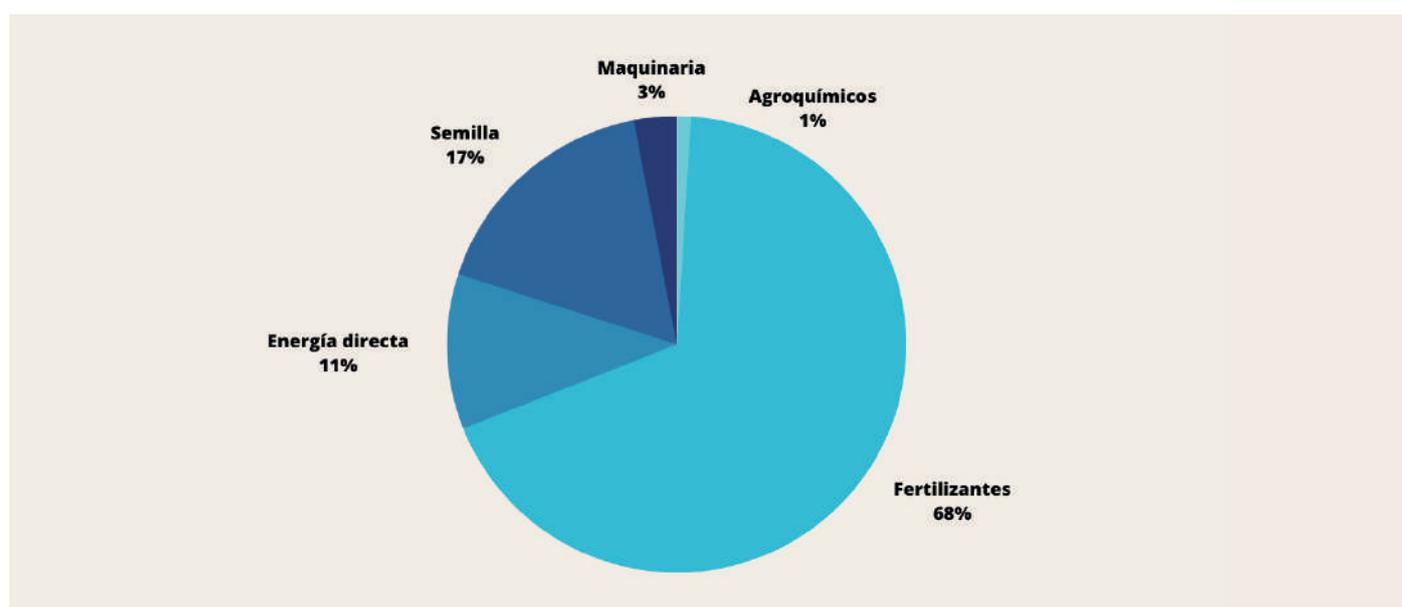


Figura 17. Consumo medio de energía en cultivos cerealistas (Fuente: proyecto Innovatrigo)



Optimización en el uso de productos fitosanitarios

El uso de productos fitosanitarios en la agricultura es muy común para aumentar las producciones de cereal y garantizar alimentos derivados de los cereales suficientes y de alta calidad, asequibles económica y medioambientalmente para la creciente población mundial.

La mayoría de estos productos fitosanitarios se producen sintéticamente y, como casi todas las sustancias químicas, suponen un riesgo potencial para la salud humana y el medio ambiente. Su uso es necesario en la mayoría de los sistemas agrícolas que actualmente se gestionan en todo el ámbito europeo.

Continuamente se introducen nuevos formulados de productos fitosanitarios con propiedades mejoradas, especialmente para un uso selectivo y tener menos impactos negativos en el agua, suelo y aire, siendo más eficaces y velando la calidad de los productos cosechados. Repercutiendo positivamente en los controles sanitarios a los que se someten los productos alimenticios para no incurrir en la salud humana.

La forma habitual de aplicación de los productos fitosanitarios es por pulverización donde en la mayoría tienen el riesgo de ser arrastrados por el viento, la escorrentía del agua y la erosión, con hasta un 95% de probabilidad de que no alcancen su objetivo ante una aplicación de productos fitosanitarios en control de plagas, enfermedades o malas hierbas (The Environmental Impact of Pesticides, 2022). Aunque muchas materias activas de estos productos fitosanitarios pueden degradarse de forma natural en el suelo, hay otras muchas que no se degradan fácilmente y permanecen en el medio ambiente durante largos periodos de tiempo (Youssef, 2019).

Se han detectado trazas de materias activas en aguas superficiales y en acuíferos propiciadas estas por el riego y las precipitaciones facilitando su transporte a las corrientes de agua, y especialmente en aquellas materias activas solubles (Sharma *et al.*, 2019).

