

AGRICULTURA SOSTENIBLE



SONIA VILLALVA QUINTANA

Ingeniero Agrónomo. AMA de la Comunidad de Madrid

JOAQUIN FUENTES-PILA ESTRADA

Ingeniero Agrónomo



AGRICULTURA SOSTENIBLE

INTRODUCCION

- Hablando de modalidades de agriculturas diferentes de la «tradicional», suele haber cierta confusión entre conceptos tales como agricultura orgánica, agricultura sostenible, agricultura biológica, agricultura alternativa y sistemas LISA. Vamos a intentar aclarar brevemente estos conceptos.

Un sistema de agricultura es «alternativo» cuando persigue la obtención de alimentos mediante:

- Integración de los procesos naturales en la producción: fijación del nitrógeno por bacterias del suelo, equilibrio entre las plagas y sus depredadores, etcétera.
- Reducción del empleo de factores productivos (fertilizantes, productos fitosanitarios, combustibles, piensos y semillas) ajenos a la explotación.
- Utilización de los potenciales genéticos de las plantas.
- Mejora de la relación entre sistema productivo y potencial productivo del suelo.
- Incremento de la eficiencia y la salubridad de la explotación.

Según la definición de Eldor Paul, la agricultura sostenible (a partir de ahora, escribiremos AS) es un sistema de producción agraria conservador de recursos, ambientalmente sano y económicamente viable. Al mismo tiempo debe reconocer los valores humanos, suministrando alimentos de alta calidad y manteniendo



do a la familia agricultora y a las comunidades rurales como parte de un sistema saludable.

La AS se puede considerar como un sistema alternativo en el que se intenta sustituir factores productivos externos por otros producidos en la explotación. Además, como se deduce de la definición anterior, la idea de «sostenible» supone no sólo la obtención de una rentabilidad de los productos agrarios, sino además la producción de alimentos saludables para las generaciones presentes y futuras a unos precios razonables para los consumidores y suficientes para mantener la economía del sector agrario.

El concepto expuesto de AS coincide esencialmente con el de agricultura orgánica (también llamada agricultura biológica y agricultura ecológica), pero contempla además la aceptación social y la duración temporal de los sistemas (concepto dinámico) y permite la utilización de productos químicos en la explotación, cosa no admitida en la agricultura orgánica.

Existe una variante de los sistemas de AS que son los sistemas LISA (Low Input Sustainable Agriculture), en los que además del concepto de «sostenible» tratan de minimizar los aportes de elementos externos.

CAUSAS DE LA APARICION DE LOS SISTEMAS AGRICOLAS ALTERNATIVOS

Para encontrar estas causas hay que analizar la problemática que se viene planteando en la agricultura tradicional, entendiendo como tal la agricultura comercial e industrial que se practica desde mediados de nuestro siglo. En líneas generales asistimos a:

- Un incremento de los costes de producción, debido al empleo de muchos factores ajenos a la explotación (fertilizantes, productos fitosanitarios, combustibles, piensos y semillas; en general se llaman «inputs»), que además resultan cada vez más caros. Por otra parte, la evolución de la agricultura hasta la actualidad ha provocado una fuerte dependencia del suministro de estos factores, ya que las explotaciones son incapaces de producirlos para su propio uso.

- No está asegurado el abastecimiento futuro para algunos de estos elementos necesarios para la explotación. Es el caso de los combustibles fósiles (gasoil, gasolina) y algunos productos químicos fertilizantes y fitosanitarios.
- Se reseñan cada vez con más frecuencia problemas de resistencias de malas hierbas, insectos y otros organismos dañinos a los productos fitosanitarios. Además se observan descensos de la productividad de los suelos debido fundamentalmente a problemas de erosión, pérdidas de materia orgánica y de elementos nutritivos.
- La gran cantidad de productos químicos utilizados genera contaminaciones de aguas superficiales y subterráneas, disminución de la calidad de los alimentos (por los residuos de estos productos) y aumento de los riesgos para la salud de los aplicadores (muchos de estos productos son de toxicidad elevada para el hombre y otros mamíferos).
- El mismo empleo de productos químicos y de muchas de



Fig. 1.—Los problemas de resistencia a fitosanitarios son cada vez más frecuentes.



las técnicas productivas actuales destruye gran cantidad de vida silvestre que nos puede resultar beneficiosa. Cada vez es más preocupante el gran número de pequeñas y medianas explotaciones que no pueden soportar la competencia de las más grandes y desaparecen. Esto origina graves problemas sociales (abandono de zonas rurales, paro, etc.) y económicos.

Como respuesta a esta problemática aparecen diversos sistemas alternativos de agricultura, y entre ellos, la AS y la agricultura orgánica. Ambos están basados en métodos productivos que utilizan:

- Fertilización orgánica (animal y vegetal) y manejo de la fertilidad del suelo.
- Defensa de cultivos contra malas hierbas, plagas y enfermedades, mediante el uso de organismos beneficiosos, rotaciones de cultivos y medios mecánicos.



