

FP FAMILIA DE AGRARIA

G.M. APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO NATURAL | JARDINERÍA Y FLORISTERÍA | PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA Y AGROPECUARIA

PRINCIPIOS DE SANIDAD VEGETAL

Josep Lluís Sánchez Llorens

Segunda edición


EDITORIAL
SÍNTESIS

P Principios de sanidad vegetal

(segunda edición)

Josep Lluís Sánchez Llorens



© Josep Lluís Sánchez Llorens

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid
Teléfono 91 593 20 98
www.sintesis.com

Agradecimiento por las figuras que aparecen indicadas como tal a lo largo del libro a Luis Lucio, Toni Subirana Flaquer, María Isabel Margarit Company, Atocha Calvo Santesmases de Equitrainvet, HispanoHípica, Patricia Rauch de Rider Collection, Molenkoning, Vicente Torres de Ingequus, Pattet Fiter, Epona Biotec, Dinbeat

ISBN: 979-13-7055-000-4
Depósito Legal: M-13.465-2026

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

ÍNDICE

Prólogo	8
1. La vegetación espontánea	RA 1
Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación	10
Objetivos de Desarrollo Sostenible	10
Mapa conceptual	11
Glosario	12
Punto de partida	12
1.1. Clasificación de especies	14
1.1.1. Breve historia de la botánica	14
1.1.2. Nomenclatura y taxonomía botánica	15
1.2. Herbarios	17
1.2.1. Cómo elaborar un herbario	17
1.2.2. Algunos herbarios de referencia	18
1.3. La flora arvense y sus cultivos	18
1.3.1. Beneficios de la flora arvense	20
1.3.2. La importancia de los setos	21
1.3.3. Alelopatías	23
1.4. Relación entre diversidad vegetal y control biológico	24
1.4.1. Cómo aumentar la diversidad de enemigos naturales en el agroecosistema	25
1.5. Métodos de eliminación y control de la flora adventicia	27
1.5.1. La proliferación de las malas hierbas	27
1.5.2. Métodos culturales de control indirecto	28
1.5.3. Métodos culturales de control directo	29
1.6. Las especies parásitas	33
1.6.1. Clasificación de las especies de plantas parásitas	34
1.6.2. Plantas parásitas más relevantes	34
1.7. Descripción botánica de algunas especies de adventicias	35

Ideas clave	42
Aplica lo aprendido	43
Solución del punto de partida	44
Práctica profesional 1.1	45
Práctica profesional 1.2	46
Práctica profesional 1.3	47
Práctica profesional 1.4	48
Práctica profesional 1.5	49
Ponte a prueba	50

2. Introducción a la sanidad vegetal

RA 2

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación	52
Objetivos de Desarrollo Sostenible	52
Mapa conceptual	53
Glosario	54
Punto de partida	54
2.1. El equilibrio en el agroecosistema	55
2.2. El estado sanitario de las plantas	59
2.3. Relaciones bióticas interespecíficas	64
2.3.1. Comensalismo	64
2.3.2. Competencia	64
2.3.3. Depredación	65
2.3.4. Mutualismo	65
2.3.5. Parasitismo	66
2.3.6. Simbiosis	66
2.4. Cadenas tróficas	67
2.5. Fauna perjudicial y fauna auxiliar	69
Ideas clave	72
Aplica lo aprendido	73
Solución del punto de partida	74
Práctica profesional	75
Ponte a prueba	76

3. Daños y beneficios causados por la fauna

RA 2

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación	78
Objetivos de Desarrollo Sostenible	78
Mapa conceptual	79

Glosario	80
Punto de partida	80
3.1. Concepto de plaga	81
3.2. Biología de los invertebrados	81
3.3. Insectos	82
3.3.1. Clasificación taxonómica	82
3.3.2. Morfología	83
3.3.3. Metamorfosis	84
3.3.4. Alimentación	85
3.3.5. Reproducción	85
3.3.6. Algunos insectos que causan daños a los cultivos	86
3.3.7. Algunos insectos beneficiosos para los cultivos	92
3.4. Ácaros	96
3.4.1. Morfología	96
3.4.2. Metamorfosis	96
3.4.3. Alimentación	96
3.4.4. Reproducción	97
3.4.5. Algunas familias de ácaros de importancia agrícola	97
3.4.6. Algunos ácaros que causan daños a los cultivos	97
3.4.7. Algunos ácaros beneficiosos para los cultivos	99
3.5. Nematodos	101
3.5.1. Morfología y alimentación	102
3.5.2. Ciclo biológico y reproducción	102
3.5.3. Daños causados por nematodos	103
3.5.4. Algunos nematodos que causan daños a los cultivos	103
3.5.5. Algunos nematodos beneficiosos para los cultivos	105
3.6. Gasterópodos	106
3.6.1. Características biológicas y alimentación	106
3.6.2. Algunas especies perjudiciales de caracoles y babosas	108
3.7. Biología de las aves y los mamíferos	108
3.8. Aves	108
3.9. Mamíferos	110
3.9.1. Orden Rodentia	110
3.9.2. Orden Lagomorpha	110
3.9.3. Orden Artiodactyla	110
Ideas clave	112
Aplica lo aprendido	113

Solución del punto de partida	114
Práctica profesional	115
Ponte a prueba	116

4. Los agentes abióticos

RA 3

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación	118
Objetivos de Desarrollo Sostenible	118
Mapa conceptual	119
Glosario	120
Punto de partida	120
4.1. Accidentes meteorológicos	121
4.1.1. Efectos negativos de las temperaturas	122
4.1.2. Daños causados por el viento	124
4.1.3. Daños causados por las precipitaciones	125
4.1.4. Daños por componentes atmosféricos	127
4.2. Desajustes nutricionales	128
4.2.1. Ley de la restitución y ley del mínimo	129
4.2.2. Carencias de nutrientes	130
4.2.3. Exceso de nutrientes	135
4.3. Fitotoxicidades por plaguicidas	136
4.3.1. Fitotoxicidad por herbicidas	138
4.4. Efectos beneficiosos de los agentes abióticos	139
4.4.1. Acción de las temperaturas y la iluminación	139
4.4.2. Aporte de nitrógeno con agua de lluvia	142
Ideas clave	143
Aplica lo aprendido	144
Solución del punto de partida	146
Práctica profesional	147
Ponte a prueba	148

