

TÉCNICAS DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA: BIODIVERSIDAD Y NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS.

La agricultura ecológica emplea un grupo de técnicas para lograr sus objetivos de producir alimentos de alta calidad, libres de contaminantes a la vez que se preserva el medio natural. Estas técnicas están encaminadas a controlar factores del cual depende el crecimiento de los cultivos y la productividad agrícola como son: la cosecha y conservación del agua, la nutrición de las plantas, el control de plagas y enfermedades y el manejo de las plantas adventicias que pueden en ciertos momentos limitar el crecimiento de los cultivos. Otro factor de importancia es el empleo de variedades de cultivos adaptadas a las condiciones locales.

La diversificación espacial y temporal, conjuntamente con la protección de los suelos y el aporte de materia orgánica a estos, son las estrategias básicas que sustentan las técnicas ecológicas.

1. Biodiversidad.

La agricultura convencional o industrializada entiende que todos los organismos vivos que rodean al cultivo principal son competidores del mismo y que, por tanto, éste es el único que debe existir en la unidad de producción. Como se ha visto en el tema referido a bases ecológicas de la agricultura ecológica, la estabilidad es la base de la sostenibilidad del sistema y dado que para ello se ha *complejizar* –base para que se den las interacciones ecológicas y su aproximación al funcionamiento natural- se debe recurrir a distintos métodos mediante la DIVERSIFICACIÓN. Esta diversificación se consigue de las siguientes maneras:

- Aumentando la diversidad intraespecífica del cultivo a través del uso de diferentes variedades de la misma especie cultivada.
- Asociando distintos cultivos en el mismo espacio (asociaciones de cultivo).
- Sucediendo distintos cultivos en el tiempo para una parcela (rotaciones). La adecuada combinación de asociaciones-rotaciones es lo más adecuado para el cultivo, que en muchos casos puede tener un aumento considerable de su rendimiento (Domínguez Gento, A., Roselló Oltra, J., Aguado Sáez, J., 2002).
- Asociando al cultivo especies silvestres como setos o cercas vivas y cubiertas vegetales naturales, tanto en los márgenes como entre el cultivo.
- Mediante una variante de las cubiertas vegetales: abonos verdes o cultivos de cobertura.
- Introduciendo actividad ganadera en la explotación.
- Barbechos o descansos: Una variación del método de rotación es intercalar un período en donde la tierra es dejada sin cultivar, en barbecho. Esto permite al suelo que descanse y que, por tanto, recupere la fertilidad.
- Altos ingresos de materia orgánica: importante para fomentar la diversificación microbiológica y reestructurar el suelo.
- Eliminar el uso de agroquímicos convencionales y reducir el uso de otros

fitosanitario permitidos en agricultura ecológica: los plaguicidas convencionales suelen dañar a los enemigos naturales de las plagas y no son capaces de acabar con los fitófagos, desarrollando estos un cierta resistencia a los mismos.

La biodiversidad tiene distintos efectos beneficiosos en el agroecosistema tales como interacciones alelopáticas que pueden favorecer o inhibir la proliferación de otras plantas cercanas, beneficios sanitarios, modificaciones positivas de los factores ambientales, aumento de la productividad, etc.

Tabla 1. Ventajas de la Biodiversidad en el agroecosistema.

RELACIONES ALELOPÁTICAS BENEFICIOSAS.	BENEFICIOS SANITARIOS
Las plantas liberan sustancias químicas al medio cuyas propiedades favorecen o inhiben el desarrollo de otras en sus proximidades.	Cuanto más favorezcamos la diversidad vegetal mayor será la diversidad de la fauna auxiliar en los cultivos y más controlados se encontrarán los fitófagos. De la misma manera cuanto más diversidad microbiológica menos riesgo de enfermedades. Estos aspectos son complementarios ya que muchas veces son las mismas plagas los vectores de enfermedades.
MODIFICACIÓN BENEFICIOSA DE FACTORES AMBIENTALES	PRODUCCIONES ALTERNATIVAS Y AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD
Por ejemplo, las cubiertas vegetales mejoran la estructura del suelo y por tanto la capacidad de retención de la humedad. Los setos también mejoran el régimen hídrico y térmico del sistema, etc.	Por ejemplo, cuando se incluye la actividad ganadera en la explotación tiende a cerrarse un ciclo (reciclaje de subproductos vegetales y producción de estiércol útil para el cultivo). La mejora de las condiciones ambientales incide en el aumento de la productividad.
MEJORA SUELO Y SU ACTIVIDAD MICROBIANA	SENCILLEZ MANEJO ADVENTICIAS
Las aportaciones de materia orgánica como compost maduro ayudan a mejorar la actividad microbiana del suelo y mejorar las propiedades del suelo (textura, estructura, CIC, etc.).	Al aumentar la competencia las plantas adventicias aún se controlan mejor.
DISMINUCIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN	MEJORA PAISAJÍSTICA
Al mejorar las propiedades físicas del suelo y su estabilidad mediante las raíces de las plantas de la cubierta, los setos, etc. se dificulta el arrastre del mismo por fuertes lluvias o vientos.	Al incrementarse el número de especies, los colores, las formas, los estratos, etc., en definitiva la composición visual del espacio se da una mejora del paisaje.
MENOR RIESGO ECONÓMICO	Al diversificar la oferta comercial

1.1 Asociaciones.

Las asociaciones consisten en hacer coincidir en el mismo espacio (en la misma parcela) y al mismo tiempo varios cultivos, observado ciertos criterios para su aplicación. Es pues, la asociación un policultivo, que al igual que las rotaciones, como veremos en el siguiente punto, establecen relaciones alelopáticas en el sistema.

