Grupo Operativo INNOVATRIGO

Innovaciones para la mejora de la sostenibilidad ambiental y económica de la producción de trigo en España

MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPAs)

Representante: aetc

Coordinador técnico: Universidad de Córdoba

Socios beneficiarios: Agrifood comunicación; AEAC.SV Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos; Tarazona

Colaboradores: Carrefour; DCOOP

Apoyo técnico: Grupo AN

Unión Europea. Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural. Europa invierte en las zonas rurales

Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

PNDR Programa Nacional de Desarrollo Rural 2014-2020

Proyecto cofinanciado en un 80% por la Unión Europea a través del FEADER, con un montante total de la ayuda de 544.637,83 €

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

Editores:
José María Basanta Reyes
Jesús A. Gil Ribes
Francisco Márquez García

Diseño y maquetación:
Manuel Ramírez Torrescusa

ISBN: 978-84-09-18594-8

Índice:

1. Rotación de cultivos 5
2. Aplicación de buenas prácticas en el uso de fitosanitarios 7
3. Uso de sistemas de ayuda al guiado 11
4. Semilla certificada 15
5. Siembra directa 17
6. Abonado de fondo incorporado en la línea de siembra 21
7. Distribución variable de fertilizantes 23
8. Aplicación de fertilizantes con sistemas de control de liberación en suelo 27
9. Utilización de productos bioestimulantes mezclados con los fitosanitarios 29
10. Recolección de cosecha con monitor de rendimiento 31
11. Utilización de cadenas de aprovisionamiento de proximidad 33

Índice de figuras 34
Índice de tablas 34

Autores:

José María Basanta Reyes. Asociación Española de Técnicos Cerealistas (AETC)
Jesús A. Gil Ribes. Universidad de Córdoba (UCO)
Manuel Gómez Ariza. Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV)
Francisco Manuel Sánchez Ruiz. Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV)
Paula Macarrón Juárez. Agrifood Comunicación
Francisco Márquez García. Universidad de Córdoba (UCO)
Sergio Monzón Bartolomé. Antonio Tarazona S.L.U.



1 Rotación de cultivos

Manuel Gómez Ariza y Francisco Manuel Sánchez Ruiz.
Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV)

La rotación de cultivos es la práctica de alternar las especies anuales cultivadas en una parcela concreta mediante una secuencia de cultivos en sucesivas campañas, contrariamente al monocultivo, donde se repite la misma especie año tras año. La rotación de diferentes especies de cereal también se considera rotación de cultivo.

En el monocultivo con el tiempo se aumenta el riesgo de problemas derivados de plagas y enfermedades específicas del cultivo debido a que se mantienen unas condiciones favorables.

En el caso de las malas hierbas, se favorecen a las que se adaptan al ciclo de cultivo y a las que por la naturaleza del mismo (hoja ancha o estrecha), coinciden con el cultivo.

Por otro lado, al explorar siempre la misma zona del perfil edáfico, se produce un agotamiento de nutrientes, al extraer los mismos elementos a las mismas profundidades. Estos problemas inciden en el normal desarrollo de las plantas y, por lo tanto, en un descenso de producción y de rentabilidad de la explotación.

Al rotar los cultivos se producen una serie de ventajas:

- El sistema radicular es diferente y mejora la eficiencia del uso de nutrientes al extraer diferentes elementos a distintas profundidades. Cultivos con raíces profundas extraen a mayor profundidad.
- Se obtienen beneficios en términos de mejora de la calidad del suelo (más raíces y/o más profundas, exudados), mejor distribución de los nutrientes en el perfil del suelo. Incremento de la actividad biológica.
- Algunos cultivos generan efectos positivos en el siguiente incrementando las producciones.
- Se reduce la incidencia de plagas y enfermedades: el cambio de cultivo supone un cambio de hábitat, por lo que los ciclos de vida de las plagas y enfermedades se interrumpen.
- Se puede mantener un control de malas hierbas, mediante el uso de especies de cultivo muy vigorosas, cultivos de cobertura, que se utilizan como abono verde o cultivos de invierno cuando las condiciones de temperatura, humedad de suelo o riego lo permiten.
- Ayuda a disminuir los riesgos económicos, en caso de que llegue a presentarse alguna eventualidad que afecte a alguno de los cultivos.
- Permite regular la cantidad de restos de cosecha, ya se pueden alternar cultivos que producen escasos residuos con otros que generan gran cantidad de ellos.

Recomendaciones para llevar a cabo la rotación de cultivos:

- Es recomendable alternar especies más demandantes de insumos con especies menos exigentes o que incluso mejoren el suelo (enriqueciéndolo y aumentando su fertilidad, como ocurre con las leguminosas).
- Deben alternarse cultivos con diferentes sistemas radiculares para que exploren y extraigan el agua y los nutrientes de diferentes profundidades del suelo. En este sentido, los cereales tienen raíces fasciculadas y se concentran en los perfiles superficiales frente al girasol o la colza con sistemas radiculares pivotantes y más profundos.
- De incluirse una campaña de barbecho en la rotación, es recomendable implantar durante la misma una leguminosa con la finalidad de proteger el suelo contra la erosión y mejorar la fertilidad del mismo.

La implantación de rotaciones de cultivo tiene un efecto beneficioso sobre la mitigación del cambio climático, dado que al mejorar de manera significativa el control sobre malas hierbas, plagas y enfermedades, se optimizarán los tratamientos fitosanitarios realizados, tanto en lo referente al número de tratamientos como a las dosis. Esta optimización en el uso de productos conlleva un menor consumo energético derivado de la producción de los mismos y una disminución en el gasto de combustible necesario para su aplicación en la parcela.

Al incluir especies con diferente sistema radicular que mejoran el uso del nitrógeno aplicado con la fertilización y la utilización de leguminosas con baja demanda de

fertilizantes e incluso fijan nitrógeno para el siguiente cultivo, disminuyen el uso de fertilizantes y, por lo tanto, la energía requerida. Además, el uso de fertilizantes nitrogenados conlleva volatilización del nitrógeno en forma de NO_2, que es un potente gas de efecto invernadero, por lo que un menor y mejor uso provoca una disminución de emisiones a la atmósfera.

Por otra parte, esta práctica es también de ayuda en la adaptación al cambio climático, dado que nos permitirá implantar diferentes cultivos con ciclos y características adaptadas a las condiciones climáticas conforme el clima va evolucionando.



Figura 1. *Explotación con diferentes cultivos en rotación. En primer plano se está cosechando el cereal y a continuación se disponen cultivo de garbanzo y de girasol.*



Figura 2. *Esquema de rotación de cultivos*



2 Aplicación de buenas prácticas en el uso de fitosanitarios

Francisco Márquez García. Universidad de Córdoba (UCO)
Jesús A. Gil Ribes. Universidad de Córdoba (UCO)

Utilizar los productos agroquímicos de manera inadecuada genera graves problemas tanto en la propia explotación, como fuera de ella. Sobre abonar, al no aplicar lo que realmente necesita el cultivo, aplicar dosis excesivas de herbicidas fungicidas, y plaguicidas, y más aún no realizarlo en su momento adecuado, ocasiona no sólo una merma económica importante en la explotación agrícola al utilizar más producto del necesario, sino también ocasiona un importante deterioro ambiental pues estos productos resultan altamente tóxicos tanto para el suelo, microfauna y agua cuando son utilizados de manera inadecuada.

Además, no mantener los equipos en un correcto estado de funcionamiento, situación muy habitual en la mayoría de las explotaciones agrícolas, ocasiona errores en la distribución del producto. En muchas ocasiones, aunque la cantidad total de producto aplicada sea la deseada, la distribución del mismo dentro de la parcela es incorrecta, concentrando el producto en algunas zonas y dejando de aplicar en otras. Este hecho es habitual cuando no se realiza un correcto mantenimiento de las boquillas de aplicación o no se tiene una correcta posición de las paletas de distribución del abono. Cuando los productos agroquímicos no se utilizan de manera adecuada no sólo se está perdiendo rentabilidad en la explotación, sino que además se generan graves episodios de contaminación de daño a la fauna auxiliar, que cuando son generalizados, como ocurre con cierta asiduidad, desencadenan en la restricción o incluso prohibición en el uso de productos agroquímicos.

La optimización en el uso de agroquímicos consiste no sólo en emplear las materias activas necesarias siempre en el momento y dosis oportuna, sino también en utilizar equipos en condiciones óptimas de mantenimiento y calibración. Es un concepto muy parecido al de agricultura integrada utilizada esencialmente con los plaguicidas, pero que engloba un espectro más amplio de productos: herbicidas, fungicidas y abonos.

Esta práctica difiere de manera importante en la forma de actuación habitual de la mayor parte de los agricultores, que aplican, en la mayoría de las ocasiones, los mismos productos, dosis y fecha de aplicación año tras año. Sin tener en cuenta las necesidades reales del cultivo y en la mayoría de las ocasiones con equipos que no han recibido el mantenimiento y la calibración oportunas. Por lo que han de utilizarse con equipos que presenten un correcto estado de calibración y mantenimiento, a la par que el uso de estos productos no debe realizarse en aquellas zonas y periodos que puedan ocasionar contaminación, como se describe a continuación:

1. **Calibración y mantenimiento de equipos de aplicación de agroquímicos**: estas máquinas son dos básicamente abonadoras y equipos de aplicación de fitosanitarios (barras de aplicación para el suelo del cultivo y atomizadores para la copa). Las abonadoras no tienen un mantenimiento específico salvo el correcto estado de los sistemas de distribución, que son en las pendulares el distribuidor final de salida y en las centrifugas las paletas de los discos que para cada tipo de abono tienen un posición específica para asegurar la correcta distribución del mismo sobre el terreno. En cuanto a los equipos de aplicación de fitosanitarios, en un principio deben cumplir los requisitos impuestos por la Directiva 2009/128/CE sobre inspección de equipos en uso y traspuesta a España en el Real Decreto 1702/2011, aunque es importante tener especial cuidado con el cambio anual de las boquillas de aplicación y a ser posible de que estas sean anti-deriva y que el manómetro esté en correctas condiciones de funcionamiento.