5. Enfermedades de las plantas

RA 3

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación	150
Objetivos de Desarrollo Sostenible	150
Mapa conceptual	151
Glosario	152
Punto de partida	152
5.1. Mecanismos de transmisión	153

5.1.1. Transmisión mecánica	153
5.1.2. Transmisión por semillas	154
5.1.3. Transmisión por vectores	154
5.1.4. Transmisión por agua de riego, lluvia o viento	155
5.2. Hongos	155
5.2.1. Infección	156
5.2.2. Patógenos	156
5.2.3. Antagonistas	161
5.3. Virus, viroides y fitoplasmas	163
5.3.1. Algunos virus, viroides y fitoplasmas de importancia agrícola	165
5.4. Bacterias	169
5.4.1. Algunas bacterias de importancia agrícola	169
Ideas clave	172
Aplica lo aprendido	173
Solución del punto de partida	174
Práctica profesional	175
Ponte a prueba	176

6. Toma de muestras y envío al laboratorio

RA 4

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación	178
Objetivos de Desarrollo Sostenible	178
Mapa conceptual	179
Glosario	180
Punto de partida	180
6.1. Materiales para la toma de muestras	181
6.2. Procedimientos de muestreo	182
6.2.1. Observación	182
6.2.2. Recolección de muestras con diferentes estados de la enfermedad	183
6.2.3. Información adicional	183
6.3. Envío al laboratorio	185
6.4. Preparación de muestras en el laboratorio	186
6.5. Monitoreo de plagas. Conteos de fauna fitófaga y auxiliar	187
6.6. Umbrales de actuación	192
Ideas clave	194
Aplica lo aprendido	195
Solución del punto de partida	196
Práctica profesional	197
Ponte a prueba	198

7. Métodos de control

RA 5

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación	200
Objetivos de Desarrollo Sostenible	200
Mapa conceptual	201
Glosario	202
Punto de partida	202
7.1. Métodos indirectos	203
7.1.1. Normativa sobre sanidad vegetal	203
7.1.2. Organismos para la sanidad vegetal y medidas institucionales	206
7.1.3. Métodos culturales	208
7.1.4. Métodos genéticos	214
7.2. Métodos directos	215
7.2.1. Métodos físicos	215
7.2.2. Control biológico	218
7.2.3. Control integrado	218
7.2.4. Control biotécnico	219
7.2.5. Control químico	221
Ideas clave	224
Aplica lo aprendido	225
Solución del punto de partida	226
Práctica profesional	227
Ponte a prueba	228

2

Introducción a la sanidad vegetal

RESULTADO DE APRENDIZAJE Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

RA 2. Determina la fauna perjudicial y beneficiosa para los vegetales, relacionando las características biológicas con los efectos sobre las plantas.

- a) Clasifica los seres vivos como perjudiciales o beneficiosos dentro de una clasificación general.
- b) Identifica las características morfológicas más relevantes de invertebrados, aves y mamíferos.
- c) Describe la fisiología de la fauna perjudicial y de la fauna beneficiosa.
- d) Diferencia los órdenes de insectos y ácaros perjudiciales y beneficiosos para las plantas.
- e) Elabora un insectario con los órdenes más característicos.
- f) Reconoce los síntomas y daños que la fauna perjudicial produce en las plantas.
- g) Identifica la fauna perjudicial responsable de los síntomas o daños observados en las plantas.
- h) Relaciona el ciclo biológico de la fauna potencialmente plaga con las condiciones ambientales y la fenología de la planta.