Las asociaciones de cultivos tienen las siguientes ventajas (Domínguez Gento, A., Roselló Oltra, J., Aguado Sáez, J., 2002):

- Producciones mayores por unidad de superficie cultivada. Se mide por la **Relación Equivalente de Suelo, (RES)**, que calcula la superficie de monocultivo de cada especie de las asociadas que se necesita para obtener la misma producción de una hectárea de asociado. Una buena asociación da valores mayores de la unidad, una mala valores inferiores, con lo cual es preferible separar estos cultivos.

Algunas referencias sudamericanas nos dan:

- Mijo/cacahuete.....1,26
- Maíz/judía.....1,38

- Mijo/sorgo.....1,53
- Maíz/boniato.....2.30
- Maíz/judía/mandioca.....3,21

- Seguridad económica: en agriculturas de subsistencia proporciona autosuficiencia, reduce el peligro de pérdidas por oscilaciones de precios o por daños en una de ellas, ya que la otra compensa su producción.
- Uso más efectivo de los recursos, una densidad mayor de plantas intercepta más luz, ayudado por una arquitectura diferente al monocultivo; se aprovecha mejor el agua, hay más sombra, menos evaporación directa y más transpiración a través de las plantas; el agua penetra mejor en el suelo, disminuye la erosión; se aprovechan mejor los nutrientes cuando las necesidades son complementarias y los sistemas radiculares exploran horizontes del suelo distintos; si en la asociación hay una leguminosa, fija el nitrógeno y beneficia al resto.
- Ventajas sanitarias y mayor protección contra plagas: junto al efecto positivo de una diversidad biológica mayor que reduce en general las plagas de insectos, se da un mayor control de las hierbas adventicias. Además la combinación en un policultivo de especies susceptibles y resistentes a una determinada enfermedad aérea reducen la capacidad de dispersión de los organismos responsables de la enfermedad. Ello es debido al incremento de la distancia entre una planta huésped y otra, a que los cultivos resistentes actúan de barrera frenando el movimiento de dichos organismos, etc.

Los **inconvenientes** son los siguientes:

- Exige una planificación adecuada.
- Suelen demandar abundante mano de obra.
- Limita o impide la mecanización de las tareas.

Ejemplos de asociaciones comunes en horticultura:

- Frutales en sus primeras fases + hortícolas.
- Cereal + leguminosa.
- Tomate + cebolla.
- Pimiento + cebolla, ajo o pepino.
- Maíz + judía.
- Maíz + judía + calabaza.
- Col + lechuga.
- Cebolla + lechuga.
- Frutales + trébol.

Tabla 2. Asociaciones favorables/ desfavorables de algunos cultivos hortícolas y frutales.

CULTIVO PPAL	FAVORABLE	DESFAVORABLES	OBSERVACIONES
ACHICORIA	FRESA		
AJO	FRESA, LECHUGA, REMOLACHA, TOMATE, ROSAL, FRUTALES	GUISANTES, JUDÍAS	ASOCIADO A AROMÁTICAS AUMENTA LA PRODUCCIÓN DE ESENCIAS
ALCAHOFA	LECHUGA		
APIO	COLES, JUDÍAS, PEPINO, PUERRO, TOMATE	UNBELÍFERAS	UNA LÍNEA DE JUDÍAS POR 6 DE APIO. DOS HILERAS DE APIO CON 2 DE PUERROS.
BERENJENA	JUDÍAS, CALÉNDULA		LAS JUDÍAS SEMBRADAS ALREDEDOR DE LA BERENJENA LE PROTEGEN DEL ESCARABAJO
CALABAZA	COL, JUDÍA, MAÍZ, BORRAJA, CAPUCHINA	PATATA	EL MAÍZ SE PLANTA A LOS MÁRGENES
CEBOLLA	COL, FRESA, LECHUGA, PEPINO, REMOLACHA, TOMATE, ZANAHORIA, MANZANILLA	GUISANTE, JUDÍA	CADA 4 METROS DE CEBOLLA PLANTAR UNAS MATAS DE MANZANILLAS. LA ZANAHORIA ALEJA A LA MOSCA DE LA CEBOLLA
COL	APIO, CEBOLLAS, LECHUGA, PATATAS, PEPINO, TOMATE, REMOLACHA, HISOPO, CÁÑAMO, MENTA, MANZANILLA, ROMERO, SALVIA, TOMILLO	FRESA, JUDÍA (ENRRAME)	APIO, TOMATE, CÁÑAMO Y AROMÁTICAS ALEJAN A LA MARIPOSA DE LA COL. LA MENTA AUMENTA LA PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD, LA SALVIA LAS HACE MÁS TIERNAS.
COLINABO	CEBOLLA, GUISANTE, RÁBANO, REMOLACHA	JUDÍA DE ENRRAME	
ESPÁRRAGO	GUISANTE, MANZANO, PERAL, PUERRO, TOMATE, PEREJIL	JUDÍA	
ESPINACA	FRESA, JUDÍA, LECHUGA		
FRESA	ACHICORIA, AJO, ESPINACA, LECHUGA, TRÉBOL, HOJAS DE PINO, BORRAJA, MENTA	COL	EL AJO PROTEGE DE LAS ENFERMEDADES CRIPTOGÁMICAS Y DE LOS ÁCAROS. LAS CUBIERTAS CON HOJAS DE PINO MEJORAN EL SABOR.
GUISANTE	MAÍZ, NABO, PATATA, PEPINO, RÁBANO, ZANAHORIA	AJO, CEBOLLA, PUERRO, GLADIOLO, PEREJIL	
HABA	AVENA, ESPINACA, MAÍZ, LECHUGA, PATATA, ROMERO		LAS ESPINACAS PROTEGEN DEL PULGÓN NEGRO
JUDÍA DE MATA BAJA	APIO, CALABAZA, COLIFLOR, COL, ESPINACA, FRESA, RÁBANO, PATATA, PEPINO, PUERRO,	AJO, CEBOLLA, GLADIOLO, HINOJO	