2. **Normas básicas de utilización de productos fitosanitarios**: en cuanto a los abonos se ha de tener en cuenta inicialmente la zona donde se encuentra nuestra explotación, pues si es zona de contaminación de nitrógeno existirán unas restricciones específicas en el uso del mismo. También en caso de abonar antes de una lluvia copiosa se deberán usar productos que no sean muy móviles en el agua, el uso de nitratos es desaconsejable pues pueden producir problemas de lixiviación y contaminación de acuíferos. En el caso contrario de que sea necesario abonar y no se prevean lluvias, se desaconseja la utilización de urea pues es muy volátil y se producirán elevadas pérdidas por emisión a la atmósfera. Tanto para el abono como los fitosanitarios se ha de evitar su uso en las proximidades de cursos de agua, aunque estos sean temporales, como vaguadas o cañadas.

El uso de estos últimos siempre debe de estar condicionado a la existencia de fauna auxiliar. Por ejemplo, en el caso de tener colmenas en nuestra explotación el uso de herbicidas hormonales contra la hoja ancha siempre se deberá realizar al atardecer, periodo de menor actividad de las abejas. Finalmente se desaconseja la utilización de cualquier fitosanitario antes de lluvias copiosas.

¿Cuáles son las ventajas de la optimización en el uso de agroquímicos?

El uso de estas técnicas tiene unos beneficios que sólo se circundan al límite de la explotación agrícola, sino que también influye en localidad medioambiental de los agrosistemas.

- Reducción de los costes en agroquímicos en general, pues se puede reducir la dosis a aplicar al conocer la demanda exacta del cultivo y el tiempo y condiciones óptimas de aplicación.
- Aumento de la producción de los cultivos al mejorar su estado nutritivo y sanitario.
- Incremento de los beneficios económicos en las explotaciones agrícolas al reducir sus costes productivos y aumentar sus ingresos por la venta de la cosecha.
- Reducción de la contaminación difusa de las aguas al no producirse pérdida de productos por su mal uso en la aplicación.
- Disminución de las emisiones de óxido nitroso debido a la volatilización del abono asociado a una mala práctica de uso.
- Incremento de la fauna auxiliar del suelo al utilizar los fungicidas y plaguicidas sólo cuando se necesitan y en su dosis adecuada.



Recomendaciones para llevar a cabo la optimización en el uso de agroquímicos:

1. Tener no sólo un conocimiento empírico de nuestra explotación, conociendo qué suelos son más ricos y productivos, las zonas que se encharcan, etc., sino que el agricultor debe apoyarse en análisis de suelo que le permita conocer de manera real la variabilidad de su finca y sus condiciones físico-químicas.

2. Realización de mapas de cosecha anualmente, que permita al agricultor conocer la variabilidad productiva de su explotación, y a que se debe, condiciones de suelo, tipo de cultivo, meteorología, etc.

3. Uso de sistemas de apoyo a la decisión que permitan en función de todos los datos recabados anualmente con los análisis de suelo, mapas de cosecha, precipitaciones, etc., ayudar al agricultor a tomar decisiones y a optimizar el manejo del cultivo y el uso de agroquímicos.

4. Muchos de los equipos de aplicación de fitosanitarios no cumplen antes de salir de fábrica con los requisitos necesarios impuestos en el Real Decreto 1702/2011, por lo que es de utilidad solicitar a los fabricantes un comprobante de que sus máquinas cumplen con la normativa.

5. Cambio anual de las boquillas de aplicación y siempre que sea posible es recomendable utilizar boquillas antideriva.

6. Los manómetros son instrumentos muy sensibles y que necesitan una calibración periódica, aunque esta es difícil de realizar. Por lo que, debido a su bajo coste, menos de 10 €, resulta aconsejable su cambio cada tres años.

7. No utilizar en ningún caso productos agroquímicos antes de lluvias copiosas y menos aún cerca de cursos de agua.

8. Es recomendable utilizar abonos de la mayor calidad posible, ya que estos presentan una distribución de secciones del pelet más homogénea y estable, lo que favorece su correcta distribución.

Influencia de la optimización en el uso de agroquímicos sobre la mitigación y adaptación al cambio climático.

La aplicación de estas técnicas influye de manera directa en la mitigación del cambio climático por dos vías:

1. Reducción de las emisiones superfluas de óxido nitroso al disminuir los procesos de volatilización del abono al mejorar su aplicación en campo.

2. Reducción del gasto energético de las explotaciones al utilizar menos cantidad de agroquímicos y por tanto, la consiguiente disminución de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el proceso de fabricación de los mismos.




HAWE
HAWE-Überladewagen
FENDT 820
FENDT

3 Uso de sistemas de ayuda al guiado

Francisco Márquez García. Universidad de Córdoba (UCO)
Jesús A. Gil Ribes. Universidad de Córdoba (UCO)

La agricultura de precisión representa un conjunto de técnicas que permiten optimizar el uso de insumos, las labores realizadas al cultivo y la producción final, reduciendo los costes de producción y el impacto sobre el medio ambiente. Se configura como un conjunto de herramientas que permiten realizar cada una de las tareas que componen la actividad agrícola con el mayor nivel de precisión y eficiencia. Estas herramientas están basadas generalmente en las nuevas tecnologías y su aplicación abarca desde la toma minuciosa de datos del cultivo, hasta la ejecución de las operaciones mecanizadas mediante maquinaria agrícola.

Aunque cualquier parte del ciclo productivo agrícola es susceptible de ser realizado ayudándose de técnicas de agricultura de precisión, no es necesario aplicarlas abarcando todo él. Pueden orientarse exclusivamente a una parte como la fertilización, la realización de labores, al riego, o al calendario y zonificación de la cosecha como ocurre en la vendimia para vinos de calidad.

La agricultura, al igual que la gran mayoría de sectores productivos, es una actividad que evoluciona continuamente con la aparición de nuevas tecnologías. Si bien es cierto, quizás en el sector agrícola, la adopción de las mismas no es tan rápida como en otros y muchos de los avances surgen generalmente en distintos ámbitos y son adaptados para su uso agrícola. Así, por ejemplo, el desarrollo de los sistemas de posicionamiento global (GPS), base principal de la agricultura de precisión, son el resultado de un desarrollo militar que después fue adaptado a diversos sectores.

Por tanto, la agricultura de precisión supone el desembarco de las nuevas tecnologías en las tareas agrícolas, y no sólo como podría pensarse en un principio, limitándose a los aspectos de la gestión de la contabilidad, subvenciones, impuestos, etc., sino también en el día a día de los trabajos a pie de parcela, en el control de la maquinaria, de los riegos o permitiéndonos el acceso a información anteriormente difícil de conseguir, sobre todo aportando al agricultor herramientas para tomar decisiones en cuanto a la forma de abonar, aplicar herbicida, sembrar, etc.

Los elementos claves que han posibilitado el desarrollo la agricultura de precisión son: la informática, los sistemas de control electrónico y muy especialmente los GPS. Estos últimos nos permiten identificar de manera precisa la posición de la maquinaria o georreferenciar cualquier punto de evaluación de diversos parámetros, propiedades físico-químicas del suelo, malas hierbas, productividad, etc., a través de la información obtenida de las distintas constelaciones de satélites, ver Figura 3.



Figura 3. Constelación de satélites orbitando alrededor de la tierra

Estos sistemas se posicionan utilizando la constelación de satélites que orbitan alrededor de la tierra, ver Figura 4, calculando así su latitud, longitud y altura. Aunque en vehículos que se encuentren en movimiento también se conoce su velocidad. El método de funcionamiento es el siguiente: los receptores GPS calculan la distancia a la que se encuentran de cada uno de los satélites disponibles en el horizonte en ese momento, ese cálculo se realiza a partir del retraso con que reciben las señales respecto al momento en que fueron emitidas.



Figura 4. Triangulación para conocer las coordenadas de un punto terrestre

Como inconveniente cabe reseñar la mayor necesidad de formación del personal, aunque por lo general son equipos bastante intuitivos y además un desembolso inicial elevado, aunque está tecnología está en continua evolución y cada vez a precios más asequibles.

La forma de trabajo de los sistemas de guiado no es más que una imitación del procedimiento normal que un conductor lleva a cabo; en cada momento compara su situación y trayectoria con las que debería tener y que previamente fueron establecidas mediante unas marcas de referencia, corrigiendo en uno u otro sentido en caso de que la divergencia supere un umbral. Lo que ocurre es que en el caso de la ayuda al guiado estas correcciones son aportadas por los sistemas de posicionamiento global.

Para los sistemas de guiado existen dos alternativas en función de los requerimientos del agricultor:

1. **Sistemas de ayuda al guiado**. También se conocen con el nombre de barra de luces, y consisten en una pantalla que mediante un código de colores nos va indicando si llevamos el rumbo adecuado, normalmente color verde, o si nos estamos separando de la trayectoria de amarillo a rojo en función de la desviación, ver Figura 5. En esta alternativa las desviaciones han de ser corregidas por el tractorista, por lo que a pesar de que se disminuyen los solapes aún siguen existiendo errores de carácter humano.



Figura 5. *Sistema de ayuda al guiado mediante barra de luces, arriba, y monitor de rendimiento, abajo, montado en cosechadora.*

2. **Sistemas de guiado automático**. Estos sistemas son más caros que los anteriores pero más precisos ya que actúan directamente corrigiendo la trayectoria del tractor sin necesidad de interacción con el operario. Existen dos alternativas: sistemas móviles que permiten instalarlos en diversos equipos y que actúan sobre el volante, ver Figura 6, o sistemas fijos, "autopilot", que actúan directamente sobre el sistema de dirección de la máquina, por lo general en el sistema hidráulico de la dirección.