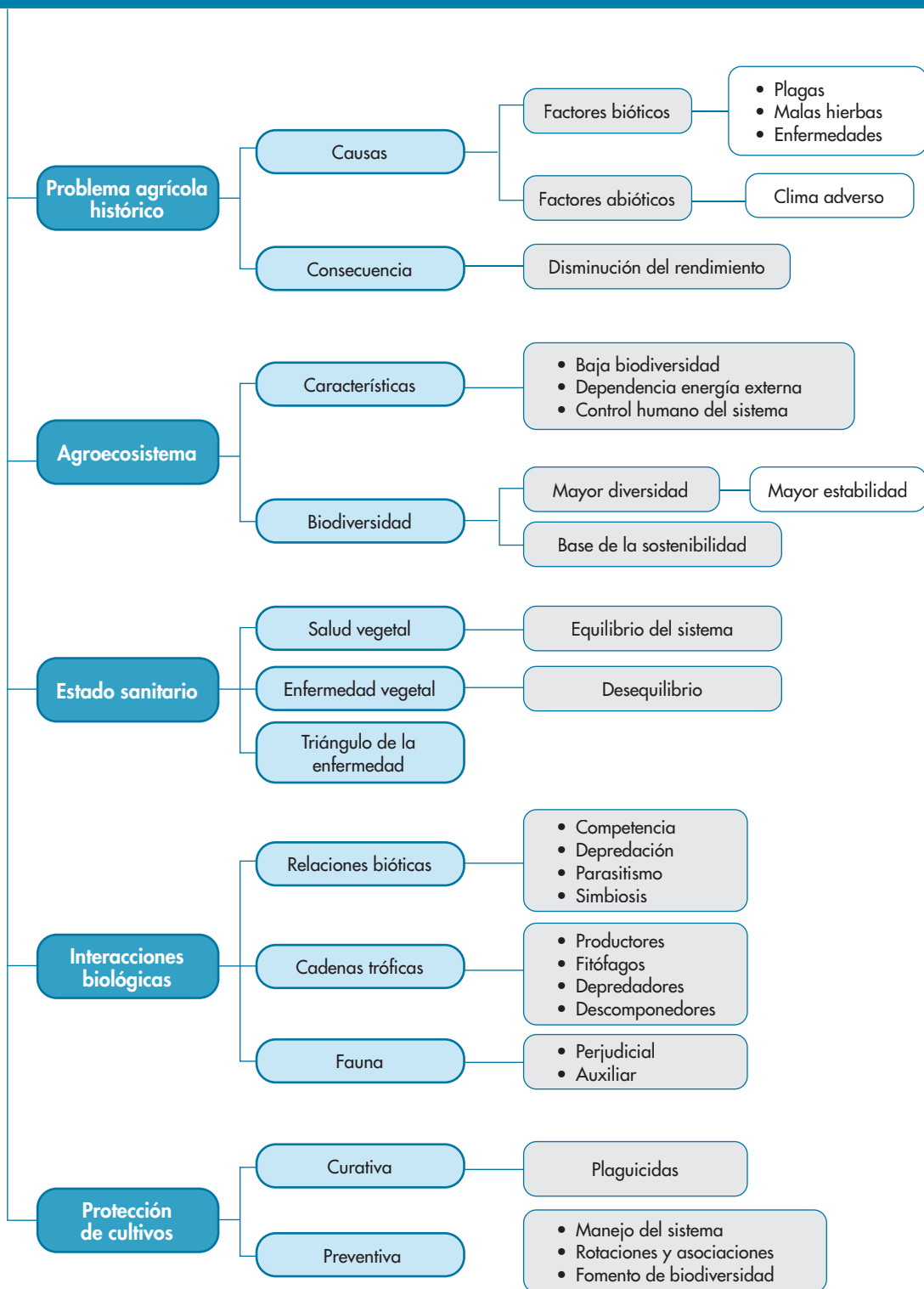
Objetivos de Desarrollo Sostenible

En este capítulo se van a trabajar los ODS 2, 3, 4, 12, 13 y 15.



MAPA CONCEPTUAL

INTRODUCCIÓN A LA SANIDAD VEGETAL





GLOSARIO

- Cepa/inóculo:** cantidad de material biológico capaz de iniciar una infección o proceso patológico.
- Competencia (ecológica):** interacción en la que dos organismos compiten por recursos limitados del agroecosistema.
- Depredador/depredación:** organismo que captura y consume a otro; en sanidad vegetal, regula poblaciones de plagas.
- Descomponedor:** organismo que transforma materia orgánica en compuestos simples, cerrando el ciclo de nutrientes.
- Enfermedades iatrogénicas (en agricultura):** daños o enfermedades provocadas por intervenciones humanas, como el uso de productos químicos.
- Exudado radicular:** sustancias liberadas por las raíces que influyen en la microbiota del suelo y sus interacciones.
- Fitófago:** organismo que se alimenta de partes vegetales y puede causar daños en los cultivos.
- Fitopatología (patología vegetal):** ciencia que estudia las enfermedades de las plantas, sus causas y su control.
- Micorriza(s):** asociación entre hongos y raíces que mejora la absorción de nutrientes y la defensa frente a patógenos.
- Vectores (insectos vectores):** organismos que transmiten patógenos entre plantas al alimentarse de ellas.

PUNTO DE PARTIDA



En el huerto escolar del centro se ha detectado un problema generalizado. Algunas plantas presentan hojas amarillentas y moteadas, el crecimiento es débil, hay más insectos fitófagos de lo habitual y el suelo está compactado, con poca materia orgánica.

Ante esta situación, se plantea un reto, actuar como un equipo técnico y recuperar la salud del agroecosistema sin recurrir a soluciones rápidas que generen nuevos desequilibrios.

El trabajo comienza con un diagnóstico para identificar las posibles causas del problema (plagas, patógenos, falta de nutrientes, estrés ambiental o errores de manejo). El objetivo es asegurar un cultivo productivo y estable aplicando el ODS 2 mediante decisiones que eviten pérdidas y mejoren la sanidad del cultivo a medio plazo. A partir de la información recogida, se diseñará un plan de actuación que reduzca el uso de insumos y priorice medidas sostenibles, como el aporte de compost, la mejora de la estructura del suelo o el control mecánico, en línea con el ODS 12.

Además, se incorporarán medidas que aumenten la resiliencia del huerto frente a condiciones climáticas adversas, como conservar la humedad del suelo y ajustar el riego para reducir el estrés de las plantas, contribuyendo al ODS 13. Por último, se reforzará la biodiversidad funcional mediante setos o bandas florales que favorezcan la fauna auxiliar y el control biológico, aplicando el ODS 15. El resultado final será una propuesta técnica breve que combine diagnóstico, soluciones sostenibles y mejora del equilibrio ecológico del sistema.



Desde los inicios de la agricultura, ha sido una gran preocupación para el agricultor el buen desarrollo de sus plantaciones y conseguir al final del cultivo una cosecha suficiente para cubrir sus necesidades alimenticias o económicas. La incidencia de las plagas, la competencia de las malas hierbas y las mermas debidas a las enfermedades y a los fenómenos meteorológicos adversos —como heladas, sequías o lluvias torrenciales— ha provocado, en muchas ocasiones, una disminución de los rendimientos de sus cultivos (figura 2.1). Esta disminución, en algunos casos, ha sido muy significativa o ha llegado, incluso, en alguna circunstancia, a suponer la pérdida total de la cosecha.



Figura 2.1. Cosecha de maíz perdida por inundaciones.

Desde ese momento, el hombre ha hecho todo lo que ha estado en su mano para preservar sus cosechas y controlar estos agentes externos que tantos problemas le han causado. En algunos casos, el agricultor o el técnico ha llevado a cabo las acciones cuando el daño ya estaba hecho, mediante tratamientos curativos como el uso de fungicidas para curar las enfermedades por hongos, las aplicaciones de plaguicidas para combatir las plagas, etc. En otras circunstancias, ha habido actuaciones *a priori* que han prevenido los efectos negativos que estos agentes le hubiesen podido causar a la planta, como medidas culturales, legislativas, biotécnicas, etc.