A veces, las dosis de productos fitosanitarios que se utilizan en cultivos cerealistas son elevadas. Estas cantidades o concentraciones altas de materias activas pueden provocar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

El exceso de materia activa permanece inicialmente en las partículas del suelo, pero, finalmente, es arrastrado durante el riego o por las precipitaciones, encontrando su camino hacia los cursos de agua. Ocasionalmente problemas medioambientales por la alta toxicidad para la microfauna del suelo y fauna auxiliar, principalmente, pero también problemas sociales y económicos, viendo mermar la productividad agrícola.

La optimización en la aplicación es tan importante como su formulación química. En este sentido, debe realizarse un control exhaustivo de la forma de aplicación y del equipo de pulverización utilizado. Ya que no mantener los equipos en un correcto estado no asegura realizar una distribución óptima del producto y por tanto la eficiencia en el uso de productos fitosanitarios se reduce.

Considerando en cada caso que la aplicación puede ser foliar o al suelo directamente.

En este caso, los cultivos anuales, no se va a tener en cuenta la aplicación de productos fitosanitarios por el agua de riego.

Existen varias formas de llevar a cabo la optimización de productos fitosanitarios en una explotación agrícola, y que en gran medida están relacionadas con el sistema de cultivo y las técnicas de manejo del suelo, como puede ser la Agricultura de Conservación.

En cuanto al control de las malas hierbas, deben tenerse en cuenta algunas prácticas agrícolas para hacer posible una gestión preventiva de las mismas donde algunas están ya consideradas en los pilares de la Agricultura de Conservación, donde la única forma para eliminarlas es mediante la aplicación de herbicidas.

Para utilizar correctamente los productos fitosanitarios, hay que utilizar el producto de forma eficiente, leyendo la etiqueta del fabricante y aplicando la dosis correcta. Hay que utilizar la maquinaria adecuada y tenerla regulada correctamente.

Además, conocer los factores que influyen en la deriva de la pulverización de productos fitosanitarios y qué medidas paliativas deben utilizarse para reducirla.

Adoptando medidas tanto directas como indirectas. Las medidas directas se centran en reducir la deriva del producto. En cuanto a las medidas indirectas, hay que tener en cuenta las zonas protegidas, como las franjas de vegetación natural o zonas vulnerables a contaminación por nitratos.

Además, es muy importante tener en cuenta las condiciones meteorológicas y ambientales para llevar a cabo una aplicación de estos productos.

Las medidas directas que se deben tener en cuenta como recomendaciones a los agricultores y manipuladores de productos fitosanitarios son:

-  Conocer la Guía de Gestión Integrada de Plagas de cereal.

-  Tener un calendario de operaciones para hacer un uso adecuado de los tratamientos de preemergencia y postemergencia.

-  Disponer de un análisis sectorial de la explotación agrícola en función a las características edafísticas y de mapas de cosecha, para conocer la variabilidad productiva.

-  Evitar su uso en las proximidades de cursos de agua, arroyos, estanques, pozos, ríos, etcétera.

-  Calibración y mantenimiento de equipos de aplicación para asegurar una óptima distribución del producto sobre el cultivo o el suelo.

-  Tener en cuenta las necesidades nutricionales del cultivo, en cada ciclo de este.

-  Utilizar las nuevas herramientas tecnológicas y las innovaciones agrícolas, como el uso de pulverizadores controlados por GPS y sensores, o el pulverizador de barras para el control selectivo de malas hierbas. Gracias a la Agricultura de Precisión y a la puesta a punto de la dosificación variable.

-  Prestar atención en las boquillas del pulverizador. Deben funcionar correctamente y deben ser adecuadas para la operación agrícola y el producto aplicado. Se recomienda el uso de boquillas antideriva (Figura 18).



Figura 18 (arriba/abajo). Comparación en el uso de boquillas estándar y antideriva (Fuente: proyecto Topps-Prowadis)



🌿 No aplicar ningún producto fitosanitario o fertilizante antes de una lluvia copiosa.

🌿 Los equipos de aplicación de productos fitosanitarios deben de inspeccionarse periódicamente según el Real Decreto 1702/2011, de 18 de noviembre.

🌿 Tener vigente el Real Decreto 1050/2022, de 27 de diciembre, que establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios.

Las recomendaciones citadas anteriormente y las técnicas que se llevan a cabo para optimizar la aplicación de productos fitosanitarios tienen beneficios medioambientales, sociales y económicos:

🌿 Reducción de los insumos y de los tiempos de aplicación, lo que conlleva reducir los costes y el consumo energético de fabricación de insumos y de operaciones agrícolas.

🌿 Conservación de la biodiversidad.

🌿 Aumento de la producción al realizar dosificación variable.

🌿 Incremento de la productividad.

🌿 Prevención de la contaminación del suelo, aire y agua.