Fig. 2.–Las pequeñas explotaciones no pueden soportar la competencia de las más grandes.

La AS incorpora además:

- Empleo de productos químicos (tanto fertilizantes como fitosanitarios) de forma racionalizada.
- Manejo integrado de plagas.

Se puede observar que ambos sistemas coinciden de forma muy importante, pero queremos destacar una vez más la fuerte componente de beneficio económico de la AS: si un sistema agrario no es suficientemente productivo y eficaz como para ser económicamente rentable, no es sostenible.

Se analizan aquí algunas de las técnicas que se pueden aplicar en los sistemas de AS, aunque no se pretende dar normas generales ni estrictas, ya que cada caso hay que estudiarlo individualmente y dar las soluciones específicas que precise.

EL PROCESO DE ADOPCION DE LAS TECNICAS DE AS

El proceso de transformación de una explotación tradicional en otra sostenible se desarrolla en las siguientes fases:

- 1.º **DIAGNOSTICO:** Estudio de condiciones de partida.
Identificación de los fallos del sistema tradicional.
- 2.º **PLANIFICACION:** Evaluación de otras posibilidades de funcionamiento.
Consideración de limitaciones técnicas y económicas.
Diseño del nuevo modelo productivo.
- 3.º **EJECUCION:** Pruebas y ajustes en parcelas de la explotación.
Puesta en práctica.
- 4.º **EVALUACION:** Seguimientos y evaluación de resultados.
Posibles modificaciones.

Hay que tener en cuenta que los nuevos modelos deben mostrarse flexibles para poder adaptarse a las condiciones ambientales de todo orden, que pueden variar a lo largo del tiempo.



Es imprescindible considerar todos los factores que pueden influir antes y después de la adopción de las técnicas del nuevo modelo y las implicaciones que ésta supone, ya que si alguna de ellas no está suficientemente estudiada, evaluada y planificada puede suceder que el nuevo modelo no sea sostenible. Por ejemplo, se puede estar utilizando una técnica de forma incorrecta o, simplemente, el sistema no necesita dicha técnica, sino otra diferente.

La transformación con éxito de las explotaciones tradicionales en sostenibles se obtendrá si, además de lo anterior, se cumplen los requisitos siguientes:

- Contar con agricultores formados e informados para que puedan tomar las decisiones con un conocimiento preciso de las implicaciones técnicas, económicas, sociales y ecológicas de la adopción de los nuevos modelos productivos.
- Participación en el proceso de técnicos y asesores formados y actualizados en este campo y buenos conocedores de la problemática de la zona de trabajo.



Fig. 3.—Es importante contar con agricultores formados e informados.

- Puesta a punto de sistemas de información rápidos, fiables y precisos, para poder asegurar la correcta transferencia tecnológica y los resultados de las investigaciones.
- Promoción de los cambios por parte de la Administración, suministrando el apoyo técnico y, en muchos casos, económico necesario a los agricultores que se decidan por la adopción de los nuevos sistemas.

ESTRATEGIAS PRODUCTIVAS EN AS

Las estrategias de producción en los sistemas de AS se basan fundamentalmente en la actuación sobre dos grupos de variables:

- a. *El suelo*: Manipulando su fertilidad y su ecología.
- b. *La sanidad vegetal*: Plagas, enfermedades y malas hierbas.

La manipulación de estas variables es sumamente compleja, ya que son muy numerosas, están interrelacionadas y no siempre



Fig. 4.–En la AS una de las bases es la actuación sobre la sanidad vegetal.



son bien conocidas. En cualquier caso, falta todavía mucha labor de investigación para poder dar normas precisas y seguras de actuación que nos lleven hacia sistemas sostenibles.

Hay que recalcar que la AS no rechaza las prácticas agrícolas clásicas, sino que las utiliza de forma combinada con otras técnicas innovadoras. La integración de todas estas técnicas nos llevará a sistemas de producción más racionales y más acordes con sus principios.

Manejo de la fertilidad del suelo

En todo suelo agrícola debe haber un ciclo de nutrientes tal que cuantos se extraigan por los cultivos sean retornados. En los sistemas tradicionales de cultivo, este ciclo está permanentemente alterado por las pérdidas o el suministro inadecuado de fertilizantes. En la AS se trata de regenerar el ciclo y mantenerlo. Para ello se actúa sobre los nutrientes fundamentalmente de tres maneras:

- Reducción de pérdidas.
- Aumento de la disponibilidad.
- Suministro.

Si la clave de la sostenibilidad del sistema es el ciclo de nutrientes, cada uno de los puntos mencionados debe manejarse de la manera más adecuada posible. Se comenta a continuación cada uno de ellos:

Reducción de pérdidas de nutrientes

Manejo de los abonos animales

El aumento de los contenidos de materia orgánica en el suelo puede favorecer inicialmente la desnitrificación pero, a largo plazo, mejora la estructura edáfica, incrementa la aireación y produce unas condiciones en las que los procesos de desnitrificación en el suelo resultan más difíciles.