MANUAL BÁSICO DE AGRICULTURA ECOLÓGICA

	REMOLACHA, ZANAHORIA		
JUDÍA DE MATA ALTA	APIO, CALABAZA, COLIFLOR, BERENJENA, ESPARRAGO, FRESA, MAÍZ, PATATA, PEPINO, , ZANAHORIA	AJO, CEBOLLA, TOMATE	
LECHUGA	AJO, ALCACHOFA, CALABAZA, CEBOLLA, COL, COLIFLOR, ESPINACAS, FRESA, PEPINO, PUERRO, RÁBANO, ZANAHORIA	GIRASOL	
MAÍZ	CALABAZA, GUISANTE, HABA, JUDÍA, MELÓN, PATATA, VEZA, PEINO, SANDÍA	GIRASOL	
NABO	COL, GUISANTE, LECHUGA, PEPINO	RÁBANO, CEBADA	
PATATA	BERENJENA, COL, GUISANTE, HABA, JUDÍA, MAÍZ, RÁBANO, ZANAHORIA, CÁÑAMO, LINO, CALÉNDULA, PEREJIL	CALABAZA, GIRASOL, FRESA, PEPINO, TOMATE, FRAMBUESO, CEREZO, MANZANO	ALTERNAR CON HILERAS DE JUDÍAS DE MATA BAJA O GUISANTES
PEPINO	APIO, CEBOLLA, COL, NABO, GIRASOL, GUISANTE, JUDÍA, LECHUGA, MAÍZ, RÁBANO, VEZA, BORRAJA	PATATA, TOMATE	
PEREJIL	PATATA, ROSAL, TOMATE	OTRAS UMBELÍFERAS	
PIMIENTO	ALBAHACA		
PUERRO	APIO, CEBOLLA, JUDÍA, LECHUGA, REMOLACHA, TOMATE, ZANAHORIA	GUISANTE, RÁBANO	EL APIO Y LA CEBOLLA LE PROTEGEN DE LA MOSCA DEL PUERRO. DOS HILERAS DE APIO Y DOS DE PUERRO
RÁBANO	BERRO, GUISANTE, LECHUGA, PEPINO, ZANAHORIA, TOMATE	JUDÍA, NABO	CON LA LECHUGA LOS RÁBANOS SON MÁS TIERNOS
REMOLACHA	AJO, CEBOLLA, , COL, NABO, JUDIA ENANA, LECHUGA, PUERRO	JUDÍA DE ENRRAME, LENTEJAS, GARBANZOS	LAS JUDÍAS ENANAS PROTEGEN A LA REMOLACHA DE LA BABOSA
TOMATE	AJO, ALFAFA, APIO, CEBOLLA, COL, ESPÁRRAGO, PUERRO, ZANAHORIA, ALBAHACA, ORTIGA, PEREJIL	COL. COLIFLOR, JUDÍA DE ENRRAME, PATATA, PEPINO, HINOJO	
ZANAHORIA	CEBOLLA, GUISANTE, JUDÍA, LECHUGA, PATATA, PUERRO, RÁBANO, TOMATE, VEZA, ROMERO, SALVIA	OTRAS UMBELÍFERAS	CEBOLLA Y PUERRO REPELEN LA MOSCA DE LA ZANAHORIA

Fuente: Domínguez Gento, 2002.

1.1.1 Mecanismos de defensa de los policultivos frente a las plagas.

Los menores daños de las plagas en los policultivos pueden deberse a que éstos sean menos atractivos para ellas por (Alonso, A., Guzman, G., 2000):

1. La plaga no encuentra al cultivo del cual suele alimentarse. Ello es debido a que el cultivo acompañante altera las condiciones físicas (microambiente, patrón de reflectancia de la luz, etc.) o químicas, (difusión de la atracción, enmascaramiento de olores, repelencia, etc.) que normalmente indican a la plaga que el cultivo está presente lo que disminuye la probabilidad de encontrarlo. Veamos algunos ejemplos.

La búsqueda de la planta hospedera por el insecto involucra a menudo mecanismos olfativos. Las plantas atractivas para la plaga asociadas con plantas que no lo son pueden ser un componente importante en la defensa contra las plagas, debido al efecto de enmascaramiento de los olores del cultivo por las plantas acompañantes. Por ejemplo:

- Zanahoria- cebolla.
- Zanahoria- alfalfa.
- Cultivo intercalado de tomate y col-repollo que da lugar a menor presencia y puesta de huevos de la polilla *Plutella xylostella* en el repollo, porque es repelida por los olores que desprende el tomate.
- Este mecanismo parece que también actúa en el caso de los nemátodos fitopatógenos cuando algunas especies acompañantes, como el clavelón o el sésamo, están presentes.
- Las hierbas aromáticas (romero, salvia, etc.) han sido indicadas para la repelencia de insectos plaga en huertos, donde se suelen implantar en los bordes de las parcelas.