🌿 Descienden las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los insumos y de las operaciones agrícolas.

El uso de productos fitosanitarios es crucial en la agricultura actual más moderna y digital, para asegurar la seguridad alimentaria. Se produciría una pérdida sustancial de productos agrícolas sin un uso y gestión adecuados de los mismos.

Bibliografía

Sharma, A.; Kumar, V.; Shahzad, B.; Tanveer, M.; Sidhu, G.P.S.; Handa, N.; Kohli, S.K.; Yadav, P.; Bali, A.S.; Parihar, R.D. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Appl. Sci.* 2019, 10, 1446. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>

The Environmental Impact of Pesticides. Available online: <https://www.worldatlas.com/articles/what-is-the-environmental-impact-of-pesticides.html> (accessed on 30 January 2022).

Youssef, G.; Younes, R.A.-O. Photocatalytic degradation of atrazine by heteropolyoxotungstates. *J. Taibah Univ. Sci.* 2019, 13, 274–279. <https://doi.org/10.1080/16583655.2018.1563368>



Abonado de fondo incorporado en la línea de siembra

Técnicamente consiste en situar el fertilizante en la misma línea de siembra, justo en el momento en el que se deposita la semilla. El abono de fondo es un fertilizante compuesto, por nitrógeno, fósforo y potasio, principalmente, y por otros micronutrientes en pocos casos, que varían su formulación en función de las condiciones edafoclimáticas de la zona y las necesidades del cultivo a la hora de aplicarlo (Figura 19).

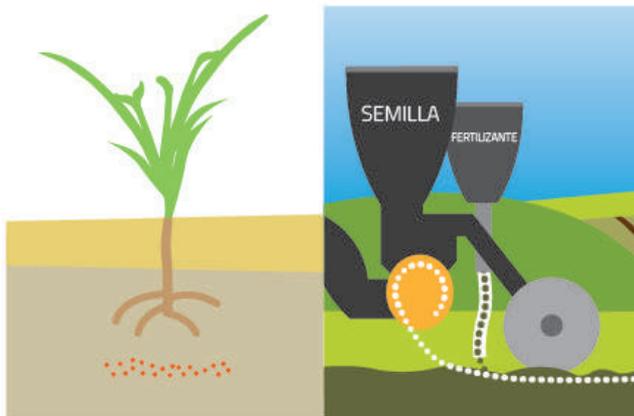


Figura 19. Disposición del fertilizante incorporado en la línea de siembra (Fuente: Antonio Tarazona S.L.U)

Para tener en cuenta, la forma de liberación de los minerales y su periodo, la formulación y la geometría del fertilizante. Por lo general, en cultivos anuales de invierno la composición principal de los abonados de fondo son nitrógeno y fósforo, siendo este el responsable de formar ATP, la molécula portadora de la energía primaria, con la función de actuar en los primeros estadios del cereal, en la fase de germinación y nacimiento de la semilla, estadios donde las necesidades energéticas son mayores (Figura 20).

Es necesario contar con la maquinaria específica, una sembradora compuesta por el tren de siembra y de abonado y con tolvas de semilla y fertilizante independientes.



Figura 20. Movilidad de los principales macronutrientes en el suelo (Fuente: Antonio Tarazona S.L.U).

Esto supone un mayor peso, aconsejando que el tractor esté provisto de neumáticos de alta flotación y además conste de dispositivos de georreferenciación y monitoreo de mapas prescriptivos para realizar dosificación variable de fertilizante y una siembra sin solapes. Consiguiendo homogenizar a nivel de producción la explotación agrícola y se evitan problemas de toxicidad de minerales y de compactación del suelo.

El fertilizante se aplica junto a la semilla en la misma línea de siembra, de forma precisa, separados ligeramente para no producir fitotoxicidad, pero estando disponibles los nutrientes para la planta asimilándolos más eficientemente (Figura 21).

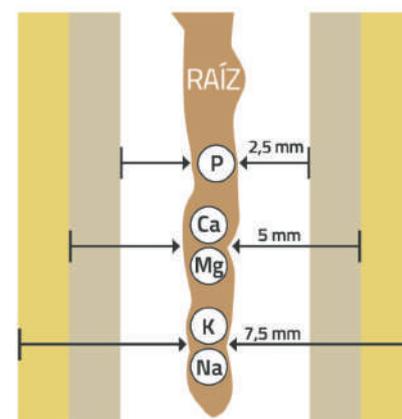


Figura 21. Distancia máxima de asimilación de nutrientes no móviles en el suelo (Fuente: Antonio Tarazona S.L.U)

Estos pueden presentarse como fertilizantes convencionales o fertilizantes microgranulados, siendo estos últimos los más destacados en planes de abonado de fondo en la línea de siembra durante los últimos años, por su eficiencia, su solubilidad y su respeto por el medioambiente.