Es necesario conocer la composición de nutrientes en el abono a utilizar y la disponibilidad de éstos para las plantas. Esto se



Fig. 5.–La aplicación de abonos orgánicos mejora las características edáficas de nuestros campos.

consigue mediante los adecuados muestreos y análisis. Asimismo, puesto que la disponibilidad de los nutrientes no es sólo función del abono aplicado, sino también del suelo que lo recibe, se hace necesario disponer del análisis edafológico de la zona en cuestión.

Las pérdidas de elementos nutritivos se producen fundamentalmente por manejo y distribución inadecuados de los abonos. Estas pérdidas son especialmente acusadas en el caso del nitrógeno. Dicho elemento se puede perder por evaporación de amoníaco (NH_3), por desnitrificación y por lavado de nitratos.

Los abonos orgánicos se pueden aplicar de las siguientes maneras:

- Directamente por pastoreo con rotación de los animales.
- Indirectamente:
 - Secos (estiércoles) o líquidos (purines). En este caso, para minimizar la pérdida de nitrógeno lo más adecuado es la recolección y distribución inmediatas.



- Estiércoles compostados: tienen la ventaja de que se reducen los malos olores y se mejoran las condiciones físicas del producto; se producen, sin embargo, grandes pérdidas de nitrógeno en el proceso.

Manejo de la erosión

Puesto que existen grandes pérdidas debidas a la erosión producida tanto por las lluvias torrenciales como por los vientos, serán admisibles todas cuantas técnicas de manejo existan destinadas a reducir al máximo estas pérdidas.

Manejo de la lixiviación

La lixiviación es el fenómeno de desplazamiento de materias solubles hacia capas profundas del suelo, disueltas en el agua edáfica, quedando así fuera del alcance de las raíces de las plantas. Debido a esto puede haber pérdidas de elementos nutritivos o, al menos, un aprovechamiento deficiente, cuando se aplican de forma inadecuada; estas pérdidas serán tanto mayores cuanto mayor solubilidad en agua presente el nutriente.

Los factores que influyen en la lixiviación son: clima, propiedades físico-químicas del suelo, tipo de vegetación y tipo y concentración del nutriente en cuestión. El conocimiento de estos factores y la forma de modificarlos, así como la programación adecuada de la fertilización, repercutirá en un aprovechamiento más eficaz de los elementos nutritivos.

Algunas formas de controlar la lixiviación son:

- Aplicar los abonos en las épocas del año en las que las condiciones climáticas produzcan menor solubilización de los nutrientes en el agua del suelo.
- Cuando se disponga de datos sobre la permeabilidad del suelo, se puede intentar modificarla en el sentido de incrementar la retención de los elementos necesarios para las plantas.
- Utilizar fertilización fraccionada (no aportar las cantidades totales de una sola vez, sino en varias etapas), ajustar de

manera precisa las dosis de abonado y utilizar cuando sea necesario abonos de liberación lenta.

Manejo de la época de aplicación

Una de las formas más eficaces de minimizar las pérdidas de nutrientes es aplicándolos en la época más próxima a la de utilización por la planta.

Aumento de la disponibilidad de los nutrientes

Los factores que influyen en la cantidad de nutrientes que puede suministrar un suelo son:

Fertilidad inherente

Es función de la roca madre y del proceso de formación del suelo original. Es importante conocer el contenido total de nutrientes y de formas solubles y no solubles; esto nos dará datos sobre la capacidad suministradora a largo plazo.

Fertilidad residual

En AS se debe tener en cuenta que los sistemas de abonado tradicionales pueden producir acumulaciones de fósforo (P) y potasio (K) en el suelo, que, en muchos casos, superan las necesidades de los cultivos para un rendimiento máximo. Se puede eliminar, pues, la aportación de algunos fertilizantes durante unos años, lo cual disminuirá algunos costes inicialmente. Esta práctica debe quedar suprimida cuando se llegue a contenidos de nutrientes limitantes de la rentabilidad económica.

Actividad microbiana y macrobiana en el suelo

La actividad de la macrofauna edáfica (lombrices, insectos, etc.) juega un papel fundamental en el acondicionamiento de los residuos orgánicos, dejándolos preparados para que la microfauna (bacterias y hongos) puedan utilizarlos. Además, sus desplazamientos por la zona superficial alteran las condiciones físicas del



suelo y permiten una mejor aireación, lo cual favorece también a los microorganismos en él presentes.

En cuanto a la fauna y flora microbianas, se debe conocer su composición en el suelo y, si es posible, favorecer su actividad, ya que influye de forma directa e indirecta sobre la disponibilidad de los elementos nutritivos para las plantas. Como efectos directos aparecen la descomposición de la materia orgánica y la liberación de los nutrientes; los efectos indirectos son múltiples y complejos (p. ej., incrementan la solubilidad de los fosfatos, reducen la fijación de fósforo por los óxidos de hierro y aluminio, incrementan la solubilidad de hierro, cobre y cinc).