En cualquier caso, el conjunto de las acciones encaminadas a controlar la acción de los agentes patógenos, ya sean anteriores o posteriores a la acción de estos, es lo que se conoce como *protección de cultivos*.

Un paso más allá de la protección de cultivos se encuentra el concepto de *sanidad vegetal*, que estaría más relacionado con la preservación de la salud de las plantas que con el tratamiento de la enfermedad.

Para poder comprender los principios de la sanidad vegetal, habrá que abordar temas y asumir conceptos tales como los del triángulo de la enfermedad, las relaciones bióticas específicas o el funcionamiento de las cadenas tróficas, así como asimilar ideas como las de *fauna perjudicial* y *fauna auxiliar* o entender que la diversidad en un agroecosistema es fundamental para mantener el equilibrio biológico y, así, la buena sanidad del cultivo.

2.1. El equilibrio en el agroecosistema

Las plantas en el medio natural forman parte de lo que se conoce como *ecosistemas*, que son conjuntos de seres vivos, llamados *biocenosis*, que se relacionan e interactúan entre sí en un medio físico concreto denominado *biotopo*.

El concepto de *ecología* llevado a la agricultura descubre el término *agrosistema* o *agroecosistema*, que entiende el campo de cultivo como un ecosistema donde se dan una serie de procesos y relaciones entre los seres vivos, en las dinámicas del suelo, etc., siempre condicionados por una cierta influencia humana.



RECUERDA

Según palabras de Stephen Gliessman, la agroecología es “la aplicación de los conceptos y principios de la ecología al diseño y manejo de los agroecosistemas sostenibles”.

A continuación, se recogen las características propias de los agroecosistemas:

- Los agrosistemas requieren fuentes auxiliares de energía –que puede ser humana, animal o combustible– para aumentar su productividad.
- La diversidad puede ser muy reducida en comparación con la de otros ecosistemas naturales.
- Los animales y plantas que predominan son seleccionados artificialmente y no por selección natural.
- Los controles del sistema son, en su mayoría, externos y no internos, ya que se ejercen por medio de retroalimentación del subsistema.
- La producción de biomasa se destina, preferentemente, para su consumo externo a él; por tanto, el nivel de reinversión de biomasa es bajo.

¿Qué quieren decir todas estas premisas? ¿Qué interpretación se puede hacer de ellas? Pues, básicamente, y a diferencia de los ecosistemas naturales, los balances de materia en el agrosistema se tienen que equilibrar con insumos externos, ya que la biomasa resultante de la cosecha se extrae del sistema y debe compensarse con aportes de fertilizantes. Lo mismo ocurre con la energía del sistema, que se suministrará mediante la mecanización agraria, lo que antaño se resolvía con la fuerza humana o animal.

No obstante, las características de los agrosistemas los definen como sistemas condicionados por los insumos externos, fundamentalmente dependientes del hombre y necesarios para mantener su productividad.

Así, es el agricultor quien controla el sistema agrario y será este el que realizará las aportaciones necesarias de fertilizantes, de mano de obra, del agua de riego, si fuera necesaria, de elementos para el control biológico, etc. para asegurar las cosechas y, de esta manera, un mínimo equilibrio en el agrosistema.



RECURSO WEB

Visita la página web de Justicia Alimentaria, una ONG dedicada a formar personas para asumir el derecho a una alimentación saludable, para la justicia social y para la sostenibilidad medioambiental. Su contenido es relevante porque aporta una perspectiva social y ambiental que refuerza la importancia de una agricultura sostenible y responsable.



Por otro lado, la biodiversidad será guardada también por el agricultor-ganadero, ya que elegirá las especies de los diversos cultivos y las plantas consorte destinadas a los setos, a funciones de repeler fitófagos o a albergar auxiliares o como asociadas a ciertos cultivos según su ideario. Esta selección será, por supuesto, artificial, y estará dirigida por el hombre con criterios agronómicos que irán desde la tolerancia o la resistencia a ciertas enfermedades hasta las cualidades organolépticas del producto, o bien obedecerá a razones estrictamente comerciales.

En ciertos agroecosistemas, al igual que en algunos ecosistemas naturales, se puede encontrar una mayor diversidad de especies de vegetales, de animales y de microorganismos que en otros. De esta manera, se entiende la biodiversidad como la riqueza en seres vivos en un ecosistema. Esta biodiversidad se significa como uno de los pilares de la sostenibilidad de ese ecosistema (figura 2.2).

Este es un hecho muy estudiado en ecología, pero si se extrapola a la agricultura, donde la biodiversidad es mucho menor, se hace evidente, también, que la sostenibilidad o sustentabilidad del agroecosistema aumenta conforme aumenta su biodiversidad.

Esto ha hecho que varios ecólogos, como Altieri, Gliessmann, Farrell, Richards, Hart, Conway o Marten, hayan puesto su mirada en los sistemas agrarios tradicionales, ya que en ellos se encuentra una mayor biodiversidad que en los sistemas agrarios industriales o convencionales, gobernados, casi todos ellos, por el monocultivo, paradigma de la pérdida de diversidad en ecosistemas agrarios.

Al contrario que en los sistemas agrarios tradicionales, en los cultivos convencionales —poco diversos y apoyados en muchas ocasiones por grandes cantidades de plaguicidas y abonos de síntesis— se generan desequilibrios que se expresan como fuertes ataques de plagas y enfermedades y como procesos acompañados de perjuicios para el medio ambiente; perjuicios como el aumento de la salinización y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas o como los procesos de erosión y desertización tan acuciantes en lugares como el sudeste de la península ibérica (figura 2.3).



Figura 2.2. Biodiversidad en un campo de cereales.



Figura 2.3. Campo de soja en monocultivo.