Figura 6. *Sistema de guiado automático móvil "EZSteer" acoplado al volante del tractor*

La elección de estos sistemas viene condicionada normalmente por las características de los trabajos a realizar. Así por ejemplo en operaciones con mucho ancho de trabajo como los abonados o barras de tratamientos se puede recurrir a la ayuda al guiado, pero en el caso de realizar siembras o plantaciones de árboles es el guiado automático el que nos proporcionará mejores resultados.

Los sistemas de agricultura de precisión debido a la optimización que aportan en el uso de insumos propician un importante ahorro de energía y por consiguiente, se muestran como un sistema eficaz en la lucha contra el cambio climático.

Estos ahorros se consiguen por diversas vías, la primera y más directa es el ahorro energético asociado a la reducción en el uso de combustible e insumos que los sistemas de guiado aportan al reducir los solapes. Así, por ejemplo, en la tabla 1 se muestran algunos resultados obtenidos dentro del proyecto "LIFE+AGRICARBON", apreciándose como en las operaciones de laboreo

existen unos elevados solapes, especialmente para la grada de discos una de las labores más comunes. Estos se pueden disminuir con los sistemas de guiado como se observa para las operaciones de abonado y barra de tratamientos en las que se han utilizado sistemas de ayuda al guiado y el solape se ha reducido un 42 y 63% respectivamente respecto a las mismas operaciones sin guiado. En el caso de la siembra se recurrió a sistemas de guiado automático ocasionando una reducción del solape del 35%, menor que los anteriores. Pero cabe reseñar que esta situación se debe al bajo solape en la siembra convencional ya que esta operación en cualquier sistema de manejo se lleva a cabo con gran cuidado. Sin embargo, en la agricultura de precisión el solape fue tan sólo de un 5%, prácticamente despreciable y con una alineación perfecta de la siembra.

Tabla 1. Consumo de combustible y solapes de las labores más comunes en los cultivos de secano. AP "Agricultura de Precisión", LC "Laboreo Convencional"

Operación	Consumo de combustible (l/ha)	Solape
Operación	22,5±4,1	16,2±3,7
Chisel	14,1±0,8	16,2±11,6
Semichisel	6,7±3,1	4,7±1,3
Grada de discos	7,7±1,1	35,1±7,8
Cultivador	6,1±1,2	12,5±11,3
Sembradora AP	7,7±1,0	5,5±5,9
Sembradora LC	6,0±1,6	8,4±7,0
Barra de tratamientos AP	1,1±0,3	7,4±7,2
Barra de tratamientos LC	1,1±0,4	12,7±9,7
Abonadora AP	0,9±0,4	5,5±3,6
Abonadora LC	0,9±0,5	14,7±9,7
Cosechadora AP	11,4±0,9	-
Cosechadora LC	10,0±0,7	-
Empacadora	5,2±0,2	-



4 Semilla certificada

Paula Macarrón Juárez. Agrifood Comunicación

El material vegetal utilizado para la siembra 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 año, eligiendo acertadamente qué variedad sembrar y también la calidad de la semilla a utilizar.

El empleo de semilla certificada, como producto de primera calidad y estandarizado, es la solución para aumentar la productividad y contribuir a una agricultura innovadora, rentable y sostenible con los medios que posee el agricultor.

La semilla certificada es el fruto de la investigación en la mejora genética y de la tecnología, que se traslada al campo y es garantía de calidad, trazabilidad y homogeneidad.

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, conforme a la estricta normativa de calidad establecida.

La utilización de semilla certificada supone múltiples ventajas:

- **Mayor rendimiento:** la semilla certificada está seleccionada y tratada para garantizar una buena implantación del cultivo con el objetivo de asegurar y aumentar la producción,racionalizar el uso de inputs, mejorar la cosecha y, por tanto, la rentabilidad de las explotaciones. Asimismo, se disminuyen las malas hierbas.

- **Mayor ahorro:** la semilla certificada requiere una menor dosis de siembra como consecuencia de la garantía de la germinación y el óptimo estado sanitario de la semilla que ofrece la certificación, así como un menor tiempo de preparación/ acondicionamiento de la semilla.

- La semilla certificada 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.




SOLA
SD-1605

5 Siembra directa

Manuel Gómez Ariza y Francisco Manuel Sánchez Ruiz.
Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV)

La siembra directa es una de las prácticas agronómicas de la agricultura de conservación en cultivos anuales que consiste en la no realización de laboreo en el suelo, al menos el 30% de su superficie se encuentra protegida por restos vegetales y la siembra se realiza con maquinaria adaptada a suelos inalterados mecánicamente y en el que se encuentran los restos del cultivo anterior. Por tanto, la siembra directa se trata de la mejor práctica a la hora de conservar el suelo debido a que la supresión del laboreo mantiene la estructura del mismo.

Según estudios realizados en España (Márquez-García et-al., 2013; Ordóñez-Fernández et al., 2007) el umbral del 30% de restos vegetales necesarios para proteger el suelo frente a la erosión (Figura 7) concuerda con el Conservation Technology Information Center (CTIC, 2016).

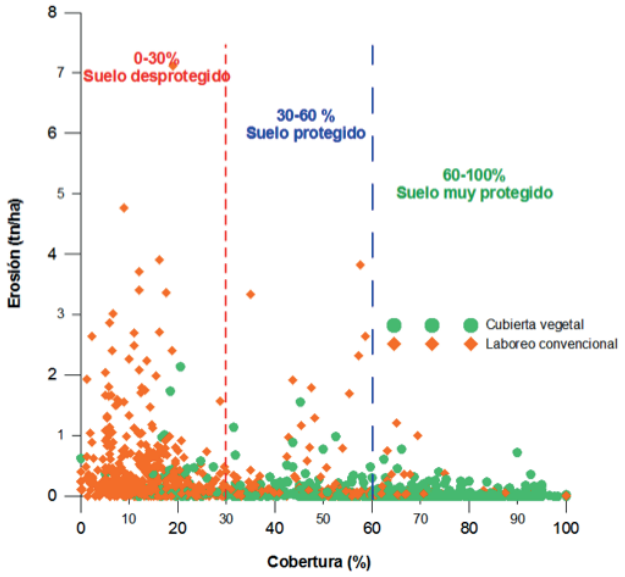


Figura 7. Erosión del suelo en función del porcentaje de superficie cubierta por restos vegetales.
Fuente: AEAC.SV.

Desde el inicio de la agricultura, para un correcto establecimiento de los cultivos, se ha necesitado un laboreo previo a fin de controlar las malas hierbas y crear un lecho de siembra lo suficientemente homogéneo como para que las sembradoras pudiesen trabajar adecuadamente. Para ello, se han utilizado aperos que, con el aumento de la intensificación y de la disponibilidad de potencia en los tractores, han propiciado un aumento del riesgo de pérdida del suelo al dejarlo desprotegido, provocando su vulnerabilidad frente a los agentes erosivos.

En la siembra directa no se requiere la realización de labor de preparación del terreno previa a la siembra. Se realizan operaciones de control de las malas hierbas con herbicidas y se utiliza la maquinaria de siembra adecuada.

¿Cómo realizar la siembra directa?

Para que la siembra sea correcta, es necesario que durante la cosecha del cultivo precedente la cosechadora realice un adecuado picado y distribución de los restos vegetales ya que, si éstos quedan en un cordón central, se generará una falta de homogeneidad que afectará negativamente a la operación de siembra. Es recomendable, por tanto, que la cosechadora cuente con picadora y esparcidora de restos de cultivo.

Desde el momento de la cosecha de un cultivo hasta la siembra del siguiente, se debe mantener vigilancia sobre las malas hierbas, prestando especial atención al control de la vegetación adventicia en el periodo inmediatamente anterior a la siembra. Los propios restos sobre el suelo, unido a una adecuada rotación de cultivos ayudan a conseguirlo, si bien también es necesaria la utilización de herbicidas. Estos productos se utilizarán siempre a dosis autorizadas y sólo cuando las condiciones de la parcela lo exijan.

En lo referente a la fertilización, es recomendable realizarla de forma localizada y simultáneamente con la siembra. El mercado ofrece maquinaria de siembra directa que incorpora el sistema de fertilización localizada. Para realizar la siembra es fundamental contar con una sembradora adaptada a las características del suelo y, al tipo y volumen de residuos vegetales sobre los que se siembre.

Para implantar correctamente la semilla sobre un suelo cubierto de restos vegetales, el tren de siembra dispone de varios dispositivos. Por lo general, una sembradora directa dispone de:

- Elemento separador y/o cortador de los restos vegetales, constituido por discos.

- Dispositivo abresurco, con varias modalidades: discos simples o dobles inclinados con respecto a la superficie del suelo y a la dirección de avance, o rejas que actúan sobre el suelo ejerciendo el corte en sentido vertical.

- Elemento fijador de la semilla en el suelo.

- Por último, y para el cierre del surco de siembra, se disponen de ruedas tapadoras al final del tren de siembra.



Figura 8. Ejemplo de equipo siembra directa compuesto de (comenzando por la izquierda): disco de corte de residuos y preparación previa del terreno; discos tipo "soles" para despeje de restos sobre la línea de siembra; discos abresurcos (van en forma de V) con rueda de goma que actúa como control de profundidad. En el interior va el tubo que deposita las semillas en el suelo); por último, se sitúan los discos de cierre de surco.

Durante el periodo de desarrollo del cultivo, en caso de ser necesario, se aplicarán herbicidas selectivos (autorizados para el cultivo en cuestión y a dosis autorizadas) para el control de las malas hierbas. En caso de que el cultivo requiera de abonado de cobertera durante su desarrollo, éste se llevará a cabo siguiendo las mismas pautas que en agricultura convencional.