Suministro de nutrientes

Una vez que ha desaparecido el exceso de elementos nutritivos (pto. 1.2.b), se hace necesario aportarlos a medida que los cultivos los vayan extrayendo del ciclo.

Las fuentes de nutrientes pueden ser:

Fijación biológica de nitrógeno (N)

La capacidad fijadora de N atmosférico en las plantas leguminosas es la que nos interesa a la hora de lograr los aportes que deseamos de este elemento. En los sistemas agrícolas tradicionales ya se utilizan de forma habitual con el mismo fin que en la AS.

Debemos tener en cuenta que la cantidad de N fijado dependerá no sólo de la especie utilizada, sino también de su crecimiento en la zona donde la empleemos.

Fertilización comercial

Sigue las normas habituales teniendo en cuenta las consideraciones que venimos haciendo sobre dosis, momentos y formas de aplicación.

Fuentes no procesadas de productos nutricionales

Se pueden utilizar productos tales como polvo de granito, cenizas de madera y otros. La eficacia de estos productos en el aporte de nutrientes depende de numerosos factores que hay que cono-



Fig. 6.-La capacidad fijadora del N atmosférico se utiliza en AS de la misma forma que en la agricultura tradicional.

cer y tener en cuenta, como son: tipo de producto y riqueza en el nutriente deseado, procedencia, características del suelo sobre el que se aplica, cultivo en el que se va a emplear.

Residuos reciclados

No suelen ser valiosos para el aporte de nutrientes, pero pueden resultar interesantes en el caso de explotaciones que se encuentren a una distancia rentable de la fuente de producción.

Estos residuos se pueden emplear siempre que se considere el problema potencial de sus contenidos en metales pesados o sustancias tóxicas, que pueden producir fitotoxicidad, toxicidad directa sobre personas o animales consumidores o toxicidad residual y efectos acumulativos en el suelo o en las plantas.

El manejo de la biología edáfica

Como ya ha quedado claro en el punto 1.2.c, la materia orgánica del suelo es una fuente continua de elementos nutritivos para



las plantas, siendo la actividad de los organismos edáficos la responsable de un elevado porcentaje de su transformación.

En la AS, para conseguir un suelo productivo, se consideran componentes fundamentales del sistema el reciclaje de los nutrientes y el adecuado equilibrio entre materia orgánica, organismos edáficos y diversidad botánica. Así pues, este tipo de agricultura utilizará prácticas de manejo que mejoren el proceso ecológico del suelo.

Laboreo del suelo

La manipulación mecánica a la que se somete al suelo agrícola influye sobre la disponibilidad de materia descomponible para los organismos en él presentes. Esta materia descomponible procederá de residuos vegetales o animales que se pueden desmenuzar en mayor o menor cuantía y se pueden mezclar homogéneamente con el terreno o dejar en su superficie según sea la labor que se dé al suelo. Con ello los dejaremos mejor o peor preparados para su procesamiento por la fauna y microorganismos edáficos y, por lo tanto, condicionaremos su actividad.



Fig. 7.-El laboreo tradicional produce interrupciones y homogeneización de las capas del suelo.

Por otra parte, las prácticas culturales (labores mecánicas al suelo) también modifican las condiciones físico-químicas del suelo que ya hemos visto que afectan a su actividad biótica.

Todavía falta investigación en métodos de laboreo reducido (o de conservación), por lo que no se pueden dar normas generales para la mayoría de los cultivos, suelos o climas. Se comentan algunas ventajas e inconvenientes de estos sistemas:

- El laboreo tradicional (hasta profundidades de 25 cm) produce disrupciones y homogeneización de las capas del suelo, perdiéndose la estratificación del hábitat edáfico y la diversidad de especies que lo habitan. En general, resultan favorecidas las especies con ciclos de vida cortos, dispersión rápida y tamaño pequeño (bacterias). Por el contrario, disminuyen de forma muy grave las poblaciones de microartrópodos (arácnidos, insectos, etc.) y lombrices.
- Los métodos de laboreo reducido dejan residuos vegetales en las capas superficiales del suelo, a expensas de los cuales pueden proliferar algunas plagas, enfermedades y malas hierbas. Esto ejercerá un efecto negativo sobre el cultivo, especialmente cuando se repite en la campaña siguiente. Sin embargo, en el caso de una rotación, este efecto negativo disminuye y, al haber hecho el laboreo reducido, la fauna edáfica favorable no habrá resultado tan dañada como en el caso del laboreo normal.
- El laboreo de conservación y el no laboreo producen suelos más compactos, menos aireados y más húmedos y fríos. La menor temperatura y mayor compactación pueden generar un desarrollo menor o más lento en las plantas, sobre todo en primavera. Sin embargo, en verano, el suelo debajo de los residuos vegetales está más fresco y más húmedo.
- La compactación puede ser un factor limitante para estas prácticas en los suelos con mal drenaje.
- En suelos con laboreo reducido los nutrientes y la materia orgánica tienden a acumularse en las capas superiores. La liberación de nutrientes se hace más lenta, pero a la larga es mayor. En algunos casos, sin embargo, pueden presentarse pérdidas de N por desnitrificación microbiana.