Ventajas de aplicar fertilizantes en la línea de siembra:

- Planes de abonado ajustado a las necesidades del cultivo optimizando los gastos de insumos.

- Previene la contaminación de las aguas superficiales y de acuíferos gracias a una homogenización de la aplicación del abonado de fondo.

- Evita problemas de lixiviación de nitrógeno y el bloqueo del fósforo.

- Mayor porcentaje de emergencia de plantas de cereal debido a que tiene los nutrientes más localizados y disponibles en momentos necesarios.

- Mejora el sistema radicular de las plantas y por tanto una mayor asimilación de nutrientes y agua.

- Menores dosis de abonado suponen menores emisiones de gases de efecto invernadero y mayor rentabilidad económica.

Al aplicar productos microgranulados se obtienen mejoras desde el punto de vista medioambiental, pues al disminuir la dosis de fertilizante a aplicar se reducen de manera importante las emisiones de CO₂ equivalente.

Tal y como se muestra en la Tabla 3, el uso de fertilizantes microcomplejos, Umostart perfect o Microone, reducen las emisiones con respecto a los abonos convencionales, DAP, Triple 15 o MAP, en valores que oscilan entre las tres veces para dosis de aplicación muy bajas, 100 kg/ha, utilizadas cuando se incorpora en la línea de siembra. En dosis utilizadas a voleo, 200 kg/ha, esta reducción alcanza hasta siete veces menos las emisiones.

TABLA 3. EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE (kg/ha) DE DISTINTOS TIPOS DE ABONADO Y DOSIS DE APLICACIÓN (FUENTE: PROYECTO INNOVATRIGO)

Producto	DOSIS DE APLICACIÓN					
	40 kg/ha	100 kg/ha	100 kg/ha	100 kg/ha	100 kg/ha	100 kg/ha
DAP (18-46-0)	–	156	234	312		
Triple 15 (15-15-15)	–	117	175	233		
MAP (11-54-0)	–	124	225	248		
Umostart perfect (11-49-0)	45	–	–	–	–	–
Microone (10-40-5)	43	–	–	–	–	–



Aplicación de fertilizantes con sistemas de control de liberación en suelo

El ajuste de la fertilización en cultivos anuales es uno de los aspectos agronómicos y técnicos que mayor hincapié se debe hacer atendiendo a las condiciones climáticas de la zona, de las características del suelo, de las operaciones agrícolas precedentes y de la maquinaria disponible para realizar la aplicación de fertilizantes.

La aplicación de nitrógeno, como principal nutriente de las plantas, a los suelos agrícolas incrementa la productividad y biomasa de la planta a corto plazo; sin embargo, este nutriente en exceso puede generar impactos negativos para el medioambiente como la contaminación de aguas superficiales y acuíferos, altos consumos energéticos y emisiones de gases de efecto invernadero, etcétera.

El nitrógeno es el elemento que más influye directamente en la producción vegetal y en el contenido de proteína de los cultivos cerealistas. Este elemento es, después del agua, el factor limitante del crecimiento más importante para las plantas y, por tanto, para la producción agrícola.

El nitrógeno junto a otros nutrientes, macro y micronutrientes, se aplican en el abonado de fondo, antes o incorporado en la línea de siembra, y los abonados de cobertera dependiendo el número de aplicaciones según el estado del cultivo a lo largo de su ciclo (Figura 22).

Determinar el rendimiento supone conocer la dosis y la fuente del fertilizante aplicado, el momento y el método de aplicación, los costes por unidad de nitrógeno por hectárea, y dependiendo las condiciones edafoclimáticas.



Figura 22. Distribución de fertilizante mediante una abonadora centrífuga (Fuente: proyecto Innovatrigo)

En el caso de los fertilizantes nitrogenados varían en la concentración de nitrógeno y en la forma en la que se agregan al suelo.

El fertilizante nitrogenado más utilizado en los cultivos anuales es la urea, por su facilidad de fabricación y su alto contenido en nitrógeno, y como inconveniente, las plantas no absorben el nitrógeno soluble en el suelo en forma ureica, reduciendo así la eficiencia. Para que el nitrógeno sea asimilado por la planta debe sufrir un proceso de transformación, primero en amonio (NH_4^+) y después en nitrato (NO_3^-), que conlleva pérdidas importantes de nitrógeno por lixiviación y por volatilización.

La forma en que se evita la pérdida de nutrientes en suelo dejando de estar disponibles para la planta es utilizando fertilizantes con sistemas de control de liberación en suelo.

Compuestos por determinadas sustancias orgánicas que mejoran la manera en que un fertilizante libera los nutrientes, gracias a la aplicación de varias tecnologías con las

que se persigue liberar en función de las necesidades de la planta los nutrientes y en especial el nitrógeno.