Esta sostenibilidad del sistema agrario está directamente relacionada con aspectos como la disponibilidad de nutrientes, la diversidad de especies, la correcta iluminación, la disponibilidad hídrica y, por supuesto, el equilibrio entre la fauna fitófaga y la fauna auxiliar del agrosistema. El correcto mantenimiento de este equilibrio será fundamental para preservar la sanidad del cultivo; así, mientras el equilibrio de estos factores se mantenga, la planta tendrá una gran capacidad para resistir situaciones de estrés y, consecuentemente, será más productiva. Esto no es, *a priori*, una tarea fácil, ya que el equilibrio en un sistema agrario es bastante inestable. Pero pese a tener situaciones de desequilibrio, el agroecosistema demostrará su capacidad de resiliencia, volviendo al estado original y rectificando el equilibrio sin haberse ocasionado cambios importantes en su estructura o funciones, siempre que se demuestre como un sistema lo suficientemente maduro.

Esto no quiere decir que el agrosistema no se vaya a encontrar con situaciones de perturbación que ocasionen mermas en el cultivo, pero si el agrosistema mantiene un buen equilibrio entre los factores citados anteriormente, esto sucederá de manera transitoria y la posición de natural se retomará pasado cierto tiempo.



IMPORTANTE

Cary Fowler y Pat Mooney –en su obra *Shattering. Food, politics and the loss of genetic diversity*, publicada por la Universidad de Arizona en 1990– afirman que los paisajes agrícolas del mundo están constituidos por solo unas doce especies de cultivos de grano, veintitrés de cultivos hortícolas y treinta y cinco de frutales y frutos secos.



Figura 2.4. Diversidad de fauna auxiliar.

Volviendo a la biodiversidad como eje principal del equilibrio en el ecosistema, se puede afirmar que en un ecosistema antropizado, como el agrario, será el agricultor o el técnico el encargado de preservar esa biodiversidad o de incrementarla dentro de sus posibilidades, actuando como garante de la sanidad del cultivo, ya que será quien, en última instancia, decidirá qué especies se incorporan al sistema (figura 2.4).

De esta manera, será interesante para el agricultor actuar sobre la diversidad funcional –es decir, aquella que va a producir unos efectos positivos al mejorar la dinámica de agroecosistema– y no tanto sobre la diversidad *per se*, introduciendo cualquier especie simplemente por aumentar la diversidad. Este aspecto se estudiará con mayor detenimiento en el apartado 2.4.

La clave, entonces, estaría en responder a la siguiente pregunta: ¿cómo crear o mejorar agrosistemas para aumentar su grado de sostenibilidad y conseguir así un estado sanitario equilibrado?

La respuesta podría venir de la mano de la agricultura tradicional, empleando técnicas agrícolas utilizadas antes de la revolución verde y que actualmente están en proceso de recuperación, sobre todo por parte de la agricultura ecológica. Estas técnicas podrían ser, por ejemplo, las siguientes:

- La utilización de asociaciones de cultivos que mejoren los rendimientos parciales y que planteen un uso y reposición de nutrientes adecuado.
- Un manejo eficiente del riego que pueda evitar el estrés hídrico y la proliferación de enfermedades fungidas asociadas a excesos de humedad, como el oídio o el mildiu.
- Los aportes periódicos de materia orgánica que mejoren la textura y estructura del suelo, su biología y su capacidad nutricional. Así como favorecer la proliferación y presencia de hongos antagonistas como *Trichoderma* o *Chaetonium*.
- La recuperación de las rotaciones y alternativas de cultivo que evitan la fatiga de la tierra y disminuyen las posibilidades de que un patógeno se asiente en un terreno de manera estable y que, además, mejoran el control de la flora adventicia.
- Determinadas asociaciones de cultivos pueden aumentar el rendimiento de las cosechas. Algunas plantas pueden actuar como cebos para algunas especies parásitas o como barreras naturales que dificultan la migración de las especies plagas a otras plantas.
- El correcto manejo de la biodiversidad vegetal que aumente las posibilidades de presencia de fauna auxiliar para un mejor control de las especies fitófagas.

Poner en práctica todas estas técnicas agronómicas mejorará, sin duda, el estado del cultivo y asegurará una progresión en la madurez del sistema, lo que acabará repercutiendo en su sostenibilidad.



CASO PRÁCTICO 2.1

Un equipo técnico debe asesorar a una explotación agrícola afectada por los problemas derivados del monocultivo, como la pérdida de biodiversidad, el aumento de plagas y los problemas relacionados con el cambio climático. Para fundamentar sus propuestas, se decide analizar referentes científicos en agroecología. Investiga la figura de Miguel Altieri (Universidad de California) en la siguiente entrevista en CNN Chile, donde explica los principios de la agroecología. Elabora un resumen de las ideas clave de la entrevista, relacionándolas con alternativas de manejo sostenible aplicables al contexto agrícola actual.



2.2. El estado sanitario de las plantas

Las plantas forman parte de ecosistemas complejos que interactúan con otros organismos, en muchos casos parásitos de estas, tanto en un ecosistema natural como en un sistema productivo agrario. La presencia de parásitos en un cultivo –y en mayor medida si estos adquieren la condición de plaga– puede ser consecuencia de una situación de desequilibrio que podría llevar a la planta a un estado de enfermedad. No obstante, hay que entender que las plantas, y entre

ellas los cultivos, soportan un grado de parasitismo con el cual conviven y que no tiene por qué implicar un perjuicio demasiado grande para ellas.

De manera natural se producen estados de convivencia entre organismos, así como estados de competencia por los recursos del sistema, lo cual da lugar a situaciones en las que unos organismos prevalecen sobre otros. Estas situaciones cambian con el paso del tiempo.

De ahí que los conceptos de *salud* y *enfermedad* no deban entenderse de manera absoluta, ya que estos principios dependerán de las expectativas que se hayan depositado en el estado, en el aspecto o en la productividad de la planta.