Fig. 8.—En laboreo reducido los nutrientes y la materia orgánica se acumulan en las capas superiores del suelo.

- El laboreo reducido puede disminuir el efecto de escorrentía y erosión eólica, con la consiguiente disminución de pérdida de nutrientes y productos fitosanitarios en el suelo. Si además se aplican estos productos de forma localizada, las pérdidas serán aún menores.

Dos prácticas que bien empleadas pueden considerarse como de conservación son el subsolado y el acaballonamiento. El primero necesita tractores mayores, pero utiliza menos energía que el arado normal. El segundo consiste en labrar en primavera sólo los lomos de los caballones; con ello se mejora la germinación del cultivo (la temperatura del suelo en los caballones es mayor), se controlan malas hierbas (se suprimen de los lomos y tienden a crecer sólo entre éstos) y disminuye los problemas de compactación (mejorando el desarrollo radicular y la circulación del agua).

Uso de productos químicos sintéticos

El uso indiscriminado de los fertilizantes químicos puede disminuir la actividad de la fauna y la fertilidad del suelo. Incluso



Fig. 9. –En AS también se utiliza el subsolado, que bien planificado emplea menos energía que los arados.

los fertilizantes químicos aplicados en pequeñas dosis pueden ser negativos para la fauna edáfica. En los sistemas de AS estos problemas quedarían superados por la aplicación complementaria de abonos animales y vegetales y la mejora de las condiciones físicas del suelo.

Entre los productos fitosanitarios, los fumigantes (productos que se aplican en forma de gas, humo o vapor) y los fungicidas, parecen tener un exiguo efecto negativo sobre los procesos microbianos. Los insecticidas, sin embargo, reducen de forma significativa las poblaciones de lombrices y otros animales del suelo.

Debe recalarse que, en general, los productos químicos afectan a la fauna del suelo mucho menos que las prácticas culturales. Sin embargo, han de manejarse de forma racional, procurando interferir lo menos posible con los organismos beneficiosos.

Manejo de malas hierbas

El control de las malas hierbas en una explotación de AS se basa en la utilización de técnicas biológicas y físicas de forma



integrada. El uso de los herbicidas queda relegado a los casos en que sean económicamente rentables y ambientalmente admisibles.

Las prácticas implicadas en este tipo de control son las que se detallan a continuación:

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos consiste en el uso programado de varios cultivos diferentes en el mismo campo a lo largo del año.

Si bien la rotación de cultivos no elimina el desarrollo de las malas hierbas, puede limitarlo y prevenir la aparición de nuevas especies nocivas.

Puesto que existe cierta relación de especificidad entre las malas hierbas y los cultivos, básicamente se intentará manejar estos últimos de tal forma que se dificulte el desarrollo de las primeras.



Fig. 10.-Las rotaciones de especies anuales con cultivos perennes sin laboreo para siega se utilizan en el control de malas hierbas.

Se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Rotaciones de especies anuales (maíz, soja) en las que se hace control tradicional de malas hierbas con cereales altamente competitivos a elevadas dosis de siembra (cebada, avena, trigo) y con cultivos perennes sin laboreo para siega (alfalfa, mezclas de trébol y gramíneas forrajeras).
- Incluir en las rotaciones: cultivos con fechas de siembra en primavera temprana o tardía, verano y otoño; cultivos supresivos de crecimiento rápido, corta duración y dosis de siembra alta (sorgo, mijo), fundamentalmente cuando van seguidos de un laboreo; cultivos con fechas de recolección en pleno verano previos a cultivos tardíos. Con este método se intensifican las rotaciones y, por tanto, se consigue mayor control sobre las malas hierbas.

Cultivos mixtos

Estos sistemas pueden utilizar mezclas de dos o más especies. Los componentes de la mezcla se pueden sembrar o plantar simultáneamente o en fechas diferentes.

Los cultivos mixtos suelen necesitar más mano de obra que los monoespecíficos, por lo que son frecuentes en zonas donde ésta es barata y los animales de tiro son más abundantes que la maquinaria agrícola o ésta es escasa (p. ej., en Galicia). A pesar de necesitar más mano de obra y un manejo de los cultivos más complicado ofrecen un potencial de control de malas hierbas que puede ser muy importante en los sistemas agrícolas mecanizados.

Algunos sistemas de cultivos mixtos que se pueden utilizar en AS son:

- Cereal + soja: utilizando fechas de siembra diferentes; se pueden emplear como cereal trigos o cebadas de variedades tempranas o tardías. Primero se siembra el cereal y posteriormente la soja.