La forma de conseguir estos sistemas de control de liberación de nutrientes es con compuestos de síntesis, como metil-urea, fertilizantes recubiertos con una película plástica y con sistemas de inhibición (Figura 23).



Figura 23. Fertilizante con sistemas de control de liberación en el suelo de un cultivo de trigo (Fuente: Antonio M. Conde López)

Un inhibidor es un compuesto que se añade a un fertilizante con nitrógeno para reducir las pérdidas cuando se aplica al cultivo, ya que inhibe o reduce la actividad en algún paso del ciclo del nitrógeno en el suelo agrícola.

Alargar el periodo en el que el nitrógeno permanece en el suelo reduce las pérdidas por lixiviación y volatilización permitiendo una liberación controlada y mejorando la eficiencia en el uso del nitrógeno y aumentando la absorción de nutrientes y agua por parte de la planta a lo largo de su ciclo.

Los inhibidores se clasifican en 2 tipos, incluidos en el Reglamento (UE) 2019/1009. La diferencia principal entre cada uno de ellos es el proceso que inhiben o reducen y el porcentaje de reducción.

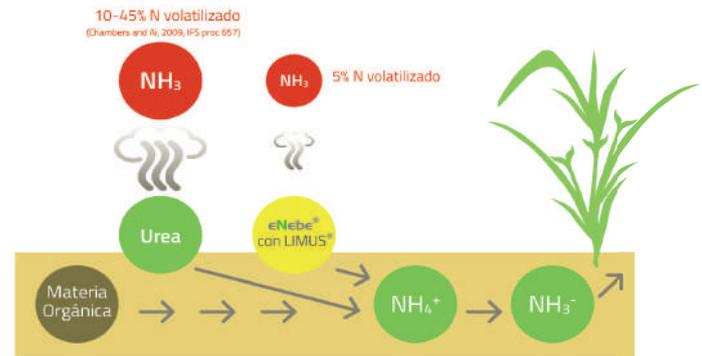


Figura 24. Inhibidor de la ureasa (Fuente: Antonio Tarazona S.L.U)

Los principales inhibidores son:

🌿 **Inhibidor de la nitrificación.** Su principal función es la reducción de la tasa de nitrificación o de la inhibición de la acción de las bacterias nitrificantes responsables de la primera fase de la transformación del amonio en nitrato, reduciendo la lixiviación. El más común es el inhibidor 3,4-dimetilpirazolfosfato (DMPP).

🌿 **Inhibidor de la ureasa.** Su principal función es la reducción de pérdidas por volatilización disminuyendo la actividad de la hidrólisis de la urea liberando el amonio más gradualmente. El más común es triamida N-butiltiofosfática (NBPT) (Figura 24).

Aplicar fertilizantes con inhibidores como sistemas de control de liberación en suelo implica beneficios, agronómicos, medioambientales y económicos, como se especifican a continuación:

🌿 Mayor productividad.

🌿 Incrementa la eficiencia en el uso del nitrógeno.

🌿 Evita las pérdidas de nitrógeno por volatilización y lixiviación.



🌱 Reducción del 30% de las Unidades de Fertilizantes de Nitrógeno (UFN).

🌱 Menores emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Su uso implica una mayor sostenibilidad y una reducción de la huella de carbono en cultivos anuales, proponiendo nuevas técnicas de cultivo con fertilizantes de liberación lenta en el suelo por su mayor poder mitigador del cambio climática.





Utilización de productos bioestimulantes mezclados con los fitosanitarios

Los productos bioestimulantes forman parte de un grupo de compuestos entre los que se encuentran abonos líquidos, micronutrientes, microalgas, etc., regulados bajo el Reglamento (UE) 2019/1009 con el fin de mejorar la capacidad de asimilación de los fertilizantes sólidos aplicados en cultivos cerealistas, tanto en abonados de fondo como abonados en cobertera, mejorando la absorción de macronutrientes y micronutrientes y la translocación de estos en la planta.

Principalmente, los productos bioestimulantes se utilizan mezclados con los productos fitosanitarios, aplicándose en distintos estadios vegetativos del cultivo.

Destacan su uso en estadios vegetativos iniciales donde los requerimientos del cereal son mayores incrementando un mayor desarrollo vegetativo, mientras que su uso en estadios como el encañado o espigado incrementa el contenido proteico repercutiendo en una mayor calidad del grano formado (Figura 25).

Los principales beneficios de los productos bioestimulantes que aportan a los cultivos cerealistas y su utilización junto a productos fitosanitarios se resumen en:

- Incrementan la actividad metabólica de la planta, aumentando su actividad vegetativa.
- Aumentan la calidad de la producción obteniendo un mayor rendimiento.
- Mayor peso específico en el grano cosechado.