El criterio de planta enferma no será el mismo para un productor de flor cortada que para un horticultor o un productor ecológico, ya que los umbrales de daño para uno y otro serán diferentes.



Figura 2.5. Manchas de afección por oidio.

Se podría dar una definición similar para entender una plaga o una fisiopatía, pero con unos matices que será importante resaltar. Más adelante se describirán estos conceptos, fundamentales también para el estudio de la sanidad vegetal.

Así, se podrá decir que no existe planta sana por completo, sino una prevalencia de un elemento u otro del sistema.

Pero para comprender bien todo esto, es importante tener claro el concepto de *enfermedad*. Se entenderá, entonces, por *patología* o *fitopatología* un desequilibrio en el agrosistema –en muchos casos consecuencia de la acción humana (monocultivo, aplicación indiscriminada de plaguicidas, migración de plagas y patógenos por la acción del hombre, material de propagación, etc.)– que causará un perjuicio al cultivo, superando un umbral de daño que se haya fijado previamente.



SABÍAS QUE...

Ya Louis Pasteur, en el siglo XIX, demostró la relación de causalidad entre las bacterias y las enfermedades. Y desde aquel momento, y hasta la actualidad, la ciencia adoptó las hipótesis sobre etiología de Robert Koch, que vinculaban al microorganismo como único responsable de una enfermedad. Así, las enfermedades, en muchas ocasiones, están denominadas por el nombre del microorganismo que las causa. Por ejemplo, el ántrax se denomina así por la bacteria *Bacillus anthracis* o la tuberculosis recibe su nombre por la micobacteria *Mycobacterium tuberculosis*.

Pero, actualmente, en patología vegetal ya no se considera al agente patógeno como único causante de la enfermedad al tenerse en cuenta otros factores que, de igual manera, son determinantes para desencadenar el proceso de la enfermedad.

En palabras de José Luis Porcuna (citado en Altieri, 2001, p. 220), la enfermedad es “El proceso de interacción entre unas condiciones ambientales favorables al desarrollo de un parásito, sobre un huésped sensible a este, en un espacio y tiempo determinados”.

Hoy en día, la enfermedad se puede definir, asimismo, como una alteración no deseada, integrada como instrumento esencial de regulación en el propio proceso homeostático que regula un sistema.

En otras palabras, cuando se produce una enfermedad, esta estará caracterizada por unos síntomas, que pueden ser morfológicos, fisiológicos o histológicos, que pueden manifestarse externa o internamente. Estos síntomas serán la consecuencia observable de un proceso biológico en el que estarán integrados planta y patógeno.

Pero para que pueda darse la enfermedad, además de estos dos factores necesarios, será imprescindible un tercero, el ambiente. A continuación, se va a explicar cómo influyen conjuntamente estos tres factores en el desarrollo del proceso de la enfermedad y cómo queda reflejado gráficamente en lo que se conoce como el *triángulo de la enfermedad* (figura 2.6).

Como representa la figura 2.6, para que se lleve a cabo el proceso de la enfermedad, se tienen que dar simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Que el huésped se encuentre en un estado que lo haga susceptible de ser parasitado.
- b) Que el inóculo del parásito sea suficiente para producir la infección.
- c) Que las condiciones ambientales sean las adecuadas para el desarrollo del proceso.

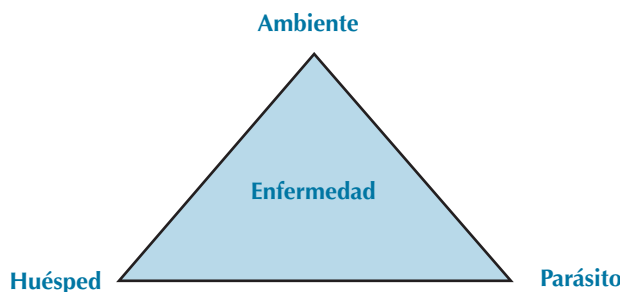


Figura 2.6. Triángulo de la enfermedad.

Cuando se dan estas tres premisas, la enfermedad se produce y la planta sufre las consecuencias de dicha situación.

Por lo tanto, los síntomas diferirán en función del parásito; en aquellos casos en los que el diagnóstico *de visu* sea complicado, será necesario realizar pruebas de laboratorio para averiguar cuál es el patógeno involucrado y de qué enfermedad se trata (tema que se abordará en el capítulo 6).

Ya se ha hablado anteriormente de la predisposición del huésped a un proceso enfermizo; se pueden citar situaciones que generan a la planta un estrés que favorecerá en gran medida que la infección por parte del patógeno acabe siendo un éxito. Esas situaciones son las generadas en un ambiente favorable para el desarrollo de la enfermedad. En este sentido, se pueden destacar las condiciones atmosféricas y las condiciones del suelo, la influencia de estos y sus conexiones en todo el proceso de la patología. Se hace referencia aquí, entre otros, al estrés hídrico, al causado por la acumulación de sales, al ocasionado por exceso o déficit lumínico, a la presencia de fotooxidantes atmosféricos en cantidades excesivas, al aumento de las radiaciones UV-B, a altas concentraciones de CO₂, etc. Por poner un ejemplo, la presencia de ozono en cantidades demasiado grandes está asociada con sintomatologías del tipo clorosis, moteados, necrosis, etc.

En cuanto a los aspectos más relacionados con el suelo, no se ha de pasar por alto la importancia fundamental de este medio en la salud de los cultivos, pues es tan influyente su preparación como su posterior manejo. De nuevo, la biodiversidad será pieza fundamental de este rompecabezas, pero esta vez será la de artrópodos, anélidos y microorganismos, entre ellos, hongos y bacterias.



RECUERDA

Para el buen mantenimiento de la biodiversidad del suelo, es necesario un manejo adecuado del riego y de la materia orgánica que asegure preservar lo que se conoce como *fertilidad del suelo*, que se define como la capacidad de intercambio de nutrientes entre el suelo y la planta.