Las limitaciones a esta mezcla son: el cultivo de la soja precisa de precipitaciones abundantes o riego; el abonado del cereal para la obtención de los máximos rendimientos



Fig. 11.–Los cultivos mixtos se utilizan con éxito en el control de malas hierbas en AS.

puede dificultar el desarrollo de la soja por efecto supresivo; hay que tener en cuenta las fechas de recolección de los componentes para que se produzcan las menores interferencias posibles.

- Maíz + trébol: el segundo se siembra en las líneas del maíz unas semanas después. Se pueden utilizar también otras leguminosas forrajeras. Las malas hierbas tempranas se pueden controlar con la aplicación de algún herbicida de bajo efecto residual.
- Cereal + trébol: en fechas de siembra simultáneas o no; los cereales utilizados pueden ser trigo, cebada o avena. El trébol se puede sembrar al mismo tiempo que el cereal o en la primavera siguiente si el agua y los nutrientes no son factores limitantes. Una vez que se recolecta el cereal, el trébol continúa fijando N y protegiendo al suelo de la erosión. El cereal ayuda al control de las malas hierbas. Esta mezcla se puede utilizar antes de implantar legumbres forrajeras (trébol rojo, alfalfa).

- Pasto + trébol: el segundo ejerce un importante papel supresivo para las malas hierbas.

Cultivos de efecto alelopático

Efecto alelopático de una planta sobre otra es la acción nociva que la primera puede ejercer sobre la segunda mediante la secreción de sustancias tóxicas.

Existen algunos cultivos cuyos restos son capaces de producir el mismo efecto y así impiden la germinación o el crecimiento de muchas malas hierbas, especialmente las anuales de hoja ancha. Si, además, se combinan con no laboreo tras este cultivo y con la formación de una cubierta de residuos sobre el suelo (acolchado o mulching), se incrementa el control de las malas hierbas que inician su germinación.

Algunas especies con probado efecto alelopático sobre malas hierbas son: centeno, trigo, avena, girasol y patata.

Se ha comprobado el buen funcionamiento del empleo de cul-



Fig. 12.—El girasol tiene probado efecto alelopático sobre malas hierbas.



tivos de efecto alelopático en el control de las malas hierbas en casos como los siguientes:

- Siembra de centeno, trigo, sorgo, cebada o avena que se dejan crecer hasta una altura de unos 50 cm; posteriormente se aplica un herbicida de bajo poder residual y se siembra en el interior de estos residuos desecados. La composición de la cubierta de residuos así obtenida influye en la selección del cultivo a sembrar en ella. Así, parece que van bien los de semilla grande (maíz, pepino, guisante), pero no los de semilla pequeña (lechuga, tomate, zanahoria).
- Soja y girasol bajo acolchado de centeno obtenido como en el punto anterior.
- Maíz bajo acolchado de trigo obtenido como antes.
- Acolchado de sorgo, trigo o centeno en cultivos frutales arbóreos (manzano, cerezo).

Cultivos de efecto supresivo

El efecto supresivo es el que ejerce una planta sobre otra cuando es más competitiva en la captación de la luz, el agua y/o los elementos nutritivos del suelo, dificultando el crecimiento de la segunda en favor de la primera. También puede existir una combinación con interacciones alelopáticas, en cuyo caso el efecto supresivo será aún mayor.

Los cultivos que tendrán mayor efecto supresivo en el desarrollo de las malas hierbas serán aquellos que tengan características tales como: pronta germinación, desarrollo inicial rápido tanto de parte aérea (tallos, hojas) como subterránea (raíces), superficie foliar grande, talla elevada y efecto alelopático. Se tenderá, pues, a la selección de las variedades que nos puedan suministrar tales características.

Densidad de cultivo y distribución espacial

Se ha comprobado que, en terrenos infestados de malas hierbas, aumentando las dosis de siembra de los cultivos es posible obtener mayores rendimientos de cosecha y disminuir la canti-

dad de malas hierbas. Esto se puede explicar por la mayor eficacia en la captación de luz, agua y nutrientes.

Manejo de la fertilidad del suelo

En ocasiones las malas hierbas pueden ser más eficaces en la absorción de nutrientes que los cultivos, por lo que las aplicaciones indiscriminadas de fertilizantes en casos de infestaciones elevadas resultan contraproducentes. En cualquier caso, aunque las malas hierbas no dañen directamente al cultivo (por efecto supresivo), su presencia reducirá la eficacia de la aplicación por competencia directa.

Para luchar contra las malas hierbas manejando la fertilidad del suelo pueden utilizarse las diferencias específicas en la captación y asimilación de los nutrientes. Así se localizarán los fertilizantes de manera que queden más disponibles para el cultivo y menos para las malas hierbas. Por ejemplo, las leguminosas captan el N atmosférico, por lo que no necesitan competir por el N del suelo; por lo tanto, si disminuimos los aportes externos de este elemento restaremos nutrientes a las malas hierbas.

También se logrará un mejor control de malas hierbas con aplicaciones fraccionadas (no una sola aplicación anual) y en bandas paralelas a las líneas de cultivo (no en toda la superficie) y con el uso de abonos de liberación lenta.