Otras plagas detectan al cultivo mediante mecanismos visuales que también se ven afectados por la presencia de un segundo cultivo. Es el caso de los áfidos (pulgonos), que son despistados por la menor intensidad de la luz reflejada por el cultivo creciendo con la cubierta vegetal, en comparación con el monocultivo.

2. En otros casos, la plaga coloniza menos el policultivo y, además, la tasa de emigración de la plaga hacia otros sitios es mucho mayor que cuando ésta encuentra una parcela de monocultivo. Esto parece deberse a que la plaga tiene que invertir mayor cantidad de energía para desplazarse y alimentarse sobre el policultivo por lo que no le resulta tan “rentable” como el monocultivo.

Este mecanismo ocurre por ejemplo cuando la pulguilla de las crucíferas (*Phyllotreta cruciferae*) llega a un policultivo de brocoli con cobertura de veza. La pulguilla encuentra graves dificultades, cuando cae sobre una planta de veza, para alcanzar la parte superior de ésta, y poder saltar o volar hacia otra planta de brócoli. Ello es debido a la gran biomasa que produce la veza y a su compleja arquitectura de ramas enredadas. Por esta razón, abandonan la parcela de policultivo con rapidez.

3. La menor atracción o menor desarrollo de la plaga en el policultivo se debe, a veces, a la distinta “calidad” de la planta huésped, que es por ello menos estimada por la plaga. Esto puede ocurrir porque en el policultivo hay una competencia por los nutrientes entre los cultivos implicados, lo que disminuye la extracción realizada por cada uno de ellos.

Ejemplo de ello son los áfidos o pulgonos. La fecundidad de éstos es habitualmente

proporcional al contenido de nitrógeno soluble en el floema (savia) de la planta, incrementándose su población cuanto mayor ha sido el consumo de nitrógeno por la misma. El policultivo puede reducir la absorción de nitrógeno por los cultivos participantes, evitando el consumo de lujo y limitando el desarrollo de la población de áfidos. Esta es la razón del menor nivel de áfidos en el cultivo de haba cuando se siembra con cubierta de cebada o avena.

4. En otras ocasiones la menor presencia de plaga sobre las plantas del cultivo principal se deben a que ésta ha preferido situarse sobre el cultivo acompañante, que hace así de cultivo trampa.

Algunos ejemplos contrastados de estos cultivos trampa son los siguientes:

- a) El maíz cuando es plantado en franjas en campos de algodón, atrae al gorgojo del algodón, alejándolo de este cultivo.
 - b) En el policultivo judía/tomate la judía actúa de cultivo trampa frente a los ataques de rosquilla (*Spodoptera sunia*) al tomate, que apenas se ve atacado.
 - c) El cultivo de brócoli mezclado con otra crucífera hospedera, la mostaza silvestre (*Brassica kaber*) sufrió menos ataques del insecto plaga *Phyllotreta cruciferae* (pulguillas). Esto se debe a que estos insectos se concentraron más sobre la mostaza silvestre que sobre el brócoli en la mezcla. Esta preferencia tiene una base química, ya que la mostaza silvestre produce en mayor cantidad una sustancia química que atrae fuertemente a la pulguilla.
5. Hipótesis de los enemigos naturales.

Al pasar de un monocultivo a un policultivo, aumenta la presencia de depredadores de las plagas y su efectividad. Ello se debe, entre otras razones, a que:

- a) En los policultivos encuentran otros insectos de los que se pueden alimentar cuando la plaga no está presente. De esta manera sobreviven, y cuando aparece el insecto plaga pueden controlarlo.
- b) Encuentran otras fuentes de alimentación (polen y néctar) que al igual que antes les permite sobrevivir.
- c) Encuentran más fácilmente refugios para pasar el invierno, para reproducirse, etc.

La Tabla 3 resume algunos ejemplos de policultivos que contribuyen al control de plagas, así como el mecanismo por el cual ello ocurre.

Tabla 3. Policultivos exitosos en el control de plagas.