Se ha estudiado cómo la fertilización mineral y sintética asociada a la intensificación agrícola y al abandono de los abonos orgánicos a base de estiércol animal o restos verdes de las cosechas ha contribuido a disminuir esa biodiversidad, con lo que el suelo ha perdido la capacidad de ser un medio vivo y dinámico para convertirse en un medio inerte en el que, en muchos casos, se han desarrollado microorganismos que favorecen el ataque de parásitos del suelo y el desarrollo de enfermedades como *Sclerotinia* o *Rhizoctonia*. Así se llega al estado que se conoce como *fatiga* o *toxicidad del suelo*, donde el medio ya no es capaz de aportar nada beneficioso a la planta.



IMPORTANTE

El complejo arcillo-húmico representa un papel fundamental en la nutrición vegetal. Si los niveles de materia orgánica en el suelo son muy bajos, este complejo no se forma y la arcilla y los nutrientes se arrastran a capas más profundas. De igual modo, en este caso, las arcillas dejan de realizar una tarea fundamental en la resistencia de la planta a hongos del tipo *Fusarium oxysporum*. También es importante destacar el papel de las micorrizas. Estas asociaciones simbióticas entre hongos y raíces de plantas mejoran la absorción de agua y nutrientes al ampliar el volumen radicular además de aumentar la capacidad de defensa del cultivo contra algunos hongos patógenos del suelo, así como contra el ataque de nematodos.

Otro aspecto destacable respecto a la predisposición del huésped a la infección tiene que ver con el estado nutricional del cultivo y con el contenido de ciertos nutrientes en la planta. Está descrito cómo a altas concentraciones de abonos nitrogenados la planta puede ser más

sensible a ataques de parásitos y, consecuentemente, a la aparición de enfermedades debido a una deficiencia en la lignificación de la planta y a la consiguiente falta de endurecimiento de sus tejidos.

De manera opuesta, algunos abonos —como el fósforo, el potasio o el azufre— aportan al cultivo mayor resistencia a las enfermedades, ya que ejercen sobre las plantas un favorable efecto vigorizante o anticriptogámico.

En su teoría de la trofobiosis, el fisiólogo francés Francis Chaboussou otorga especial importancia a la nutrición de las plantas, y describe la relación de estas con los organismos que se alimentan de ellas a partir de las sustancias internas de la planta que les sirven como alimento, destacando que cuanto mayor es el contenido de aminoácidos, más interés tiene la planta para el parásito.

Tampoco se debe pasar por alto la influencia de los plaguicidas tanto en el resurgimiento de algunas plagas como en el aumento de la sensibilidad a algunas enfermedades.

En el caso concreto de las plagas, la utilización de plaguicidas causa un descenso considerable de los enemigos naturales, con lo que las poblaciones de fitófagos no se ven disminuidas y, como consecuencia, hay un mayor número de insectos vectores y una mayor probabilidad de transmisión de enfermedades.

El efecto de los herbicidas es similar porque elimina la flora adventicia que, en muchas ocasiones, sirve como reservorio de la fauna auxiliar (figura 2.7).

Estos podrían ser los efectos más visibles del uso de plaguicidas, pero también se dan otros efectos negativos, ya que intervienen —como productos de gran actividad biológica que son— en los procesos fisiológicos de las plantas y los animales con los que están en contacto (p. ej., modificando las concentraciones de azúcares, de nitrógeno o del exudado radicular de la planta, situaciones que podrán favorecer el ataque y la proliferación de ciertos patógenos).

Tanto es así que las *enfermedades iatrogénicas* se definen como aquellas causadas directamente por el uso de productos químicos en la agricultura.

Entre los factores que determinan la predisposición del huésped a la enfermedad, se debe destacar la propensión genética del cultivar a la enfermedad, así como la posible tolerancia a esta o, incluso, su carácter resistente. Así ocurre con especies de olmos asiáticos, como *Ulmus pumila*, *Ulmus parviflora*, *Ulmus japonica* o *Ulmus wallichiana*, que, al ser resistentes, han sido utilizadas para obtener híbridos resistentes. Los olmos europeos, como el *Ulmus minor* u olmo común, tienen una mayor sensibilidad a la enfermedad, aunque algo menor, incluso, que la de los olmos de Norteamérica, donde resulta más difícil encontrar pies resistentes. El cruzamiento entre alguna de estas especies asiáticas con *Ulmus minor* da ejemplares que mantienen la resistencia al *Ophiostoma ulmi*.

La adaptación de una variedad a un entorno, como es el caso de las variedades locales, generalmente más rústicas que los híbridos comerciales, está asociada a una menor presencia de enfermedades y de problemas sanitarios causados por elementos patógenos.

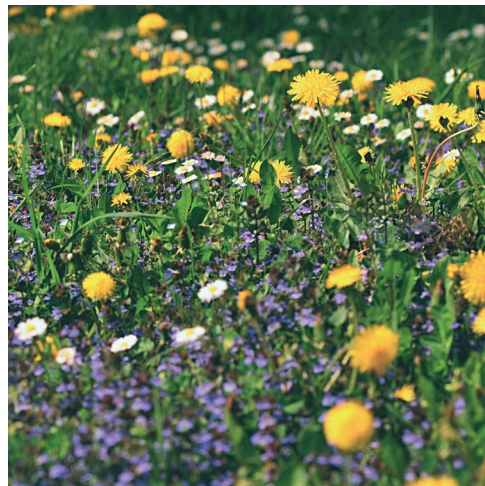


Figura 2.7. Reservorios de fauna auxiliar.



ACTIVIDAD PROPUESTA 2.1

Representa gráficamente el triángulo de la enfermedad vegetal e indica cinco ejemplos de enfermedades de las plantas en las que se pueda aplicar este modelo, explicando brevemente sus componentes.

2.3. Relaciones bióticas interespecíficas

Cuando en la naturaleza se habla de relaciones bióticas interespecíficas, se hace referencia a las interacciones entre organismos vivos de diferentes especies; al contrario de lo que ocurre con las relaciones intraespecíficas, que hacen referencia a las interacciones entre individuos de la misma especie.

Como relaciones interespecíficas cabe citar las siguientes: comensalismo, competencia, depredación, mutualismo, parasitismo y simbiosis, que se describen y ejemplifican a continuación.

2.3.1. Comensalismo

Se trata de comensalismo cuando existe una relación entre dos individuos en la que uno de ellos obtiene un beneficio mientras que el otro no obtiene ni beneficio ni perjuicio.

Esta relación se puede dar con diversos intereses:

- a) *Alimentación*. Originariamente se utilizó para organismos que compartían alimentos (p. ej., los carroñeros después de que los depredadores se hayan alimentado de alguna presa). En este caso, la especie beneficiada, el carroñero, recibe el nombre de *comensal*.
- b) *Hospedaje*. Como ejemplo se pueden citar las plantas epífitas, como las bromelias, que viven encaramadas en los troncos de los árboles.
- c) *Transporte*. Es el caso de los ácaros, que utilizan el escarabajo *Necrophila americana* para desplazarse.

2.3.2. Competencia

Cuando se habla de *competencia* en un contexto de relaciones bióticas, debe entenderse como las acciones que llevan a cabo dos individuos o poblaciones de individuos vivos por recursos necesarios para su supervivencia. Estos recursos pueden ser alimenticios, pueden referirse al territorio donde desarrollarse y relacionarse o bien se puede tratar de recursos de otro tipo.

Como ejemplos, cabe citar la competencia de las plantas de las zonas selváticas por captar la luz solar y alcanzar el dosel arbóreo o la competencia de los pingüinos de la Patagonia por el territorio para construir sus nidos e incubar a sus polluelos (figura 2.8).



Figura 2.8. Competencia entre cultivo y adventicias.

Aplicado a la agricultura, se debe tener en cuenta la competencia entre la flora arvense y los cultivos a los que se asocia por el agua, los nutrientes, el espacio donde desarrollarse, etc., factor que ha de tener muy presente el agricultor para sacarle el máximo partido posible a sus cosechas.

2.3.3. Depredación

La depredación es, posiblemente, la relación más sencilla de entender o, al menos, la más evidente. Ocurre de manera natural cuando un individuo se alimenta de otro individuo tras haber acabado con su vida; para ello es necesario que se dé el binomio depredador (predador)-presa.

Se trata de una relación más propia del reino animal y que se repite constantemente en la clase *Insecta* y en la subclase *Acari*, y entre ellas.

El ejemplo más paradigmático en la agricultura es la depredación de las mariquitas (coccinélidos) sobre los pulgones (áfidos).

2.3.4. Mutualismo

Las relaciones de mutualismo tienen la característica de beneficiar a las dos especies involucradas, aunque no tengan la necesidad de mantener la relación de manera definitiva. Aplicado a la agricultura, el mutualismo está presente en las micorrizas (relaciones entre hongos y las raíces de las plantas que los albergan). Se puede encontrar un ejemplo de micorriza en el cultivo de *Tuber melanosporum* sobre pies de *Quercus ilex*, *Quercus coccifera* o *Quercus faginea*, resultado de la cual se cosechan unas excepcionales trufas negras.

Otro ejemplo de mutualismo en la naturaleza es la relación entre polinizadores y flores angiospermas, que resulta fundamental para el proceso evolutivo.



Figura 2.9. *Tuber melanosporum*.

2.3.5. Parasitismo

Esta es una situación muy común en la naturaleza y se da en los reinos *Archaea*, *Protista*, *Bacteria*, *Plantae*, *Fungi* y *Animalia*. Consiste en que uno de los dos individuos presentes en la relación (parásito) obtiene un claro beneficio de esta, mientras que el otro individuo (huésped) no obtiene un beneficio claro o, incluso, sufre un perjuicio.

Se dan casos en los que el parásito, para desarrollar su ciclo vital, acaba con la vida del huésped; en este caso, el parásito recibe el nombre de *parasitoide*.

Ejemplo de este tipo de relación es la que se establece entre la cochinilla *Planococcus citri* y la avispa parasitoide *Anagyrus pseudococi*. En este caso, la avispa pone uno o varios huevos dentro de la cochinilla y, al desarrollarse la larva, esta se alimenta de su huésped hasta producirle la muerte.

Dentro del orden de los himenópteros se encuentran muchas especies que actúan como parasitoides.



TOMA NOTA

Un patosistema es un “subsistema del ecosistema caracterizado porque en él se van a estudiar las interacciones definidas por parasitismo” (Robinson, 1987). Así, es posible distinguir patosistemas agrícolas y patosistemas naturales.

Se puede afirmar que las enfermedades se producen siempre bajo una situación de parasitismo.

2.3.6. Simbiosis

De manera similar al parasitismo —aunque de forma más amplia— funciona una relación simbiótica, pero, en este caso, uno de los dos individuos o los dos son estrictamente dependientes del otro y lo necesitan para su supervivencia. Dicho de otro modo, se podría afirmar que las relaciones de mutualismo, parasitismo y comensalismo son un tipo de simbiosis. En las relaciones de simbiosis, los individuos implicados reciben el nombre de *simbiontes*.

Como ejemplo, se puede observar en la naturaleza a los líquenes, organismos que han resultado de la asociación entre un hongo y un alga o cianobacteria. O al pez payaso, que se protege de sus enemigos bajo los tentáculos de la anémona.

Existen más ejemplos de relaciones bióticas interespecíficas que completan lo explicado anteriormente, pero que no se abordarán en este libro.



ACTIVIDAD PROPUESTA 2.2

Describe las relaciones simbióticas de las bacterias del suelo fijadoras de nitrógeno atmosférico del género *Rhizobium* en cultivos de leguminosas.

Realiza una siembra de habas y observa de visu y con binocular los nódulos en sus raíces cuando el cultivo ya está desarrollado.