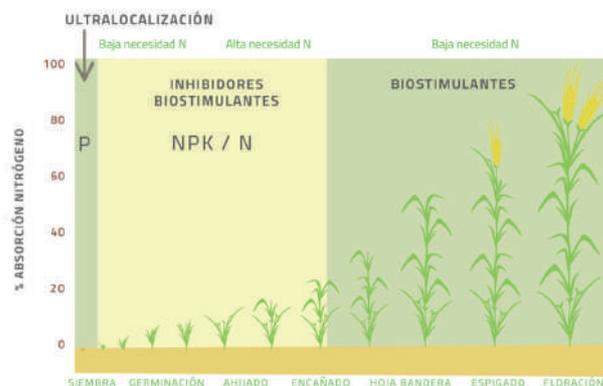


Figura 25. Momentos de aplicación de los bioestimulantes (Fuente: Antonio Tarazona S.L.U)

Optimización en la eficiencia del uso de productos fitosanitarios y fertilizantes.

Reducción de las dosis de fertilizantes y productos fitosanitarios lo que supone menor emisiones a la atmósfera y menor consumo energético.

Evita problemas de fitotoxicidad de algunos productos fitosanitarios, macronutrientes y micronutrientes.

Actúan como efecto antiestrés, principalmente estrés abiótico.

Los bioestimulantes no son aportes de nutrientes propiamente dichos, pero estimulan los procesos metabólicos de la planta.

Cuando sólo sirven para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, su tolerancia al estrés abiótico, sus propiedades de calidad, o para incrementar la disponibilidad de nutrientes inmovilizados en el suelo o la rizosfera, tales productos son por naturaleza más similares a los fertilizantes que a la mayor parte de las categorías de productos fitosanitarios.

Los más comunes que se encuentran en el mercado actual para los cultivos cerealistas son los aminoácidos (Figura 26) y los extractos de algas, encontrando varias formulaciones en ambos casos en función de su procedencia y el método de transformación.

Estos se presentan en el mercado tanto en líquido como en sólido, facilitando su aplicación en la siembra o junto a las aplicaciones de productos fitosanitarios como herbicidas.

La utilización de bioestimulantes en cultivos anuales supone medioambientalmente una reducción de emisiones de carbono atmosférico por planta mitigando el cambio climático con la optimización de los productos fitosanitarios aplicados en todo el ciclo del cultivo.

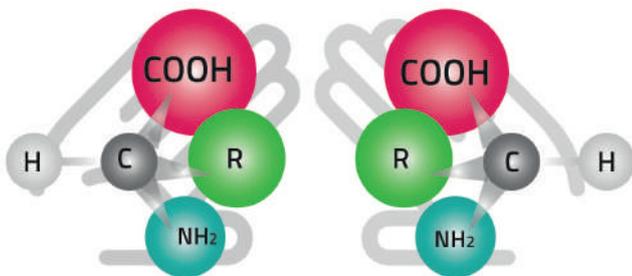
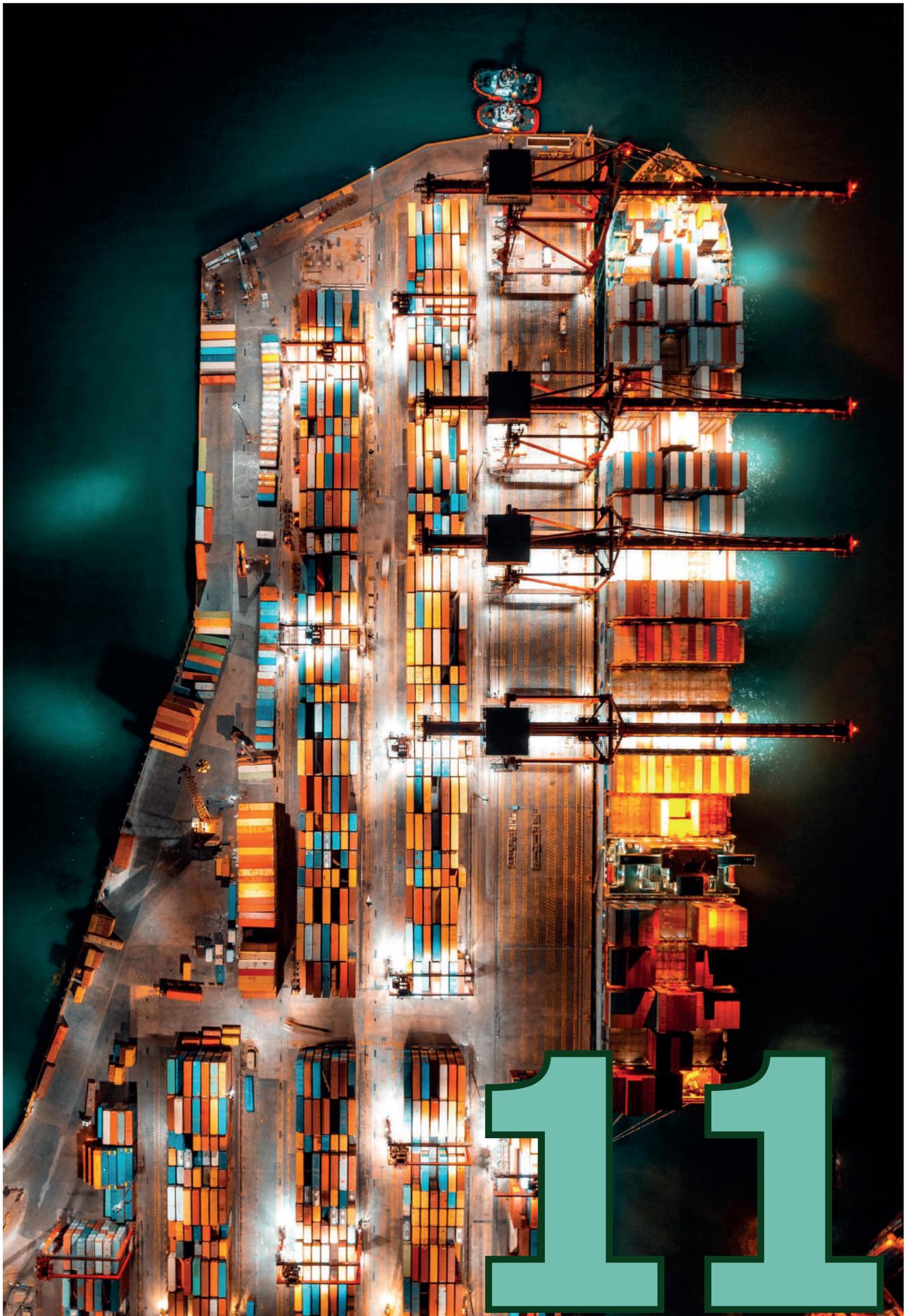