Manipulación de la temperatura y la humedad del suelo

Un importante incremento de la temperatura y/o del contenido en agua del suelo impide la germinación de muchas semillas, entre ellas las de las malas hierbas que en él se encuentran. Para controlar estas condiciones se pueden emplear las siguientes técnicas:

- *Manejo de la temperatura mediante solarización.* Se cubre con plásticos (mejor los transparentes) el suelo desnudo y húmedo durante varias semanas cuando el tiempo es cálido y soleado. El exceso de temperatura que se produce debajo de los plásticos disminuye la viabilidad de las semillas de muchas malas hierbas.



En nuestro país es un método de preparación del terreno para cultivos de verano tardío u otoño.

- *Manejo de la humedad:*

1. Riego por goteo subterráneo: se consigue así poner el agua fuera del alcance de las raíces de las malas hierbas.
2. Encharcamiento del suelo durante varias semanas: en algunos casos y, dependiendo de la disponibilidad de agua, puede ser un sistema eficaz de control.

Ambos métodos sólo se pueden aplicar en el caso de cultivos de regadío.

Lucha biológica contra malas hierbas

Es un grupo de técnicas que todavía está poco desarrollado, pero que puede ser muy eficiente y rentable en algunas ocasiones. Su finalidad no es eliminar totalmente las malas hierbas, sino reducirlas hasta niveles aceptables.



Fig. 13.–Las zonas libres de cultivo actúan como reservorios para los insectos plaga de las malas hierbas.

El manejo de estas técnicas es complicado, ya que están muy condicionadas por la climatología del momento.

Para el control de las malas hierbas mediante lucha biológica se pueden utilizar insectos o enfermedades que actúen contra ellas.

- *Insectos.* Los insectos plaga de malas hierbas serán más eficaces en los cultivos plurianuales o en los perennes que en los anuales, ya que en los dos primeros casos se podrán introducir en pequeñas cantidades y dejar que se desarrollen las poblaciones.

También se pueden dejar zonas libres de cultivo en las proximidades de las cultivadas; estos lugares actuarán como reservas (reservorios) de los insectos que se alimentan de las malas hierbas de la zona y, por lo tanto, de las que aparecen en los cultivos.

- *Enfermedades.* Las enfermedades, especialmente las producidas por hongos, pueden ser muy eficaces en el control de las malas hierbas de los cultivos anuales. Son muy específicas y más baratas de producir que los insectos. Las aplicaciones se realizan de forma muy similar a las de los herbicidas tradicionales.

Pastoreo

El pastoreo intensivo bien planificado es un sistema de control de malas hierbas eficaz en las especies pratenses, ya que puede modificar la composición botánica del pasto. Así, se ven favorecidas las leguminosas y gramíneas interesantes frente a otras especies nocivas que los animales se pueden comer cuando son tiernas y resisten mal este tipo de pastoreo. Para especies recalcitrantes y difíciles de controlar con este sistema se pueden utilizar, además, herbicidas sistémicos en aplicaciones localizadas.

Otros controles

Existen otros controles preventivos tradicionales que pueden limitar la introducción de nuevas malas hierbas en una zona, aunque también son válidos en el caso de las ya introducidas. Son prácticas tales como la limpieza de las semillas que se van a emplear en la explotación, eliminación de las malas hierbas que se pueden introducir con los plantones de árboles, limpieza de la



Fig. 14.–El pastoreo intensivo bien planificado es un sistema de control de malas hierbas en pratenses.

maquinaria y limpieza de márgenes. Entre estas prácticas se puede incluir también la utilización de variedades mejoradas genéticamente que sean tolerantes a la presencia de las malas hierbas.

Manejo de plagas y enfermedades

En un modelo de AS la mejor estrategia de lucha fitosanitaria es la anulación del problema, o su mantenimiento por debajo de unos límites de daño mediante un adecuado diseño de las explotaciones. Sin embargo, actualmente esto es una utopía, ya que están implicados factores de muy diverso tipo y difícil control, como son las estructuras productivas ya implantadas, la demanda de productos alimenticios, cuestiones de orden social y político, etc. Además, todavía faltan investigación y desarrollo en este campo que permitan dar unas normas seguras para cada caso específico.

En las condiciones actuales de la agricultura y desde el punto de vista de la AS, la lucha integrada contra plagas y enfermedades

parece ser el medio más válido para actuar contra los insectos y las enfermedades que afectan a los cultivos. Puesto que es un tema muy extenso y complejo, sólo daremos aquí unas ideas generales de cómo se planificaría el control fitosanitario mediante lucha integrada en una explotación sostenible.

La lucha integrada se define como la utilización de métodos que reduzcan los daños por plagas y enfermedades a unos niveles tolerables, usando técnicas diversas que incluyen estudio de poblaciones, empleo de parásitos y predadores, resistencia genética, modificación de las condiciones ambientales y productos químicos.