Ventajas que presenta la siembra directa

La siembra directa tiene implicaciones directas sobre el sostenimiento de la estructura del suelo, reduciendo la vulnerabilidad ante los procesos erosivos que se produce al arar la superficie del mismo. Pero la reducción en la pérdida de suelo y nutrientes no son las únicas ventajas de implantar estas técnicas. Al reducir el número de labores sobre el suelo y, por tanto, los pases de maquinaria, el agricultor disminuye su gasto en combustible, aumentando la eficacia económica de su actividad agrícola. A su vez, dicha reducción, disminuye la posibilidad de que se produzcan fenómenos de compactación del suelo.

La biodiversidad también se ve mejorada con el empleo de sistemas en los que la alteración del suelo es reducida. La inalteración del suelo permite que la fauna edáfica sea más diversa y la cadena trófica sea más compleja. Este hecho es especialmente relevante para la calidad del suelo, pues estos organismos provocan la aireación del mismo y favorecen la infiltración del agua. Pero su mayor interés es su labor descomponedora de los residuos del rastrojo, liberando nutrientes para el suelo.

Como se ha mencionado anteriormente, la implantación en un terreno agrícola de prácticas de siembra directa, generalmente lleva aparejado el mantenimiento de la cubierta de restos de la cosecha del año anterior durante el crecimiento del cultivo. Esto es debido a que en el proceso de siembra apenas interfiere que el rastrojo permanezca depositado sobre la superficie. Por tanto, los efectos benefactores sobre nutrientes del suelo, humedad, biomasa y biodiversidad que aporta la cubierta de restos se suman a los propios de la siembra directa. La combinación de ambas prácticas posee un efecto sinérgico, mediante el cual se potencian sus repercusiones, dando como resultado un mayor beneficio para el agricultor y el medio que desarrolladas independientemente.

Influencia del laboreo del suelo sobre la mitigación y adaptación al cambio climático

Históricamente, el laboreo intensivo de las tierras agrícolas ha causado pérdidas sustanciales (desde un 30% al 50%) del carbono del suelo. Estas pérdidas de carbono se deben a la fragmentación del suelo que ocasiona el laboreo y que facilita la actividad biológica, produciéndose el intercambio de CO_2 y O_2 del suelo con la atmósfera y viceversa. Las labores de la agricultura convencional (laboreo de inversión, con arado de volteo, grada de discos o rotovator) entierran los restos vegetales y dejan el suelo en condiciones óptimas para que se produzcan pérdidas de CO_2, a la vez que se reduce el efecto sumidero del suelo.

Al disminuir la labor en el suelo hay una menor exposición de los agregados del suelo a la atmósfera lo que reduce la meteorización de los compuestos

orgánicos y mantiene una mayor humedad que favorece la actividad de los microorganismos. Ambos procesos tienden a aumentar la concentración de carbono orgánico en el suelo disminuyendo el volumen de CO_2 que se libera a la atmósfera.

La aplicación de medidas de siembra directa o no laboreo sobre el suelo, aportan beneficios que no solo se circunscriben al agricultor, sino que también tiene repercusiones de gran importancia a nivel ambiental. El empleo de estas técnicas reduce la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) por parte de la maquinaria agrícola, en virtud de un menor uso de la misma (menor consumo de combustible). Además, al no llevarse a cabo el proceso de laboreo del suelo, no se favorece el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera, quedando el carbono almacenado en el suelo.

Bibliografía

Conservation Technology Information Centre (CTIC) (2019). Tillage Type Definitions. Visitado el 30 de Junio de 2019. http://ctic.paqinteractive.org/resourcedisplay/322/

Márquez-García, F., González-Sánchez, E. J., Castro-García, S., Ordoñez-Fernández, R. (2013). Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed. Spain J Agric. Res 11(2), 335-346.

Ordóñez Fernández, R., González Fernández, P., Giráldez Cervera, J. V., Perea Torres, F., (2007). Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in Southern Spain. Soil Till Res. 94, 47–54.





6 Abonado de fondo incorporado en la línea de siembra

Sergio Monzón Bartolomé. Antonio Tarazona S.L.U.

Antes de la siembra se aplica en cereal abono de fondo con el fin de mejorar la germinación y el desarrollo inicial de los cereales. Estos fertilizantes suelen estar compuestos por nitrógeno, especialmente fósforo, y en aquellos suelos pobres también se incorpora potasio.

El macronutriente más importante en el momento de la siembra es el fósforo ya que es el responsable de formar ATP que produce la energía de la planta y la germinación es una etapa con muchas necesidades energéticas.

Se suelen aplicar a todo terreno siendo necesario grandes cantidades de fertilizante para asegurar la asimilación por parte de las raíces de las plantas que germinan. Como se muestra en la Figura 9, el fósforo no es móvil en agua a diferencia del potasio y especialmente el nitrógeno que sí que lo son.

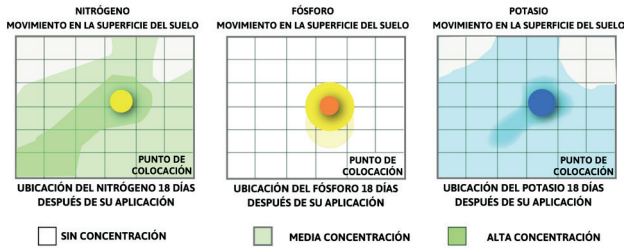
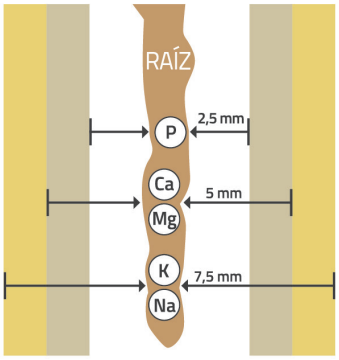


Figura 9. Movilidad de los principales macronutrientes en el agua



Si a esta situación se le une que el fósforo es necesario que esté muy cerca de la raíz para que la planta lo pueda asimilar, ver Figura 10, no tomará más que el fertilizante que se encuentre a menos de 2,5 mm, lo que ocasiona que gran parte del abono aplicado no esté disponible para la planta.

Figura 10. Distancia máxima de asimilación de nutrientes no móviles en agua

Como respuesta a estos inconvenientes se aplica el fertilizante junto a la semilla en la misma línea de siembra, aunque separados ligeramente para no producir fitotoxicidad. Por tanto, la sembradora debe tener una tolva para la semilla y otra para el abono, ver Figura 11. Estos sistemas hacen que el aporte de nutrientes sea preciso y más eficiente, y similar en todas las áreas del campo. Esto permite conseguir una homogenización del cultivo, ya que no hay pérdidas de las unidades de fertilizante aportado, y se mejora el sistema radicular de las plantas, lo que puede incrementar el rendimiento de los cultivos.



Figura 11. Sembradora directa con tolva para la semilla junto al tractor y tolva trasera de abono microgranulado.

En la línea de siembra se pueden incorporar abonos convencionales o abonos microgranulados, que se aplican en la siembra con tecnología de ultralocalización. Esta tecnología aporta un mayor rendimiento de la absorción de los nutrientes, ya que es una técnica de fertilización de precisión y eficiente, que permite que todas las unidades de fertilizante sean aprovechables por las plantas y de esta forma favorecer la agricultura sostenible mediante la reducción de la huella de carbono. Así se consigue reducir aún más las dosis de unidades fertilizantes, evitándose problemas de lixiviación de nitrógeno y el bloqueo del fósforo. El tamaño de partícula de estos fertilizantes microgranulados es fundamental para la mejora de la solubilidad de los mismos y así su optima absorción.

Al aplicar productos microgranulados se obtienen mejoras desde el punto de vista medio ambiental, pues

al disminuir la dosis de fertilizante a aplicar se reducen de manera importante las emisiones de CO_2 equivalente. Tal y como se muestra en la Tabla 2, el uso de abonos 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 2. Emisiones de CO_2 equivalente (kg/ha) de distintos tipos de abono y dosis de aplicación

	Dosis de aplicación			
Nombre del producto	40 kg/ha	100 kg/ha	150 kg/ha	200 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	-	-	-



7 Distribución variable de fertilizantes

Francisco Márquez García. Universidad de Córdoba (UCO)
Jesús A. Gil Ribes. Universidad de Córdoba (UCO)

El resultado final de un cultivo, en cuanto a beneficio obtenido, depende en parte de las decisiones de manejo adoptadas a lo largo del ciclo de éste, de cómo se han llevado a cabo estas decisiones y diversos factores externos al agricultor, muy especialmente las condiciones meteorológicas de la campaña agrícola. Las decisiones a tomar comienzan con el sistema de manejo de suelo a realizar, agricultura de conservación o laboreo convencional, y dentro de este: labores profundas o someras, y continúan con con la dosis del abonado de fondo, herbicidas, siembra, abonado de cobertera, riegos, etc.

Históricamente los agricultores han basado la toma de decisiones en una serie de conocimientos empíricos o normas de prácticas habituales de la zona, que en muchas ocasiones proporcionan un buen comportamiento local, pero no tienen ningún soporte técnico. Sin embargo, las decisiones en agricultura de precisión se basan en estudios de los diversos factores relacionados con la producción. Así, por ejemplo, se realizan mapas de diversas propiedades físico-químicas del suelo (compactación, humedad, nutrientes, materia orgánica, etc., ver Figura 12), para después contrastarlos con los mapas de producción obtenidos mediante monitores de rendimiento instalados en las cosechadoras.