Figura 26. Estructura L-aminoácidos a la izquierda y D-aminoácidos a la derecha (Fuente: Antonio Tarazona S.L.U)





Utilización de cadenas de aprovisionamiento de proximidad

El sector agroalimentario y en concreto el sector cerealista, está centrado en la producción, fundamentalmente para uso humano, pero existe un porcentaje de uso animal, donde una gran proporción del total producido es transformado en la industria.

Por tanto, atiende a la gran demanda de alimentos por parte de la sociedad en tiempo, cantidad y calidad suficiente, siendo los cereales uno de los alimentos principales en la dieta diaria.

Sus actividades de producción están intrínsecamente relacionadas con otras actividades comerciales y económicas agrarias o no agrarias, extendiéndose así, los efectos positivos y negativos que puedan surgir a nivel nacional e internacional en la cadena de aprovisionamiento, de transporte y de distribución.

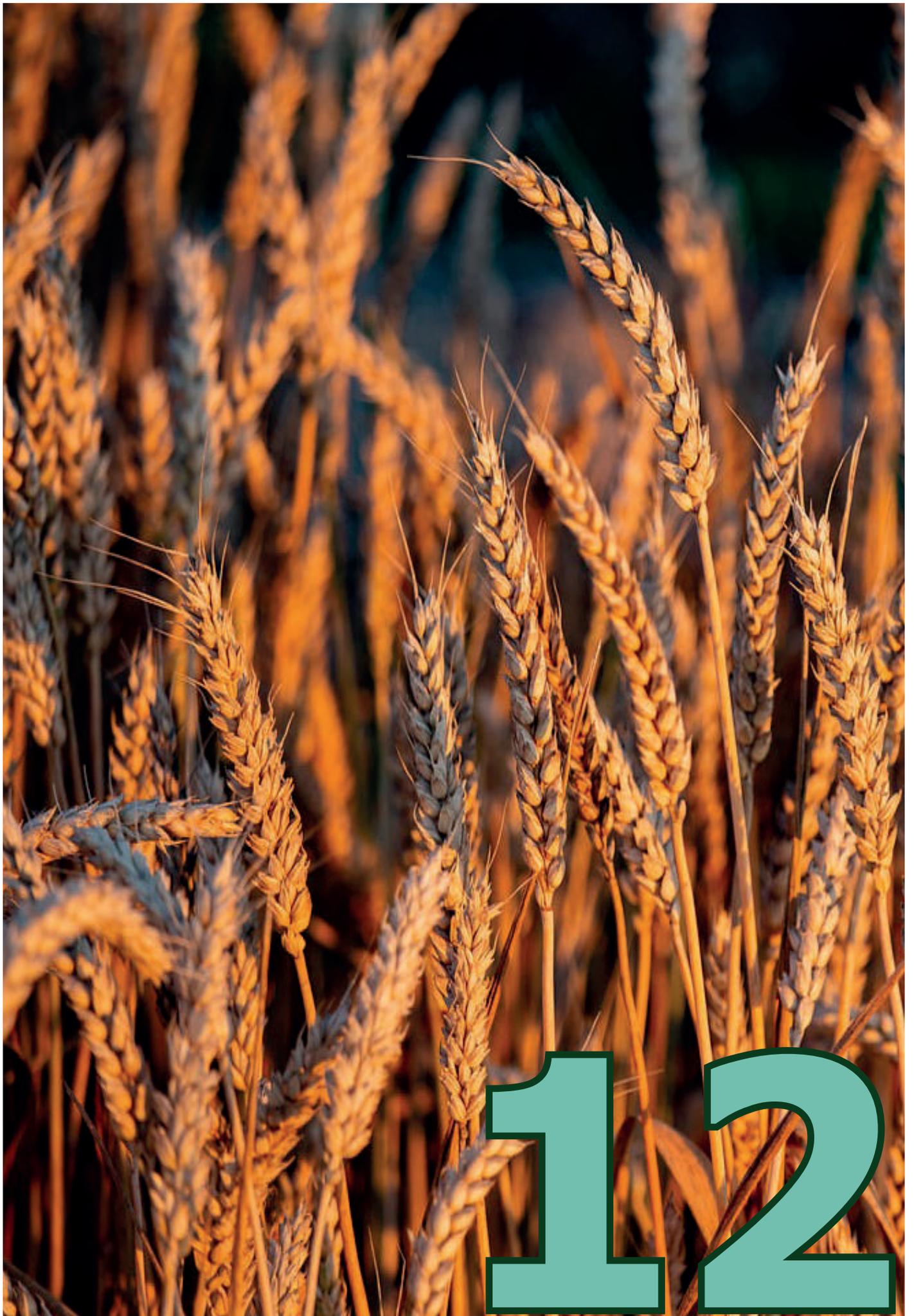
La logística de aprovisionamiento de todos los eslabones de la cadena agroalimentarias, desde el cultivo del cereal, su transformación, la elaboración del producto final, su transporte y distribución y comercialización de los productos tanto primarios como transformados, es de vital énfasis en la sostenibilidad económica, social y medioambiental.

Ya que la industria se abastece del sector agrícola para transformar la materia prima, que en este caso son cultivos cerealistas, en diferentes productos que puedan ser posteriormente consumidos por el ser humano o animales.

El objetivo marcado es optimizar los tiempos de la cadena, manteniendo la calidad del producto, reduciendo así los insumos y la energía empleada en cada eslabón, con el fin de no incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero en su conjunto.