Algunas consideraciones previas a tener en cuenta son las siguientes:

- La mayoría de los organismos dañinos son componentes naturales de las cadenas tróficas en la naturaleza. Se hacen nocivos en condiciones ambientales específicas.
- El riesgo de daño por un organismo en un cultivo es función de la densidad de población, de la susceptibilidad del huésped y de las condiciones ambientales.
- Los diseños de IPM son dinámicos y específicos, deben ajustarse a todo tipo de condiciones en cada momento (climatológicas, económicas, sociales, etc.) y no hay diseños generales, sino que cada caso necesita un diseño.

Los sistemas de IPM están constituidos por cinco componentes fundamentales:

Seguimientos biológicos

Se trata de estudiar los parámetros poblacionales de los agentes dañinos y beneficiosos en las condiciones específicas de la explotación. Al mismo tiempo se realiza el estudio de la sintomatología y estimación de los datos y del desarrollo de los cultivos asociados.

Necesita personal muy entrenado y seguimiento posterior a la aplicación de los métodos de control.



Fig. 15.-Se debe contar con infraestructura de toma de datos en campo.



Seguimientos climatológicos

Se toman datos básicos de temperaturas y humedades del aire y del suelo, así como datos relativos a la luz.

Los aparatos utilizados se deben de colocar en lugares de fácil acceso y lo más cerca posible a la zona en cuestión. La toma de datos ha de hacerse continuamente y éstos tienen que quedar disponibles inmediatamente.

Sistemas de apoyo para la toma de decisiones

Estos sistemas son los modelos de simulación, que consisten en programas, informáticos o no, que simulan la explotación con todos sus condicionantes. En ellos se puede observar qué pasaría si tomamos una decisión concreta.

Umbral de decisión

Son los niveles de daño a partir de los cuales se decide una actuación concreta. Deben estar definidos cuando se seleccionan los sistemas de lucha integrada. Este es un concepto dinámico y



Fig. 16.-Los modelos de simulación se utilizan en los sistemas de IPM.

difícil de determinar, ya que depende de la explotación y su economía, del coste y la eficacia de los sistemas de control, de la naturaleza del agente dañino y de los parámetros ambientales.

Tácticas de control

Desde el punto de vista de manejo integrado de plagas se clasifican en:

1. Eficientes. Utilizan los productos fitosanitarios de una manera más eficaz que la tradicional (calendarios prefijados), ya que se ajustan los tratamientos a los ciclos biológicos del agente a controlar. También manipulan otros factores relacionados con los productos a aplicar, como son las formulaciones y los medios de aplicación.
2. Sustitutivas. En vez de utilizar los productos fitosanitarios tradicionales, emplean otras técnicas, como son: control biológico, técnicas culturales y productos biológicos



Fig. 17.-Se pueden emplear métodos de lucha biológica y tratamientos químicos tradicionales bien programados.

(fitosanitarios de nueva generación –microbianos y botánicos–, hormonas, repelentes y disuasores de la oviposición).

Aunque el control integrado está bastante desarrollado en el caso de algunas plagas agrícolas, su aplicación en enfermedades todavía está en fase experimental y falta mucha investigación.

RESUMEN

La agricultura sostenible nace de la necesidad de desarrollar sistemas alternativos de agricultura que sean más acordes con las necesidades de la sociedad actual, que demanda formas de producción menos agresivas para el medio ambiente, y que sean social y económicamente aceptables.

Las técnicas aplicadas en AS no son necesariamente innovadoras. En muchos casos se trata simplemente de utilizar técnicas antiguas de forma más adecuada; en otros, se introducen nuevas

técnicas combinadas con las ya existentes; en otros, puede haber una reforma total de los métodos productivos.

Todavía no es posible dar pautas generales de actuación para hacer las explotaciones agrarias más sostenibles, ya que aún es preciso mucho esfuerzo técnico y de investigación que, además, debe estar enfocado hacia la resolución de situaciones específicas para hallar las fórmulas productivas más adecuadas.

BIBLIOGRAFIA BASICA

- SUSTAINABLE AGRICULTURE IN TEMPERATE ZONES. *Charles A. Francis, Cornelia Butler Flora, Larry D. King. 1990. John Wiley and Sons, INC.*
- ALTERNATIVE AGRICULTURE. *Committee on the role of alternative farming methods in modern production agriculture. 1989. National Academy Press.*
- FUNDAMENTOS SOBRE MALAS HIERBAS Y HERBICIDAS. *García Torres L., Fernández-Quintanilla C. 1991. Mapa, Extensión Agraria, Mundi-Prensa.*
- SUSTAINABLE AGRICULTURE AND THE ENVIRONMENT. PERSPECTIVES ON GROWTH AND CONSTRAINTS. *Vernon W. Ruttan. 1984. Westview Press.*



MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACION

INSTITUTO NACIONAL DE REFORMA Y DESARROLLO AGRARIO

DIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS Y COOPERACION

Corazón de María, 8 · 28002-Madrid