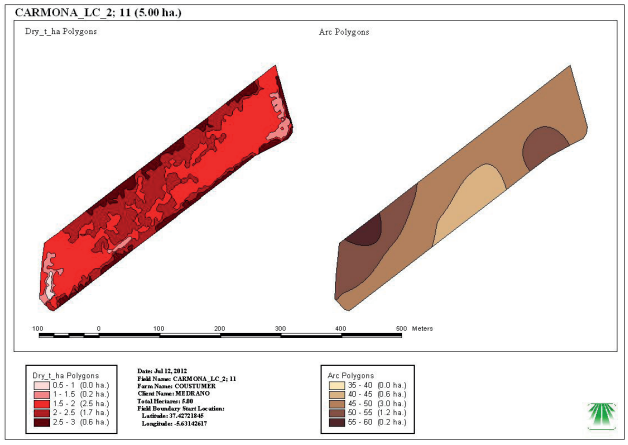


Figura 12. Mapa de rendimiento de un cultivo de habas y mapa de contenido en arcilla de esa parcela

La agricultura de precisión presta una serie de herramientas al agricultor para facilitarle la toma de decisiones, basándose ésta en la generación de información derivada de diversos indicadores de los cultivos. Las formas de muestrear estos indicadores y procesar la información es diversa y combina los mapas de cosecha citados anteriormente con otras metodologías como los mapeos de suelo, puesto que este medio es la base sobre la que se implanta el cultivo y uno de los parámetros más influyentes en la producción, junto con la climatología. No sólo es interesante conocer sus propiedades físicas (compactación, textura, distribución de humedad, etc.), por su capacidad como factor limitante en la cosecha, sino que también es conveniente estudiar las químicas (materia orgánica, nitrógeno, fósforo, etc.) como factor importante en la prescripción, por ejemplo, de dosis de abonado.

La forma de testear el suelo es diversa, pudiendo recurrir a muestreos manuales mediante el uso de barrenas (Figura 13) muy útil cuando la superficie a caracterizar es pequeña. Cuando el tamaño de la parcela es mayor se pueden utilizar quads automatizados específicos para muestrear suelo, Figura 14. La manera de trabajar es sencilla, se debe dividir el campo a muestrear en una malla imaginaria, normalmente cuadrada, en función de la forma de la parcela, en la que se toman los muestreos en el centro de esta superficie. El tamaño de estas divisiones varía en función del tamaño de la besana. Para campos pequeños con superficie inferior a 10 ha podríamos muestrear mallas de unos 0,5 ha. Para superficies mayores deberíamos realizar retículas entre 1 y 2 ha. La forma de hacer estas particiones es diversa, aunque son de gran utilidad el uso de pocket pcs o diversos dispositivos móviles a los que se les pueden instalar programas específicos como el EZ Maps, ver Figura 15.



Figura 13. Muestreos simultáneos con barrena para caracterizar una parcela experimental.



Figura 14. Quad preparado para muestrear suelo



Figura 15. Pocket pc con programa EZ Maps para toma de muestreos en campo

Cuando las superficies son aún mayores o se quiere muestrear todo el terreno de forma continua se puede recurrir a dispositivos móviles que mediante campos electromagnéticos son capaces de muestrear distintas propiedades del suelo, humedad, textura, etc. Uno de estos instrumentos diseñado para ser especialmente útil en estudios para agricultura es el EM38. Puede cubrir grandes áreas rápidamente sin electrodos en el terreno. Provee profundidades de penetración de 0,75 m y 1,5 m en los modos de dipolo vertical y horizontal respectivamente. Las mediciones normalmente se hacen poniendo el instrumento sobre el suelo y leyendo el indicador, aunque se puede adaptar a una caja y ser propulsado por un quad, Figura 16.



Figura 16. Sonda EM 38 arrastrada por quad

En la actualidad, estos mapas se utilizan preferentemente para realizar abonados variables en función de la producción obtenida y de las diversas características físico-químicas del terreno, como se ha comentado anteriormente. Sin embargo, uno de los mayores cuellos de botella que se encuentran los agricultores o los técnicos a la hora de aplicar estas técnicas es que no existen modelos fiables del comportamiento de los cultivos frente a diversos insumos. Es decir, la respuesta del cultivo, por ejemplo, a la aplicación de abono es muy variable y depende de gran cantidad de factores globales: tipo de abono, variedad de semilla, climatología de la zona, etc., y también de carácter local, meteorología del año agrícola, tipo y fertilidad del suelo, actividad enzimática del mismo, etc. Por ello, no existen reglas generales que permitan conocer de forma certera la respuesta del cultivo a esa aplicación de fertilizante.

Existen diversos métodos para aplicar abono de forma variable, aunque primeramente se ha de atender a la forma en la que se presenta el abono. En el caso de ser fertilizante líquido la solución es mucho más sencilla, ya que con la mera instalación de un caudalímetro que mida instantáneamente la cantidad de líquido que está pasando se podría solucionar el problema, Figura 17, variando la dosis a aplicar en función de los requerimientos del mapa de prescripción o de los sensores hiperespectrales.

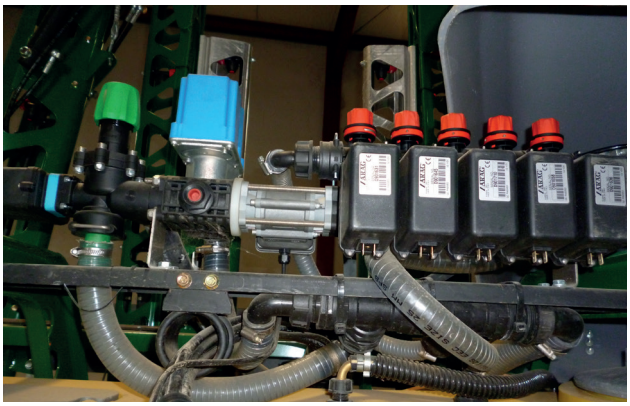


Figura 17. Caudalímetro aforador instalado en una barra de aplicación preparada para la dosificación variable de abono líquido

En el caso del abono sólido, bien granulado o en polvo, la dosificación se complica, siendo necesario implementar un mayor número de actuadores. Lo primero que se ha de conocer es el caudal másico que fluye por la abonadora en función de la superficie de apertura del distribuidor. Éste variará en función del tipo de abono y de abonadora, ver Figura 18.

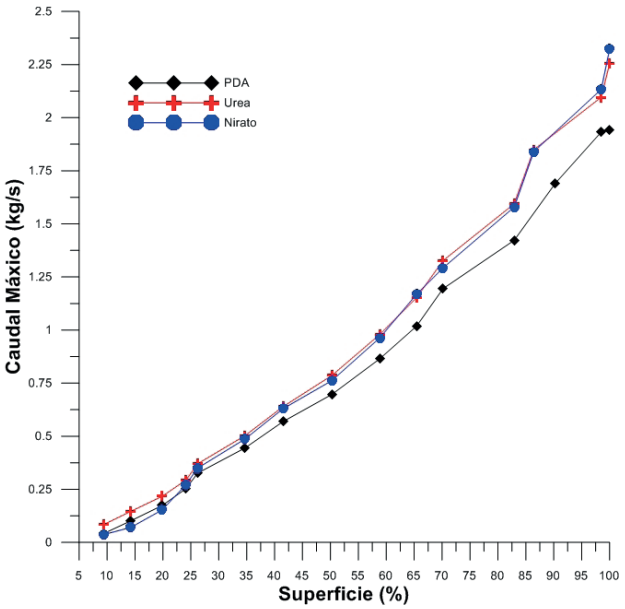


Figura 18. Caudal másico en función de la superficie de apertura de los tres principales abonos utilizados en el cultivo de cereal: fosfato diamónico "PDA", urea y nitrato amónico "Nitrato"

Además, estas máquinas han de tener algún tipo de sistema que permita abrir y cerrar las trampillas de caída del abono en función de la dosis a aplicar. Normalmente, se suele disponer un actuador, por lo general eléctrico, en cada trampilla que las abren o cierran en función de las necesidades de abono.

Debido a que por lo general la granulometría de los abonos es muy variable y depende mucho de la partida adquirida, se ha de instalar algún tipo de sistema que vaya testeando la cantidad de abono que se está realmente aplicando. Un buen sistema, puede ser la instalación de células de carga que cada cierto tiempo vayan calculando el peso de la abonadora y recalculen realmente la dosis que está aplicando la misma, ver Figura 19.

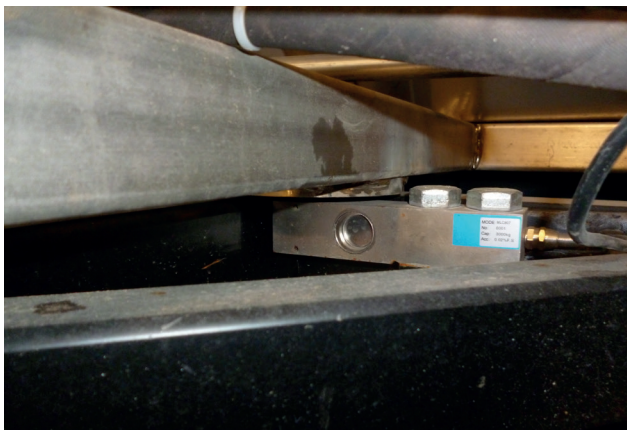


Figura 19. Célula de carga instalada en abonadora

Cabe reseñar que todos estos sistemas son automáticos y están gobernados por diversos hardware colocados en la cabina del tractor, no necesitando la actuación del tractorista, salvo para cargar el mapa de prescripción, ver Figura 20.

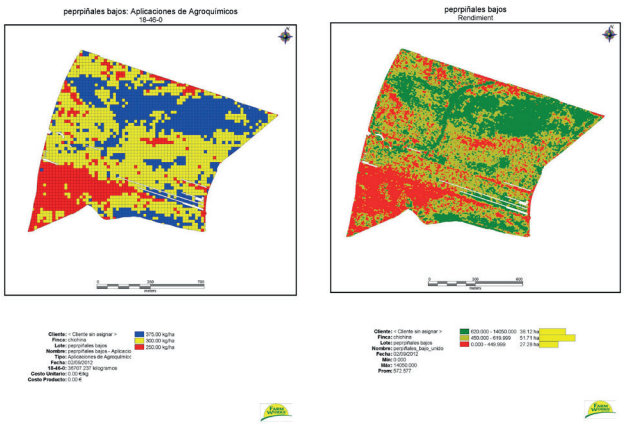


Figura 20. Mapa de prescripción y de abonado variable realizado en función de la producción de la parcela

Una de las reducciones más importantes que se obtienen en las emisiones de gases es la aplicación variable de insumos, especialmente fertilizante. Aunque esta disminución dependerá de diversos factores entre ellos el tipo de cultivo. Como se aprecia en la Figura 21, la distribución del nivel de emisiones de las diferentes fases productivas varía de manera muy importante en función del cultivo elegido. Así en el trigo el mayor gasto energético se realiza en la aplicación de fertilizante, por lo que será especialmente interesante la aplicación variable de abono.