La cadena de valor se inicia con la necesidad manifestada por el consumidor, por lo que toda la cadena agroalimentaria de suministro vendrá condicionada por la ubicación de los mercados que se desean abordar la comercialización de materia prima o productos transformados de cultivos cerealistas.

La optimización de la logística de cadenas de aprovisionamiento debe llevarse a cabo en base a las ubicaciones relativas de los procesos comerciales e industriales previstos, como son la zona de producción cerealista, el área de transformación y de comercialización de los productos, finalmente.



Indicadores

De forma complementaria se ha resumido en la siguiente tabla el impacto positivo que tienen cada una de las Buenas Prácticas descritas anteriormente sobre diferentes indicadores agronómicos, económicos y medioambientales.

TABLA 4. IMPACTO DE LAS BUENAS PRÁCTICAS EN DIFERENTES INDICADORES

BUENAS PRÁCTICAS	BIODIVERSIDAD	EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	PRODUCCIÓN	COSTES	CALIDAD DEL GRANO COSECHADO	PLAGAS Y ENFERMEDADES
Siembra directa	++	++	++	+	+++	+	+
Rotación de cultivos	+++	+	+	++	+	+	+++
Semilla certificada y semilla de reemplazo	+			+++	+	+++	+++
Uso de sistemas de ayuda al guiado		++	+++	+	+		
Recolección de cosecha con monitor de rendimiento		++	++		+		
Distribución variable de fertilizantes		+++	+	++	++		+
Optimización en el uso de productos fitosanitarios	++	++	++	++	++	++	++
Abonado de fondo incorporado en la línea de siembra		++	+++	+++	++	+	
Aplicación de fertilizantes con sistemas de control de liberación en suelo		+++	++	+++	+	+	
Utilización de productos bioestimulantes mezclados con los fitosanitarios		+++	++	+++	+	+	
Utilización de cadenas de aprovisionamiento de proximidad		+++		+	+++		



InnoCereal

Beneficiarios:



Beneficiarios asociados:

