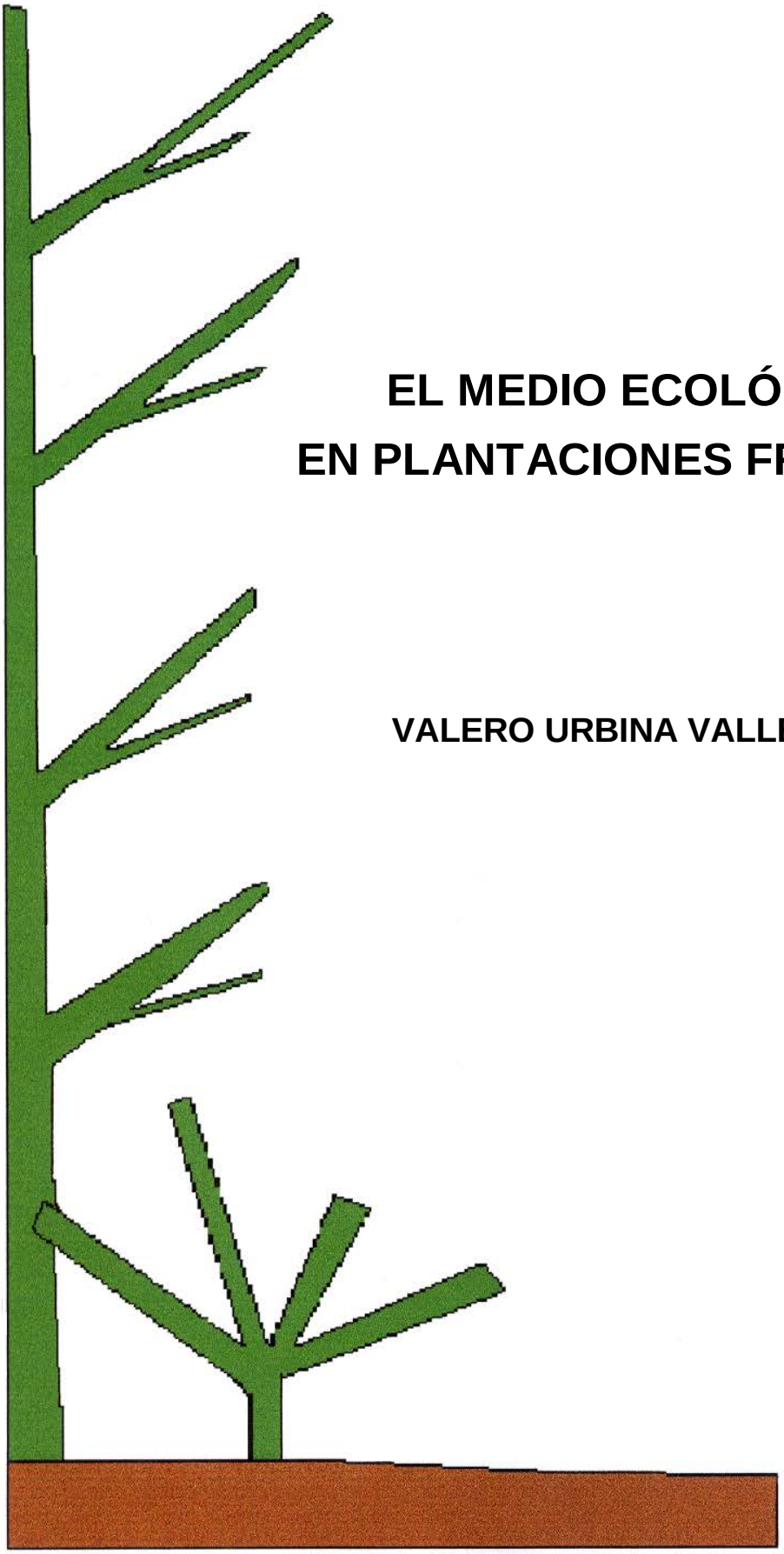
MONOGRAFÍAS DE FRUTICULTURA

N.º 9

EL MEDIO ECOLÓGICO EN PLANTACIONES FRUTALES

VALERO URBINA VALLEJO



EL MEDIO ECOLÓGICO
EN PLANTACIONES FRUTALES

MONOGRAFÍAS DE FRUTICULTURA: N.º 9

EL MEDIO ECOLÓGICO EN PLANTACIONES FRUTALES

VALERO URBINA VALLEJO

Dr. Ingeniero Agrónomo
Catedrático de E. U. de Fruticultura
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria
Universidad de Lleida

Edita: Valero Urbina Vallejo
Lleida - 2015

© 2015 de la obra y de la presente edición: Valero Urbina Vallejo

Fecha de edición: mayo de 2015

Número de edición: 1ª

Imprime: Ofipapers; Vallcalent, 7-Bajos; 25006 - Lleida

ISBN: 978-84-606-8176-2

Depósito legal: DL L 782-2015

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de este libro ni la transmisión de cualquier forma o procedimiento, bien informático, electrónico, fotocopia, registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito del titular del Copyright.

Para pedidos o suministros: Papers - Copistería Técnica S.A.; Vallcalent, 7-Bajos; 25006 - Lleida
E-mail: papers@papers.cat - Tel.: 973-273232 - Fax: 973-273863
www.papers.cat

Prólogo

Dentro del estudio de la Fruticultura, la acción del medio ecológico en las plantaciones frutales es una parte básica integrada en la denominada "Fruticultura General".

El estudiante debe conocer los factores del medio ecológico y la influencia que tienen sobre el desarrollo de las plantas y sobre el manejo de la plantación frutal. A partir de esta formación básica, luego podrá profundizar en aspectos particulares de cada especie y adquirir el conocimiento suficiente para abordar la planificación y la gestión del cultivo.

Este libro, junto con las anteriores Monografías 5, 6 y 7 de esta misma serie, forma parte del programa de la asignatura "Fruticultura" (9 créditos y duración anual) que se imparte en tercer curso del Grado en Ingeniería Agraria y Alimentaria, en la especialidad de Hortofruticultura y Jardinería, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de la Universidad de Lleida.

La asignatura tiene un temario similar a la impartida hasta el curso 2011-2012 en el anterior plan de estudios 2002, con 10 créditos y carácter anual, en la titulación de Ingeniería Técnica Agrícola, antes de la adaptación al plan Bolonia.

La asignatura "Fruticultura" se divide en dos partes: "Fruticultura General" (6 créditos) y "Tecnología de la Producción Frutal" (3 créditos). Con el presente libro quedan completados los textos docentes de la parte de "Fruticultura General", que comprende las Monografías 5, 6, 7 y 9 de esta colección, además de la número 8 que está dedicada a la realización de prácticas.

Con las citadas Monografías se persigue que el estudiante utilice estos textos en lugar de los tradicionales apuntes de cada tema que, en general, está acostumbrado a tomar en clase o a utilizar de otros compañeros. De cada uno de los temas, también se le facilita al estudiante una proyección para ordenador (en formato PDF) con el programa desarrollado esquemáticamente, junto a una amplia información gráfica y fotografías sobre su contenido. El estudiante debería estudiar el texto y visualizar la proyección antes de ir a clase, lo que nunca suele conseguirse.

Las clases teóricas deberían utilizarse para afianzar los conocimientos expuestos y para aclarar las dudas fundamentales sobre el contenido de cada tema, que el alumno habrá revisado previamente en estas Monografías u otros libros. Si persisten las dudas

el alumno deberá aclararlas durante la realización de actividades prácticas o en las tutorías personales.

Coincidiendo con su finalidad docente, el presente texto presenta al estudiante la materia sistematizada para que le sirva de guía a la hora de abordar el estudio de la ecología de las plantaciones frutales.

En el libro se ha tratado de plasmar el conocimiento generalizado de los diferentes temas, de una forma sencilla y fácil de comprender, y sin incluir datos excesivos. En el texto de cada apartado no se dan referencias a autores y a trabajos de investigación, salvo que sea imprescindible. No obstante, se recomienda al final de cada capítulo una bibliografía específica sobre los aspectos tratados. Asimismo, dentro de la sencillez, se ha procurado mantener un nivel científico-técnico adecuado.

También, como en las anteriores Monografías, para facilitar la elaboración y edición del libro y abaratar su coste, sólo se incluyen figuras sencillas y no se incluyen fotografías. Estas deficiencias deben suplirse con la documentación gráfica facilitada a cada estudiante en formato PDF, y con las clases al ilustrar mediante proyecciones en Power Point cada uno de los temas tratados. Además, el estudiante debe completar su conocimiento consultando otros textos y otras fuentes de información, especialmente las revistas científicas y técnicas y los nuevos medios informáticos.

Espero y deseo que este texto sea de utilidad para los estudiantes, así como para todas aquellas personas interesadas en adquirir conocimientos científicos y técnicos básicos sobre la acción del medio ecológico en las plantaciones frutales.

Lleida, septiembre de 2014.

Valero Urbina

Í N D I C E

Introducción, 11

Capítulo 1. El medio ecológico y los frutales, 15

1. El medio productivo, **17**
2. El medio ecológico, **18**
   2.1. Condicionantes del medio ecológico, **20**
   2.2. Actuaciones sobre el medio ecológico, **21**
3. Cambios en el medio ecológico, **23**
   3.1. Incidencia del cambio climático sobre las plantaciones frutales, **24**
   3.2. Otros cambios en el medio ecológico con incidencia sobre las plantaciones frutales, **25**
4. La Condicionalidad y las explotaciones frutales, **25**
5. Valor ambiental y paisajístico de las plantaciones frutales, **27**
6. Bibliografía, **30**

Actividades prácticas recomendadas, **31**

Cuestionario de evaluación, **32**

Capítulo 2. El clima, 33

1. El clima y las especies frutales, **35**
2. El microclima, **37**
3. Clasificación de las especies frutales en función de su medio climático, **39**
4. Estudio del clima, **41**
5. Bibliografía, **44**

Actividades prácticas recomendadas, **45**

Cuestionario de evaluación, **46**

Capítulo 3. Temperatura, 47

1. Influencia de la temperatura, **49**
2. Nociones sobre heladas, **50**
   2.1. Clasificación de las heladas según la causa del descenso térmico, **51**
   2.2. Proceso de producción de daños en los tejidos, **55**
   2.3. Factores que influyen en los daños por heladas, **57**
   2.4. Manifestación y observación de los daños, **61**
   2.5. Protección contra las heladas, **62**
3. Temperaturas de invierno, **63**
   3.1. Temperaturas bajas de invierno, **64**
   3.2. Heladas de invierno, **66**
   3.3 Temperaturas elevadas de invierno, **71**
   3.4. Necesidades de frío invernal, **72**
      3.4.1. Efectos de la falta de frío invernal, **75**

3.4.2. Intervenciones para compensar la falta de frío, **77**
3.4.3. Métodos para determinar el frío invernal, **78**
4. Temperaturas de primavera, **82**
4.1. Temperaturas bajas de primavera, **83**
4.2. Heladas de primavera, **85**
4.3. Necesidades de calor para la floración, **93**
4.4. Temperaturas elevadas de primavera, **97**
5. Temperaturas de verano, **98**
5.1. Temperaturas bajas de verano, **100**
5.2. Temperaturas altas de verano, **101**
6. Temperaturas de otoño, **102**
7. Bibliografía, **104**
Actividades prácticas recomendadas, **107**
Cuestionario de evaluación, **109**

Capítulo 4. Insolación, lluvia y humedad ambiental, viento, granizo y otros factores climáticos, 113
1. Insolación, **115**
1.1. Intercepción de luz por las plantas, **116**
1.2. Insolación baja y elevada, **120**
2. Lluvia y humedad ambiental, **122**
2.1. Efectos de la lluvia sobre la planta y la vegetación, **124**
2.2. Efectos de la lluvia sobre la fructificación, **125**
2.3. Efectos de la lluvia sobre la plantación y sus actividades, **130**
3. Viento. **131**
3.1. Efectos del viento sobre la plantación, **132**
3.2. Protección contra el viento, **134**
4. Granizo, **135**
4.1. Formación del granizo, **137**
4.2. Daños producidos por el granizo, **138**
4.3. Protección contra el granizo, **140**
5. Otros factores climáticos, **142**
5.1. Niebla, **142**
5.2. Rocío, escarcha y centellada, **143**
5.3. Nieve, **145**
6. Bibliografía, **147**
Actividades prácticas recomendadas, **150**
Cuestionario de evaluación, **152**

Capítulo 5. El suelo. Introducción y propiedades físicas, 155
1. El suelo y las especies frutales, **157**

2. Estudio del suelo, **159**
3. Fisiografía y topografía de la finca, **161**
4. Origen del suelo y antecedentes culturales, **162**
5. Perfil del suelo, **163**
5.1. Estudio del perfil del suelo, **164**
6. Textura y estructura, **167**
7. Temperatura del suelo, **169**
7.1. Factores que influyen en el comportamiento térmico del suelo, **171**
8. Permeabilidad, **173**
8.1. Sensibilidad a la asfixia radical, **175**
9. Capacidad de reserva de agua, **176**
9.1. Potencial de agua, **177**
9.2. Influencia del estado de humedad del suelo, **179**
10. Pedregosidad y otras características físicas, **182**
11. Bibliografía, **184**
Actividades prácticas recomendadas, **186**
Cuestionario de evaluación, **188**

Capítulo 6. El suelo. Propiedades químicas y otras características, 191
1. Materia orgánica, **193**
1.1. Relación C/N, **195**
1.2. Aporte de materia orgánica, **196**
2. Reacción y pH de los suelos, **198**
2.1. Factores que influyen sobre la reacción del suelo, **199**
2.2. Efectos de la reacción del suelo, **200**
2.3. Corrección del suelo, **202**
3. Salinidad, **203**
3.1. Conductividad eléctrica del suelo, **204**
3.2. Clasificación de los suelos según la salinidad, **205**
3.3. Efectos de la salinidad del suelo, **207**
3.4. Corrección de la salinidad, **208**
4. Carbonatos y caliza activa, **211**
4.1. Efectos de la caliza del suelo. Clorosis, **213**
5. Fertilidad, **216**
5.1. Nitrógeno, **219**
5.2. Fósforo, **221**
5.3. Potasio, **223**
5.4. Calcio, **225**
5.5. Magnesio, **226**
5.6. Azufre, **227**

5.7. Microelementos, **227**
6. Características biológicas, **229**
7. Erosión del suelo, **233**
8. Problemas de replantación, **234**
9. Bibliografía, **238**
Actividades prácticas recomendadas, **240**
Cuestionario de evaluación, **242**

Capítulo 7. El agua, 245
1. El agua y las especies frutales, **247**
2. Necesidades de agua de los frutales, **249**
2.1. Métodos de cálculo, **250**
2.2. Coeficientes de cultivo, **253**
2.3. Consumo del cultivo y necesidades de riego, **255**
3. Efectos de la sequía, **258**
3.1. Resistencia a la sequía, **260**
4. Estudio del agua, **261**
5. Calidad del agua de riego e influencia sobre las plantas, **263**
5.1. Características del agua de riego, **263**
5.2. Índices de calidad y clasificación del agua de riego, **268**
6. Otras influencias de la calidad del agua de riego, **273**
7. Bibliografía, **275**
Actividades prácticas recomendadas, **277**
Cuestionario de evaluación, **278**

Capítulo 8. Otras características y requisitos del medio ecológico, 281
1. Características del medio biológico, **283**
1.1. Plagas, **284**
1.2. Enfermedades, **285**
1.3. Malas hierbas, **287**
2. Biodiversidad y sostenibilidad del medio ecológico, **288**
2.1. Normas y requisitos para la explotación, **289**
3. Contaminación del medio ambiente, **292**
3.1. Contaminación atmosférica, **292**
3.2. Contaminación del suelo y del agua, **294**
4. La huella de carbono, **294**
5. Otras características y condicionamientos ecológicos, **296**
5. Bibliografía, **298**
Actividades prácticas recomendadas, **300**
Cuestionario de evaluación, **301**

Introducción

Los frutales se desarrollan en un medio ecológico sumamente complejo y variable que condiciona su producción y, por lo tanto, los resultados económicos de la explotación. La plantación pasa a formar parte del medio ecológico y con el mantiene una interacción mutua en bastantes aspectos.

El frutal, como tal ser vivo, tiene sus funciones biológicas íntimamente relacionadas con el medio en que vive, por lo tanto no se concibe una plantación no integrada en el medio ecológico, conviviendo con sus características, aprovechando sus oportunidades y protegiéndose de sus adversidades.

Esto indistintamente de que la explotación frutal esté acogida o no a la estrategia productivo-comercial de Producción Ecológica, lo que no debe confundirse con el obligado desarrollo en un medio ecológico que siempre tiene una plantación frutal. No hay cultivos no ecológicos.

En ocasiones se crea en los medios de comunicación, consciente o inconscientemente, una imagen tendenciosa en la que se presenta a la agricultura y en particular a las explotaciones frutales como una actividad destructora del medio ecológico. Por ejemplo, es frecuente mostrar la ejecución de un tratamiento fitosanitario en una plantación frutal cuando se da una noticia sobre una acción contra el medio ecológico o sobre un ataque a la salud de las personas.

La explotación, además de adaptarse al medio ecológico, lo que contribuye a asegurar su rentabilidad, debe mantener el ecosistema equilibrado y en condiciones aceptables, y participar en la conservación y mejora del medio ambiente en general.

Los factores más limitantes del sistema productivo de una explotación frutal corresponden, en general, a aspectos del medio ecológico, como son algunos factores del clima y del suelo, además de la disponibilidad de agua. La tecnología de producción aplicada estará muy condicionada por las características de ese medio.

La adaptación que tenga el material vegetal utilizado (patrón y variedad) al medio ecológico será determinante del rendimiento productivo de la plantación y de la calidad de los frutos. Además, la explotación deberá adaptar sus infraestructuras, sus instalaciones y su proceso productivo a las características del medio ecológico y tratar de paliar los posibles efectos negativos a lo largo de la vida de la plantación.

El estudio del medio ecológico dentro de la "Fruticultura General" requiere abordar la incidencia de cada uno de sus condicionantes desde una perspectiva general sobre las especies frutales. Aunque en ciertos casos será necesario particularizar la acción de sus factores a especies concretas o dar ejemplos del comportamiento de las plantas a nivel de especie y variedad.

El contenido del libro se ha estructurado en capítulos, coincidentes con los diferentes tipos en que se agrupan los condicionantes del medio ecológico. La extensión de cada apartado viene dada por su complejidad y por la importancia del factor tratado respecto a la plantación frutal.

En el primer capítulo se realiza una introducción sobre la importancia del medio ecológico, se tratan aspectos sobre los cambios globales que el medio ecológico puede sufrir y se comentan los requisitos que deben cumplir las explotaciones frutales para la conservación del medio. Además se hace mención al valor ambiental y paisajístico de las plantaciones frutales.

El segundo capítulo está dedicado al clima desde un punto de vista general Se trata la interacción del clima con las especies frutales y los aspectos que debe contener un estudio climático.

El tercer capítulo está dedicado exclusivamente a la temperatura por ser el factor climático que más incidencia tiene sobre los frutales. En su inicio se dan unas nociones sobre las heladas y luego se trata la acción de la temperatura en las diferentes épocas del año, haciendo especial hincapié en las necesidades de frío y en los efectos de las heladas.

En el cuarto capítulo se estudian las otras variables climáticas: insolación, lluvia, viento, granizo, etc. dedicando mayor extensión a los aspectos más condicionantes de la explotación.

El quinto capítulo está dedicado al suelo. Se hace una introducción sobre la importancia del suelo y de su análisis. El resto del capítulo se dedica a las propiedades físicas, resaltando los aspectos más influyentes en los frutales.

En el sexto capítulo se completa el estudio del suelo con sus características químicas y biológicas resaltando los aspectos más influyentes sobre las plantaciones. Además se comentan otros aspectos como los problemas de replantación.

El capítulo séptimo se dedica al agua. Se comentan las necesidades de agua de los cultivos y los efectos de su deficiencia. Luego se estudia la repercusión que las características del agua tienen sobre las plantaciones frutales.

Finalmente, en el capítulo octavo se trata el medio biótico y otros condicionantes específicos del medio ecológico. Se comenta como las plagas, las enfermedades y las malas hierbas condicionan la planificación y el manejo de las plantaciones frutales. Además se comenta la acción de otros condicionantes como la contaminación ambiental.

En cada capítulo se cita una bibliografía básica recomendada. En el caso de libros se indican las páginas concretas a revisar.

Al final de cada capítulo se proponen unas actividades prácticas que ayudarán a comprender mejor los conceptos estudiados. También se incluye un cuestionario de autoevaluación en el que se recogen los aspectos más importantes del tema tratado. Contestando este cuestionario, el estudiante podrá evaluar los conocimientos adquiridos.

1

EL MEDIO ECOLÓGICO Y LOS FRUTALES

1. El medio productivo.
2. El medio ecológico.
3. Cambios en el medio ecológico.
4. La Condicionalidad y las explotaciones frutales.
5. Valor ambiental y paisajístico de las plantaciones frutales.
6. Bibliografía.

Actividades prácticas y cuestionario de evaluación.

1. El medio productivo

El medio productivo de una explotación agrícola es uno de los factores de producción, o un componente del sistema productivo agrícola, como actualmente se denomina al conjunto de dichos factores. En definitiva, el medio productivo comprende las condiciones del lugar o espacio en el que se asienta la explotación y los recursos disponibles para desarrollar su proceso productivo.

El sistema productivo de una explotación frutal está constituido por los siguientes componentes: el medio productivo, el material vegetal, las técnicas productivas y la producción. Esta última, a su vez, está ligada a los componentes de comercialización y consumo, externos a la explotación.

En el medio productivo se incluyen todos los aspectos determinantes de la capacidad agronómica de la explotación, su infraestructura productiva y los recursos naturales que dispone. Por tanto, no sólo comprende los aspectos del medio ecológico, sino que es un concepto más amplio al incluir aspectos de la estructura de la explotación y de la infraestructura existente (parcelación, redes de riego, viales, captaciones de agua, edificaciones, etc.). También podría pensarse en incluir en el medio productivo otros aspectos que intervienen en el sistema productivo de la explotación; como son los recursos económicos y humanos disponibles en la explotación, y los condicionantes jurídicos (servidumbres y contratos). Pero es preferible separar todos estos últimos aspectos de los incluidos en el medio productivo, y recogerlos dentro de un contexto más general que es el de "condicionantes internos de la explotación", los cuales deberán tenerse en cuenta, junto con los condicionantes externos, a la hora de proyectar o planificar la explotación frutal.

Los factores del medio productivo pueden ser favorables o desfavorables para la explotación frutal. Si son favorables contribuirán a optimizar el proceso productivo, a reducir costes y lograr una buena producción. Si son desfavorables limitarán o condicionarán a las especies y variedades cultivadas, a la tecnología de producción a aplicar, y al desarrollo y manejo de la explotación a lo largo de los años de su vida productiva. En definitiva incidirán sobre los rendimientos de la explotación.

La incidencia de estos factores viene dada, bien por sí solos, o por su interacción; y su acción se ejerce tanto por ser deficitarios como por su exceso.

Unos factores serán más importantes que otros para la explotación, y debemos conocer esta importancia para tomar las mejores decisiones y actuar con mayor ahínco sobre los factores más limitantes, tratando de paliar sus efectos negativos.

Muchas de las decisiones a tomar sobre el medio productivo deben adoptarse antes de ejecutar las obras previstas y realizar la plantación. Todas las decisiones que se tomen deben basase en el conocimiento exhaustivo de cada factor y en la relación que mantiene con los otros factores, así como en el conocimiento de la repercusión que cada factor tiene sobre la explotación. Una sola equivocación en algún factor muy limitante puede dar al traste con el éxito de la explotación.

Una peculiaridad del medio productivo es que, en ocasiones, la incidencia de sus factores, no tiene una manifestación patente y clara en la explotación, y sin embargo puede existir una merma de los rendimientos que pasa desapercibida. En otras ocasiones la incidencia de estos factores no es limitante, pero puede ser acumulativa, y llega un momento en la vida de la plantación en que se hace patente y actúa negativamente sobre la explotación.

De todos los aspectos del medio productivo, los factores más limitantes en las plantaciones corresponden, en general, a aspectos del medio ecológico; y son, principalmente, algunos aspectos del clima, del suelo, de la disponibilidad de agua y de la acción de plagas y enfermedades. No obstante, en el diseño y planificación de la explotación no deben olvidarse otros aspectos ya citados del medio productivo, no incluidos en el medio ecológico, como: tamaño y forma de las parcelas de la explotación, infraestructuras existentes (principalmente de riego y viarias), edificaciones, etc. que pueden condicionar también en gran manera a la futura explotación.

Por otro lado, una buena gestión de los recursos naturales y artificiales disponibles, incluidos en medio productivo, repercutirá favorablemente en la sostenibilidad y en los resultados económicos de la explotación.

2. El medio ecológico

El medio ecológico de la explotación frutal comprende el conjunto de factores físicos, químicos, y biológicos que interaccionan sobre las plantas y sobre el manejo de la plantación.

Se equipara al concepto de medio ambiente, en su sentido más amplio, al incluir a todos los factores bióticos (flora y fauna) y abióticos (clima, suelo, etc.) del medio en que se desarrolla la planta y que determinan su capacidad agronómica.

Los frutales, como seres vivos, deben adaptarse a este medio ecológico sumamente complejo y variable que condicionará el desarrollo de la vegetación y la fructificación y será, en gran parte, determinante de los rendimientos de la plantación. Las múltiples interacciones del material vegetal con el medio ecológico establecen los límites, dentro de un amplio intervalo, en que puede llevarse a cabo el cultivo frutal.

En el hábitat natural de la especie, las plantas llevan a cabo la función esencial del proceso evolutivo, que es la reproducción, con la consecución de frutos y por lo tanto de semillas, asegurando así su permanencia. En la explotación frutal las plantas llevan a cabo la misma función, pero su finalidad no es la permanencia sino el conseguir una producción rentable. Que una especie crezca en un medio ecológico determinado no implica que en ese medio se pueda llevar a cabo su explotación comercial con suficientes garantías de éxito. Una cosa es que un frutal sea capaz de vivir y reproducirse en ese medio y otra muy diferente es que el cultivo resulte económicamente rentable.

Las diversas especies y variedades frutales presentarán una mayor o menor adaptación a las condiciones ecológicas del medio en que se desarrollan. Está adaptación estará determinada, en última instancia, por las características genéticas de la combinación patrón-variedad.

Cada variedad, influida por el patrón utilizado y por la tecnología de producción aplicada (formación, riego, etc.), tendrá un hábitat óptimo en el que expresa de la mejor manera sus cualidades. Cada factor del medio ecológico contribuye con diferente grado de importancia a dicha optimización. Cuanto más nos alejemos de las condiciones ecológicas óptimas más problemático será el cultivo y más lejos estaremos de conseguir la máxima rentabilidad.

Como ya se ha citado en el apartado anterior, al definir el medio productivo, los factores del medio ecológico pueden ser favorables o desfavorables para la plantación frutal. Si la incidencia es favorable permitirán un desarrollo óptimo de la plantación y de su manejo y, por lo tanto, una buena productividad y calidad de la producción. Por el contrario, si los factores tienen incidencia desfavorable, el desarrollo de la plantación puede verse limitado, su manejo dificultado y la producción reducida o ser de mala calidad.

Independiente de su intensidad de acción, la repercusión que estos factores tienen sobre la plantación varía según el estado fenológico en que se encuentra la plantación a lo largo del ciclo anual.

En algunas ocasiones, será difícil discernir la incidencia que cada factor tiene por separado sobre la plantación, ya que actúan de forma integrada y, además, su acción puede ser sinérgica. En otras ocasiones la acción puede manifestarse pasados unos años y tener efectos acumulativos. Además, la repercusión sobre la plantación puede variar también según la edad de las plantas.

Hay que aclarar que, en el presente libro, cuando se hace referencia a la resistencia de la planta a los efectos de un determinado factor adverso debe entenderse en el sentido de tolerancia; es decir que la planta no manifestará síntomas a un determinado grado de acción, pero si aumenta la intensidad del efecto la planta resultará susceptible. Para evitar confusiones debería emplearse el término sensibilidad, en sus diferentes niveles, a la hora de establecer la adaptación o respuesta de las plantas a los factores adversos.

2.1. Condicionantes del medio ecológico

Los condicionantes del medio ecológico deben ser tenidos en cuenta en la planificación y diseño de la explotación frutal y luego durante la gestión de su proceso productivo. Un mismo condicionante puede intervenir en diferentes momentos de la toma de decisiones, a la hora de elaborar un proyecto de explotación frutal.

Estos condicionantes se agrupan, según su carácter, en los siguientes tipos:

1. Condicionantes del clima.

Incluyen las variables meteorológicas, representadas por los valores medios de un conjunto de años. Su estudio comprende: temperaturas, radiación solar, pluviometría, viento, tormentas, nieve, niebla, etc.

2. Condicionantes del suelo.

Incluyen las siguientes características:

- Topografía y fisiografía, perfil del suelo, etc.
- Propiedades físicas (textura, relaciones suelo-agua, etc.).
- Propiedades químicas (materia orgánica, fertilidad, pH, caliza, salinidad, etc.).

3. Condicionantes del agua.

Incluyen: disponibilidad, caudal, características físicas y químicas, calidad para riego, etc.

4. Condicionantes bióticos.

Incluyen los condicionantes del medio biológico, es decir a los seres vivos que pueden tener una incidencia importante sobre las plantas y la producción, y condicionan el proceso productivo. Comprenden:

- Plagas (insectos, ácaros, roedores, aves, etc.).
- Enfermedades (criptogámicas, bacteriosis, nematodos, virosis, etc.).
- Malas hierbas (anuales y perennes).

5. Otros condicionantes específicos y requisitos legales.

Son condicionantes del medio ecológico que afectan de forma muy particular a una explotación frutal. Por ejemplo, la existencia de masas forestales o cauces de ríos dentro de la explotación, etc. También se incluiría en este tipo de condicionantes específicos, por ejemplo, la contaminación ambiental derivada de una industria próxima.

Por otro lado, hay que tener en cuenta también que dentro de los condicionantes legales que afectan a la explotación frutal, algunos requisitos son de índole ecológico, principalmente los referentes a aspectos medioambientales. Asimismo la explotación debe cumplir normas específicas establecidas en la zona, referentes también a la protección y sostenibilidad del medio ecológico.

Esta misma agrupación de condicionantes se ha seguido en los capítulos del presente texto para describir la acción que el medio ecológico tiene en las plantaciones frutales.

2.2. Actuaciones sobre el medio ecológico

Las actuaciones a realizar sobre el medio ecológico tienen diferentes grados, según sea la estrategia productiva seguida en la explotación frutal. Así se puede plantear desde un cultivo forzado, en suelo modificado y ambiente protegido, hasta realizar una mínima intervención, como puede ser un cultivo en terreno de secano y sin más actuaciones que las actividades culturales imprescindibles.

Parte de las actuaciones deben realizarse antes de establecer la plantación, sobre todo las que afectan al terreno. En todo caso, las actuaciones previstas deben quedar bien definidas cuando se elabora el proyecto de la explotación y se planifica su proceso productivo.

Sobre el clima, a no ser que se tenga el cultivo en un invernadero, poco se puede hacer, y las actuaciones consisten sólo en aplicar alguno de los sistemas desarrollados para proteger la plantación de las heladas, del granizo, del viento o de la lluvia, además de ligeras actuaciones sobre el microclima (sombreamiento, nebulización, etc.).

Sobre el suelo, como mayor grado de actuación se tiene el cultivo en contenedor, aunque prácticamente no es utilizado. También se puede realizar el cultivo en suelo aportado artificialmente, como por ejemplo se hace en plantaciones de platanera en las Islas Canarias, o en algunas zonas de Levante, que se construyen bancales con muros de hormigón o piedra, en laderas de gran pendiente, en las que prácticamente se aporta toda la tierra de cultivo, para implantar cítricos, nísperos u otras especies. Pero en la mayor parte de los casos las actuaciones sobre el suelo se limitan a la sistematización y nivelación del terreno, a despedregados y drenajes, o a corregir las propiedades físicas (subsolados y desfondes), químicas (enmiendas orgánicas y minerales) y biológicas (desinfección y tratamientos).

Sobre la disponibilidad de agua se actúa mediante técnicas que permitan retener y conservar el agua de lluvia en plantaciones en secano (labores y aplicación de materiales absorbentes de agua), o bien con la puesta en riego de la plantación, utilizando las diferentes técnicas existentes.

Sobre el medio biológico las actuaciones se concretan en tratamientos con fitosanitarios y herbicidas, además de la aplicación de otros medios de lucha, prevención y control (empleo de depredadores, feromonas, repelentes, mallas de protección, etc.).

Las actuaciones comentadas deben llevarse a cabo teniendo en cuenta la complejidad del medio ecológico y la interacción existente entre sus múltiples factores, tratando de conservar, en lo posible, su equilibrio natural.

El establecimiento de una plantación frutal rompe este equilibrio y sobretodo la biodiversidad, ya que todas las plantas son iguales (clonales a ser posible). También las necesidades del proceso productivo originan interferencias sobre la biodiversidad. No obstante, no es todo negativo, ya que la plantación también colabora con su vegetación al mantenimiento atmosférico y muy positivamente en otros aspectos ambientales y paisajísticos.

En la explotación se debe prestar cuidado en conservar el medio ecológico, a la vez que se aprovechan las oportunidades que nos brinda. Debemos descartar la antigua idea de que para cada nuevo problema que aparezca en la plantación existirá un nuevo producto que lo solucione. Será cada vez más necesario utilizar prácticas, algunas hace

tiempo abandonadas, que sean más acordes con la conservación del medio ambiente y con la explotación racional de los recursos naturales.

Se trata de buscar, en todo momento, un equilibrio entre los factores del medio productivo. En la toma de decisiones no se debe ir a extremos radicales, tanto conservacionistas como intervencionistas. La ingeniería agronómica deberá aportar las soluciones optimizadas en las actuaciones que se hacen sobre el medio ecológico, teniendo en cuenta también la componente económica que toda empresa frutícola tiene.

3. Cambios en el medio ecológico

La implantación de un cultivo frutal supone introducir cambios en el medio ecológico existente, según se ha comentado al hablar de las actuaciones que se pueden realizar sobre dicho medio ecológico. Una vez establecida la plantación, su medio ecológico no será estable sino que seguirá sujeto a los cambios climáticos, edáficos, biológicos, etc. que se suceden, tanto a lo largo de cada ciclo anual como lo largo de la vida útil de la plantación. Este medio ecológico sufrirá también cambios debidos a fenómenos más globales que tienen repercusión sobre amplios territorios del planeta.

La plantación frutal se desarrolla, por tanto, en un medio ecológico sumamente variable a lo largo del tiempo. Las condiciones meteorológicas varían a lo largo del año y entre años. Las propiedades del suelo pueden variar con el paso de los años. Lo mismo ocurre con la acción de los seres vivos sobre la plantación. A estos cambios cabe añadir los provocados en medio por la tecnología de producción y por las actividades culturales llevadas a cabo cada año, según se ha comentado en el apartado anterior.

Está variabilidad hace que el control del medio ecológico sea aún más difícil. Al fruticultor no le queda más remedio, en la mayor parte los casos, que asumir las condiciones de cada momento y gestionar de la mejor forma posible la explotación; aunque difícilmente se puede gestionar aquello que no se controla.

No obstante, para tener conocimiento de estas situaciones cambiantes se estudia su historial. Es lo que ocurre, por ejemplo, con el clima, que partir de las diferentes condiciones meteorológicas que se dan cada día en cada periodo, a lo largo de los años podemos establecer unas características climáticas para ese periodo. También puede analizarse la acción que están teniendo en la zona determinadas plagas o enfermedades en los últimos años y evaluar su posible progresión y comportamiento cíclico, así como

su futura incidencia. Con estos estudios se adquiere el conocimiento, en términos medios, de como se comporta el medio ecológico a nivel local o zonal.

También se estudia y se realizan predicciones sobre cambios globales del medio ecológico, como son, por ejemplo, el cambio climático, el aumento de la contaminación ambiental, la pérdida de la capa de ozono, etc. que a largo plazo pueden producir cambios en el ecosistema en que se desarrollan las plantaciones.

A continuación se comenta la importancia que tendrán algunos de estos cambios globales en las plantaciones frutales.

3.1. Incidencia del cambio climático sobre las plantaciones frutales

El cambio climático en un fenómeno ambiental cuyo efecto principal es el recalentamiento de la superficie terrestre. Se relaciona, principalmente, con las actividades humanas que están alterando la composición de la atmósfera al aumentar la concentración de los gases que producen el efecto invernadero. Estos gases acumulados en la atmósfera permiten el paso de toda la luz incidente, pero impiden la salida de la radiación infrarroja que posteriormente se vuelve a irradiar hacia la superficie terrestre. Los cambios ocasionados se manifiestan sobre todo en las temperaturas y en las precipitaciones.

Un aumento de las temperaturas mínimas origina una perturbación en la necesaria acumulación de frío y además contribuye a alargar el ciclo vegetativo en otoño, incidiendo sobre desarrollo de algunas plagas (ej. *Ceratitis capitata* y C*ydia pomonella*). La falta de frío puede originar caídas de yemas fructíferas y falta de sincronización con los polinizadores, al variar las fechas de floración entre variedades.

Un aumento en las temperaturas medias y máximas origina un mayor consumo de agua en las plantaciones y da lugar a variaciones en la fenología (fechas de floración y de recolección), según las plantas satisfagan sus necesidades de frío y calor. Un adelanto en la salida del reposo invernal es muy negativo si el riesgo de heladas primaverales se mantiene. También puede originar cambios en la acción de las plagas y enfermedades.

El incremento térmico puede representar un aspecto positivo, como ampliar las posibilidades de cultivo en zonas frías; o aumentar, en ciertos casos, la productividad y la calidad de los frutos, aunque esta última acción es discutible dado que si hay estrés térmico la incidencia sobre los frutos será muy negativa.

Respecto a las precipitaciones, su falta reduce las reservas de agua en el suelo e incrementa la necesidad de riego. Por otro lado, fuertes precipitaciones en un período corto de tiempo pueden tener consecuencias nefastas sobre las plantas y la fructificación, y sobre el suelo por las inundaciones y la erosión originada.

3.2. Otros cambios en el medio ecológico con incidencia sobre las plantaciones frutales

Cambios globales en otros factores del medio ecológico, además del cambio climático, pueden tener incidencia puntual o global sobre las plantaciones.

El incremento significativo en la concentración de CO_2 en la atmósfera incide sobre la fotosíntesis, dando lugar a un aumento de la productividad e incluso de la calidad del fruto. Pero sobre la producción inciden, con gran peso, otros múltiples factores, por lo que la acción real es difícil de establecer, a no ser que la plantación se desarrolle en ambientes confinados o invernaderos.

Otros cambios ambientales, relacionados con la contaminación, pueden tener incidencia muy negativa sobre las plantaciones. Es el caso de la precipitación o lluvia ácida provocada por las emisiones de anhídrido sulfuroso, principalmente, además de otros productos (óxidos de nitrógeno, ozono, etc.) que originan contaminantes ácidos y otros productos agresivos que al depositarse sobre la vegetación acaban dañando a las plantas.

En casos puntuales se dan modificaciones del medio ecológico al establecer industrias, carreteras, etc. colindantes a las plantaciones. Por ejemplo el polvo desprendido por canteras y cementeras al depositarse sobre la vegetación afecta negativamente a las funciones de las hojas y puede originar toxicidad. Estos aspectos de la contaminación ambiental serán comentados en el capítulo 8.

4. La Condicionalidad y las explotaciones frutales

Las políticas de ayudas a las explotaciones agrícolas exigen cada vez más que los agricultores desarrollen su actividad de forma respetuosa con el medioambiente, la seguridad alimentaria y la salud, y el bienestar de los animales.

La política agraria común (PAC) ha introducido cambios en el régimen de ayudas a la agricultura, obligando a que los agricultores gestionen sus explotaciones de manera más sostenible. Así se introdujo hace una década el concepto de "la Condicionalidad", por el cual se supeditan los pagos directos a los agricultores al cumplimiento de requisitos medioambientales y de otros tipos, establecidos a nivel de la Unión Europea, nacional, y autonómico. Es decir, que los fruticultores habrán de mantener su explotación frutal en buenas condiciones agrarias y medioambientales, además de cumplir, evidentemente, con las disposiciones legales sobre medio ambiente, sanidad vegetal y salud pública.

Por otro lado, las comunidades autónomas también están exigiendo el cumplimiento de la Condicionalidad para percibir ayudas para reestructuraciones y mejoras realizadas en la explotación frutícola, o ayudas por otros conceptos relacionados con la producción.

La Condicionalidad es de aplicación a toda la explotación, con independencia de que las parcelas o instalaciones de que consta la explotación agraria estén dedicadas al cultivo o a la cría de animales y que tengan derecho a ayuda o no.

El incumplimiento de dichas normas por parte de los fruticultores puede dar lugar a la reducción o a la anulación total de las ayudas a percibir. Para garantizar el cumplimiento de la Condicionalidad, la autoridad de control competente realiza controles administrativos y controles sobre el terreno, mediante visitas a las explotaciones para comprobar el cumplimiento de las normas. El incumplimiento se evalúa según criterios de gravedad, alcance y persistencia, considerando además la repetición del incumplimiento, la negligencia y la intencionalidad.

Las normas de la Condicionalidad se estructuran en una doble vertiente, se exige por un lado el cumplimiento de unos Requisitos Legales de Gestión y por otro lado el cumplimiento de las Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales.

Los Requisitos Legales de Gestión que afectan a las explotaciones frutales, están establecidos a partir de directivas y reglamentos de la Unión Europea en los siguientes ámbitos:

1. Medio ambiente, cambio climático y buenas condiciones agrícolas de la tierra.
2. Salud pública y fitosanidad (sanidad vegetal).

Las Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales se establecen por los Estados miembros con ámbito nacional o regional. En nuestro País, la disposición que las regula establece para el área de Medio ambiente, cambio climático y buenas condiciones

agrícolas de la tierra tres aspectos principales: agua, suelo y reserva de carbono, y paisaje (nivel mínimo de mantenimiento).

Los organismos encargados del control de la Condicionalidad en cada comunidad autónoma han elaborado guías en las que se recogen los requisitos a cumplir y en las que también se incluyen una serie de recomendaciones complementarias a las normas, con la finalidad de facilitar su cumplimiento y contribuir al buen funcionamiento de la explotación. En este sentido, en 2009 se elaboró por profesores del Departamento de Hortofruticultura B. J. de la Universidad de Lleida una Guía de la Condicionalidad para las explotaciones frutales de fruta dulce, por encargo del DARP de la Generalitat de Cataluña. En la Guía figuran, para las diferentes fases de la explotación y actividades del proceso productivo, las normas a cumplir y una serie de recomendaciones (puede consultarse en: http://hdl.handle.net/10459.1/47104). Esta guía debe actualizarse según las disposiciones vigentes en cada momento.

En el capítulo 8 se hace referencia a los aspectos que regula la Condicionalidad en relación con el medio ambiente, la biodiversidad y la sostenibilidad del medio ecológico.

5. Valor ambiental y paisajístico de las plantaciones frutales

Las explotaciones frutales han cambiado en muchas zonas las características del medio rural y han contribuido a su desarrollo económico y social. Aunque el establecimiento de plantaciones haya originado en el medio ecológico algún cambio con incidencia negativa, las plantaciones han traído consigo, en general, una mejora global de dicho medio.

En muchos terrenos de secano, junto con algunos cultivos herbáceos, las plantaciones de olivo, viña y almendro, son la esencia del territorio. Además de su repercusión económica contribuyen al mantenimiento ambiental y definen el paisaje agrícola. Igualmente, en muchas transformaciones a regadío los cultivos frutales han contribuido notablemente a mejorar el medio y sobre todo el paisaje.

Dentro de los aspectos ambientales de las plantaciones frutales cabe hacer especial mención al secuestro del CO_2 atmosférico que realizan las plantas, contribuyendo a mitigar el efecto invernadero. Durante el periodo vegetativo las plantas sólo devuelven a

la atmósfera con la respiración entre un cuarto y un tercio de la cantidad absorbida, el resto pasa a formar parte de la materia seca de la planta. Como regla general con la producción de una tonelada de materia seca se absorben dos toneladas de CO_2, luego las plantaciones contribuyen muy positivamente a la reducción del CO_2.

En este sentido ambiental, se están preconizando cada vez más las evaluaciones de los aspectos ambientales y de los impactos potenciales asociados al sistema productivo. Se utilizan herramientas como la denominada Análisis del Ciclo de la Vida (ACV), desarrollada para evaluar productos, la cual tiene en cuenta el impacto ambiental desde el inicio de la producción hasta la eliminación de sus residuos.

Dentro del análisis ACV, un impacto clave analizado es el del cambio climático, estimado mediante la determinación de la huella de carbono, que es la cantidad total de CO_2 y de otros gases de efecto invernadero asociados a un producto a lo largo de su proceso de producción, en su utilización o consumo y, finalmente, en la eliminación de sus residuos. En estas evaluaciones convendría poner de manifiesto el balance final emisión-absorción de CO_2 que las explotaciones frutales tienen realmente.

También cabe citar dentro de los aspectos ambientales que a pesar del gran consumo de agua que se achaca a las plantaciones frutales, como sucede en todas las plantas, éstas devuelven a la atmósfera con la transpiración casi la totalidad del agua absorbida; y además en unas condiciones optimas de calidad, lo que no suele ocurrir en otros sectores consumidores de agua.

Respecto al valor paisajístico, dentro de las unidades del paisaje rural, los elementos bióticos, como son las plantaciones frutales, alcanzan la máxima importancia. La extensión en el territorio de nuevas plantaciones ha revitalizado la imagen de paisajes, en muchos casos, con vegetación degradada.

Las plantaciones de cultivos leñosos mantienen el paisaje vivo y dinámico, mostrando un atractivo especial a lo largo de las estaciones y dan lugar a una valorización del territorio. Los contrastes en el verdor de la vegetación y su frescor, el estallido de color de la floración y los cálidos colores otoñales, previos a la caída de hoja, son características del paisaje frutícola apreciadas por todos.

El abandono la actividad agrícola y en especial de los cultivos leñosos ha supuesto la degradación de muchas zonas. Contra lo que puede pensarse, el abandono de fincas y la invasión de la flora infectante no devuelve al ecosistema unas mejores condiciones ambientales y paisajísticas. Sino todo lo contrario, aumenta el riesgo de incendio y la falta de mantenimiento de las infraestructuras para evitar la erosión (muros de contención, taludes, etc.) pone en mayor riesgo la conservación del suelo.

En la planificación y diseño de nuevas explotaciones frutales y a lo largo de su proceso productivo, se deben tener en cuenta no sólo las exigencias técnico-económicas de cada momento sino también las exigencias derivadas de la conservación del medio ambiente y del mantenimiento de los valores paisajísticos. Se debe prestar cuidado a la construcción de nuevas infraestructuras en las explotaciones (caminos, embalses, estructuras con mallas de protección, etc.) para que originen el menor impacto negativo en el medio y en el paisaje.

Por otro lado, las administraciones deben plantearse que el mantenimiento y la gestión del medio productivo agrario no sólo debe hacerse con criterios productivos y con medios económicos derivados de su actividad agraria, sino que precisa la contribución de otros sectores, dados los beneficios ambientales y los beneficios derivados del patrimonio paisajístico que ese territorio aporta y que repercuten en el conjunto de la sociedad.

6. Bibliografía (Capítulo 1. El medio ecológico y los frutales)

Relación de libros y artículos de interés que tratan aspectos generales y específicos sobre el tema; para los libros se indican, entre corchetes, las páginas concretas que se recomienda su lectura:

Calderón, E. 1983 (2ª ed.). *Fruticultura General, 1ª Parte*. Limusa. México. 759 pp., [293 - 296].

De Bolós, M. (Edit.) 1992. *Manual de ciencia del paisaje.* Masson S.A. Barcelona. 273 pp., [205 - 218, 249 - 262].

Martínez Zaporta, F. 1964. *Fruticultura. Fundamentos y Prácticas*. Ministerio de Agricultura. INIA. Madrid. 1.003 pp., [245 - 246].

Mathieu, V.; Trottin, H.; Bethsabée, G.; Vandecandelaere, P.; Ramel, J. P.; Berthomieu, J.F. 2008. *Incidence du chargement climatique sur l'arboriculture*. Infos-Ctifl. 239: 33-37.

Rossi, F; Spano, D.; Orlandini, S.; Maracchi, G. 2007. *Gli adattamenti degli impianti arborei a nuovi scenari climatici.* En *Nuove Frontiere dell'arboricultura italiana.* Edit. Sansavini, S. Oasi Alberto Perdisa. Bologna. 562 pp., [127-145].

Scaramuzzi, F. 2007. *Codificata una pianificazione delle colture per tutelare il paesaggio agricolo.* En *Nuove Frontiere dell'arboricultura italiana.* Edit. Sansavini, S. Oasi Alberto Perdisa. Bologna. 562 pp., [73-81].

Sotes, V. 2015. *Viticultura y mitigación del cambio climático*. Vida Rural, 15/marzo/2015: 64-70.

Urbina, V., Dalmases, J., Nolla, J.M. 2009. *Guia de la Condicionalitat per a les explotacions fruiteres de fruita dolça.* Departament d'Agricultura Alimentació i Acció Rural. Generalitat de Catalunya. Web: http://hdl.handle.net/10459.1/47104. 102 pp.

Westwood, N.H. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 461 pp., [398 - 406].

Actividades prácticas recomendadas

Capítulo 1. El medio ecológico y los frutales

1 [Campo]. Observar e identificar en una plantación de frutales del Campo de Prácticas los diferentes componentes del sistema productivo.

2 [Campo]. En la plantación de la actividad anterior, observar e identificar los factores del medio ecológico que influyen sobre los árboles y sobre su manejo.

3 [Campo]. En una plantación de frutales del Campo de Prácticas analizar las modificaciones que se han realizado sobre el medio ecológico y proponer otras posibles actuaciones sobre dicho medio para mejorar el cultivo.

4 [Campo]. Analizar básicamente el cumplimiento de la Condicionalidad en las plantaciones frutales de pepita y hueso del Campo de Prácticas. Utilizar la Guía de la Condicionalidad para las explotaciones frutales de fruta dulce (Depto. de Hortofruticultura B. J. - UdL y DARP - Generalitat de Cataluña, 2009). Puede consultarse en http://hdl.handle.net/10459.1/47104.

5 [Campo]. Analizar las unidades de paisaje de un terreno frutícola dado, definir la importancia de las plantaciones en su constitución y valorar someramente la calidad estética.

Cuestionario de evaluación

Capítulo 1. El medio ecológico y los frutales

1. ¿Cuáles son los componentes del sistema productivo de una explotación frutal?

2. ¿Qué aspectos comprende el medio productivo de una explotación frutal y cuáles se incluyen en los condicionantes internos de la explotación?

3. ¿Qué tipo de factores comprende el medio ecológico de una plantación?

4. ¿Cómo influye el medio ecológico en una plantación frutal?

5. ¿En base a qué varía la repercusión de los factores del medio ecológico sobre la plantación?

6. ¿Cuáles son los condicionantes del medio ecológico, agrupados según su carácter?

7. ¿Sobre qué factores del medio ecológico se puede actuar en una explotación frutal?

8. ¿Cómo se puede actuar sobre el clima y el suelo en una explotación frutal?

9. ¿Por qué se rompe el equilibrio ecológico al establecer una plantación frutal?

10. ¿Qué efectos tendrá sobre una plantación el cambio climático?

11. ¿Cómo influye sobre las plantaciones frutales el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera?

12. ¿Qué se entiende por Condicionalidad y cómo se aplica a una explotación frutal?

13. ¿Cómo se estructuran las normas de la Condicionalidad?

14. ¿Qué valor ambiental tienen las plantaciones frutales?

15. ¿Qué valor paisajístico tienen las plantaciones frutales?

2

EL CLIMA

1. El clima y las especies frutales.
2. El microclima.
3. Clasificación de las especies frutales en función de su medio climático.
4. Estudio del clima.
5. Bibliografía.

Actividades prácticas y cuestionario de evaluación.

1. El clima y las especies frutales

Las diferentes especies frutales se adaptaron en el proceso evolutivo a las condiciones climáticas de su hábitat y desarrollaron mecanismos fisiológicos para asegurar su supervivencia, como es, por ejemplo, el reposo invernal y la acumulación de frío para salir de este reposo de forma regular. Sin este mecanismo las semillas podrían germinar y las yemas podrían brotar, resultando dañada la vegetación y la fructificación por el frío invernal. Cada especie ha asegurado de esta forma su supervivencia y muestra un desarrollo del ciclo vegetativo y fructífero acorde con las condiciones climáticas en que se desarrolla.

El clima es el factor del medio ecológico que tiene una influencia más generalizada sobre los frutales. Influye en múltiples aspectos del desarrollo de la planta y de la producción.

Para predecir o conocer el clima de una zona deben estudiarse sus componentes o variables meteorológicas. Estas variables son las siguientes:

- Temperatura.
- Precipitación (lluvia, nieve, granizo y pedrisco).
- Insolación y radiación solar.
- Viento.
- Humedad relativa.
- Nubosidad, niebla, escarcha y rocío.
- Evaporación (controlada por temperatura, insolación, viento y humedad).

La acción y pormenores de las variables día tras día es lo que denominamos "el tiempo". El clima será el historial del tiempo para un conjunto de años, representado por sus valores medios y sus desviaciones.

El estudio de las variables meteorológicas se hace independientemente para cada una, pero en algunos casos están relacionadas entre sí, por ejemplo: temperatura y viento, insolación y radiación solar, etc.

Cabe destacar que los componentes del clima vendrán determinados por las propiedades geográficas del territorio, principalmente por la latitud y la altitud, además de otras propiedades como fisiografía del terreno, orientación, proximidad a masas de agua, naturaleza del suelo y tipo de vegetación, etc.

La acción de los factores meteorológicos sobre el cultivo puede mostrarse de forma continuada, como es el caso de las temperaturas relativamente frías de invierno que inciden sobre la necesaria acumulación de frío por la planta; o, por el contrario, su acción es puntual, como es el caso de un pedrisco que destruye la cosecha.

El fruticultor debe acostumbrarse a convivir con estos factores meteorológicos, variables de un año otro para un mismo período del ciclo productivo, y actuar, en lo posible, para paliar sus efectos negativos.

Entre los diferentes componentes del clima, algunos son muy limitantes para el cultivo, o incluso excluyentes, y otros solo tienen una ligera influencia. Entre todos estos condicionantes, la temperatura es la que va a tener el papel más importante para el cultivo y, por lo tanto, debe ser analizada más exhaustivamente, mostrando las repercusiones que tanto las bajas como las altas temperaturas tienen para los frutales a lo largo de su ciclo anual. Otros condicionantes pueden llegar a tener también, en situaciones concretas, una importancia esencial para la plantación, como es el caso del viento, la lluvia y el pedrisco.

Dentro de unos límites razonables, los frutales, dependiendo de la especie y de la variedad de que se trate, y en algunos casos de la edad de la planta, se adaptarán a las condiciones climáticas existentes. Cada plantación tendrá unas las condiciones óptimas de hábitat y cuanto más nos alejemos de esas condiciones, la calidad de la producción y los rendimientos se verán disminuidos, hasta llegar a un punto en que la rentabilidad se vea seriamente disminuida o el cultivo sea inviable.

El cultivo de frutales está muy extendido a lo ancho de todo el mundo. Son las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua las que limitan, principalmente, la extensión y adaptación de las diferentes especies. Las principales zonas productoras de fruta se encuentran, aproximadamente, entre las latitudes de 30º y 50º, según puede verse en la Figura 2.1. No obstante la altitud y las condiciones geográficas zonales también originan que se encuentren zonas productoras a mayores o menores latitudes.

Existe una gradación que va desde las regiones tropicales, con las especies que tienen elevadas necesidades de calor y no resisten el frío, hasta las regiones templado-frías, con especies que necesitan reposo invernal y son tolerantes al frío. Dentro de cada especie hay también una gran diversidad varietal en cuanto a su adaptación al medio.

Las principales zonas con frutales de pepita y hueso se encuentran en los países europeos (Italia, Francia, España, Alemania, etc.), Rusia, China, y Estados Unidos. Las mayores extensiones de cultivos tropicales y subtropicales se encuentran en las zonas más cálidas de los países sudamericanos, Extremo Oriente y África. Los cítricos se

encuentran muy extendidos en las zonas cálidas de todo el mundo, destacando Brasil, Estados Unidos y China. La vid se concentra principalmente en Europa, aunque también hay zonas productoras en otros muchos países como Estados Unidos, países de la ex-Unión Soviética, Turquía, Argentina, Australia, etc. El olivo se concentra en los países mediterráneos, principalmente en Italia, España y Grecia.

Aunque el principal condicionante para la expansión de una especie frutal sea la temperatura, no hay que olvidar que existen otros factores climáticos y muchos más condicionantes del medio ecológico que hacen no aconsejable el cultivo de una especie en zonas desfavorables, puesto que siempre se encontrará en inferioridad de condiciones a la hora de competir en productividad y calidad con las zonas más favorables.

No obstante, las intervenciones que se realizan sobre el medio ecológico, modificando sus características, y la tecnología de producción aplicada, hacen que se pueda cultivar especies en condiciones protegidas o en cultivo forzado, cuando las condiciones naturales de cultivo en la zona no lo permitirían o bien no lo aconsejarían.

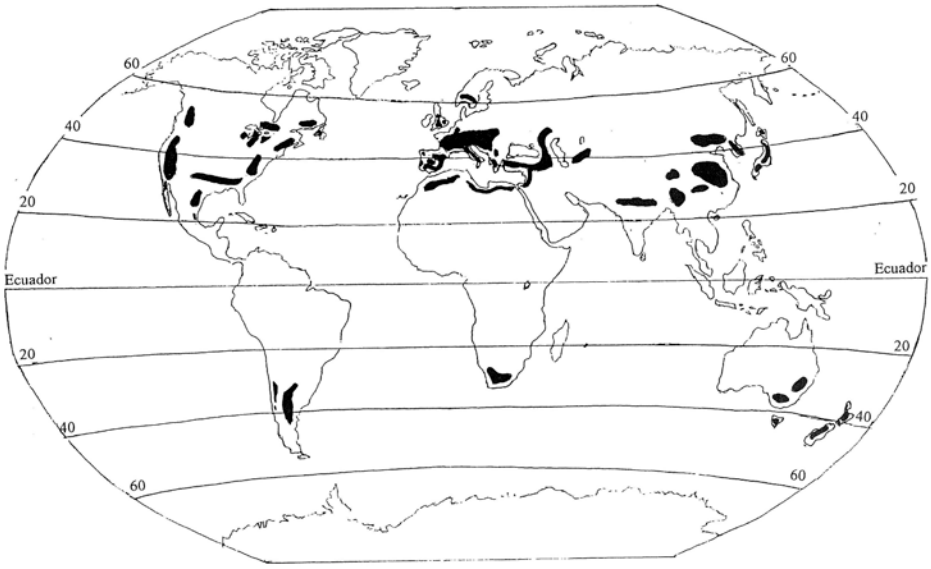


Figura 2.1. Principales zonas productoras de fruta.

2. El microclima

Las condiciones climáticas generales de una zona pueden variar ligeramente de unas parcelas (o pagos) a otras, incidiendo esta variación sobre el cultivo. También puede variar el ambiente que se mantiene en el interior de las plantas respecto al del exterior. A estos dos aspectos climáticos se les denomina microclima. El microclima muestra

variaciones muy localizadas o particulares respecto a las condiciones meteorológicas que se dan en el entorno.

La orientación de la parcela, según sea a la solana o a la umbría hace que varíe la radiación que recibe y, por tanto, la temperatura ambiente y del suelo. También la orientación puede hacer que esté más o menos expuesta a los vientos dominantes.

El relieve es otro aspecto que origina modificaciones en las condiciones climáticas. En las hondonadas o fondos de valle puede acumularse el aire frío y tener mayor riesgo a las heladas de radiación.

El tipo de suelo y su mantenimiento con cubierta vegetal, con aplicación de herbicidas o con laboreo, inciden en su mayor o menor capacidad para retener agua y para acumular o ceder calor.

La presencia de grandes masas de agua próximas a la parcela origina un contraste térmico que modifica el microclima. Lo mismo ocurre con la presencia de montañas o de árboles altos colindantes a una parcela, que puede causar sombreamiento y modificar las condiciones ambientales de las plantas afectadas e, incluso, originar, desfases fenológicos.

El conocimiento de estas particularidades microclimáticas de la finca ayuda a tomar decisiones en su planificación. Por ejemplo: ubicar las variedades más sensibles a las heladas en las parcelas que tengan menor riesgo en la finca, establecer cortavientos en zonas de la finca muy expuestas, etc.

También cabe citar que el microclima que se da al nivel de las plantas, o dentro del seto productivo, influye también en el comportamiento del cultivo. Este microclima está determinado, principalmente, por la formación de la planta, el volumen y compacidad de la vegetación, y el tipo de mantenimiento del suelo aplicado (cubierta vegetal, laboreo, etc.).

La variación alrededor de la planta que puede tener la temperatura, la insolación, la humedad relativa y otras variables, incide, por ejemplo, sobre la fotosíntesis, el metabolismo, el riesgo de helada, los daños en vegetación y frutos por alta radiación, la coloración de los frutos, etc. Por ejemplo, en algunas zonas, a las vides en secano se les da un porte muy bajo para mantener mejor la humedad del suelo, por el contrario, en zonas muy húmedas se elevan las cepas en emparrados; o en zonas muy cálidas, en las plantaciones de kiwi se mantiene un ambiente más húmedo en las plantas mediante cubierta vegetal y un sistema de humectación localizado, para evitar el socarrado de las hojas.

3. Clasificación de las especies frutales en función de su medio climático

Atendiendo principalmente a las necesidades térmicas, las especies frutales pueden clasificarse en cuatro grupos:

1. Especies de clima frío.
2. Especies de clima templado.
3. Especies de clima subtropical.
4. Especies de clima tropical.

La separación entre estos grupos es gradual, así una especie puede encuadrarse entre dos de ellos, al estar adaptada a condiciones de transición o de ambos grupos.

1. Especies de clima frío.

Son especies con muy alta resistencia al frío invernal, adaptadas a zonas con la temperatura media de algunos meses inferior a 0 ºC. Se encuentran en latitudes altas con inviernos largos y de frío continuo. Son escasos los frutales adaptados a estas condiciones, entre los que se cita al *Pyrus ussuriensis*.

Al trasladar estas especies a climas más cálidos su fisiología no se adapta, por presentar un mecanismo diferente de regulación de sus necesidades de frío, brotando y floreciendo anticipadamente.

2. Especies de clima templado.

Son especies que presentan un período de reposo invernal claramente diferenciado y necesitan acumular frío invernal a una temperatura óptima considerada entre 3 y 7 ºC para romper su reposo regularmente.

Son frutales caducifolios, en general, resistentes a las bajas temperaturas invernales y ligeramente sensibles a los calores estivales. Se diferencian en dos subgrupos:

a) Especies de zona templado-fría.

Presentan necesidades de frío más acusadas y tienen una resistencia elevada a bajas temperaturas invernales que llega a -15 ºC o inferiores.

Como frutales representativos de este grupo se tiene: manzano, peral, ciruelo europeo y cerezo.

b) Especies de zona templado-cálida.

Sus necesidades de frío son menores que las del subgrupo anterior, tienen menor resistencia al frío invernal (hasta -10 ºC, aproximadamente) y mejor adaptación al calor estival. Las nieblas invernales que mantienen frío el día permiten alcanzar las necesidades de frío en algunas zonas más cálidas.

Como frutales representativos de este grupo se tiene: melocotonero, albaricoquero y ciruelo japonés. Encuadrados también con el siguiente grupo de subtropicales se tiene: almendro, vid y olivo, que son más sensibles, sobre todo, a los fríos primaverales.

3. Especies de clima subtropical.

Son especies que, en general, no necesitan acumular frío invernal. Son bastantes sensibles a las heladas invernales (inferiores a -5 ºC) y tienen necesidades relativamente altas de calor para su actividad vegetativa.

Se pueden establecer dos subgrupos:

a) Especies con necesidades de calor relativamente moderadas y con ligera resistencia al frío invernal. En transición con el grupo de clima templado se tiene como representativas: vid, olivo, higuera, caqui y pistacho.

b) Especies exigentes en calor y sensibles al frío invernal. Son especies perennifolias entre las que como representativas se tiene: cítricos, níspero del Japón, aguacate y chirimoyo.

4. Especies de clima tropical.

Son especies perennifolias que no necesitan acumular frío invernal y no toleran las bajas temperaturas (resultan afectadas por debajo de 0 ºC y cesan su desarrollo por debajo de 10 ºC), aunque algunas de ellas también se encuadran en zonas menos cálidas. Como especies representativas se tienen: platanera, mango y papaya.

En ciertos casos no se puede encuadrar una especie en un grupo concreto, dado que puede tener una amplia adaptación climática que depende además de sus variedades. Es el caso por ejemplo del peral, el melocotonero, la higuera o el olivo. No obstante, la citada clasificación sirve, al menos, para mostrar la gran variabilidad existente entre los frutales respecto a su adaptación al medio climático.

4. Estudio del clima

Para tener un mejor control sobre la plantación se deben conocer las características climáticas de su medio. Actualmente hay numerosos observatorios y se dispone de una buena información meteorológica en casi todas las zonas. Los servicios meteorológicos facilitan para su estudio las series de datos de cada año, que están disponibles con mayor o menor antigüedad según el año de instalación de la estación meteorológica. También suelen facilitar datos ya elaborados.

Para la planificación de nuevas plantaciones frutales deberían tomarse como mínimo los datos de los últimos 10 años, aunque es conveniente estudiar un período mayor (20 años o más). Para un estudio riguroso se precisan datos diarios, o incluso si se quiere determinar exhaustivamente la disponibilidad de frío se precisan datos horarios. Para el seguimiento anual de las condiciones en que se desarrolla el proceso productivo se debe disponer de los datos diarios.

Los datos meteorológicos a analizar usualmente son los siguientes:

1. Observaciones termométricas y régimen de heladas.

- Temperatura media diaria.
- Temperatura máxima diaria.
- Temperatura mínima diaria.
- Temperatura media mensual de las medias.
- Temperatura media mensual de las máximas.
- Temperatura media mensual de las mínimas.
- Temperatura extrema máxima y día.
- Temperatura extrema mínima y día.
- Número de días de helada en cada mes.
- Fecha de la primera helada y temperatura.
- Fecha de la última helada y temperatura.
- Temperatura media horaria (según disponibilidad).

2. Observaciones pluviométricas.

- Pluviometría mensual (mm).
- Número de días de lluvia en cada mes.
- Lluvia máxima en un día (mm) y día.
- Días de precipitación inapreciable en cada mes.
- Días de precipitación apreciable cada mes.

- Días de precipitación mayor de 1 mm en cada mes.
- Días de precipitación mayor de 10 mm en cada mes.

3. Nubosidad.

- Días despejados.
- Días nubosos.
- Días cubiertos.

4. Viento.

- Dirección dominante y frecuencia (según disponibilidad).
- Velocidad media mensual (m/s) y velocidad máxima (m/s).
- Porcentaje de observaciones que registran vientos superiores a 12 m/s.

5. Otros datos meteorológicos.

- Días de rocío y días de escarcha.
- Días de niebla.
- Días de tormenta.
- Días de granizo.
- Días de nieve.
- Humedad relativa media (%).
- Horas de sol.
- Radiación global media mensual (MJ/m^2).
- Evapotranspiración de referencia (ETo).

Si el observatorio no está próximo a la explotación frutal, deberán extrapolarse los datos disponibles, atendiendo a las características geográficas de la zona. En este caso es muy útil recoger la información local y la experiencia que se tenga sobre el comportamiento de las variables meteorológicas y sobre las afectaciones sufridas por los frutales existentes en la zona. Sobre todo la información que se tenga en la zona sobre daños por heladas según especies y variedades, y daños por granizo o pedrisco en diferentes épocas del año.

Los diferentes índices y clasificaciones climáticas que han sido propuestos para caracterizar genéricamente el clima de una zona (Lang, Martonne, Papadakis, etc.), basados en muchos casos en datos medios anuales, no aportan información significativa para tomar decisiones en una explotación frutal, por lo que no se aconseja emplear tiempo en su determinación. En todo caso, puede hacerse la clasificación de

Thornthwaite para determinar la falta de agua y el diagrama ombrotérmico (criterio UNESCO-FAO) en el que se puede observar el grado de sequía.

No obstante, si las variables meteorológicas se emplean para establecer índices agroclimáticos de caracterización, específicos de un cultivo y suficientemente contrastados, como por ejemplo los índices de Winkler y de Huglin en vid, su determinación es muy interesante para conocer las potencialidades de la zona o la adaptación para determinadas variedades.

5. Bibliografía (Capítulo 2. El clima)

Relación de libros y artículos de interés que tratan aspectos generales y específicos sobre el tema; para los libros se indican, entre corchetes, las páginas concretas que se recomienda su lectura:

Calderón, E. 1983 (2ª ed.). *Fruticultura General, 1ª Parte*. Limusa. México. 759 pp., [296 - 299].

Cuadrat, J.M., Pita, M.F. 1997. *Climatología*. Ediciones Cátedra. Madrid. 496 pp., [19-39].

Elías, F., Castellví, F. Bosch, A.D. 2001. *Clasificaciones climáticas.* En *Agrometeorología*. Elías, F. Castelví, F. (Coord.). Mundi - Prensa. Madrid. 517 pp. [279-316].

Elías, F., Gómez-Arnau, A. 2001. *Estaciones meteorológicas.* En *Agrometeorología*. Elías, F. Castelví, F. (Coord.). Mundi - Prensa. Madrid. 517 pp. [423-486].

Fernández, F. 1996. *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación.* Editorial Síntesis. Madrid. 285 pp., [13 - 59, 169 - 197].

García, L.; García, J.; García, C.; Ruiz, L.; García, M.P. 1990. *Diez temas sobre meteorología*. Servicio de Extensión Agraria. MAPA. Madrid. 237 pp., [35 - 57, 187 - 213].

Guyot, G. 1999. *Climatologie de l'environnement*. DUNOD. Paris. 525 pp., [287 - 334].

Hidalgo, L. 2002 (3ª ed.). *Tratado de viticultura general.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1235 pp., [189 - 227].

Melgarejo, P. 2000. *Tratado de Fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. 1.* AMV Ediciones y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 382 pp., [20 - 47].

Rebour, H. 1971. *Frutales mediterráneos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 410 pp., [33 - 42].

Westwood, N.H. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 461 pp., [21 - 31].

Actividades prácticas recomendadas

Capítulo 2. El clima

1. [Campo]. Identificar las variables meteorológicas que más afectan a una plantación frutal en el momento de la floración y analizar *in situ* sus efectos.

2. [Campo]. Identificar las variables meteorológicas que más afectan a una plantación frutal en el momento de la recolección y analizar *in situ* sus efectos.

3 [Campo]. Observar y analizar posibles microclimas en una finca de fisiografía muy diversa (con masas de vegetación alta, riberas, laderas, hondonadas, etc.).

4 [Campo]. Observar y analizar el microclima que se produce en el interior de un seto productivo voluminoso de una plantación con riego por goteo.

5 [Gabinete]. Comprobar los datos meteorológicos que dispone un observatorio del Servicio meteorológico y analizar su adecuación para ser utilizados en la planificación de una explotación frutal.

Cuestionario de evaluación

Capítulo 2. El clima

1. ¿Qué variables meteorológicas se deben estudiar para conocer el clima de una zona?

2. ¿Cómo se muestra la acción de los factores meteorológicos sobre un cultivo?

3. ¿Cuáles son los componentes del clima más limitantes para el cultivo frutal?

4. ¿Qué latitudes limitan, aproximadamente, a las principales zonas productoras de fruta en el mundo y qué condiciones pueden modificar estos límites?

5 ¿Cómo se manifiesta un microclima en una explotación frutal y qué repercusión tiene sobre la misma?

6. ¿Por qué está determinado el microclima a nivel de planta y cómo se manifiesta?

7. ¿Qué condiciones térmicas requieren las especies de clima templado y cuáles son los frutales más representativos?

8. ¿Qué condiciones térmicas requieren las especies de clima subtropical y cuáles son los frutales más representativos?

9. ¿Cuáles son las observaciones termométricas a analizar en un estudio climático para una plantación frutal?

10. ¿Cuáles son las observaciones pluviométricas, de nubosidad y de viento a analizar en un estudio climático para una plantación frutal y qué otros factores es conveniente analizar?

3

TEMPERATURA

1. Influencia de la temperatura.
2. Nociones sobre heladas.
3. Temperaturas de invierno.
4. Temperaturas de primavera.
5. Temperaturas de verano.
6. Temperaturas de otoño.
7. Bibliografía.

Actividades prácticas y cuestionario de evaluación.

1. Influencia de la temperatura

La temperatura es el factor climático que más incidencia tiene sobre los frutales y es uno de los principales factores del medio ecológico. Aparte de ser limitativa en algunos casos para el cultivo, la temperatura ejerce su acción a lo largo de todo el año, al estar vinculada con las necesidades térmicas de la planta y con la adaptación de cada estado fenológico a las condiciones termométricas.

Los frutales requieren temperaturas suficientemente elevadas para satisfacer las necesidades de calor para la brotación y para el desarrollo adecuado de la vegetación y de los frutos; y por otro lado, en general requieren temperaturas suficientemente bajas para satisfacer las necesidades de frío de los procesos fisiológicos que regulan el reposo. En general, los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta no se activan a temperaturas inferiores a 5 ºC, tienen su óptimo entre 20 ºC y 25 ºC y reducen considerablemente su intensidad por encima de 35 ºC. Para la fotosíntesis el óptimo está entre 20 ºC y 30 ºC.

Las temperaturas deben mantenerse dentro de unos intervalos adecuados a su estado fenológico y que no presenten valores excesivamente altos o bajos como para causar daños a los diferentes órganos de la planta. Por debajo de 0 ºC y por encima de 40 ºC las temperaturas pueden convertirse en críticas para las plantas.

En nuestro País hay grandes contrastes respecto a la temperatura; motivados, además de por la latitud, por las diferencias de altitud, por la influencia marítima y por las oleadas de vientos fríos o cálidos que entran por el norte o el sur de la península, respectivamente. En un territorio, dependiendo de los microclimas, también puede haber diferencias de temperatura entre las explotaciones.

Las diferencias importantes de temperatura entre regiones contribuyen a que una misma especie o variedad implantada se comporte de forma diferente de unos sitios a otros; por ejemplo la fecha de recolección puede variar considerablemente, o la calidad de los frutos producidos.

El estudio de las temperaturas debe cubrir su variación tanto a lo largo del día como de los meses. Requiere datos no sólo de temperaturas medias sino también de las extremas o de su variación a lo largo del periodo estudiado. Las temperaturas medias que se dan en un determinado mes pueden ser adecuadas para un cultivo y sin embargo las temperaturas mínimas nocturnas que se dan algunos días de ese mes pueden dar lugar al traste con el cultivo, por eso se deben estudiar todas las variables termométricas, según se indica en el capítulo 2.

Para estudios exhaustivos del riesgo de heladas se requiere conocer las temperaturas mínimas diarias o incluso las horarias. Para determinar más exactamente la acumulación de frío durante el reposo, o para cuantificar la acumulación de calor en relación con el crecimiento (grados-hora), se requiere conocer las temperaturas horarias.

Respecto a los frutales, se consideran bajas o altas temperaturas todos aquellos valores que están por debajo o por encima, respectivamente, del intervalo que permite el desarrollo óptimo de las funciones fisiológicas de la planta, en cada época. Estas temperaturas originan perturbaciones, en mayor o menor grado, sobre el metabolismo, la fotosíntesis, el crecimiento, la reproducción y otros procesos fisiológicos de la planta.

Como la influencia de la temperatura depende del estado fenológico en que se encuentran las plantas, en este apartado se realiza un estudio independiente para las distintas épocas del año. Así, a continuación, se tratan las temperaturas invernales, primaverales, estivales y otoñales; viendo la influencia que tienen las temperaturas bajas y altas en cada época. Por su importancia, se separa en apartados diferentes el estudio de las heladas en época invernal y primaveral, y el estudio de las necesidades de frío invernal.

2. Nociones sobre heladas

Desde un punto de vista meteorológico se considera que se produce helada si la temperatura ambiental desciende por debajo de 0 ºC; pero desde un punto de vista agronómico debe considerase helada solamente cuando se produce un daño irreversible provocado por la formación de hielo en los tejidos vegetales que impide el normal desarrollo de los órganos y sus funciones.

Este daño es a consecuencia de la exposición a una temperatura igual o inferior a la temperatura crítica de un estado fenológico determinado de la planta. En general, para establecer la temperatura crítica se considera una exposición durante treinta minutos.

En un mismo estado fenológico, no todos los órganos fructíferos de la planta son igual de sensibles a una determinada temperatura crítica; por ello se ha introducido el concepto de temperatura crítica (LT) a la que mueren o resulta letal para el 10 % (LT_{10}), 50 % (LT_{50}) y 90 % (LT_{90}) de los órganos. De esta forma se dispone de más información para establecer los posibles daños que sufrirá la plantación.

Los umbrales críticos que figuran en las fuentes bibliográficas se dan para cada especie y estado fenológico concreto. Debe tenerse en cuenta que los datos disponibles varían ligeramente según los autores, dado que en la determinación tiene influencia la variedad utilizada, las características del material vegetal y las condiciones del proceso de helada en que se desarrolló el estudio.

2.1. Clasificación de las heladas según la causa del descenso térmico

En condiciones reales, en las heladas se dan simultáneamente los tres mecanismos de trasferencia de calor: conducción, convección y radiación, pero con desigual acción según las condiciones climáticas. La convección y la radiación son los mecanismos más importantes, despreciándose prácticamente la conducción.

También puede haber enfriamiento de los órganos al ceder calor en los procesos de fusión o evaporación de agua. Así, el agua al evaporarse absorbe aproximadamente 600 cal/g a 0 ºC, que toma de los cuerpos con los que el agua está en contacto. Por el contrario, el agua al congelarse cede 80 cal/g.

El calor latente de evaporación cedido por las plantas es causa, en ciertos casos, de heladas; mientras que el calor cedido por el agua al congelarse se utiliza como medida preventiva de heladas.

Así pues, se pueden clasificar las heladas en tres tipos: heladas por convección (llamadas también de advección), radiación y evaporación, según sea el mecanismo preponderante en cada una de ellas.

Lo más probable es que, en una situación determinada, sea una de estas tres causas la determinante del enfriamiento. Pero puede ocurrir que durante una noche de helada el enfriamiento se produzca bien por convección o por radiación y, cuando cesen estas condiciones, la helada continúe por evaporación. A continuación se comentan las características de estos tres tipos de heladas.

a) Heladas de advección o convección.

Están ocasionadas por el desplazamiento de grandes masas de aire frío, de origen polar, que entran por el nordeste de la Península. Este aire muy frío y seco invade grandes zonas y las enfría profundamente, como consecuencia de la constante renovación de aire que extrae parte de las calorías almacenadas en las plantas y en el suelo.

Estas heladas se caracterizan por el descenso importante de la temperatura durante varios días, y afectan a todas las zonas atenuándose en las costas o en situaciones orográficas protegidas de los vientos. La helada se produce durante todo el día. Suelen ser muy ocasionales y acontecen en época invernal; en caso de ocurrir en primavera las consecuencias serán catastróficas. La capacidad de lucha contra estas heladas es muy limitada o nula, por la constante renovación de aire que se produce y su duración.

b) Heladas de radiación.

Ocurren cuando el balance térmico de la radiación tierra-atmósfera es negativo, es decir, el suelo y la vegetación emiten mayor radiación que la recibida. Esto ocurre durante la noche al cesar la radiación solar. Esta pérdida de energía se traduce en un enfriamiento rápido del suelo y plantas que pierden su calor por radiación. Si esta radiación es muy fuerte, los órganos de las plantas (yemas, flores, etc.) pueden alcanzar una temperatura más baja que la del aire circundante.

En la Figura 3.1 se representan los balances de radiación durante el día y en noches con tiempo despejado y cubierto. Durante el día la radiación neta es positiva, debido sobre todo al calentamiento por el sol. Durante las noches despejadas la radiación neta es negativa y puede que se alcancen temperaturas de helada. Si el cielo está cubierto (sobre todo con nubes bajas) las pérdidas de radiación son menores, y habrá menos pérdidas aún en el caso de haber niebla, por lo que el riesgo de helada de radiación de esas noches será menor.

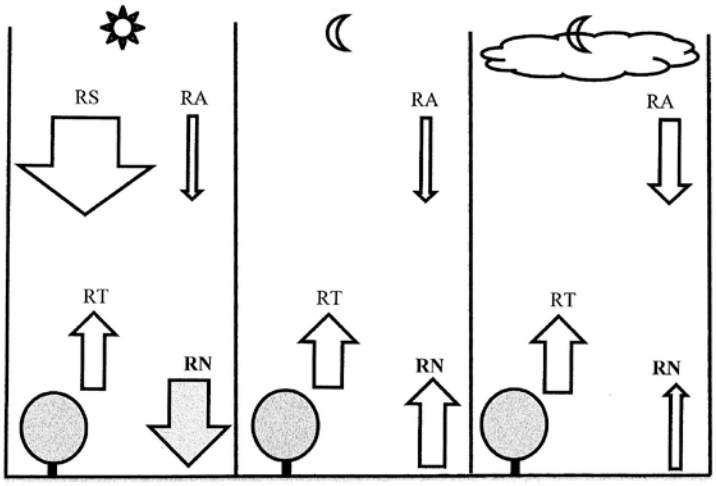


Figura 3.1. Balances de radiación durante el día y la noche. RT: radiación de la tierra y plantas. RS: radiación solar. RA: radiación atmosférica. RN: radiación neta.

Debido al enfriamiento del suelo, el aire que está en contacto con él también se enfría. En noches sin viento, el aire frío que es más denso permanece en las capas

inferiores y hace que la temperatura sea menor cuanto más nos acercamos al suelo. Este fenómeno se denomina “inversión térmica”.

La capa a partir de la cual se produce la inversión está situada, normalmente, entre 10 y 20 m de altura y mantiene una temperatura más o menos constante. El enfriamiento permanece entonces localizado en los primeros metros por encima de la superficie del suelo, donde se encuentra la ramificación de los árboles. A partir de la capa de inversión la temperatura comienza a descender con la altura, aproximadamente 0,6 ºC cada 100 m. En la Figura 3.2 se representa el perfil de temperaturas en un determinado momento de la noche, con un tiempo despejado y en calma, en el que puede apreciarse la inversión térmica.

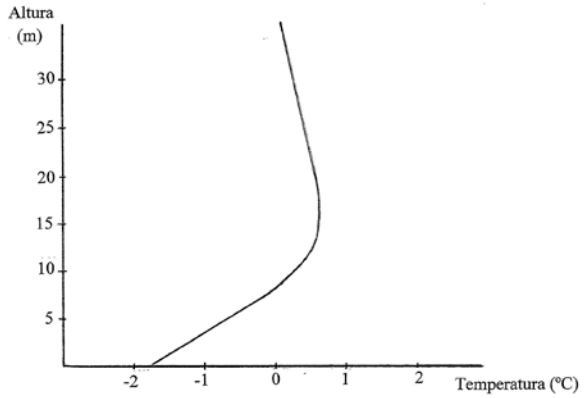


Figura 3.2. Inversión térmica en una noche con tiempo despejado y en calma.

Las condiciones del suelo (humedad, compactación, etc.) y el sistema de mantenimiento (enherbado, mulching, laboreo, etc.) influyen en la capacidad que tiene el suelo para almacenar y ceder calor, lo que también influye sobre la temperatura resultante, y debe ser tenido en cuenta en la prevención de heladas de radiación.

Si durante el día ha llegado al suelo gran cantidad de radiación solar y no ha habido vientos fríos que mermen el almacenamiento de calor, éste estará disponible para cederlo durante la noche, mitigando la helada. Por el contrario, si durante el día el cielo ha estado cubierto y con viento frío, el suelo habrá recibido poca radiación solar y habrá acumulado poco calor; luego, durante la noche puede perderse el poco calor almacenado rápidamente, más aún si el cielo se despeja y hay calma.

También si durante la noche hay viento, la turbulencia que provoca hace que se mezclen las capas de aire y que la inversión térmica se reduzca considerablemente, disminuyendo el riesgo helada. Este será el efecto perseguido con la instalación de torres con ventiladores en la plantación para la prevención de heladas.

La orientación y la topografía del terreno también tienen influencia en las heladas de radiación. Si el suelo está en una ladera orientada al sur recibirá más radiación durante el día, acumulando más calor que luego podrá ceder por la noche. Si el terreno no es llano, durante la noche el aire frío, más pesado que el caliente, desciende a las partes más bajas de la finca (hondonadas) acumulándose en ellas, lo que acentuará en riesgo de heladas en esas zonas.

En resumen, sobre las heladas de radiación influyen múltiples factores que incrementan o atenúan sus efectos. Las heladas de radiación son frecuentes en muchas de nuestras zonas frutícolas y suelen tener consecuencias graves cuando se producen en primavera.

Finalmente cabe mencionar que la humedad atmosférica además de actuar favorablemente impidiendo la pérdida de radiación, tiene otro efecto sobre las heladas, el cual ha dado lugar a su clasificación en heladas blancas y negras.

Si hay suficiente humedad en el aire, durante el enfriamiento se condensa el vapor de agua sobre las partes frías (vegetación y suelo) formando el rocío, lo que origina una cesión de calor (600 cal/g). Al continuar el descenso de temperatura esta agua se congela cediendo nuevamente calor (80 cal/g) formando pequeños cristales de hielo que dan lugar a la escarcha. Si el punto de rocío ocurre a temperaturas inferiores a 0 ºC el vapor de agua se condensa y da lugar a pequeños cristales de hielo cediendo calor y formando también escarcha. En estos casos se dice que se ha producido una helada blanca, por el aspecto blanquecino que adquiere la vegetación debido a la formación de una fina capa de hielo granular con burbujas de aire.

Si en el descenso de la temperatura por debajo de 0 ºC no se alcanza el punto de rocío, debido a un contenido de humedad muy bajo en la atmósfera, no se formará la escarcha. Por lo tanto, la helada será de peores consecuencias, denominándose en este caso helada negra.

c) Heladas de evaporación

Se producen cuando la humedad relativa es muy baja y la planta está humedecida debido a la deposición de rocío, lluvia o riego. En estas condiciones, y más si hay viento seco, se provoca la evaporación del agua depositada sobre la planta, sustrayendo calor a los tejidos que se enfrían y pueden alcanzar la temperatura crítica. También se provoca la evaporación del agua depositada en el suelo lo que contribuye al enfriamiento del ambiente.

Este tipo de heladas es poco frecuente en frutales, aunque pueden darse a continuación de las heladas de radiación y convección, si se produce un aumento rápido de la temperatura con la salida del sol por la mañana. También pueden ocurrir en la puesta en marcha y parada de los sistemas de defensa por aspersión de agua, si se provoca una evaporación muy rápida que haga descender considerablemente la temperatura.

Los sistemas de protección contra estos tipos de heladas serán objeto de estudio en otras publicaciones, al tratar la tecnología de producción.

2.2. Proceso de producción de daños en los tejidos

El mecanismo por el que se producen daños por helada en las células es bastante complejo y en este apartado se tratará de exponer solamente aspectos esenciales para su comprensión.

Los daños se producen con más facilidad en los tejidos en actividad ya que el contenido de agua es el factor que más influye en los posibles daños. En el caso de que la planta esté en reposo los daños serán mayores en los tejidos menos endurecidos o menos lignificados.

Sobre el proceso de producción de daños juega un papel importante el contenido de agua y el estado osmótico de las células, la rapidez del enfriamiento y la capacidad de reversibilidad que tienen los efectos producidos en la célula. Los daños en los tejidos se producen por dos motivos: por las rupturas que producen en las células los cristales de hielo formados o por deshidratación celular irreversible, lo que origina la muerte celular.

Para analizar el mecanismo debe diferenciarse la cristalización producida extracelularmente y la producida intracelularmente. Asimismo, en igualdad de condiciones en los tejidos, la congelación avanza de las capas de células exteriores a las interiores y, por tanto, cuanto más delgados sean los órganos o más superficie tengan expuesta a la intemperie serán más sensibles.

Los tejidos pueden permanecer por debajo de 0 ºC sin que se hiele el agua, es lo que se denomina estado de sobrefusión. Este estado es inestable y finaliza cuando se forman cristales que actúan como núcleos iniciales sobre los que se forma el hielo. Otros elementos pueden contribuir a la formación de núcleos iniciadores, como es el caso de las bacterias denominadas criogénicas (*Pseudomonas syringae* y *Erwinia herbícola*).

En el interior de la célula hay siempre mayor concentración que en los espacios intercelulares. La concentración que tengan las soluciones celulares es determinante del punto de congelación, por lo que el comienzo de la congelación depende en gran medida de la concentración de sólidos solubles en las células. Según se va produciendo la congelación las disoluciones quedan más concentradas por lo que desciende la temperatura de congelación. Además, con la congelación se va liberando calor que contribuye a atenuar el descenso de temperatura del tejido. Estos efectos hacen que la congelación se produzca, en general, a temperatura bastante inferior a 0 ºC y a su vez que este punto de congelación descienda paulatinamente según va aumentando la cantidad de hielo formado.

El proceso de congelación está directamente relacionado con las propiedades del agua de los tejidos y según se van formando y creciendo los cristales de hielo se producen modificaciones en las células que influyen sobre el proceso. Una vez el agua ha comenzado a congelarse la cristalización es función de la velocidad de enfriamiento.

a) Enfriamiento rápido

Si el enfriamiento acontece de forma rápida y se originan muy bajas temperaturas, el hielo se forma tanto en los espacios intercelulares (meatos) como en el interior de la célula, sin que ésta pueda adaptarse a las modificaciones.

La presión que ejerce el hielo producido por su mayor volumen y las agujas formadas en sus cristales, provocará la perforación y ruptura de las membranas celulares y demás orgánulos de la célula. Los daños serán mayores cuanto más grandes sean los cristales de hielo formados (poca nucleación y gran crecimiento) y cuanta menos resistencia a la ruptura tenga la membrana protoplasmática. Después del deshielo los tejidos afectados quedarán totalmente destruidos y adquieren un oscurecimiento o enmarronamiento con prontitud.

Este tipo de enfriamiento rápido es poco frecuente en la naturaleza y lo normal es que se dé antes la congelación extracelular, permitiendo la adaptación de la célula antes de producirse la congelación intracelular que irremediablemente causará la muerte de la célula.

b) Enfriamiento lento

Si el enfriamiento es lento y en estado de quietud las disoluciones celulares son subenfriadas hasta valores de -2 ºC e inferiores, dependiendo del contenido de solutos. Este estado inestable de sobrefusión, durante el cual el agua no se hiela, es un factor de protección para la célula

Si el enfriamiento prosigue, empieza la congelación en los meatos, por tener menor concentración. En este momento en que cesa el estado de sobreenfriamiento se produce un incremento detectable de la temperatura (primer exotermo) debido al calor de fusión del agua en congelación. Luego, si la congelación es paulatina se irá produciendo también una atenuación en el descenso de la temperatura debido a dicho calor de fusión.

A medida que el agua extracelular de los meatos se va congelando se origina una salida de agua intracelular para compensar el déficit osmótico producido. Puede aparecer un segundo exotermo debido a la congelación de dichas fracciones de agua que pierden las células.

Debido a esta pérdida de agua, las células se deshidratan y su contenido se concentra descendiendo su punto de congelación. Si las células soportan la deshidratación y el hielo formado no rompe las paredes, la plasmólisis producida puede ser reversible si se hidrata de nuevo la célula. Para ello la descongelación no debe ser rápida y no debe perderse el agua extracelular con la evaporación que se produce si hay un aumento rápido de la temperatura después de la helada. Por lo tanto, los tejidos pueden sobrevivir, aun a pesar de haber tenido gran parte del contenido extracelular helado.

En caso de que la deshidratación sea extrema se originan reacciones de desnaturalización que causan la muerte de la célula.

Si el hielo llega a producirse intracelularmente, la presión y las agujas de los cristales romperán las membranas originando la destrucción de las células.

La rápida permeabilidad de las membranas, la posterior capacidad de hidratación y la elasticidad y resistencia de las paredes son factores que influyen en la manifestación de la helada. Asimismo, la velocidad a que se produce el ascenso de la temperatura (al igual que el descenso) serán también determinantes de los daños producidos. En las heladas primaverales de radiación se produce normalmente un ascenso rápido de la temperatura por la mañana con la salida del sol que origina evaporación del agua y no permite la rehidratación celular, siendo esta la causa, en muchos casos, de los daños producidos, más que el hielo formado.

2.3. Factores que influyen en los daños por heladas

Los daños que las heladas ocasionan en los frutales están influidos por factores tanto internos o dependientes de la planta, como externos o dependientes de las condiciones del medio. La interacción entre todos estos factores originará que las bajas temperaturas

(por debajo de 0 ºC) causen daños a los órganos y se produzca, por lo tanto, la helada en la planta. A continuación se describen los factores más importantes.

1) Especie y variedad.

Las especies frutales tienen sensibilidades muy diferentes a las heladas y también se encuentran diferencias entre sus variedades, para un mismo estado fenológico. Cuando se establecen estas diferencias debe tenerse en cuenta la época en que se produce la helada y la correspondencia en el estado fisiológico de las plantas; dado que, por ejemplo, las variedades pueden tener diferente susceptibilidad en invierno y luego ser ésta similar en estadios posteriores.

El patrón utilizado también ejerce influencia sobre el comportamiento de la variedad en las heladas, aunque su acción más visible sea sobre la fenología de la planta, también tiene influencia sobre su estado nutricional, y por tanto sobre la sensibilidad de los órganos.

Las listas que se dan de sensibilidad de diferentes especies y variedades deben tomarse con prudencia y sobre todo tener en cuenta las condiciones en que se han obtenido. En este sentido, por ejemplo, no debe confundirse la mayor o menor sensibilidad que intrínsecamente tiene una variedad, con que habitualmente no se hiele en una zona por tener una época de floración más tardía.

2) Estado fenológico.

La temperatura a la que los órganos son dañados depende principalmente del estado fenológico en que se encuentran. La sensibilidad de los órganos fructíferos, en general, es mayor que la de los órganos vegetativos y en ambos casos la sensibilidad aumenta según avanza su desarrollo fenológico.

Las yemas fructíferas son menos sensibles durante el invierno, cuando están en pleno reposo. A medida que las yemas comienzan a hincharse y se desarrollan hasta la floración la sensibilidad aumenta considerablemente. La mayor sensibilidad se alcanza después de la fecundación con el inicio del desarrollo del fruto y de las semillas.

3) Tipo de órgano expuesto.

Los diferentes órganos de la planta tienen distinta sensibilidad a la helada según sea su grado endurecimiento, su exposición y su tamaño. Así, las yemas fructíferas que son poco sensibles en invierno, cuando rompen su reposo y evolucionan en primavera dejan al descubierto los órganos florales que son muy sensibles, en ese estado por su

hidratación, su pequeña masa para almacenar calor y por la gran superficie expuesta al frío.

A su vez, las diferentes partes de la flor presentan distinta sensibilidad. Por ejemplo el pistilo será muy sensible y dentro de él, especialmente, el estilo, en la mayoría de las especies.

En general, la temperatura de los órganos es unas décimas de grado superior a la del aire, dependiendo de su constitución y tamaño; no obstante si se produce una fuerte pérdida por radiación la temperatura de los órganos puede llegar a ser inferior a la del ambiente.

4) Estado fisiológico y sanitario de los órganos.

El estado de desarrollo en que se encuentra la planta y sus órganos en el momento de la helada es el principal terminante de los daños sufridos, como ya se ha comentado anteriormente al mencionar el estado fenológico. Pero además hay que añadir que, para un mismo estado, los órganos pueden tener una mayor o menor resistencia, dependiendo de sus características físico-químicas y biológicas; como son: el contenido de agua y solutos en sus células, el espacio intercelular, la permeabilidad de sus membranas, la presencia de bacterias nucleadoras, etc.

Por este motivo se encuentran diferencias, para una misma helada, entre plantaciones similares, debido a que el desarrollo en diferente medio y el manejo aplicado a las plantas han originado diferentes condiciones fisiológicas de sus órganos.

Las plantas vigorosas no suelen ser más resistentes, lo que tienen es mayor capacidad de recuperación después de una helada.

5) Intensidad y duración de la helada.

Como es evidente, para un estado fenológico concreto, cuanto más descienda la temperatura por debajo del umbral crítico, mayores serán los daños causados a los órganos.

Igualmente, para una misma temperatura, al aumentar la duración de la helada, aumentan los daños causados. Por ejemplo, en experiencias de heladas simuladas en cámara realizadas por nuestro Equipo en la ETSIA de Lleida, al pasar de una duración de 1 a 2 y 4 horas, en manzanos Golden y Starking, para temperaturas de -4 ºC en los estados F y G, los daños llegaban a aumentar en más de un 50% al aumentar la duración.

Téngase en cuenta que el enfriamiento se produce de afuera hacia adentro de los órganos, luego cuanto más tiempo trascurra más penetrará el frío, más calor perderán los órganos y se harán irreversibles los efectos producidos en las células.

En reposo invernal se pueden producir daños si una ola de frio muy intenso dura varios días, como ocurre por ejemplo en olivo.

6) Velocidad de descenso y ascenso de la temperatura.

Los descensos bruscos de temperatura originan más daños al no permitir la adaptación de las células a la formación de hielo. Lo mismo ocurre si después de la helada la temperatura asciende rápidamente, entonces se producirán pérdidas de agua y se impide la rehidratación celular, como ya se ha comentado en el apartado 2.2.

7) Condiciones meteorológicas previas y posteriores a la helada.

Las condiciones meteorológicas que se dan antes de la helada (radiación solar, nubosidad, viento, humedad relativa, etc.) afectan facilitando o dificultando el descenso propio de temperatura que originará los daños en los órganos. Asimismo, al modificar aspectos fisiológicos, predisponen a los órganos a una mayor o menor sensibilidad. Por ejemplo, períodos cálidos en invierno, con temperaturas excepcionalmente altas hacen que las plantas sean sensibles, seguidamente, a fríos intensos. También si durante el día la temperatura ha sido alta y los órganos se han calentado por la radiación recibida, resultarán más sensibles a la helada nocturna, una vez pierdan el calor acumulado; lo que es más patente, en invierno, en troncos y ramas en la cara expuesta al sol.

Los periodos lluviosos previos pueden originar un aumento de la humedad en los tejidos e incluso una pérdida de sólidos solubles por lixiviación, haciendo más sensibles a las plantas.

Las condiciones meteorológicas posteriores a la helada inciden sobre la evaporación de agua en los órganos y por tanto influyen sobre la posterior capacidad de rehidratación celular.

8) Otras condiciones del medio y del manejo de la plantación.

Cualquier otro factor del medio ecológico o del manejo de la plantación que provoque algún efecto fisiológico sobre los órganos puede variar la sensibilidad a las heladas. Por ejemplo, la presencia de plagas o enfermedades que debiliten al material vegetal, los riegos excesivos que provoquen una mayor humedad en los tejidos, los cortes de poda al provocar una activación celular, etc.

Asimismo, otros aspectos del medio y del manejo de la plantación pueden ejercer una acción importante al influir sobre las temperaturas ambientales que afectan a los órganos. Por ejemplo, disposiciones que eviten el estancamiento de aire frío, orientaciones del terreno más favorables a captar energía, características del suelo ligadas a la acumulación y cesión de calor (humedad, compactación, cobertura vegetal, etc.), tendrán una acción indirecta sobre la planta

Incluso se han aplicado tratamientos con productos que pretenden proporcionar a la planta protección contra el daño por heladas, sin que se tengan evidencias claras de su efectividad.

2.4. Manifestación y observación de los daños

Los daños producidos por la helada comienzan a manifestarse transcurridas varias horas. Para tener una observación clara de los síntomas deben transcurrir, como mínimo 48 horas, y es conveniente que el período de observación no sobrepase los 5 días desde la helada, para que los síntomas no sean enmascarados por otros efectos como consecuencia de la evolución de los órganos, o bien se desprendan los órganos si están muy afectados.

En primer lugar debe hacerse una observación global de la planta y analizar las posibles tipologías de daños y la gradación que se manifieste en la planta.

Los órganos deben ser observados primero en su totalidad y reconocer el estado de sus componentes. Luego se seccionan para ver con detalle todas sus partes interiores y la afección de sus tejidos.

La sintomatología puede observarse en muchos casos a simple vista, aunque es recomendable utilizar una lupa o un microscopio estereoscópico para apreciar con detalle la afección, sobre todo si se trata de órganos pequeños.

Los síntomas más característicos son los cambios de color en los órganos y se muestran habitualmente como oscurecimientos, enmarronamientos, o ennegrecimientos de la parte dañada, que posteriormente pueden extenderse al resto del órgano. Cabe tener en cuenta que este cambio de color también puede ser originado por otras causas que producen la muerte o degeneración de los tejidos.

No obstante, si en la observación realizada se aprecia que las partes más sensibles, para unas mismas condiciones de helada, son las partes más frecuentemente dañadas, se

puede afirmar que el órgano afectado presenta síntomas de helada. Por el contrario, si en la observación se aprecia que las partes más sensibles no son las afectadas, o no se sigue la escala de sensibilidad, se puede descartar que el daño haya sido provocado por una helada y debe achacarse a otras causas.

Los daños producidos en frutos, si no dan lugar a su caída, originan posteriormente en su desarrollo síntomas característicos de haber sufrido helada, y son muy patentes en la recolección.

Los síntomas específicos provocados por las heladas primaverales en frutales de pepita de hueso se pueden consultar en el libro, con ese mismo título, elaborado por equipos de la Universidad Lleida y la Universidad Pública de Navarra y editado por ENESA (MAPA) en 1998. En esta publicación figura la escala de sensibilidad de los órganos para cada estado fenológico.

En apartados posteriores se describirán detalladamente los daños producidos por heladas de invierno y primavera en las diferentes partes de las plantas.

2.5. Protección contra las heladas

Son numerosos los métodos de protección contra heladas que se han desarrollado y, con excepción del riego por aspersión, no siempre tienen la eficacia deseada o tienen un margen de protección muy limitado. Todos los sistemas se centran en la protección contra las heladas de radiación de primavera, que son sobre las que realmente se puede actuar y las que, en general, causan más daños en la producción. Sobre las heladas de advección la actuación sería muy limitada o nula; lo mismo ocurre sobre las heladas de evaporación, que además, prácticamente, no tienen importancia.

La mejor prevención para las heladas es elegir las especies y las variedades de brotación y floración más tardía, que escapen a los periodos de mayor riesgo, lo que en muchas ocasiones no es factible. La aplicación de productos retardantes de la floración no ha dado resultados concluyentes cuando se han ensayado.

Los sistemas directos de protección consisten en los siguientes métodos o instalaciones:

- Recubrir las plantas con materiales aislantes (por ejemplo paja o plástico en semilleros de cítricos) o recubrir sólo los troncos con materiales aislantes protectores.

- Aplicación de productos antiheladas. Han sido varios los productos que se han propuesto a lo largo de los años achacándoles propiedades antihelada, sin que se tengan resultados concluyentes.

- Producción de humos y nieblas artificiales para disminuir las pérdidas de calor por radiación (quema de paja, neumáticos, etc.). Métodos no aplicados o incluso prohibidos actualmente por el impacto ambiental que suponen.

- Estufas o quemadores distribuidos entre la plantación para aportar calor. Método de manejo complicado.

- Ventiladores en torres o extractores en el suelo, para mover las masas de aíre y disminuir la inversión térmica. En ocasiones los ventiladores se combinan con un quemador aportando también calor.

- Riego por aspersión. Se utilizan aspersores antihelada de baja pluviometría y de gota fina. También se han introducido más recientemente sistemas de microaspersión. Estos sistemas de protección, basados en el calor que el agua cede al congelarse (80 calorías por gramo), hacen que los órganos de la planta, recubiertos por el hielo, se mantengan próximos a los 0 ºC durante la helada. Se considera un sistema eficaz para la protección, si su manejo es el adecuado y no se dan condiciones extremas.

En la actualidad, prácticamente, solo se emplea el riego por aspersión, o en algún caso ventiladores, según sean las características de la explotación.

Los sistemas de protección son objeto de estudio cuando se imparte la tecnología de producción frutícola y se recogen en publicaciones específicas, por lo que no se tratan con detalle en este capítulo.

3. Temperaturas de invierno

Durante el invierno los frutales se encuentran en reposo vegetativo y las especies caducifolias se encuentran sin hojas. Las referencias hechas en este apartado a la época de invierno se entienden hechas a las plantas en reposo invernal, independientemente de la fecha del calendario, es decir que incluirán las temperaturas acontecidas desde, aproximadamente, noviembre, cuando la planta entra reposo, hasta que se inicia el desborre en febrero o marzo. Estas fechas dependerán, evidentemente, de la especie

frutal y de la zona en que se encuentre. En zonas frías se alargará el período de reposo de una especie respecto a zonas más templadas. En zonas cálidas el periodo de reposo será corto y puede no ser patente en algunas especies.

Las temperaturas de invierno deben ser relativamente bajas, deben mantenerse entre unos 2 ºC y 12 ºC durante un número elevado de horas, para que las plantas acumulen suficiente frío según sus necesidades y luego puedan salir del reposo en condiciones normales. A la vez, no se deben superar, en general, los 16-20 °C, para no anular en exceso el efecto de las temperaturas bajas en la acumulación de frío.

Asimismo, las temperaturas mínimas alcanzadas en invierno no deberían sobrepasar, en general, los -10 ºC (-5 ºC en especies sensibles) para que no haya riesgo de helada en los tejidos de la planta, especialmente en las yemas fructíferas, dada su sensibilidad.

Es decir, en términos generales, lo ideal para las especies que necesitan acumular frío es que las temperaturas medias mensuales durante los meses de invierno se sitúen entre los 6 - 8 ºC; que la media de las temperaturas máximas no supere los 12 - 14 ºC y la media de las temperaturas mínimas no descienda de 0 ºC; y que, a la vez, no se den temperaturas muy extremas algunos días.

Las temperaturas que se dan durante el invierno tienen influencia sobre los procesos posteriores de la planta. Así, en un invierno con temperaturas frías, seguido de un inicio de primavera con temperaturas cálidas, se adelanta la brotación y la floración. Por el contrario, si las temperaturas de invierno son cálidas y el inicio de primavera es frío se retrasa la brotación y la floración. También, en general, si la acumulación de frío durante el invierno ha sido alta, la planta necesita acumular menos calor para que se produzca la floración. Por el contrario, si no ha habido buena acumulación de frío en invierno se precisará acumular más calor en primavera para la floración que en condiciones normales.

3.1. Temperaturas bajas de invierno

Las temperaturas excesivamente bajas de invierno afectarán más negativamente a las especies de zona templado-cálida y a las especies subtropicales, sobre todo a las de hoja perenne como los cítricos, que además tienen la cosecha en época invernal. Las especies adaptadas a temperaturas más frías no se ven afectadas, normalmente, por las bajas temperaturas invernales, a no ser que sean excesivamente bajas y den lugar a heladas. La incidencia de las heladas invernales sobre los frutales será tratada en detalle en un apartado posterior.

La adquisición de resistencia al frío se inicia ya en verano, a través de los cambios producidos en la planta con el proceso de agostamiento que ocurre progresivamente de la base al ápice de los ramos. Se produce una acumulación de hidratos de carbono insolubles o de reserva, una lignificación de las paredes celulares en el xilema, una disminución del contenido de agua en los tejidos leñosos y las yemas, un incremento de la presión osmótica, y una progresiva disminución de la actividad meristemática.

Avanzado el otoño cesa el crecimiento, acontece la caída de hojas en las especies caducifolias y las plantas alcanzan un contenido máximo de reservas. Como consecuencia del descenso de temperaturas se produce lo que se denomina endurecimiento de la planta.

En esta etapa de endurecimiento, además de las transformaciones ya citadas, se suma un aumento de la permeabilidad celular que permite a la célula luchar contra la formación de hielo en su interior, una disminución del volumen de las vacuolas y un nuevo incremento de concentración celular; esto último debido a que se hidrolizan hidratos de carbono insolubles y se acumulan solubles, lo que está asociado a una mayor resistencia a la congelación. Este último mecanismo marca el comienzo del reposo invernal en la planta.

Una mala acumulación de reservas derivada de un exceso de cosecha, problemas en la vegetación, etc. harán que aumente la susceptibilidad al frío. Las condiciones otoñales que prolongan el crecimiento vegetativo (temperaturas altas y exceso de fertilizante nitrogenado y agua) hacen que se retrase la entrada en reposo y haya más riesgo de daños en los tejidos si se producen heladas tempranas.

La resistencia adquirida al frío desciende durante períodos templados en invierno, recuperándose de nuevo cuando vuelve a descender la temperatura. También las zonas de la ramificación que reciben mayor radiación durante el día y se calientan, presentan menos resistencia durante la noche a las bajas temperaturas.

Los efectos de las bajas temperaturas invernales varían mucho según la especie, y según las condiciones de endurecimiento que han tenido las plantas y el estado fisiológico en que se encuentran. Asimismo, también influyen las condiciones termométricas anteriores y el tiempo que duran. Las plantas también tienen unas partes más susceptibles que otras y también pueden encontrarse diferencias entre variedades. En el apartado siguiente, dedicado a las heladas de invierno, se especifica la sensibilidad de las diferentes especies según el estado en que se encuentran sus órganos.

3.2. Heladas de invierno

Las heladas de invierno producen daños en los órganos de las plantas que se encuentran, en general, en reposo. Las especies de hoja perenne son más sensibles a las heladas al tener hojas, o encontrarse en floración, como el níspero japonés, o bien tener frutos, como algunos cítricos.

En general, en las partes más sensibles, los daños por heladas invernales se observan a partir de -2 ºC en cítricos, -5 ºC en olivo, -10 ºC en frutales de hueso y -15 ºC en frutales de pepita. No obstante, en estos dos últimos grupos de frutales se pueden alcanzar temperaturas muy inferiores (-20 ºC) sin que se produzcan daños importantes en el árbol, sobre todo en manzano. Se insiste en que estas cifras son orientativas, dado que la resistencia dependerá de las capacidades que tiene cada árbol de adquirirla y de mantenerla durante todo el reposo vegetativo. A continuación se comenta la sensibilidad de los diferentes órganos.

a) Daños en raíces.

La raíces son las partes más sensibles de la planta siendo las raicillas finas las más propensas a sufrir daños, necrosándose. Las raíces del esqueleto son más resistentes que las raíces fibrosas. La sensibilidad variará con la especie y variedad, y por tanto dependerá del patrón utilizado.

Generalizando, puede decirse que temperaturas por debajo de -7 ºC afectan ya a la raíces, aunque al final del invierno presentan mayor adaptación al frío y se precisan temperaturas de -12 ºC para originar daños.

Normalmente no se alcanzan estas temperaturas en el suelo a cierta profundidad por lo que, en general, el sistema radical no se ve afectado por heladas. Los daños registrados en las raíces en condiciones normales de la plantación son irrelevantes respecto a los que afectan a la parte aérea.

La cubierta vegetal del suelo y la capa superficial de tierra (o incluso la nieve) resguardan a las raíces de los daños. Los riesgos son mayores en suelos desnudos, sueltos y secos.

En caso de helada parcial del sistema radical el árbol puede reponer el daño, si no ha sido excesivo, formando nuevas raíces. Si la helada ha sido total y temprana ya no brotará; pero si ha sido tardía, el árbol puede brotar débilmente y florecer a partir de sus reservas, aunque acto seguido se marchita y se seca.

El riesgo de heladas será mayor en las plantaciones nuevas, al tener un sistema radical débil y superficial, además de encontrarse en una tierra recién labrada con menor capacidad de protección. Si en la zona hay riesgo de heladas muy fuertes conviene plantar más tarde, cuando el peligro sea menor, y siempre regar las plantas inmediatamente a la plantación. Las raíces de las plantas jóvenes se pueden proteger también con un aporcado durante el invierno, como se hace en algunas zonas con las plantaciones de vid.

Se debe tener especial cuidado de no dejar los plantones arrancados con las raíces a la intemperie en el vivero o en la finca a plantar. En caso de que los plantones tengan que permanecer en el campo por necesidad, deben enterrarse en zanjas y dejar bien tapadas las raíces.

En la Tabla 3.1 se muestra el diferente grado de sensibilidad que presentan las raíces de algunas especies y variedades.

Tabla 3.1. Grado de sensibilidad a heladas invernales en raíces, para diferentes patrones.

Muy sensibles	Membrilleros M-A y M-C Manzanos MM-106 y M-7
Sensibles	Ciruelo Mirobolán Manzanos MM-111 y M-6 Peral y melocotonero Ciruelos San Julián y Damas
Poco sensibles	Cerezo Santa Lucía Manzano Antonovka - KA 313

b) Daños en la zona del cuello.

La zona del cuello es también una parte muy sensible de la planta, dado que es la que más tarda en alcanzar el endurecimiento y es un punto clave en la translocación de elementos. Pueden originarse daños a partir de -10 o -12 ºC.

Se debe tener en cuenta que en esa zona es donde se dan las temperaturas más bajas y el problema se agrava con las precipitaciones y nevadas, al haber descongelaciones en ese punto.

Si las heladas fuertes son tempranas y la planta no ha adquirido resistencia, se pueden producir necrosis en el tejido liberiano, principalmente, originando grietas

longitudinales en la corteza o un anillado más o menos completo del cuello de la planta. Estos daños pueden extenderse hacía las raíces o hacia el resto del tronco.

En algunos lugares se injerta alto sobre patrones resistentes, o bien se utiliza un intermediario resistente, para librar la sensibilidad de dicha zona del cuello.

c) Daños en tronco y ramificación.

El tronco y las ramas presentan menos sensibilidad que las otras partes de la planta.

Los daños son variables según la edad y el estado de la planta, y en general originan envejecimiento y decrepitud de la madera o incluso la muerte. En los frutales españoles son poco frecuentes los daños en madera, aunque en especies de hoja perenne con frecuencia se producen heladas en hojas y ramos, como es el caso de los cítricos y el olivo, en los que también se ven afectados los frutos.

El grado de sensibilidad del tronco y ramas es variable según especies y variedades y puede verse influido también por el patrón. Casi todas las especies de zona templada soportan hasta -15 ºC aunque el naranjo (con -7 ºC) y el olivo (con -12 a -14 ºC) son mucho más sensibles; por el contrario, cerezo, ciruelo europeo y algunos manzanos pueden soportar hasta -30 ºC. En la Tabla 3.2 se muestra la diferencia de sensibilidad entre especies. Téngase en cuenta que las hojas jóvenes y los brotes de los cítricos pueden ser dañados a -1 ºC, y las hojas de olivo a partir de -5 ºC.

Tabla 3.2. Sensibilidad de la ramificación de diferentes especies a heladas invernales.

Mayor sensibilidad a menor sensibilidad	Limonero Naranjo, mandarino Olivo Ciruelo japonés, almendro, kiwi Melocotonero Albaricoquero Ciruelo europeo Cerezo Peral Manzano

Los daños pueden afectar al diámetro completo del tronco o ramas o sólo a un sector. La escala de sensibilidad a las bajas temperaturas comienza en los radios parenquimáticos del leño, le sigue el cambium y los tejidos corticales. En los ramos la mayor sensibilidad se da en el parénquima medular (médula). Los daños en los tejidos

se acentúan con la entrada de terminados patógenos, por eso es conveniente la protección fitosanitaria de las heridas producidas.

Si la ramificación se ha dañado totalmente debe cortarse la parte seca, esperando el rebrote del árbol desde las zonas sanas. Cuando los olivos se hielan totalmente se cortan las ramas dañadas o bien se rebajan hasta la peana ("fraileo") para que rebroten de nuevo.

Los síntomas más comunes de la helada en el tronco y en la ramificación son los siguientes:

1) Ennegrecimiento de la médula en ramos del año. Son daños por congelación y normalmente no se dan en ramas. Los daños producidos en la médula no revisten trascendencia al no tener importancia vital para la planta.

2) Necrosis de la parte apical de los ramos. Si el crecimiento vegetativo de otoño se prolonga más de lo normal no habrá buen endurecimiento de la madera y además de la médula pueden dañarse otros tejidos. En casos acusados los daños afectan a los extremos de los ramos causando su muerte. El melocotonero es de las especies más sensibles a estos daños.

3) Oscurecimiento del xilema. Se da desde dentro hacia el cambium, a consecuencia de procesos oxidativos de los tejidos dañados. La parte interna del xilema es la más afectada al endurecerse más tarde y ocurre más en madera vieja. El cambium y la corteza permanecen vivos y luego regeneran nuevo xilema y floema.

4) Zonas necróticas corticales (placas). Estas zonas aparecen en principio como hundidas y después se secan, se resquebrajan o abarquillan, cayendo finalmente. En ramos se puede producir su desecamiento parcial o total.

5) Fisuras longitudinales de la corteza que en algún caso producen grietas profundas. Estas grietas son más patentes en el tronco, en la cara expuesta al sol. Se producen por contracciones tangenciales de la corteza, debido a la disminución brusca de la temperatura, combinado con la presión ejercida por la formación de una capa de hielo entre la corteza y la madera. El agrietamiento dependerá de las propiedades físicas de la corteza (espesor, elasticidad, humedad, etc.) además de la resistencia varietal. Se producen, principalmente, por heladas tempranas cuando no se ha llegado al endurecimiento completo de la madera.

d) Daños en yemas.

Las yemas vegetativas, en general, son más resistentes que las yemas fructíferas y soportan una temperatura similar a la soportada por la madera vieja.

Las yemas fructíferas suelen ser los órganos más afectados por las heladas invernales. En general, sufren daños a partir de -10 ºC y en melocotonero y albaricoquero incluso a partir de -7 ºC. Puede acontecer la muerte total de la yema a -20 ºC. Hay que mencionar que a las temperaturas indicadas es cuando ya se observan daños en algunas yemas, pero el resto de yemas se verán afectadas según el descenso gradual de la temperatura.

El grado de sensibilidad, además de variar entre especies, es diferente también entre variedades. En la Tabla 3.3 se indica, como ejemplo, la diferente sensibilidad de las yemas fructíferas para algunas variedades de peral.

Tabla 3.3. Grado de sensibilidad a heladas invernales de las yemas fructíferas de variedades de peral (según Baldini, 1992).

Muy sensibles	Conferencia, Ercolini, Decana del Congreso Blanquilla, Kaiser, Santa María Morettini
Sensibles	Limonera, Williams, Mantecosa Hardy Mantecosa Precoz Morettini Buena Luisa de Avranches
Poco sensibles	Abate Fetel, Passa Crassana, De Cura Decana de invierno

Los daños en la yema pueden ser parciales o totales, según el estado de la planta y la intensidad del frío, pero como suelen afectar, en general, a los órganos reproductores de las flores se impide la futura fructificación. Si afectan a la totalidad de la yema se destrozan todos los tejidos y cae con el tiempo al iniciarse la brotación, o algo más tarde como en peral o manzano.

En yemas fructíferas de especies de pepita la escala de sensibilidad comienza en el eje caulinar de la yema, seguido por los botones de flor y luego por el parénquima de inserción de la yema. En especies de hueso la parte más sensible es el pistilo, seguido por los estambres y pétalos, luego por los sépalos y el receptáculo, y finalmente por el parénquima de inserción de la yema.

Los síntomas más comunes de la helada en yemas fructíferas son los siguientes:

1) Oscurecimiento del eje caulinar en yemas mixtas con varias flores, lo que origina la muerte de los botones aunque no estén helados.

2) Ennegrecimiento total o parcial de los botones de flor. El pistilo suele ser el órgano más sensible que se ve afectado, permaneciendo los estambres sanos, aunque en algunos casos se invierte el orden de sensibilidad y se ven helados los estambres y el pistilo permanece sano. Si el daño del pistilo es parcial, los síntomas se localizan primero en el estilo, avanzando desde su base a hacia el estigma. Si el daño es más acusado también se ve afectado el receptáculo floral.

3) Enmarronamientos o ennegrecimientos del parénquima de inserción de la yema.

4) En los casos más graves también se ven afectados los pétalos y sépalos, e incluso las brácteas y hojas de transición en las yemas mixtas de los frutales de pepita.

En peral no debe confundirse la sintomatología de helada con la producida por el fenómeno denominado "secado de yemas". Este secado se caracteriza porque los botones florales y las brácteas están total o parcialmente secos, pero el eje caulinar de la yema, en su parte basal y, sobre todo, el parénquima de inserción de la yema están sanos. En caso de helada estos últimos deberían estar también dañados.

3.3. Temperaturas elevadas de invierno

Las temperaturas excesivamente altas de invierno afectarán negativamente a las especies frutales que necesitan acumular durante el periodo de reposo una determinada cantidad de frío. Esta cantidad varía con las especies y variedades, siendo una característica genética.

Durante el invierno las yemas de los frutales están en un estado profundo de reposo (endodormancia). Para salir de este estado en condiciones normales, los frutales precisan estar expuestos a temperaturas frías durante cierto periodo de tiempo. Se considera que las temperaturas óptimas para acumular este frío se sitúan, en general, entre 3 ºC y 9 ºC. En el apartado 3.4 posterior se tratarán las necesidades de frío de los frutales y los métodos para de terminar su disponibilidad.

Aunque no se hayan cubierto las necesidades de frío, evidentemente, la planta terminará brotando en la primavera, después de ser expuesta durante cierto tiempo a temperaturas que superen un umbral (generalmente de 6 ºC). Pero en este inicio de actividad se pueden producir irregularidades que afectan al crecimiento, como retraso en

la apertura de yemas y consiguientemente en la floración, desfases fenológicos y caída de yemas. En algunos casos los síntomas de la falta de frío no son claros; o bien la respuesta de la plantación no es la esperada, dado que la acumulación de calor posterior también influye sobre la forma de producirse la brotación y la floración.

Los síntomas citados se presentan con frecuencia cuando especies y variedades con necesidades altas de frío se cultivan en zonas con inviernos de temperaturas suaves. Asimismo se producen en zonas habituales de cultivo cuando un invierno es anormalmente cálido.

Los periodos invernales excesivamente cálidos, aunque sean cortos, también tienen repercusión sobre el reposo de los frutales al modificar el grado de endurecimiento de la planta, por lo que si son seguidos de periodos muy fríos aumentan el riesgo de helada.

Es especies de hoja perenne que, en general, no tienen un claro reposo invernal y sus funciones fisiológicas se realizan de manera continua, los inviernos excesivamente cálidos también pueden tener efectos negativos.

El olivo es uno de los frutales perennifolios más exigentes en frío. Requiere temperaturas inferiores a 10 ºC para que se lleve a cabo correctamente el proceso de inducción floral y la posterior diferenciación floral.

En cítricos, los inviernos relativamente fríos provocan reposo vegetativo. Algunas especies cultivadas en zonas con inviernos más frescos producen un fruto de mayor calidad y tienen una floración más intensa y homogénea. En climas con inviernos muy cálidos las naranjas adquieren menor coloración de la corteza y del zumo, y son más azucaradas y menos ácidas.

3.4. Necesidades de frío invernal

Las especies frutales de clima frío y templado necesitan acumular durante el invierno una determinada cantidad de frío para que la salida del reposo se desarrolle en condiciones normales. Este frío invernal actúa sobre las sustancias inhibidoras y hace que se rompa el reposo promoviendo los procesos que conducirán al nuevo periodo de actividad de la planta.

La acumulación de frío se produce cuando las plantas pasan un tiempo determinado a, aproximadamente, temperaturas entre 2 ºC y 12 ºC. Con temperaturas inferiores no se produce acumulación y con temperaturas más elevadas se produce el efecto contrario.

La mayor acumulación se considera que tiene lugar, aproximadamente, entre 3 ºC y 9 ºC.

El calentamiento excesivo de las yemas por el sol, o bien por la sucesión de días templados, contrarresta el efecto acumulativo y puede dificultar la posterior acumulación de frío. También se ha visto que si en la primera mitad del periodo de acumulación se acumula más frío, se necesita luego acumular menos calor para llegar a la floración, por lo que las plantas florecen antes.

Una cifra muy utilizada para establecer la acumulación de frío ha sido la de la temperatura media horaria por debajo de 7 ºC y superior a 0 ºC. El número de horas que la planta pasa por debajo de este umbral de 7 ºC, y se superan los 0 ºC, se conoce comúnmente como "horas-frío" (en algunas referencias figura el umbral de 7,2 ºC como conversión más exacta de 45 ºF de la propuesta original).

Se han realizado numerosos estudios sobre reposo invernal y las necesidades de frío, así como sobre los métodos de cálculo de dichas necesidades. A veces los resultados obtenidos no son comparables o las respuestas de las plantaciones no son concordantes, por lo que éste es un tema complejo de discernir y difícil de generalizar.

La necesidad de frío invernal varía según las especies y variedades. Los frutales caducifolios se sitúan, de forma global, en el siguiente orden creciente de necesidades de frío:

> Higuera, almendro, membrillero, albaricoquero, ciruelo japonés, melocotonero, nogal, manzano, peral, avellano, cerezo y ciruelo europeo.

Las especies de hoja perenne tienen, en general, necesidades de frío muy bajas y suelen ir ligadas a procesos fisiológicos diferentes a los de los frutales caducifolios, como es la inducción floral en olivo o incluso como la calidad del fruto en naranjo. Dentro de estas especies el olivo es la que tiene mayores necesidades de frío. La vid tiene, en general, necesidades de frío muy bajas y se comporta de forma diferente a los frutales.

En la Tabla 3.4 se especifica entre qué intervalo se sitúa, aproximadamente, el requerimiento de frío de las diferentes especies frutales, medido como horas por debajo de 7 ºC (horas-frío).

Las diferencias entre variedades de una misma especie llegan a ser importantes. Por ejemplo, en melocotonero la necesidad de frío es más de seis veces superior entre las variedades de menor y las de mayor necesidad, según puede verse en la Tabla 3.5.

Tabla 3.4. Intervalo de requerimiento de frío invernal de diferentes especies frutales (Nº de horas con temperatura inferior a 7 ºC).

Especie	Valor mínimo	Valor máximo	Especie	Valor mínimo	Valor máximo
Higuera	100	300	Nogal	400	1.500
Almendro	100	500	Manzano	500	1.700
Membrillero	100	500	Peral	500	1.300
Albaricoquero	300	900	Cerezo	600	1.100
Ciruelo japonés	200	1.000	Ciruelo europeo	700	1.600
Melocotonero	200	1.200	Avellano	800	1.600

(Excepcionalmente pueden encontrarse variedades fuera de estos intervalos)

Tabla 3.5. Diferencia en las necesidades de frío invernal en variedades de melocotonero (Nº de horas con temperatura inferior a 7 ºC).

Variedad	Horas-frío	Variedad	Horas-frío
Tropic Beauyy	150	Sudanell 3	650
Flordaglo	150	Sprincrest	700
Early Grande	200	Rich Lady	700
Flordastar	200	Armgold	750
Tropic Snow	250	Miraflores	750
Zincal - 5	250	Baby Gold 6	750
Honey Blush	250	Early Red	800
Sunred	300	Springold	800
Summersun	350	Carson	850
Flordaglobe	450	Fortuna	850
Armking 2	450	Cardinal	850
Maybelle	500	Baby Gold 9	900
Maycrest	550	Redhaven	900
Early Gold	600	Elberta	900
Sun Gold	600	Fairhaven	950
Fantasía	650	Campiel	950
Rubidoux	650	Dixired	1.000
June Gold	650	Ansdem	1.100
Catherina	650	May Flower	1.200

El patrón utilizado también influye indirectamente sobre las necesidades de frío de la variedad injertada. La influencia está relacionada, principalmente, con las propias necesidades de frío del patrón (aunque sólo aporta el sistema radical), con su ciclo vegetativo y con el vigor que induce. Habrá mejor adaptación de una variedad a una zona cálida si el patrón utilizado tiene bajas necesidades de frío cuando vegeta naturalmente.

La información que se dispone sobre las necesidades varietales de frío no suele ser muy precisa y en algunos casos es de diferente valor. No obstante, conocer, al menos, el grado de adaptación de la variedad es muy importante a la hora de tomar la decisión de implantarla en una zona concreta en la que se conoce la disponibilidad de frío, para evitar problemas posteriores en la plantación.

Se puede afirmar que cuando se sobrepasan las 1.000 horas-frío no habrá problemas en gran parte de los frutales o, al menos, éstos no serán graves si se observa algún efecto, salvo en alguna variedad excepcional. Para frutales de zonas templado-cálidas puede rebajarse este límite de seguridad, hasta las 600 horas-frío. Con la mejora genética se están consiguiendo variedades con muy bajas necesidades de frío, especialmente de melocotonero, cerezo y ciruelo japonés. Para el melocotonero se dispone ya variedades adaptadas a zonas cálidas o subtropicales.

3.4.1. Efectos de la falta de frío invernal

Los efectos más significativos que se presentan en los frutales por la falta de frío invernal son los siguientes:

1) Retraso en la apertura de yemas.

El retraso es mayor en las yemas vegetativas que en las fructíferas, lo que perjudica aún más al árbol al tener que utilizar más reservas. Este retraso puede dar lugar luego a un retraso también en la maduración.

2) Irregularidades en la brotación y floración.

Este efecto está ligado al anterior. La floración suele ser más larga e irregular y lo mismo ocurre con la brotación de las yemas vegetativas. Es a consecuencia de las diferentes necesidades de frío que tienen las yemas de un árbol.

Abren mucho antes las yemas terminales y las de ramos débiles. Esto se manifiesta acusadamente en manzano y albaricoquero, en los que puede haber frutos ya en desarrollo cuando otras yemas entran en floración.

También se presentan irregularidades en el proceso de apertura de las yemas fructíferas, originando deformaciones o aborto de sus órganos, flores de menor tamaño, producción de poco polen, etc.

El crecimiento de los nuevos brotes primaverales es más lento y la brotación no es uniforme. Debe tenerse en cuenta que la carencia de zinc origina también irregularidades en la brotación de las yemas, lo que puede confundirse con la falta de frío.

En general, la producción se verá afectada por los efectos descritos y será reducida y de peor calidad.

3) Caída de yemas.

Es el efecto más perjudicial para el árbol y no siempre se corresponde claramente con la falta de frío, por lo que probablemente influyen también otros factores. Parece ser que el mecanismo que causa la caída de yemas es diferente al que origina los retrasos en la floración. Se manifiesta cuando parte de las yemas de un ramo se desprenden antes del desborre, y se descarta su caída por heladas invernales. La parte central del ramo es la más afectada y en casos graves sólo brota la yema apical.

La caída de yemas es más precoz y acusada en melocotonero y albaricoquero. En frutales de pepita las yemas no brotan, se secan y terminan también cayendo, aunque algo más tarde.

También se produce, algunos años, en peral el secado parcial o total de algunas yemas fructíferas que terminan cayendo o brotando irregularmente, en su caso. Este fenómeno es complejo y aunque guarda relación con la acumulación inicial de frío, sobre el mismo también influyen otros factores, como se ha comprobado.

La caída de yemas también es provocada cuando antes del desborre suceden temperaturas muy elevadas durante el día seguidas de temperaturas muy bajas durante la noche, o bien días muy cálidos seguidos de días muy fríos.

Asimismo, deficiencias nutricionales en la planta, sequía, ataque de patógenos, etc. pueden agravar la caída de yemas.

4) Otras anormalidades.

Se citan otras anomalías en la planta relacionadas con su desarrollo vegetativo, como debilitamiento, falta de ramificación para la formación de árboles jóvenes, emisión de chupones a partir de yemas latentes, etc.

3.4.2. Intervenciones para compensar la falta de frío

Algunas intervenciones culturales y sobre todo tratamientos con productos químicos pueden ayudar a compensar o mitigar los efectos de la falta de frío. Se debe evitar recurrir a estas intervenciones y utilizar exclusivamente variedades adaptadas a las zonas de cultivo, teniendo en cuenta además que cada vez son mayores las restricciones que se ponen a la aplicación de productos.

En muchos casos sólo se persigue con los tratamientos aplicados romper el reposo y adelantar la fecha de floración para conseguir recolecciones más tempranas.

Algunas actividades culturales pueden tener ligeros efectos sobre la temperatura de los órganos y sobre su reposo.

Evitar en otoño fertilizaciones de nitrógeno excesivas y riegos tardíos contribuye a no retrasar la entrada en reposo de la planta y a permitir una pronta acumulación de frío, si las temperaturas lo permiten.

Las defoliaciones tempranas con productos químicos contribuyen a forzar la entrada en reposo. Se puede emplear sulfato de cobre, sulfato de zinc, urea, quelato de cobre EDTA, etc. Estos productos pueden presentar fitotoxicidades (necrosis), por lo que debe tenerse en cuenta la concentración y seguir las recomendaciones del fabricante.

La poda tiene una acción estimulante sobre la actividad de las yemas, por lo que realizada a finales de invierno, cuando se inicia la salida del reposo, puede contribuir a adelantar ligeramente la brotación.

Mojar la ramificación con aspersión de agua en los momentos de altas temperaturas reduce sus efectos negativos sobre la acumulación de frío en las yemas. Igualmente, un encalado de la ramificación reduce el calentamiento de las yemas y refleja la radiación en los días soleados. El mismo efecto se consigue con el sombreamiento de la planta.

Tratamientos con determinados productos químicos tienen un efecto compensador de las necesidades de frío, estimulando la brotación. La mayor parte de estos productos han sido prohibidos, como: aceites de invierno, DNOC, tiourea y tiadizurón. El nitrato

potásico también ha sido utilizado, en general, mezclado con los productos citados anteriormente.

Un producto muy utilizado hasta hace poco, y actualmente también prohibido, ha sido la cianamida de hidrógeno (Dormex), empleada sobre todo para adelantar y uniformar la floración en frutales de hueso (principalmente en cerezo) y en vid. La cianamida de hidrógeno así como la cianamida cálcica han sido utilizadas también como defoliantes.

Actualmente, existen en el mercado nuevos productos catalogados como "bioestimulantes" que se les achacan propiedades para romper el reposo. Similar efecto se le achaca al Promalín (benciladenina más giberelinas), autorizado sólo en manzano y peral.

3.4.3. Métodos para determinar el frío invernal

La exposición que requieren los frutales al frío invernal para salir del reposo se determina a partir del tiempo que permanecen entre determinados intervalos de temperatura. Aunque las oscilaciones de la temperatura a lo largo del día y durante el invierno, y otros factores del medio, ejercen influencia sobre el reposo, desde un punto de vista práctico las necesidades de frío se establecen solamente según determinados umbrales de temperatura.

Surge un problema importante que es fijar la fecha de inicio del cálculo y la fecha del final de acumulación. El general, se considera el inicio el 1 de noviembre y el final el 1 de febrero en las zonas templadas. El final se considera en zonas más frías el 15 de febrero o incluso el 1 de marzo y en zonas más cálidas o en variedades muy tempranas el 15 de enero.

Para establecer con más exactitud las necesidades de frío de una variedad, el inicio de la acumulación debe fijarse en la fecha en que la acumulación comienza a ser positiva, es decir, que la desacumulación de frío debido a temperaturas por encima de los umbrales establecidos es menor que la acumulación efectiva que se produce.

Asimismo, para conocer la fecha en que una variedad ha acumulado el frío necesario se deberán someter las plantas (o varetas) a diferentes periodos de frío y luego a calor para que se produzca la brotación. Las plantas que no han acumulado el frío suficiente requerirán más tiempo hasta la brotación. La fecha de acumulación del frío suficiente corresponderá con el momento en que las plantas sacadas del frío requieren ya la misma

duración en calor para llegar a la brotación. El frío requerido hasta esa fecha marcará las necesidades de la variedad.

La unidad de medida utilizada tradicionalmente ha sido las "horas-frío" (HF), pero métodos más recientes proponen utilizar como medida las "unidades de frío" (UF).

Tradicionalmente se han considerado las horas-frio como las horas que la planta pasa entre 0 ºC y 7 ºC (7,2 ºC si se quiere tomar más exactamente la conversión de 45 ºF).

Las horas-frío pueden calcularse a partir del termograma de las bandas de termógrafos o de registros con las temperaturas horarias, determinando el tiempo que dichas temperaturas transcurren entre los umbrales establecidos. Actualmente los termógrafos ya no se utilizan y se dispone de una información amplia sobre temperaturas en muchas estaciones meteorológicas.

Hay propuestos varios métodos que mediante fórmulas empíricas y utilizando las temperaturas de los meses invernales, permiten conocer la disponibilidad de frío de cada año y, por tanto, las disponibilidades medias de una zona a partir de un periodo de, al menos, 10-15 años. Los métodos más utilizados son los siguientes:

a) Método de Weinberger (1950).

Establece una correlación entre número de horas por debajo de 7 ºC y la temperatura media de diciembre y enero, según se expresa en la Tabla 3.6. Extrapolando en esta Tabla la temperatura media obtenida para los dos meses considerados se tienen las horas-frío de cada año. Este método se adapta mejor a zonas frías.

$T_m = 1/2\ (T_{mD} + T_{mE})$ T_{mD}: temp. media de diciembre. T_{mE}: temp. media de enero.

Tabla 3.6. Correlación de Weinberger para el cálculo de horas-frío.

T_m	13,2	12,3	11,4	10,6	9,8	9,0	8,3	7,6	6,9	6,3
Horas-frío	450	550	650	750	850	950	1050	1150	1250	1350

b) Método de Da Mota (1957).

Establece una correlación entre número de horas por debajo de 7 °C y las temperaturas medias de noviembre, diciembre, enero y febrero. La acumulación anual

será la suma de los cuatro meses. Cuando el valor de un mes resulte negativo se considerará interrumpida la acumulación.

$Y = 485,1 - 28,52\ X$ Y: nº horas <7 ºC X: temp. media del mes considerado

c) Método de Tabuenca (1964).

Es una adaptación del método de Da Mota a condiciones del Valle del Ebro. Utiliza el mismo procedimiento con la siguiente correlación:

$Y = 700,4 - 48,6\ X$ Y: nº horas <7 ºC X: temp. media del mes considerado

d) Otros métodos de cálculo de horas-frío.

Existen varios métodos más de cálculo de horas-frío, como el de Sharpe (1970) que utiliza la siguiente correlación: $Y = 638 - 33,007\ X$, también con el mismo procedimiento que los dos métodos anteriores.

Los métodos de Crossa-Raynaud (1956) y de Sánchez-Capuchino (1967) determinan las horas-frío acumuladas cada día, durante los meses de noviembre a febrero, a partir de la temperatura mínima (tm) y máxima (tM) diaria mediante las siguientes expresiones: $HF=24[(7-tm)/(tM-tm)]$ y $HF=36[(7-tm)/(tM-tm)]$, respectivamente. Estos dos últimos métodos se ajustan mejor a climas más cálidos y se diferencian en que el segundo incorpora un coeficiente corrector de 1,5 al cálculo.

Un buen indicador, fácil de determinar, para conocer si en una zona se darán problemas con la acumulación de frío es la media de los valores obtenidos con los métodos de Weinberger y Da Mota, teniendo en cuenta además los valores inferiores y superiores de los años considerados, y así establecer la variabilidad anual y el riesgo existente. Los valores obtenidos por el método de Da Mota son los que más se ajustan, en muchos casos, a los valores reales de acumulación de horas-frío.

Téngase en cuenta que estos métodos son solo válidos para estimar la acumulación anual que se produce en una zona y la media en diferentes años. Si se desea hacer un seguimiento de la campaña no queda más remedio que acudir a los datos diarios de temperatura y determinar la acumulación de horas-frío que se va produciendo para el rango de temperaturas considerado.

e) Método de Utah para la determinación de unidades de frío (1974).

Este modelo, desarrollado por Richarson *et al.* para melocotonero, considera una acumulación de frío en cada hora diferente según el rango de temperatura. Supone que

la acumulación de unidades de frío (UF) ocurre en un rango de temperaturas entre el 1,5 °C y 12,4 ºC, fuera de este rango la acumulación se considera nula o negativa. La acumulación óptima se da entre 2,5 ºC y 9,1 °C, en que cada hora se acumula una unidad de frío.

Para el cálculo de las unidades de frío acumuladas en una hora se tienen en cuenta las temperaturas reflejadas en la Tabla 3.7.

Téngase en cuenta que no son directamente comparables las horas-frío (HF), obtenidas con los datos anteriores, con las unidades de frío (UF) obtenidas por este método. Los rangos de temperaturas y el valor de medida son diferentes, y el resultado obtenido será normalmente más elevado.

Este modelo de Utah considera que las altas temperaturas ejercen un efecto negativo sobre la acumulación de frío, por lo que en zonas cálidas o con variedades poco exigentes en frío no resulta eficiente, ya que pueden resultar valores finales negativos durante un primer periodo amplio de acumulación. Ha sido modificado considerando sólo las unidades de frío positivas (UFP), omitiendo los valores negativos. También han sido desarrollados modelos similares por Erez y Couvillón, y por las universidades de Florida y Carolina del Norte.

Tabla 3.7. Acumulación de unidades de frío (UF) en una hora, según el modelo de Utah.

Temperatura (ºC)	Unidades de frío (UF)
< 1,4	0
1,5 – 2,4	0,5
2,5 – 9,1	1
9,2 – 12,4	0,5
12,5 – 15,9	0
16-18	- 0,5
> 18	- 1

f) Modelo dinámico (1987).

El modelo dinámico fue desarrollado en Israel por Fishman, Erez y Couvillón, y se basa en trabajos anteriores de Erez *et al*. (1979). Esta adaptado a zonas cálidas.

Este modelo considera que la acumulación de frío ocurre en forma de porciones o cuantos de frío (PF), de tal manera que en cada porción se va produciendo una

acumulación o desacumulación hasta que se alcanza una cierta concentración crítica en la que la acumulación de esa porción resulta irreversible, y por tanto no puede ser anulada por las altas temperaturas, comenzando así la acumulación en otra proporción.

El modelo también incorpora un ajuste para corregir el efecto de las temperaturas muy bajas, considerando una menor acumulación a partir de 4 ºC. También el modelo predice que temperaturas altas y bajas en un ciclo son más eficientes en la acumulación de porciones de frío que temperaturas bajas constantes.

El proceso de cálculo en este modelo es complejo, lo que supone una restricción para su uso. Los valores absolutos obtenidos de porciones de frio (PF) no son comparables directamente con las unidades de frío (UF) obtenidas con el modelo de Utah.

4. Temperaturas de primavera

Las temperaturas de primavera se refieren, independientemente de la fecha en que comienza la estación del año, a las temperaturas que acontecen desde que la planta entra en actividad hasta que tienen lugar los calores fuertes del final de la primavera. Por tanto, este periodo comprende la brotación y floración de las plantas, y la etapa de desarrollo inicial de la vegetación y los frutos, o incluso toda la fructificación en las variedades tempranas.

Las temperaturas de primavera deben ser moderadamente elevadas para que las plantas acumulen sus necesidades de calor y puedan llevar a cabo adecuadamente la floración en las fechas previstas. Pero no deben ser ni excesivamente altas ni excesivamente bajas, para no repercutir negativamente sobre los cruciales procesos fisiológicos que se desarrollan en esta época. Sobre todo, las temperaturas nocturnas no deben descender a niveles que originen heladas en los órganos.

En esta época, según avanzan las fechas, las temperaturas van teniendo un incremento importante, lo mismo que las horas de sol. La temperatura mínima considerada como umbral para tener un desarrollo adecuado varia mucho según las especies frutales, puede considerarse entre 4 ºC y 10 ºC, siendo frecuente tomar el umbral de 6 ºC. Las temperaturas máximas no deberían superar los 20 ºC al inicio del período o los 25-30 ºC en las fases avanzadas. Por tanto, las temperaturas óptimas se sitúan en torno a los 15-20 ºC para los procesos fisiológicos de esta época primaveral. La temperatura óptima se eleva según avanza el ciclo de desarrollo de la planta.

En muchas de nuestras zonas frutícolas es frecuente encontrar en época de floración y cuajado días con temperaturas diurnas próximas a los 15-20 ºC y días con temperaturas nocturnas que descienden por debajo de 0 ºC o incluso por debajo de -5 ºC. Es importante conocer las oscilaciones diarias de la temperatura y no sólo la temperatura media, para establecer los efectos que ésta tiene sobre los frutales y conocer así la adaptación de la zona a determinadas especies y variedades.

Si los frutales han cubierto suficientemente las necesidades de frío durante el reposo, las temperaturas cálidas al final del invierno y principios de primavera harán que se adelante la brotación y la floración, y por tanto aumentará el riesgo de sufrir heladas. Por el contrario, si en este período las temperaturas son frías se retrasará la brotación y la floración al necesitar los frutales más tiempo para acumular el calor necesario.

Para cuantificar las exigencia de calor y establecer cuándo se producirá el desborre o la floración se puede recurrir al cálculo de las "unidades de calor" acumuladas a partir de una fecha concreta. Para ello se han desarrollado varios métodos, según se expone en el apartado 4.3.

Las temperaturas muy altas en esta época de inicio del ciclo productivo tienen efectos negativos sobre los frutales. Además de incidir sobre la fenología interfieren sobre la eficiencia de algunos procesos fisiológicos.

A continuación se tratarán todos estos aspectos comentados, diferenciando los efectos de las bajas y altas temperaturas de primavera y se estudiarán aparte, en el punto 4.2, las heladas de primavera, dada su importancia para la producción frutal.

4.1. Temperaturas bajas de primavera

Una vez cubiertas las necesidades de frío de las plantas, si las temperaturas continúan siendo bajas se precisará más tiempo para cubrir sus necesidades de calor y que se inicie el desborre y la posterior floración. Por lo tanto, si el invierno ha sido frío y su salida y la entrada en la primavera continúan siendo también fríos, los estados fenológicos avanzarán más lentamente, se retrasará la fecha de floración y se alargará la duración del periodo de floración.

Las bajas temperaturas en el inicio de la actividad de la planta frenan su actividad metabólica. La elongación de las raíces y el intercambio de nutrientes se ven reducidos, lo que provoca un retraso y reducción en la actividad radical que a su vez origina un desarrollo más débil de los órganos y una mayor dependencia de las reservas de la

planta. Esta debilidad confiere a los órganos una mayor sensibilidad a los parásitos y a los posibles accidentes meteorológicos y, por otro lado, disminuye su capacidad o bondad para realizar con normalidad los procesos de fecundación y cuajado.

Si las temperaturas de primavera son excesivamente bajas, lo que suele ocurrir por la noche, se pueden originar daños por helada en los órganos, aspecto que será tratado de forma independiente en un apartado posterior.

En esta época primaveral los procesos de floración y desarrollo inicial de los frutos son muy sensibles a las bajas temperaturas, y aunque no se lleguen a producir daños por helada, si las temperaturas son muy bajas para la época, la diferenciación o formación final de los órganos florales pueden presentar irregularidades, mermando la calidad de la flor. También durante la polinización y la fecundación las bajas temperaturas influyen muy negativamente sobre la germinación y el crecimiento del tubo polínico, ralentizando el proceso y haciendo que no llegue hasta el óvulo, o bien que llegue cuándo el óvulo ya no es viable. Asimismo, durante la fecundación y el desarrollo del embrión las bajas temperaturas pueden abortar el proceso y provocar la falta de cuajado, dando lugar a la caída de las flores no fecundadas o de los pequeños frutos. Aunque este extremo no llegue a producirse, por las bajas temperaturas se puede ver disminuida la división celular, lo que originará frutos de menor tamaño.

Téngase en cuenta también que en esta época primaveral los procesos citados se inician a costa de las reservas de la planta y luego continúan en parte utilizando estas reservas, por lo que si el metabolismo en los órganos fructíferos y la actividad de síntesis en las nuevas hojas se ven perjudicados por las bajas temperaturas, el funcionamiento de la planta no será el adecuado, poniendo en riesgo la futura producción. Por el contrario, si la temperatura se sitúa muy por encima del mínimo vegetativo (4-6 °C) durante bastantes horas, los procesos funcionarán correctamente.

Las bajas temperaturas primaverales también tienen otros efectos negativos sobre la plantación. Por ejemplo, repercuten en la actividad de los insectos polinizadores, principalmente abejas. Además, los días de bajas temperaturas suelen coincidir con tiempo lluvioso o nublado, lo que empeora más la situación.

Durante el cuajado de los frutos y posteriormente, si las temperaturas son bajas, se acentúa el russeting en los frutos (principalmente en manzanas) y se producen caídas más acusadas de frutos, y esta caída se alarga en el tiempo llegando incluso hasta coincidir con la caída de competencia.

A lo largo de la primavera, durante el crecimiento inicial de la vegetación y de los frutos, si las temperaturas se sitúan por debajo de los 10-15 ºC, según especies, se

ralentizarán los procesos fisiológicos afectando a la tasa de crecimiento. Se alargará la fase de división celular y los frutos verán reducido su tamaño, lo que repercute negativamente, en general, en el tamaño en recolección. Además se requerirá un periodo de crecimiento del fruto hasta maduración más extenso.

4.2. Heladas de primavera

Las heladas de primavera se refieren a las ocurridas en las primeras fases del período de actividad de la planta, como son: desborre, brotación y floración, cuajado y crecimiento inicial de los frutos. Son uno de los problemas de mayor importancia de muchas zonas frutícolas. Sobrevienen en una época en que los órganos fructíferos son muy sensibles, aunque las heladas sean menos intensas y de menor duración que las heladas invernales. Especies de hoja perenne como los cítricos son también muy sensibles en esta época.

La temperatura crítica a la cual son dañados los órganos depende principalmente de los estados fenológicos en que se encuentran, aunque también depende de otros muchos factores, como ya se ha visto en el apartado 2.3. En las partes más sensibles de la planta se puede observar algún daño a partir de -1 °C, llegando en algunos frutales de hueso a observarse daños a partir de -0,5 ºC. Para que los daños en la plantación sean ya significativos la temperatura debe ser, en general, inferior a -2 ºC.

En el libro publicado por ENESA (Urbina *et al*, 1998): "Síntomas específicos provocados por las heladas primaverales en frutales de pepita y hueso" puede verse el orden de sensibilidad de los diferentes órganos y los síntomas detallados que originan las heladas.

A continuación se comenta la sensibilidad de las diferentes partes y órganos de la planta.

a) Daños en raíces.

Durante el período de actividad la temperatura del suelo no llega nunca a bajar lo suficiente como para producir daños en las raíces. Además, para que la temperatura en el suelo sea un factor crítico, el gradiente necesario de temperatura entre atmósfera y suelo implicaría que las temperaturas en la parte aérea de la planta serían lo suficientemente bajas como para dañar sus órganos, o incluso poner en peligro la vida de la planta.

b) Daños en tronco y ramificación.

Las temperaturas durante el periodo de actividad no llegan a descender nunca a niveles tales que puedan provocar daños notables en el tronco o la ramificación. No obstante debe tenerse en cuenta que la sensibilidad de estas estructuras será mayor que durante el invierno, al encontrarse en actividad y haber perdido parte de su endurecimiento. Si en algún caso excepcional llegasen a ocurrir temperaturas muy bajas se remite a los síntomas señalados en el apartado 3. 2 para las heladas de invierno.

c) Daños en brotes y hojas.

Las hojas formadas en los brotes y sobre todo el meristemo terminal ya resultan sensibles a las temperaturas excesivamente bajas de primavera, aunque sin llegar a la sensibilidad de los órganos fructíferos. Las temperaturas deben descender, en general, por debajo de -5 o -6 ºC.

Al inicio del período vegetativo se llegan a dañar en algunas ocasiones las pequeñas hojitas aún plegadas, provocando oscurecimiento y necrosis de pequeñas zonas internerviales a lo largo de las dos partes del limbo.

En hojas ya desplegadas los efectos se manifiestan a través del levantamiento o separación de la epidermis, más frecuentemente en el envés que en el haz. Luego, estos efectos se manifiestan con un arrugamiento característico de las hojas, llegando a recogerse sobre sí mismas en forma de cuchara.

d) Daños en órganos fructíferos.

Los efectos de las heladas primaverales sobre las yemas fructíferas en desarrollo, las flores, y los frutos en sus primeros estados de crecimiento, son múltiples; y múltiples son también las consecuencias sobre la cantidad y la calidad de la producción.

La sensibilidad de los órganos aumenta con la evolución de su estado fenológico, aunque en los efectos de la helada también intervienen otros factores, como ya se ha comentado en el apartado 2.3. A continuación se analizan los efectos producidos por las heladas primaverales en diferentes estadios de desarrollo de los órganos fructíferos.

1) Daños en yemas fructíferas en su apertura.

Las yemas fructíferas durante las fases de su apertura presentan relativa tolerancia a las heladas. En general, como orientación, puede considerarse una temperatura crítica desde -6 °C al inicio de la apertura de la yema hasta -2 °C al comienzo de la floración.

Los frutales de pepita son menos sensibles que los de hueso en los estadios iniciales, dado que sus yemas fructíferas son mixtas y los botones florales se encuentran inicialmente más protegidos.

En las Tablas 3.8 y 3.9 se reflejan las temperaturas críticas de helada, en frutales de pepita y hueso, para los diferentes estados fenológicos de la apertura de las yemas fructíferas. El almendro tiene un comportamiento ligeramente más sensible que el reflejado en la tabla para el melocotonero. En vid la temperatura crítica pasa drásticamente de -8 ºC en estado B a -2 °C en estados posteriores. El nogal también es muy sensible en estos estadios iniciales.

Tabla 3.8. Temperaturas críticas de helada (ºC) en peral y manzano para los diferentes estados fenológicos de la apertura de las yemas fructíferas (según Osaer *et al.*, 1998).

Especie	Estado fenológico			
	B	C_3	D	E_2
Peral	-7	-6	-4,4	-2,8
Manzano	-7	-4	-2,8	-2,2

Para que se produzcan daños en un 10% y 90% de las yemas, estas temperaturas deben descender en los estados D y E_2 en más de 1 y 3 ºC, respectivamente; y bastante más para los estados previos.

Tabla 3.9. Temperaturas críticas de helada (ºC) en frutales de hueso para los diferentes estados fenológicos de la apertura de las yemas fructíferas (según Osaer *et al.*, 1998).

Especie	Estado fenológico			
	B	C	D	E
Melocotonero	-4	-4	-3,3	-2,8
Albaricoquero	-4	-4	-3,5	-3
Ciruelo	-5	-4	-3	-2,8
Cerezo	-5	-4,5	-3,5	-2,2

Para que se produzcan daños en un 10% y 90% de las yemas, estas temperaturas deben descender en los estados D y E en más de 1 y 3 ºC, respectivamente.

Las temperaturas críticas de las citadas tablas deben tomarse como orientativas ya que para una misma helada se pueden presentar diferencias importantes en el porcentaje de órganos destruidos entre las variedades de una especie. Asimismo, para una misma variedad, las condiciones en que se desarrolla la helada también hacen variar el porcentaje de daños.

La helada en los estadios iniciales de desarrollo no suele originar síntomas exteriores en las yemas, y siguen evolucionando, aunque en muchos casos las flores no tienen posibilidades de desarrollarse como frutos.

Si la helada origina que los botones queden totalmente ennegrecidos, no evolucionan siquiera a flor, desecándose y cayendo. En los casos de inflorescencias pueden morir todos o solo alguno de los botones de la yema.

Seccionando los botones, se observa a menudo los estilos ennegrecidos (sin posibilidad de recibir el polen) y los óvulos también ennegrecidos. Estos efectos impiden la formación del fruto, salvo en el caso de variedades partenocárpicas, como en algunas variedades de peral.

En casos más leves los síntomas no son tan aparentes y los daños pueden darse en la formación de los óvulos y de los estigmas, originando esterilidad de la flor. Al microscopio pueden observarse estilos atrofiados y sin secreción estigmática, necrosis en el tejido parenquimático de la base del estilo, funículo del óvulo dañado y desarrollo anormal de la nucela y del tegumento del óvulo.

La helada puede afectar también al pedicelo de las flores, en este caso provoca el levantamiento de la epidermis a lo largo del mismo y en la proximidad al receptáculo. Esto origina la formación de capas corchosas con fisuras, torciéndolo en algún caso e impidiendo una correcta formación del fruto.

2) Daños en floración (incluso hasta caída de pétalos e inicio de cuajado).

A lo largo de la floración la helada tiene efectos similares a los comentados para el botón de flor. La helada afecta a todo el pistilo o bien sólo al ovario o a la base del estilo; y, en algunas ocasiones, afecta a los pétalos o a los estambres. Incluso el polen puede resultar perjudicado a pesar de su extraordinaria resistencia.

El pistilo es, en general, la parte más sensible. Se ve afectado por temperaturas incluso de -1 ºC, aunque para que los daños sean significativos la temperatura debe ser inferior a -2 ºC.

En las Tablas 3.10 y 3.11 se reflejan las temperaturas críticas de helada durante la floración y el cuajado inicial del fruto, en frutales de pepita y hueso. De estos últimos, el almendro presenta un comportamiento similar al reflejado en la Tabla 3.11 para el melocotonero.

Tabla 3.10. Temperaturas críticas de helada (ºC) en floración y cuajado del fruto, en peral y manzano (según Osaer *et al.*, 1998).

Especie	Estado fenológico			
	F	F_2	H	I
Peral	-2,0	-1,6	-1,5	-1,0
Manzano	-2,0	-1,8	-1,6	-1,6

Para que se produzcan daños en un 10% y 90% de las yemas, estas temperaturas deben descender en más de 1 y 2,5 ºC, respectivamente.

Tabla 3.11. Temperaturas críticas de helada (ºC) en floración, cuajado y fruto joven, en frutales de hueso (según Osaer *et al.*, 1998).

Especie	Estado fenológico				
	F	G	H	I	J
Melocotonero	-2,2	-1,8	-1,0	-1,0	
Albaricoquero	-2,2	-0,8	-0,5	-0,5	
Ciruelo	-2,2	-2,1	-1,0	-0,5	-0,5
Cerezo	-1,7	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0

Para que se produzcan daños en un 10% y 90% de las yemas, estas temperaturas deben descender en más de 0,5 y 3 ºC, respectivamente.

Los síntomas más comunes de la helada en floración, incluso hasta caída de pétalos e inicio de cuajado, son los siguientes:

1) En flores, oscurecimiento de la base del estilo o del disco de unión de los estilos libres en el caso de peral o manzano. Éste es el primer síntoma a que da lugar la helada. Un pequeño oscurecimiento en esta zona es suficiente para que no crezca el tubo polínico y se impida la fecundación.

2) Si el daño es más severo en la flor, los estilos quedan totalmente ennegrecidos y se secan al poco tiempo, siendo evidentes los síntomas sin necesidad de seccionar la flor.

3) En el caso anterior, normalmente, los daños también se extienden al ovario en su parte interna y a los óvulos que adquieren un color marrón. En frutales de hueso, en general, los daños en el pistilo, aunque sean leves, imposibilitan la formación del fruto.