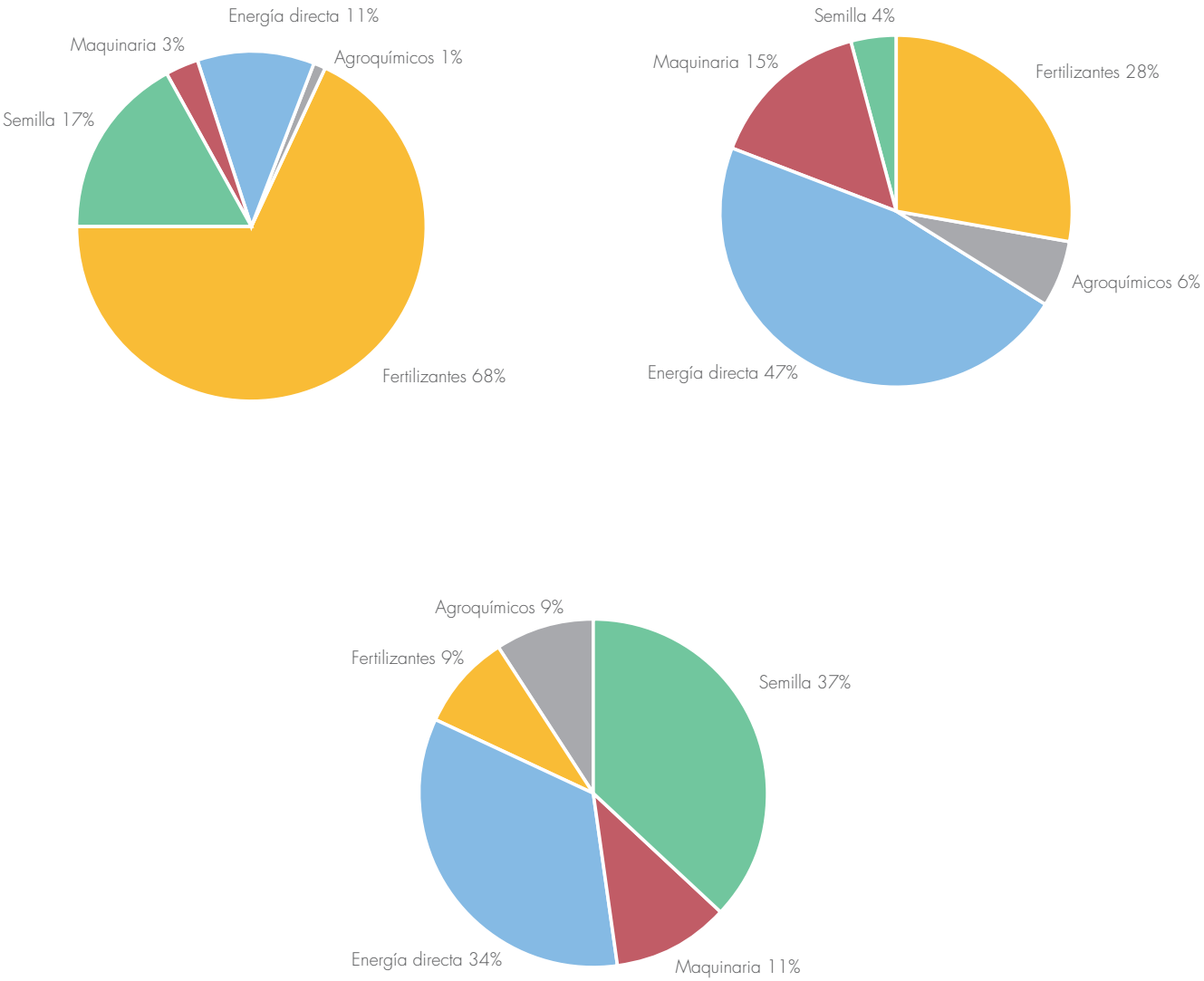


Figura 21. Consumo medio de energía por cultivo y sistema de manejo

En los cultivos de girasol y leguminosas el consumo de abono es menor, siendo el mayor gasto energético el consumo de gasoil como energía directa. Por tanto, es especialmente interesante en estos cultivos utilizar sistemas de guiado que optimicen la realización de las labores y también aplicación variable de agroquímicos, especialmente herbicida, 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 el herbicida y el abono dependerán de diversos factores: heterogeneidad de la explotación, distribución de malas hierbas, etc. Así en fincas heterogéneas con grandes variaciones productivas asociadas al tipo de suelo, se podrían conseguir ahorros de abono de hasta un 20-30%. En el caso de los herbicidas las reducciones pueden ser mucho mayores, siendo muy dependientes de la distribución en la aparición de malas hierbas, aunque en muchas ocasiones pueden llegar al 50-60%.

8 Aplicación de fertilizantes con sistemas de control de liberación en suelo

Sergio Monzón Bartolomé. Antonio Tarazona S.L.U.

El nitrógeno es el fertilizante más utilizado como abono en los cereales aunque, debido a la complejidad que este nutriente tiene en cuanto a su ciclo de vida en el suelo, aire y agua, ver Figura 22, hace que su uso pueda producir episodios de contaminación importantes.

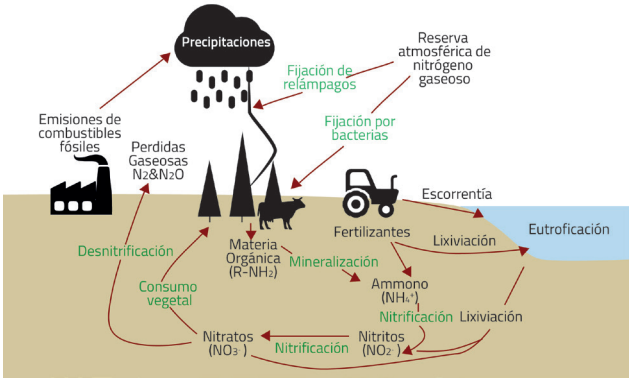


Figura 22. Ciclo del nitrógeno en la agricultura y ganadería

El nitrógeno se puede presentar de muy distintas formas en los fertilizantes, como amonio (NH^{4+}) altamente volátil; como nitratos (NO^{3-} o NO^{2-}), muy móvil en el agua o en forma ureica, también muy contaminante. Para evitar en la mayor medida de lo posible estos inconvenientes, se utilizan determinadas sustancias y mezclas que mejoran la manera en que un abono libera un nutriente, ralentizando o impidiendo la actividad de grupos específicos de microorganismos o enzimas. Estas sustancias suelen incorporarse en los pelets del abono, que es aplicado al suelo u agua de riego y no influyen en la solubilidad del mismo, ni en su forma de distribución (ver Figura 23).





Figura 23. Distribución de abono de liberación lenta mediante abonadora centrífuga y pelets en el suelo

La liberación lenta es la aplicación de varias tecnologías con la que se busca liberar lentamente los nutrientes en especial el nitrógeno, para evitar así su perdida por volatilización o lixiviación. De esta forma los nutrientes están en todo momento disponibles para la planta.

Las técnicas intentan mejorar la eficiencia del ciclo del nitrógeno:

- **Compuestos de síntesis:** como metil-urea o similares donde los átomos del metilo dan densidad electrónica al carbono ceto C=O haciendo que este tenga menos densidad de carga positiva y, por lo tanto, la hidrólisis sea más lenta.

- **Fertilizantes recubiertos:** se pone una película, normalmente un polímero, recubriendo al fertilizante que por diferentes mecanismos se va desintegrando y permitiendo el paso del agua de manera que se van liberando los nutrientes.

- **Sistemas de inhibición:** estos afectan a diferentes enzimas que catalizan distintas reacciones del ciclo del nitrógeno.

Entre los principales inhibidores se encuentran:

A. Inhibición de la ureasa: las moléculas más utilizadas son la NBPT o una mezcla de la NBPT-NPPT siendo esta última más efectiva. En estos sistemas se evitan las pérdidas por volatilización, ver Figura 24.

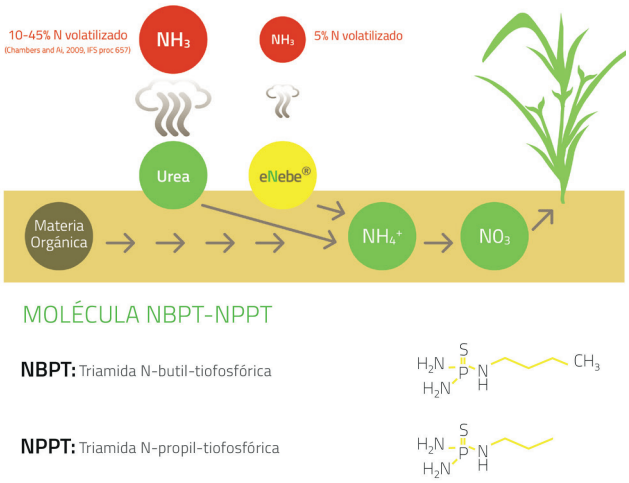


Figura 24. Forma de actuación de los inhibidores de la ureasa

Beneficios:

1. Reducción del 25-30% de Unidades Fertilizantes de Nitrógeno (UFN)
2. Alta eficiencia del nitrógeno ureico
3. Versatilidad y flexibilidad del momento de aportación
4. Reducción de la huella de carbono y mayor sostenibilidad

B. Inhibidor de la nitrificación: la molécula más utilizada es la DMPP, donde se evita principalmente la pérdida de nitrógeno por lixiviación, ver Figura 25.