Cultivos presentes en el policultivo	Plagas controladas	Mecanismo de control
Manzano/Cobertura de malezas entre calles	Afidos	Incremento de enemigos naturales: crisopas, coccinélidos, sirfidos, antocóridos y arañas
Zanahoria/Cobertura con alfalfa (<i>Medicago littoralis</i>) Zanahoria/Cebolla	Mosca de la zanahoria (<i>Psila rosae</i> (F.))	Alteración de la conducta de la mosca que tiene dificultades en encontrar al cultivo y oviponer
Col/Cobertura de trébol	Mosca de la col (<i>Delia radicum</i> (L.))	Alteración de la conducta de la mosca. Aumento de depredadores: carábidos, estafilínidos, etc. y parasitoides específicos
Col/Cobertura de trébol	Oruga nocturna de la col (<i>Mamestra brassicae</i>)	Menor atracción de la plaga hacia la parcela
Coles de bruselas con cobertura de ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.) ó con cobertura de tréboles	Afido de la col (<i>Brevicoryne brassicae</i> L.)	Alteración de la conducta del áfido que coloniza menos el policultivo. Aumento de enemigos naturales del áfido, principalmente de sirfidos
Tomate/Col	Polilla de la col (<i>Plutella xylostella</i>)	El tomate provee una sustancia química que repele o perturba a esta plaga
Maíz/Cobertura de mezcla de leguminosas-gramíneas	Orugas de lepidópteros como los “gusanos grises” (<i>Agrotis ipsilon</i> , etc.)	Mayor cantidad y actividad de depredadores de la plaga, sobretodo carábidos y arañas
Brócoli/Cobertura con veza o habas	Pulguillas (<i>Phyllotreta cruciferae</i>)	Alteración de la conducta de la plaga que coloniza menos el policultivo, y cuando lo hace lo abandona porque encuentra un ambiente hostil
Maíz-Judía-Calabaza	Trips	Aumento <i>Orius</i> sp. depredador de trips
Haba/Cobertura de avena o cebada	Pulgón (<i>Aphis fabae</i>)	Bajo contenido de nitrógeno en haba; lo que disminuye la atracción y desarrollo del pulgón
Cítricos/Cobertura de gramíneas	Trips	Incremento de depredadores
Tomate/Cobertura de clavelón (<i>Tagetes erecta</i>)	Control de nemátodos	Acción repelente y nematicida
Varios/Cobertura de <i>Sesamum orientale</i>	Control de nemátodos (<i>Meloidogyne incognita</i>)	Acción repelente. Aleja a la plaga.

Fuente: Alonso, A., Guzman, G., 2000.

1.1.2 Mecanismos de defensa de los policultivos frente a las enfermedades.

En general, la combinación en un policultivo de especies susceptibles y resistentes a una determinada enfermedad aérea reducen la capacidad de dispersión de los organismos responsables de la enfermedad. Ello es debido al incremento de la distancia entre una planta huésped y otra, a que los cultivos resistentes actúan de barrera frenando el movimiento de dichos organismos, etc.

Vamos a comentar con un poco de profundidad la influencia de los policultivos en el desarrollo de enfermedades transmitidas por insectos vectores. Es un hecho que la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores (áfidos, mosca blanca, etc.) tiende a ser menor en sistemas diversificados. La Tabla 4 recoge algunos ejemplos sobre ello. Los mecanismos por los que esto ocurre son, entre otros, los siguientes:

1. Hay menor colonización del vector transmisor de la enfermedad.

El policultivo reduce la atracción hacia las parcelas de los insectos vectores (áfidos, cicadélidos, mosca blanca, etc.) o aumentar las tasas de emigración hacia otras parcelas.

2. El policultivo está formado por plantas hospederas y no hospederas del patógeno

Este mecanismo ocurre sobretodo en el caso de los virus transmitidos por áfidos. En un monocultivo, cuando aterrizan en la parcela los áfidos que transportan el virus, van infectando a las plantas conforme se van alimentando sobre ellas. De esta forma, cada planta infectada se convierte en fuente de virus incluso para aquellos áfidos que habían llegado “limpios” a la parcela, que comienzan a transmitirlos a otras plantas sanas conforme se alimentan de ellas.

En un policultivo, cuando éste está formado por un cultivo hospedero del virus y otro no hospedero, la dispersión del virus por la parcela es mucho más lenta. Esto es debido a que los áfidos adquieren el virus si se alimentan de alguna planta infectada del cultivo hospedero y lo pierden cuando se alimentan del otro cultivo, en el cual no es capaz de prosperar el virus. Es decir, sólo se produce transmisión de la enfermedad de una planta a otra, si las dos son hospederas del virus, y la primera en proporcionar alimento al áfido estuviera infectada.

Si el áfido es preferencialmente atraído por el cultivo no hospedero del virus, esta segunda especie puede actuar como cultivo trampa tanto del vector como del patógeno. Tobe define como “técnica de protección de cultivo” la inclusión de plantas “no-cultivo” que proveen de alimentación para insectos infecciosos, pero que no son susceptibles al patógeno o deseables para la reproducción del insecto. Este método de policultivo o cultivos barreras ha llevado a una menor incidencia de patógenos en muchos cultivos.

3. El movimiento del insecto vector se ve limitado por la presencia del segundo cultivo.

Esto ocurrió, por ejemplo, en el caso del cicadélido transmisor de la spiropalosis del maíz, en el policultivo maíz-judía. En este caso, la presencia de judía limitó el movimiento entre surcos con respecto al monocultivo, dando lugar a una menor difusión de la enfermedad.

Tabla 4. Algunos ejemplos de enfermedades transmitidas por vectores cuya incidencia es menor en policultivos.

Patógeno	Vector (insecto que transmite el patógeno)
Virus del mosaico de la alfalfa	Áfidos
Virus del mosaico común de la judía	Áfidos
Virus del amarilleo de la remolacha	Áfidos
Virus del mosaico amarillo de la judía	Áfidos
Virus del mosaico de la coliflor	Afidos
Virus del moteado clorótico	Áfidos
Spiroplasma del atrofiamiento del maíz	Cicadélido
Virus del mosaico del pepino	Áfidos
Virus del mosaico veteado filiforme del pimiento	Áfidos
Virus del rizado amarillo del tomate	Mosca blanca
Virus del mosaico del nabo	Áfidos

Fuente: Alonso, A., Guzman, G., 2000.

Por último, otros mecanismos pueden dar lugar al menor desarrollo de algunas enfermedades en policultivos. Así, por ejemplo, la enfermedad bacteriana del tomate *Pseudomonas syringae* p.v. *tomato* es diseminada por el viento, la lluvia, el riego, etc. y es favorecida por la presencia de pequeñas lesiones en la epidermis de las plantas. Estas lesiones son menos habituales cuando el segundo cultivo está presente y ejerce función de cortavientos, por lo que la importancia de la enfermedad disminuye.

No obstante, hay que tener cuidado con la densidad de siembra a la que se establece el policultivo, pues altas densidades pueden ocasionar un microclima muy húmedo, excesivo sombreo, etc. que beneficien el desarrollo de algunas patologías, sobretudo las provocadas por hongos.

1.2 Rotaciones.

El paso de la rotación de cultivos al monocultivo es una de las principales causas de la erosión del suelo (Domínguez Gento, A., Roselló Oltra, J., Aguado Sáez, J., 2002). Una rotación de maíz-trigo-pasto presenta una tasa de erosión de 6,7 Tn/ha/año frente a las 50 Tn/ha/año de un cultivo continuado de maíz. Debido a estas tasas de erosión es evidente la pérdida de fertilidad del suelo lo que aumenta la dependencia de insumos para cubrir este descenso de fertilidad. Normalmente estos insumos no se corresponden con aportaciones de materia orgánica compostada sino con fertilizantes químicos que pueden llegar a desestructurar también el suelo además de otros efectos colaterales.

La rotación de cultivos es el establecimiento reiterado de una sucesión ordenada de especies cultivadas en la misma parcela. Es lo contrario que el monocultivo o crecimiento del mismo único cultivo en la misma parcela a través del tiempo.

Si la rotación es la sucesión ordenada de cultivos que se repiten en un cierto número de años, el cultivo simultáneo de las especies que intervienen en la rotación es la alternativa. En este caso, la finca se divide en diferentes parcelas, cada una dedicada a un cultivo diferente cada año, hasta completar la rotación. Estas parcelas reciben el nombre de hojas de la alternativa o amelgas

La rotación o la alternativa de cultivos es el primer paso para restaurar la biodiversidad en un agroecosistema que inicia el camino desde la agricultura industrializada o convencional, con un gran uso de insumos externos a la propia finca, hacia la agricultura ecológica. Se trata en este caso de establecer biodiversidad en el tiempo (rotación), y en el espacio (alternativa).

El desarrollo de la práctica de efectuar rotaciones se debió a que los cultivos criados de esta forma rendían más que si la misma especie se cultivaba continuamente durante un cierto período de tiempo en la misma parcela (monocultivo). El incremento en el rendimiento compensaba la reducción en la frecuencia de ocurrencia o en la superficie de un cultivo y el resultado es un incremento de la eficiencia de los cultivos. Es el llamado *EFEECTO ROTACIÓN*. Este efecto se basa en una serie de razones agronómicas, entre las que se encuentra el control que realiza la rotación sobre plagas y enfermedades.

El monocultivo favorece la multiplicación de parásitos y enfermedades específicas, ya que cada cultivo favorece la presencia de determinados organismos (hongos, bacterias, etc.) en el suelo. Cuando un cultivo se repite mucho (monocultivo), se incrementan las poblaciones de estos organismos, y algunos llegan a convertirse en dañinos para el cultivo. Por ello, la rotación de cultivos es eficaz para el control de la proliferación de plagas y enfermedades que cumplen los siguientes requisitos (Alonso, A., Guzman, G., 2000):

- A. Proceden de una fuente de la misma finca o de las cercanías. Esto incluye por ejemplo nemátodos, hongos, insectos plaga, etc. que habitan en el suelo. La rotación, en cambio, no es eficaz para plagas altamente móviles, que pueden invadir desde zonas más lejanas.
- B. Son plagas y patógenos que tienen un rango estrecho de huéspedes, por lo que la ausencia durante varios años de éstos, da lugar a la muerte o pérdida de viabilidad del inóculo de la enfermedad o de la plaga para producir la infección. No obstante, incluso cuando se trata de plagas polífagas o patógenos con un amplio rango de huéspedes la inclusión en la rotación de cultivos menos deseables puede ejercer un cierto control del problema. Así, plagas polífagas como el “gusano de alambre” se ven influenciadas por el cultivo precedente. La batata o la patata dan lugar a un incremento de la población de este insecto en el suelo, mientras que otros cultivos, como el nabo, el tabaco, el tomate, o la realización de barbecho blanco, la disminuyeron.
- C. Son incapaces de sobrevivir largo tiempo sin un huésped vivo. Ejemplos de ello son el mal del pie de los cereales producido por el hongo *Ophiobolus graminis* Sacc, que es el principal obstáculo para la repetición del cultivo del trigo. Enfermedades de la patata como son la viruela y la sarna ordinaria, producida por los hongos *Rhizoctonia solani* Kuhn y *Actinomyces scabies* Güss, hacen aconsejable establecer una rotación en la que no se repita el cultivo hasta pasados cuatro o cinco años, ya que la enfermedad queda latente en el suelo, y al repetir el cultivo de patata aumenta su virulencia. Nematodos fitopatógenos, como *Meloidogine* sp. o *Heterodera* sp., también reducen significativamente su población en el suelo, cuando se establece una rotación de dos o más años, en la que intervienen cultivos no huéspedes.

1.2.1 Principios de las rotaciones.

El principio más importante de las rotaciones es que los cultivos que se suceden en la rotación han de tener características diferentes y, por tanto, requerimientos diferentes. Por ejemplo, un cultivo principal normalmente consumirá mucho nitrógeno y humus, por tanto, en la rotación le sucederá un cultivo que acumule más humus, más nitrógeno, que mejore las condiciones estructurales del suelo, etc.