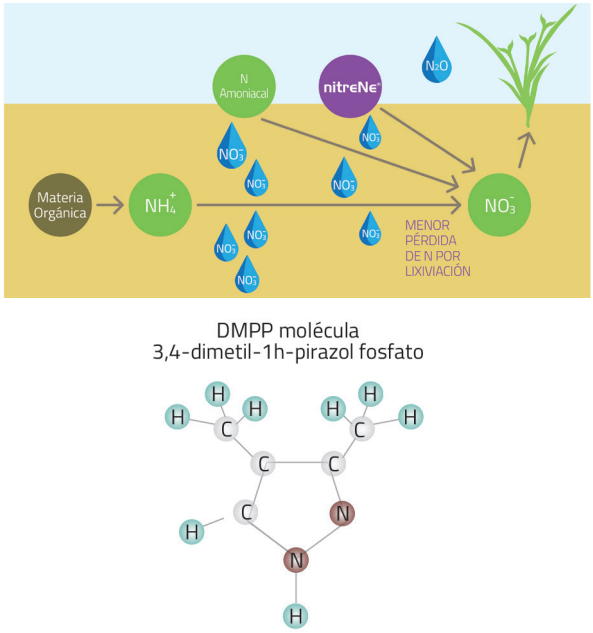


Figura 25. Forma de actuación de los inhibidores de la nitrificación

Beneficios:

1. Reducción de las pérdidas medias por lixiviación en un 30% (depende del suelo, temperatura y pH.)
2. Incrementa la eficiencia del nitrógeno nítrico
3. Reducción de la huella de carbono y mayor sostenibilidad.



9 Utilización de productos bioestimulantes mezclados con los fitosanitarios

Sergio Monzón Bartolomé. Antonio Tarazona S.L.U.

La productividad de los cultivos y la calidad de su grano, se encuentra estrechamente ligada a su fertilización, siendo su forma y los compuestos utilizados uno de los principales factores que influirán en la cosecha. Por otra parte, es el mayor gasto en el que ha de incurrir el agricultor en la producción de trigo. Por tanto, se ha de intentar optimizar su uso para que la planta pueda asimilar la mayor cantidad de nutrientes aportados con el fin de obtener el máximo desarrollo vegetativo y cosechas posibles y, además, para evitar las posibles contaminaciones que se ocasionan cuando no se hace un uso adecuado de los fertilizantes.

El uso de distintos compuestos (abonos líquidos, micronutrientes, microalgas, etc.) conocidos comúnmente como **bioestimulantes**, han mostrado la capacidad para mejorar la asimilación de los fertilizantes sólidos ya que propician un incremento de la actividad metabólica de la planta, aumentando su actividad vegetativa y facilitando la asimilación de macronutrientes aportados en las coberteras de abonos sólidos.

Estas sustancias se pueden utilizar en distintos momentos del desarrollo vegetativo del trigo, ver Figura 26. En estadíos iniciales se consigue que el cereal tenga un mayor desarrollo vegetativo y en la fase de encañado o espigado especialmente se suele conseguir mejor calidad de la producción.

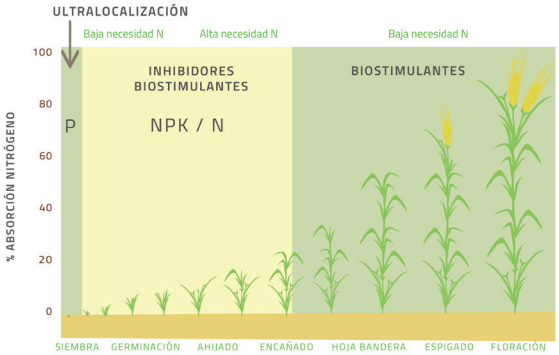


Figura 26. Momentos de aplicación de los bioestimulantes en cereal

Los bioestimulantes no son aportes de nutrientes propiamente dichos, pero estimulan los procesos naturales de nutrición. Cuando sólo sirven para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes de los vegetales, 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 productos fertilizantes que a la mayor parte de las categorías de productos fitosanitarios. Actúan además de los fertilizantes, con el objetivo de optimizar la eficiencia de dichos fertilizantes y reducir las dosis de aplicación de los nutrientes. Por tanto, deben poder ser objeto del marcado CE con arreglo al presente Reglamento y quedar excluidos del ámbito de aplicación del Reglamento (CE) nº 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios. Procede, por tanto, modificar en consecuencia el Reglamento (CE) Nº 1107/2009.

Medioambientalmente son muy interesantes utilizarlos porque vamos a incrementar las producciones y como consecuencia conseguiremos reducir los equivalentes de CO_2/planta. Para poder entender la bioestimulación hay que mirar en el interior de las plantas ya que estas tienen el primer y segundo metabolismo del carbono, ver Figura 27. Los bioestimulantes potencian el funcionamiento de las mismas, y por lo tanto incrementan sus rendimientos. Asimismo, ayudan a salir de la parada invernal, superar momentos de fitotoxicidad de los fitosanitarios, estrés abiótico, etc.

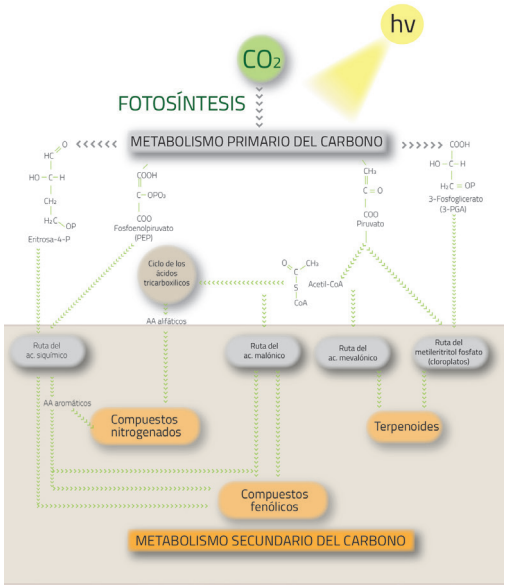


Figura 27. Esquema general del primer y segundo metabolismo del uso de carbono de las plantas

Los bioestimulantes más utilizados en trigo son los aminoácidos y los extractos de algas, que se describen a continuación.

Las algas tienen diferentes tipos de moléculas en su interior tales como polisacáridos, carbohidratos, azúcares, vitaminas, micro y macroelementos, fitohormonas, polialcoholes, flavonas, flavanoides, etc.

En el mercado se podrán encontrar diferentes tipos de algas (marrones, rojas entre otras) dependiendo del tipo de alga, su lugar de procedencia, forma de recolección, método de extracción encontraremos algas de mayor o menor calidad lo que influirá en la producción y por lo tanto, en la huella de carbono.

En cuanto a los aminoácidos existen diferentes tipos según su procedencia de síntesis. La hidrólisis enzimática e hidrólisis ácida son los más recomendables para uso general, pues los compuestos generados serán L-aminoácidos que son los absorbibles por las plantas, a diferencia de los D-aminoácidos que no se pueden absorber a pesar de ser una imagen especular de los L-aminoácidos, ver Figura 28.

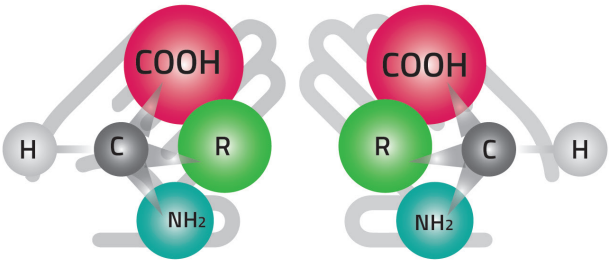


Figura 28. *Estructura L-aminoácidos a la izquierda y D-aminoácidos a la derecha*



10 Recolección de cosecha con monitor de rendimiento

Francisco Márquez García. Universidad de Córdoba (UCO)
Jesús A. Gil Ribes. Universidad de Córdoba (UCO)

Posiblemente la variable más importante a estudiar sea la variabilidad espacial de la producción. Para ello, se realizan mapas de cosecha con la ayuda de cosechadoras dotadas con monitor de rendimiento. Estas son capaces de medir la cantidad de producto que están cosechando instantáneamente, conocer las coordenadas geográficas donde se encuentran y guardar esta información punto a punto de la parcela para posteriormente generar los mapas de variabilidad de la cosecha mediante variaciones colorimétricas que indican los diferentes rendimientos obtenidos y su superficie asociada, ver Figura 29.

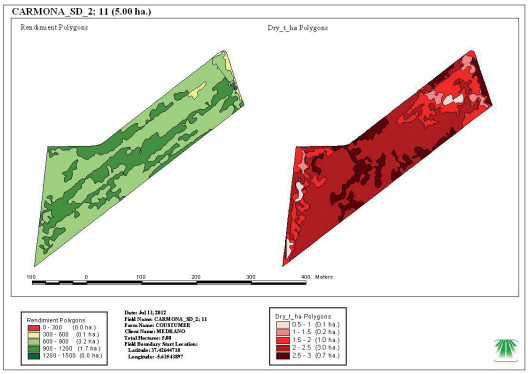


Figura 29. Mapa de cosecha de una parcela cultivada en siembra directa (SD) con cultivo de girasol, izquierda, y habas, derecha

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. Bien mediante pesada, conociendo el volumen que fluye, etc., ver Figura 30.