Esto puede diseñarse teniendo en cuenta la familia a la que pertenece –ya que no pueden repetirse cultivos de la misma familia-, la profundidad de las raíces o incluso según la parte aprovechable de la planta. En ocasiones se produce incluso incompatibilidad entre distintas familias. Por ejemplo, no deben sucederse solanáceas y cucurbitáceas. A veces, es necesario suprimir durante algunos años ciertos cultivos que presentan graves problemas sanitarios, sobre todo durante el periodo de conversión.

Pero también hay que tener en cuenta las condiciones del suelo y es, por tanto, necesario conocer las características físicas, químicas y biológicas de nuestros suelos (antecedentes, análisis químicos, etc.). Ello va a determinar la calidad de los suelos y si es necesario prepararlos previamente con algún tratamiento. Además puede orientar o determinar los tipos de cultivos que se establecerán en la rotación y las alternativas.

Tabla 5. Cultivos que no deben repetirse según familia.

COMPUESTAS	CRUCÍFERAS	CUCURBITÁCEAS	GRAMÍNEAS	LEGUMINOSAS
ACHICORIA ALCACHOFA CARDO CÁRTAMO ESCAROLA GIRASOL LECHUGA	COL COLINABO NABO RÁBANO	CALABACÍN CALABAZA MELÓN PEINO SANDÍA	CEREALES (Trigo, Triticale, Cebada, Centeno, Avena, Maíz, Sorgo, Arroz, Alpiste, Caña de azúcar...)	ALFALFA ALTRAMUZ CACAHUETE GARBANZO GUISANTE HABA JUDÍA LENTEJA SOJA TREBOL VEZA YEROS
LILIÁCEAS	QUENOPODIÁCEAS	ROSÁCEAS	SOLANÁCEAS	UMBELÍFERAS
AJO CEBOLLA CHALOTE ESPÁRRAGO PUERRO	ACELGA ESPINACA REMOLACHA	FRESA	BERENJENA BONIATO PATATA PIMIENTO TABACO TOMATE	APIO CHIRIVÍA HINOJO PEREJIL ZANAHORIA

Fuente: Domínguez Gento, 2002.

A la hora de organizar la rotación y frente a su éxito se debe tener en cuenta que el suelo siempre ha de estar cubierto, normalmente mediante cubiertas vegetales cultivadas o naturales (flora espontánea), ya que van a evitar la pérdida de nutrientes, dinamizan los procesos biológicos del suelo, aportan materia orgánica, protegen el suelo frente a la erosión, aumentan la eficacia de los riegos al mejorar la capacidad de retención del agua, etc. La inclusión de abonos verdes en la rotación es, además, una estrategia complementaria tanto en cuanto a fertilización, como en el control de plagas y enfermedades.

Tabla 6. Distribución de cultivos que no deben repetirse por profundidad de sus raíces y parte aprovechable.

PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES						
SUPERFICIALES		INTERMEDIAS			PROFUNDAS	
AJO APIO BRÉCOL CEBOLLA COL	COLIFLOR ENDIVIA ESPINACA LECHUGA MAÍZ DULCE	PATATA PUERRO RÁBANO	BERENJENA GUISANTE JUDÍA MELÓN NABO	PEPINO PIMIENTO REMOLACHA ZANAHORIA HABA	ALCACHOFA BONIATO CALABAZA CHIRIVÍA ESPÁRRAGO	SANDÍA TOMATE CARDO
PARTE APROVECHABLE						
RAÍCES Y TUBÉRCULOS	FLOR, SEMILLA Y FRUTO			HOJAS	BULBOS Y TALLOS	
PATATA ZANAHORIA REMOLACHA RÁBANO NABO	JUDÍA GUISANTE HABA TOMATE PIMIENTO BERENJENA	COLIFLOR FRESA CALABAZA CALABACÍN PEPINO	SANDÍA MELÓN ALCAHOFA MELÓN	LECHUGA ESCAROLA COL BERRO ACELGA ESPINACA APIO CARDO	CEBOLLA AJO PUERRO ESPÁRRAGO HINOJO COLINABO	

Fuente: Domínguez Gento, 2002.

Por tanto, el diseño de la rotación requiere de las siguientes orientaciones entre otras:

- Determinar las características físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Mantener cubiertos los suelos.
- Establecer primero, los cultivos principales y posteriormente, cultivos secundarios (ciclo corto, pocos exigentes, etc).
- Cultivar especies de familias distintas, diferente parte aprovechable, con raíces de profundidades y formas diferentes – y asociar con plantas de necesidades complementarias.
- Alternar cultivos de escardas con cultivos mejorantes del suelo.
- Una vez establecida una rotación adecuada hay que minimizar las variaciones.

Tabla 7. Algunos criterios para diseño de rotaciones.