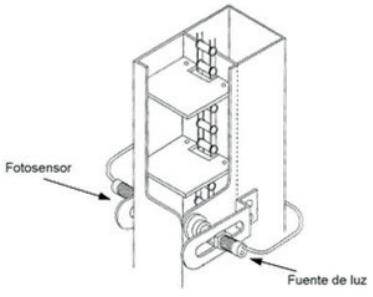


Figura 30. Sistema de medida de rendimiento mediante fotosensores que miden el volumen de grano que pasa instantáneamente

Además, tienen una consola en la cabina que muestra diversos parámetros: rendimiento instantáneo, rendimiento medio, humedad, superficie trabajada, etc., ver Figura 31.



Figura 31. Consola de monitor de rendimiento Ceres

El resultado de todos los métodos o sistemas de adquisición de datos es una gran cantidad de información referida a puntos o zonas concretas de las parcelas. Todo este conocimiento contiene información valiosa para la toma de decisiones de cara a futuras campañas. Sin embargo, es necesario recurrir 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 georrefenciados que se conocen con el nombre de "Sistemas de Información Geográfica para Agricultura" (AgGIS), algunos programas comerciales muy utilizados específicos para la agricultura son el SSToolbox o el Farm Works.

Estos programas nos permiten hacer un estudio estadístico 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.

A modo de ejemplo, partiendo de datos de la textura del suelo de nuestra parcela, de cantidad de nitrógeno, compactación y la variabilidad de las producciones durante cinco campañas, el modo de actuar con estos programas sería: primero realizar con los datos obtenidos los mapas de los diversos indicadores estudiados, segundo

cruzar la información de la variabilidad productiva de las cinco campañas buscando un patrón en la producción de la parcela, es decir, estadísticamente ver qué zonas siempre producen más y cuáles menos. Una vez se obtiene el patrón de la variabilidad espacial del rendimiento , se deben conocer cuáles son las principales causas de ésta, por lo que se deben cruzar los datos obtenidos con los mapas de las propiedades físico-químicas del suelo.

Normalmente en aquellos suelos muy homogéneos texturalmente, la variabilidad espacial del rendimiento vendrá marcada por las características topográficas de las parcelas, zonas bajas con riesgo de inundación, o por variaciones en la distribución de nutrientes del suelo. Sin embargo, en parcelas muy heterogéneas con diferencias texturales importantes o, por ejemplo, alternancia de lomas con zonas bajas más ricas, estas características serán las preponderantes en la variación espacial del rendimiento, ya que ocasionarán cambios en la compactación del terreno, su humedad y su contenido nutricional.

Los resultados de los estudios estadísticos realizados con los AgGis de las variaciones espaciales de los diversos indicadores muestreados se suelen mostrar en forma de mapa de prescripción. Estos mapas lo que muestran al agricultor son zonas donde realizar tratamientos de manera diferenciada, es decir, aplicar más o menos abono, semilla, etc., realizar tratamientos fitosanitarios o no, labores puntuales etc., ver Figura 32.

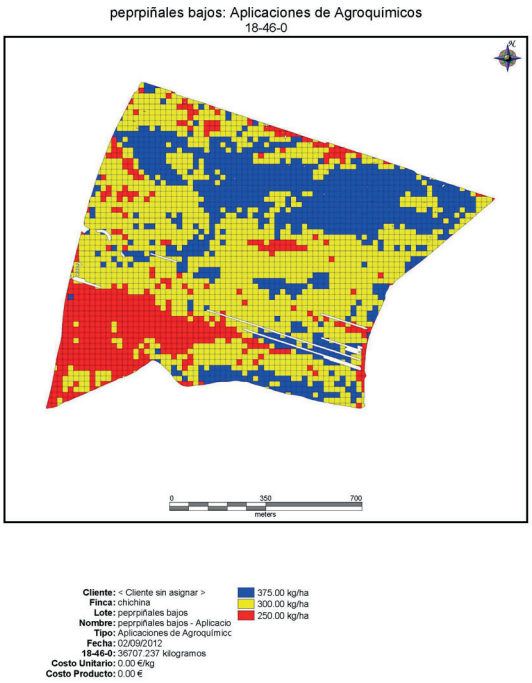


Figura 32. Mapa de prescripción de abonado variable

Debido a la problemática asociada a la incertidumbre generada por la gran cantidad de factores que intervienen en los procesos agronómicos, se está desarrollando diversa tecnología que ayude a corregir y validar estos mapas de prescripción en campo a tiempo real mientras se realiza la operación o de manera anterior a la misma. Normalmente se recurre a sensores hiperespectrales (cámaras) que miden diversas longitudes de onda, siendo muy habituales las que toman el infrarrojo cercano "NIR" y el visible, y calculan índices colorimétricos. Por ejemplo, para el caso de las aplicaciones de abono se utilizan sensores que calculan el NDVI del cultivo y lo correlacionan con el estado nutritivo de la planta, corrigiendo a la baja o al alza la aplicación del mapa de prescripción en función del color que tenga en esa zona el cultivo. Estos sensores pueden ir montados en las propias máquinas, en drones aviones o incluso satélites, como las imágenes ofrecidas de manera gratuita por el programa Sentinel de la Unión Europea.

Con toda esta información se consigue poder realizar abonados variables que supone importantes reducciones en el nivel de emisiones en el cultivo de trigo.



11 Utilización de cadenas de aprovisionamiento de proximidad

José María Basanta Reyes. Asociación Española de Técnicos Cerealistas (AETC)

Un factor relevante en la sostenibilidad de una cadena de suministro es la logística de aprovisionamiento de todos los eslabones, desde el cultivo del trigo, su transformación en harina, la elaboración del producto final y su distribución y puesta a disposición del consumidor. Se considera, por tanto, una Buena Práctica, la optimización de los transportes en toda la cadena de suministro.

La cadena de valor se inicia con la necesidad manifestada por el consumidor, por lo que toda la cadena de suministro vendrá condicionada por la ubicación de los mercados que se desean abordar. La optimización de la logística debe llevarse a cabo en base a las ubicaciones relativas de los procesos comerciales e industriales previstos:

- Área de comercialización del producto final, el pan.
- Ubicación idónea de los obradores de panadería que lo van a elaborar, respecto a los puntos de venta.
- Ubicación idónea de la/s industria/s harinera/s que van a suministrar las harinas del trigo bajo en emisiones, respecto a los puntos de elaboración del pan.
- Ubicación idónea de las parcelas de producción del trigo bajo en emisiones respecto de las harineras que lo molerán.

En cada uno de los procesos previos a la venta del producto final, es decir, la producción del trigo, su molienda y la elaboración del pan, se optimizarán, en la medida de lo posible, las cadenas de suministro de los insumos requeridos en cada uno de ellos.



Índice de figuras:

Figura 1. Explotación con diferentes cultivos en rotación 6
Figura 2. Esquema de rotación de cultivos 6
Figura 3. Constelación de satélites orbitando alrededor de la tierra 11
Figura 4. Triangulación para conocer las coordenadas de un punto terrestre 11
Figura 5. Sistema de ayuda al guiado mediante barra de luces y monitor de rendimiento 12
Figura 6. Sistema de guiado automático móvil "EZSteer" acoplado al volante del tractor 12
Figura 7. Erosión del suelo en función del porcentaje de superficie cubierta por restos vegetales 17
Figura 8. Ejemplo de equipo siembra directa 18
Figura 9. Movilidad de los principales macronutrientes en el agua 21
Figura 10. Distancia máxima de asimilación de nutrientes no móviles en agua 21
Figura 11. Sembradora directa con tolva para la semilla y tolva trasera de abono microgranulado 21
Figura 12. Mapa de rendimiento de un cultivo de habas y mapa de contenido en arcilla de esa parcela 23
Figura 13. Muestreos simultáneos con barrena para caracterizar una parcela experimental 23
Figura 14. Quad preparado para muestrear suelo 24
Figura 15. Pocket pc con programa EZ Maps para toma de muestreos en campo 24
Figura 16. Sonda EM 38 arrastrada por quad 24
Figura 17. Caudalímetro aforador instalado en una barra de aplicación 24
Figura 18. Caudal másico en función de la superficie de apertura de los tres principales abonos 25
Figura 19. Célula de carga instalada en abonadora 25
Figura 20. Mapa de prescripción de abonado variable realizado en función de la producción de la parcela 25
Figura 21. Consumo medio de energía por cultivo y sistema de manejo 26
Figura 22. Ciclo del nitrógeno en la agricultura y ganadería 27
Figura 23. Distribución de abono de liberación lenta mediante abonadora centrifuga y pelets en el suelo 27
Figura 24. Forma de actuación de los inhibidores de la ureasa 28
Figura 25. Forma de actuación de los inhibidores de la nitrificación 28
Figura 26. Momentos de aplicación de los bioestimulantes en cereal 29
Figura 27. Esquema general del primer y segundo metabolismo del uso de carbono de las plantas 29
Figura 28. Estructura L-aminoácidos a la izquierda y D-aminoácidos a la derecha 30
Figura 29. Mapa de cosecha de una parcela cultivada en siembra directa (SD) con cultivo de girasol y habas 31
Figura 30. Sistema de medida de rendimiento mediante fotosensores 31
Figura 31. Consola de monitor de rendimiento Ceres 31
Figura 32. Mapa de prescripción de abonado variable 32

Índice de tablas:

Tabla 1. Consumo de combustible y solapes de las labores más comunes en los cultivos de secano. 13
Tabla 2. Emisiones de CO_2 equivalente (kg/ha) de distintos tipos de abono y dosis de aplicación 22

Innovatrigo

Grupo Operativo Supraautonómico Innovatrigo
91 721 79 29
info@innovatrigo.es
www.innovatrigo.es
@InnovaTrigo
Innovatrigo

Representante

aetc

Coordinador técnico

UNIVERSIDAD D CÓRDOBA

Socios beneficiarios

Agrifood comunicación

AEAC.SV
Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

Tarazona

Colaboradores

Carrefour

DCOOP

Apoyo técnico

Grupo AN

9 788409 185948