MANTENIMIENTO DE LOS RECURSOS (AGUA, SUELO, NUTRIENTES)	USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS	CONTROL DE MALAS HIERBAS, PLAGAS Y ENFERMEDADES AÉREAS
<ul style="list-style-type: none"> - Minimizar la duración de períodos de suelo sin cultivo (mantener siempre el suelo cubierto). - En períodos sin cultivo o con cultivo en cobertura incompleta mantener residuos en superficie. - Incluir cultivos de sistema radical profundo. - Incluir leguminosas. - Mantener/aumentar los niveles 	<ul style="list-style-type: none"> - Alternar especies con distintos requerimientos de nutrientes. - Alternar especies con distinta profundidad radical. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alternar cultivos y evitar contigüidad <i>invierno-primavera, alta densidad - baja densidad</i>, monocotiledóneas-dicotiledóneas.

de materia orgánica		
CONTROL DE HONGOS DE SUELO	OTROS FACTORES	
<ul style="list-style-type: none"> - Incrementar el tiempo entre siembras del mismo cultivo o similar. - Incluir crucíferas (generan compuestos con efecto fungicida, insecticida y herbicida) 	<ul style="list-style-type: none"> - Optimizar los medios de producción de la explotación. - Flexibilidad: posibilidad de ajuste a condiciones particulares del año. - Tener en cuenta factores específicos de la zona y sistema de mantenimiento del suelo 	

Fuente: elaboración propia, 2006.

1.2.2 Abonos verdes en la rotación. Una estrategia complementaria en el control de enfermedades y plantas.

Los abonos verdes o siderales son plantas cultivadas que se incorporan al suelo, generalmente durante el período de floración, con el fin de realizar una mejora agronómica. Se sitúan entre calles en las plantaciones frutales o entre dos cultivos principales en la rotación, como cultivo intercalar.

La función fundamental de los abonos verdes es complementar la nutrición de los cultivos de la rotación, bien a través de la fijación de nitrógeno libre, o por su eficacia en hacer disponibles nutrientes para los cultivos que de otra manera serían inaccesibles. No obstante, un objetivo secundario de los abonos verdes puede ser el control de las plagas y enfermedades.

Los abonos verdes se emplean en agricultura ecológica de forma habitual para el control de las malas hierbas. Así, por ejemplo la mezcla de habas y centeno, sembrada en otoño como abono verde, y enterrada a finales de marzo o inicios de abril, controla el crecimiento de las malas hierbas en el cultivo siguiente. Ello es debido, por un lado, a que el rápido y abundante crecimiento del abono verde “ahoga” a las otras plantas; y, por otro, a que el centeno libera sustancias al suelo que intoxican a las malezas (compuestos alelopáticos), no permitiéndoles un adecuado crecimiento. Por otra parte, las habas acumulan nitrógeno en el suelo, tras el corte y enterrado del abono verde, que es aprovechado por el cultivo siguiente, que produce más que sin el empleo del abono verde.

También la incorporación de abonos verdes es capaz de disminuir problemas provocados por hongos del suelo y de reducir las poblaciones de nemátodos e insectos de suelo. La Tabla 8 recoge algunos ejemplos. Ello es debido fundamentalmente a tres mecanismos que explicamos a continuación.

1. Incremento de la actividad biológica en el suelo.

La incorporación del abono verde da lugar al incremento de la población y actividad de numerosos organismos presentes en el suelo (arañas, insectos, hongos, bacterias, protozoos, etc.). La mayor parte de estos organismos son positivos o neutrales para el cultivo, y limitan las poblaciones de los que son perjudiciales. Este control se realiza de forma indirecta, a través de la competencia por los recursos, y, de forma directa, porque son depredadores, parásitos, o producen sustancias tóxicas que dañan a los patógenos.

2. La formación de sustancias tóxicas durante la descomposición del abono verde.

Los restos vegetales incorporados al suelo son transformados en otros más simples por los organismos presentes en el suelo. Fruto de esta degradación, se forman algunas sustancias orgánicas intermedias que son tóxicas para otros organismos nocivos para las plantas.

3. El uso del abono verde como planta trampa.

Así, el control de nemátodos por los abonos verdes se puede realizar empleando plantas hospederas que estimulan su desarrollo, pero que se eliminan antes de que se complete el ciclo de vida del nemátodo. Un ejemplo, es el control de nemátodos de la remolacha forrajera que puede lograrse parcialmente utilizando abonos verdes de crucíferas como cultivo precedente, lo que estimula la emergencia de las larvas de los quistes, tras lo cual deben enterrarse las plantas en el suelo. Las habas tienen un efecto similar antes de la remolacha azucarera.

Tabla 8. Ejemplos del uso del abonado en verde para la protección de los cultivos.

CULTIVO BENEFICIADO	ABONO VERDE	PLAGA O ENFERMEDAD AFECTADA
Trigo	Guisante o colza	Mal del pie o pie negro <i>Gaeumannomyces graminis</i>
Algodón	Guisante o meliloto <i>(Melilotus officinalis)</i>	Pudrición de raíz <i>(Phymatotrichum omnivorum)</i>
Patata	Soja	Sarna ordinaria o roña <i>(Streptomyces scabies)</i>
Varios	Mostaza	Gusano de alambre
Melocotón	<i>Crotalaria spectabilis</i> o avena	Nematodo (<i>Heterodera marioni</i>)
	Avena, pasto Sudán	Nematodo (<i>Pratylenchus penetrans</i>)

Antes de emprender el diseño de la rotación para iniciar el período de conversión hemos, por tanto, de conocer el complejo de enfermedades y plagas asociado a cada especie. Después, deben alternarse especies de plantas que no sean sensibles o no se vean atacadas por las mismas enfermedades o plagas. En general, se recomienda que los cultivos sucesivos no pertenezcan a la misma familia, y que un cultivo no se vuelva a repetir hasta pasados al menos cuatro años, aunque evidentemente depende de la plaga o enfermedad más frecuente en la zona de cultivo.