4) En heladas muy intensas se ve afectado todo el pistilo que se ennegrece y se necrosa posteriormente.

5) El receptáculo y el pedúnculo de la flor son menos sensibles que los órganos antes citados. Los síntomas observados son enmarronamientos en sus tejidos.

En frutales de hueso se presentan enmarronamientos en la base del receptáculo, en la zona donde se asienta el ovario, y también pueden llegar a los haces vasculares del pedúnculo de la flor. En estos casos el fruto ya no será viable, aunque por los efectos anteriores ya no lo era.

En peral y manzano el receptáculo encierra al ovario y dará lugar también al fruto, por lo que los daños en este órgano son más reconocibles, y en algunos casos el fruto puede desarrollarse. Los efectos en el receptáculo en dichas especies son diversos y en casos más leves comprenden daños en la epidermis (ampollas y fisuras) y pequeñas lesiones internas en sus tejidos, coincidiendo, sobre todo, con los haces vasculares de la línea del corazón. Si los frutos llegaran a desarrollarse, estos daños originan en el fruto:

- Manchas de russeting en bandas verticales, muchas veces próximas al pedúnculo.
- Pequeños anillos de russeting alrededor del cáliz del fruto.
- Deformaciones y russeting en el fruto con fisuras suberificadas
- Un anillo suberificado alrededor del fruto, característico de haber sufrido helada.

En heladas muy intensas, en peral y manzano, se aprecia el receptáculo totalmente necrosado y la epidermis levantada, por tanto no se conseguirá fruto.

6) La helada en la floración también puede afectar a los pétalos que se oscurecen rápidamente, marchitándose y secándose a continuación, bien total o parcialmente. En general, si hay algún daño en pétalos también estarán dañados los otros órganos de la flor, aunque puede darse alguna helada de convección que afecte exclusivamente a los pétalos.

7) También pueden darse daños en los estambres, principalmente en el momento de apertura de la flor, cuando presentan el desarrollo rápido del filamento. En este caso los estambres quedan mermados, llegando a necrosarse y haciendo inviable la formación completa de los granos de polen.

3) Daños en frutos cuajados y en crecimiento.

Los daños en frutos cuando están en sus primeros estados de crecimiento pueden ocurrir desde temperaturas inferiores a -1 ºC (o incluso de -0,5 °C en albaricoquero y ciruelo), según puede verse en las Tablas 3.10 y 3.11; aunque se necesitarán temperaturas inferiores a -3 o -4 °C para que los daños sean muy patentes.

Pueden originarse daños parciales sin llegar a causar la muerte del fruto, o bien totales si originan su necrosis y posterior caída.

Cuando la temperatura no desciende lo suficiente o el diámetro del fruto es demasiado grande para que el frío penetre lo suficiente, los daños son solamente en forma de lesiones en los tejidos superficiales con posteriores efectos en la piel y deformaciones.

Si el descenso de temperatura es importante la helada afecta al interior del fruto provocando su caída posterior; aunque en peral se puede lograr, en algún caso, el desarrollo del fruto con la zona del ovario afectada, lo que influirá en la forma, tamaño y calidad del fruto.

- Daños en frutales de pepita.

En peral y manzano es difícil establecer un orden preciso de sensibilidad de los órganos en estos estados de desarrollo ya que pueden resultar afectados indistintamente todos los órganos y tejidos. Los frutos afectados se localizan en su mayoría en los mismos corimbos; por lo que es habitual encontrar corimbos con todos o casi todos los frutos afectados y corimbos con todos los frutos sanos.

No obstante, en estado I, frecuentemente, la mayor sensibilidad resulta en el siguiente orden: semillas y ovario, y luego epidermis y receptáculo. En estado J se mantiene este mismo orden para el manzano, pero se invierte el orden en peral en el que resulta más sensible el receptáculo, con daños asociados en la epidermis. También pueden encontrarse casos en los que se contradice el orden de sensibilidad indicado.

En frutales de pepita, los síntomas más comunes de la helada en frutos cuajados y en crecimiento son los siguientes:

1) Los daños en las semillas se manifiestan en forma de oscurecimientos o ennegrecimientos y se presentan en muchos casos asociados a daños en el ovario. Si la semilla está dañada, a menudo también lo está el correspondiente carpelo y la zona interior del ovario. Es frecuente encontrar en un mismo fruto semillas

afectadas y no afectadas. También puede aparecer como único órgano dañado solamente alguna semilla del fruto.

2) Los daños en la epidermis se manifiestan en forma de pequeñas ampollas y fisuras, aunque también puede producirse un desprendimiento generalizado de la misma en los casos más acusados. Normalmente, estos daños están asociados a daños en el receptáculo.

3) Los daños en el receptáculo se localizan principalmente en los haces vasculares radiales que presentan enmarronamientos o ennegrecimientos de sus tejidos, así como en grupos de células que presentan también enmarronamientos y un aspecto esponjoso. Con la necrosis de los tejidos se originan pequeñas cavidades en el receptáculo. En casos más acusados, los daños llegan a afectar a todo el receptáculo (más intensamente a la parte exterior).

Los efectos por la formación de hielo por debajo de la piel del pequeño fruto son similares a los descritos para el fruto en el inicio de cuajado. Si el fruto sigue su desarrollo, las ampollas producidas darán lugar a manchas de russeting en placas y bandas verticales, y a anillos suberificados característicos; los tejidos necrosados también producen deformaciones en el fruto con fisuras suberificadas.

- Daños en frutales de hueso.

Para las especies de hueso se puede establecer un cierto orden de sensibilidad de los órganos del fruto en estos estados de desarrollo. La mayor sensibilidad corresponde al tegumento de la semilla, seguido por la cara interna del endocarpio; luego se encuentra el interior de la semilla que suele ir asociado a daños fuertes en el endocarpio; finalmente resultarán dañados el mesocarpio y el epicarpio e incluso el pedúnculo del fruto. Cabe destacar que en cerezo el mesocarpio es más sensible que el endocarpio y a partir del endurecimiento del hueso la semilla es menos sensible que el conjunto del pericarpio.

En frutales de hueso, los síntomas más comunes de la helada en frutos cuajados y en crecimiento son los siguientes:

1) La parte más sensible es el tegumento de la semilla, localizándose la afección, principalmente, en la zona basal y en los haces vasculares que presentan enmarronamiento; aunque este síntoma también lo pueden presentar los frutos que detienen su crecimiento en las primeras etapas de desarrollo por cualquier causa.

2) En general, con la helada también se verá afectada con enmarronamientos la cara interna del endocarpio, comenzando por la parte apical. Si la afección en el endocarpio es importante, también se verá afectado el interior de la semilla que pasa de tener un aspecto traslúcido a un color marrón y luego ennegrecido.

3) Con heladas más fuertes también se verá afectado en mesocarpio que pasa a tener un color verde oscuro. Lo que lo diferencia de frutos no fecundados o que han detenido su crecimiento y se deshidratan, adquiriendo un color amarillento que permanece con el tiempo hasta que caen (además de no presentar otros síntomas de helada). En cerezo el mesocarpio es bastante sensible y presenta enmarronamientos en su zona más interna cuando el endocarpio aún está sano.

4) El epicarpio es la última parte del fruto en helarse. Se manifiesta por un oscurecimiento intenso y por presentar zonas deprimidas. Si el fruto es grueso la helada puede afectar solamente a la epidermis provocando ampollas y su levantamiento. En cerezo, esta parte se daña también después que el mesocarpio y presenta un aspecto amarronado y rugoso, con pequeñas ampollas.

5) Finalmente, con heladas muy intensas el receptáculo floral también resulta afectado, lo mismo que los haces vasculares del pedúnculo que presentan oscurecimiento.

Si el fruto sigue su desarrollo, al haber sido afectado sólo en su parte más externa, los daños producidos en el epicarpio (ampollas, fisuras, etc.) darán lugar a manchas de russeting en placas y deformaciones en el fruto.

Para el estudio de este apartado es conveniente consultar la sintomatología descrita en la publicación de ENESA, antes citada, y ver la documentación gráfica correspondiente a las clases. Además habrá que tener en cuenta el grado de sensibilidad de los órganos que marcará el orden de aparición de los síntomas, para discernir claramente los síntomas de helada de los producidos por otras causas.

4.3. Necesidades de calor para la floración

Los frutales, después de la acumulación de frío invernal, precisan acumular calor para iniciar un nuevo ciclo vegetativo y desarrollar la floración. Las necesidades de calor en la época que precede a la floración son muy diferentes según las especies y variedades.

Se ha tratado de evaluar las necesidades de calor que tienen los frutales hasta llegar a la floración con la finalidad de estimar la fecha en que se producirá la floración. De igual forma que ocurre con la acumulación de frío, esta estimación es compleja dado que es preciso fijar el momento en que finaliza el reposo de la planta y se inicia la acumulación de calor; y también hay que establecer a partir de qué temperatura se dan las condiciones favorables para el crecimiento. Además, una vez que se supera este umbral, la temperatura óptima aumenta conforme avanza el desarrollo de la yema, y no todas las temperaturas que se dan durante el día tienen el mismo efecto.

A pesar de estas dificultades, a través de la experimentación se han propuesto métodos para estimar el tiempo que debe transcurrir desde una fecha dada hasta la plena floración, en una zona determinada. Los resultados obtenidos deben tomarse con prudencia al extrapolarlos. Hay que tener en cuenta también que las oscilaciones diarias de la temperatura repercuten sobre la fisiología de la planta y pueden hacer variar su comportamiento en cada zona.

Los métodos de estimación se basan en contabilizar la acumulación de calor por encima de una temperatura dada (entre 4 y 10 °C, según autores). Estos métodos, entre otros, son:

1) Número de días hasta floración con temperatura media superior a una dada.

La fecha de plena floración se estima en base a los días que tienen que transcurrir con una temperatura media superior a una dada, a partir de una fecha inicial (en general el 1 de febrero).

Las temperaturas medias elegidas suelen estar entre 4 y 10 ºC. Es un método impreciso al no considerar el diferente efecto que tienen las temperaturas más elevadas.

En la Tabla 3.12 se reflejan los datos obtenidos por Tabuenca y Herrero (1966), en Zaragoza, para diferentes especies frutales.

2) Unidades de calor acumuladas hasta la floración.

Se contabilizan desde el momento en que han sido satisfechas las necesidades de frío.

Las unidades de calor se pueden calcular a partir de la integral térmica (o grados día de crecimiento), tomando como umbral una temperatura determinada. Cada día equivale a tantas unidades de calor como grados centígrados la temperatura media sobrepasa el

umbral (en general de 6 ºC). En la Tabla 3.13 se reflejan los resultados obtenidos por Tabuenca y Herrero (1966), en Zaragoza, para diferentes especies frutales.

Tabla 3.12. Número de días hasta plena floración con temperatura media superior a una dada, en Zaragoza (Tabuenca y Herrero, 1966).

Especie	Plena floración	Temp. media superior a	Nº de días	Contados a partir de
Albaricoquero	Media de la especie	7 ºC	28 ± 4	1 - febrero
Cerezo	Media de la especie	7 ºC	46 ± 3	1 - febrero
Ciruelo japonés	Media de la especie	7 ºC	37 ± 3	16 - enero
Ciruelo europeo	Media de la especie	7 ºC	42 ± 3	1 - febrero
Manzano	Media de la especie	7 ºC	60 ± 2	1 - febrero
Melocotonero	Primera variedad	4 ºC	37± 3	1 - febrero
	Media de la especie	6 ºC	40 ± 3	1 - febrero
	Última variedad	7 ºC	42 ± 3	1 - febrero
Peral	Primera variedad	7 ºC	44 ± 5	16 - enero
	Media de la especie	7 ºC	43 ± 4	1 - febrero
	Última variedad	9 ºC	41 ± 4	1 - febrero

Tabla 3.13. Unidades de calor (grados día) acumuladas hasta plena floración, en Zaragoza, para un umbral de 6 ºC (Tabuenca y Herrero, 1966).

Especie	Plena floración	Unidades de calor (grados día) ºC	Contados a partir de
Albaricoquero	Media de la especie	108	1 - febrero
Cerezo	Media de la especie	223	1 - febrero
Ciruelo japonés	Media de la especie	140	16 - enero
Ciruelo europeo	Media de la especie	197	1 - febrero
Manzano	Media de la especie	305	1 - febrero
Melocotonero	Primera variedad	134	1 - febrero
	Media de la especie	151	1 - febrero
	Última variedad	194	1 - febrero
Peral	Primera variedad	187	16 - enero
	Media de la especie	207	1 - febrero
	Última variedad	262	1 - febrero

También pueden expresarse las unidades de calor acumuladas como "horas de calor", considerando el número de horas que cada día la temperatura supera el umbral

de 10 °C. Según Cooper (1953), el almendro requiere 150 h, el melocotonero 450 h, el albaricoquero y el ciruelo japonés 300 h, y el peral y manzano entre 600 y 800 h.

Otra forma de determinar las unidades de calor acumuladas es mediante los "grados hora de crecimiento" (GDH - *growing degree hours*). Un grado hora de crecimiento se define como 1 hora a una temperatura de 1 ºC por encima del umbral considerado (en general de 4,5 ºC). Para temperaturas superiores a los 25 ºC se toma este mismo valor, es decir, se considera una máxima acumulación por hora de 20,5 GDH. Por ejemplo, en almendros las variedades de menos necesidades de calor requieren sobre 5.400 GDH y las de mayores necesidades sobre 9.000 GDH.

3) Coeficientes de correlación entre temperatura y fecha de floración.

Se han establecido ecuaciones que ligan la temperatura máxima media de determinadas épocas con la fecha de floración. En la Tabla 3.14 se dan las ecuaciones obtenidas por Tabuenca y Herrero (1966), en Zaragoza, para diferentes especies frutales.

Tabla 3.14. Relación entre la temperatura máxima media de determinados periodos y la fecha de floración, en Zaragoza (Tabuenca y Herrero, 1966).

Especie	Plena floración	Periodo
Albaricoquero	y = 62,9 - 3,2 t	15 febrero a 15 marzo
Cerezo	y = 93,4 - 3,7 t	15 febrero a 31 marzo
Ciruelo japonés	y = 57,4 - 3,1 t	16 enero a 15 marzo
Ciruelo europeo	y = 87,5 - 3,6 t	15 febrero a 31 marzo
Manzano	y = 112,0 - 4,0 t	15 febrero a 31 marzo
Melocotonero	y = 52,1 - 2,1 t	15 febrero a 28 febrero
Peral	y = 81,9 - 3,3 t	1 febrero a 31 marzo

4) Otros métodos.

Se han propuesto otros métodos para establecer las necesidades de calor. Por ejemplo, los días que necesitan para florecer las plantas colocadas a una temperatura constante, tomada entre 15 y 21 ºC.

Otros autores proponen un método que se fundamenta en la ley de Van't Hoff y Arrhenius, aplicándola a los procesos de crecimiento de las plantas. Se basa en una acción exponencial de la temperatura y considera que al aumentar la temperatura 10 ºC

la velocidad de crecimiento de los botones florales se multiplica por un coeficiente comprendido entre 2 y 4. Las necesidades de calor se dan como una suma de acciones diarias contadas a partir de una determinada fecha.

4.4. Temperaturas elevadas de primavera

Las temperaturas excesivamente elevadas en la primavera influyen negativamente sobre los sensibles procesos fisiológicos que tienen lugar en esta época.

Como ya se ha visto en el apartado 4.3 las necesidades de calor para la floración se cubren antes cuanto más elevadas son las temperaturas. Si el periodo de reposo ya ha finalizado, unas temperaturas elevadas en esta época provocan un adelanto importante de la fecha de floración. Si el periodo de reposo está aún terminando el adelanto de la floración será menos acusado.

La duración de la floración también está influenciada por las temperaturas altas. Si la acumulación previa de frío ha sido correcta las temperaturas elevadas durante el periodo de floración hacen que se acorte su duración. No obstante, si hay irregularidades por falta previa de frío, el periodo de floración se alarga aunque las temperaturas sean elevadas. Si los procesos previos se han desarrollado correctamente, las temperaturas elevadas hacen también que haya un menor desfase entre la apertura de las flores de la planta.

Los efectos más perniciosos de las temperaturas altas se dan sobre el proceso de polinización y fecundación.

Temperaturas elevadas, coincidentes con humedad atmosférica baja, provocan la desecación de las secreciones estigmáticas, dificultando la fijación y la germinación del polen. También las temperaturas por encima de 25 - 30 ºC disminuyen la germinación de polen y la inhiben a más de 35 ºC.

Al elevar la temperatura se acelera el crecimiento de los tubos polínicos, pero sí es excesivamente alta el crecimiento se torna más lento (como ocurre en manzano a partir de 27 ºC). Temperaturas muy altas pueden provocar la ruptura del tubo polínico impidiendo así la fecundación.

Asimismo, las temperaturas muy altas (más de 27-30 ºC) disminuyen la longevidad de los óvulos, acortando el período efectivo de polinización.

Como contrapartida a los efectos negativos, las temperaturas elevadas tienen una acción favorable sobre la actividad de los insectos en la polinización. La actividad de las abejas es reducida por debajo de 10 ºC y alcanzan su máxima actividad por encima de los 18 ºC; pero con temperaturas muy altas (32-35 ºC) las abejas necesitan acarrear mucha agua disminuyendo la búsqueda de polen y, por tanto, la eficiencia en la polinización.

Las temperaturas muy elevadas y una humedad baja favorecen la formación de una capa de abscisión en el pedúnculo de la flor o de los pequeños frutos, provocando su caída. Si estas temperaturas muy altas se prolongan varias semanas tienen incidencia negativa sobre la inducción floral.

Después de la floración, aproximadamente en los 30 días siguientes, si las temperaturas son elevadas la fecha de maduración de los frutos se adelanta ligeramente en algunas especies, como en peral y melocotonero.

5. Temperaturas de verano

Las temperaturas de verano se refieren a las temperaturas que acontecen durante el crecimiento de los frutos y las posteriores a la recolección, comprendiendo desde el final de la primavera hasta que se inicia el otoño y la planta comienza su adaptación para la entrada reposo.

Los frutales precisan durante su ciclo de crecimiento temperaturas relativamente elevadas. Para cada especie y variedad pueden establecerse las necesidades medias de calor desde la brotación, o bien desde la floración, hasta la recolección a partir de la integral térmica (o grados día de crecimiento - GDD) que es la suma durante dicho periodo de los grados en que la temperatura media de cada día (T_m) supera un umbral mínimo de crecimiento (T_o), establecido para la especie frutal considerada. En la determinación también puede tenerse en cuenta un umbral máximo a partir del cual la planta detiene su crecimiento y por lo tanto las temperaturas superiores ya no serán eficaces.

La Integral térmica se calcula como:

$$\mathrm{IT}\ (^{\circ}\mathrm{C}) = \sum_{1}^{n} (\mathrm{T_m} - \mathrm{T_0})$$

La integral térmica da una orientación de la disponibilidad de calor en una zona e indica su aptitud para cultivar especies o variedades determinadas, claro está si se

conocen las necesidades concretas de calor. Por ejemplo, para el cultivo de la vid, con la integral térmica eficaz, calculada entre el 1 de abril y el 30 de octubre para un umbral de 10 ºC, Winkler y Amerine establecen cinco zonas de aptitud con diferentes intervalos de grados día comprendidos entre 1.372 ºC y 2.204 ºC.

También podrían establecerse las necesidades de calor entre plena floración y el inicio de cosecha a partir del cálculo que los grados hora de crecimiento (GDH) para una temperatura base de 4,5 ºC. Yuri *et al*. (citado por Sepúlveda *et al.*, 2011) establece que los GDH entre floración y cosecha para variedades de manzano están comprendidos entre 33.330 ºC del grupo Gala y 51.330 ºC de Pink Lady®. Al grupo Golden le corresponden 41.500 ºC.

La temperatura durante el periodo estival debe ser, en general, elevada para que se lleve a cabo correctamente el crecimiento y la maduración de los frutos, y se alcance la calidad deseada. Cada especie y variedad presenta un intervalo de temperatura más adecuado y se ve afectada de forma diferente por las temperaturas excesivamente bajas y altas en esta época.

Es preciso conocer la adaptación de las variedades al régimen térmico estival de cada zona. La temperatura será determinante del crecimiento del fruto e influirá en la calidad de la cosecha. Las temperaturas que se dan en las 4-6 semanas anteriores a la maduración tienen gran influencia sobre el tamaño final del fruto, el color y la calidad gustativa (dulzor y acidez). También las temperaturas de dicho período influyen bastante en la capacidad de conservación de los frutos.

Además, la temperatura va ligada a otras condiciones meteorológicas que también influyen en el desarrollo y calidad de los frutos.

Las variedades de maduración tardía no tienen buena adaptación a zonas con un periodo vegetativo demasiado corto, ya que la maduración no se lleva a cabo correctamente, ni tampoco el endurecimiento de la madera para entrar en reposo. Se considera que una estación vegetativa de menos de 90 días no es apta para el cultivo frutal.

A continuación se dan, como orientación, las temperaturas adecuadas para diferentes especies.

El cerezo, el guindo y el ciruelo europeo son los mejor adaptados a los veranos frescos. El cerezo requiere en la época previa a su recolección alrededor de 20 ºC. El guindo se adapta mejor a temperaturas ligeramente más bajas, entre 16-18 ºC. El ciruelo

europeo requiere temperaturas entre 17 ºC y 20 ºC, estando el ciruelo japonés mejor adaptado a zonas más cálidas.

El manzano tiene una gran capacidad de adaptación. En general requiere temperaturas medias alrededor de 20 ºC, aunque algunas vanidades se desarrollan mejor a 15 ºC. Para que la coloración del fruto sea adecuada la temperatura media no debe superar los 25 ºC y las noches deben ser relativamente frescas, aunque una diferencia muy amplia entre la temperatura nocturna y diurna puede provocar caída de frutos.

El peral requiere temperaturas medias ligeramente superiores a las del manzano, alrededor de 22 ºC.

El almendro se adapta bien a temperaturas cálidas, precisa temperaturas medias entre 22 ºC y 26 ºC.

El melocotonero tiene un comportamiento similar, estableciéndose la temperatura más favorable para el desarrollo del fruto alrededor de 24 ºC, pudiendo ascender hasta los 30 ºC.

El albaricoquero se adapta bien a temperaturas cálidas, pero al presentar una maduración más temprana el entorno óptimo de temperatura se sitúa entre 18 ºC y 24 ºC.

El olivo soporta bien las temperaturas estivales elevadas y el óptimo puede ascender hasta los 30 ºC. Los cítricos presentan su óptimo alrededor de los 25 ºC pero puede llegar hasta los 30 ºC. En vid se consideran, en general, temperaturas óptimas entre los 25 ºC y los 30 ºC, aunque hay diferencias importantes entre variedades.

5.1. Temperaturas bajas de verano

Las temperaturas excesivamente bajas en verano afectan negativamente a la vegetación y a los frutos.

Durante el crecimiento activo de la vegetación las bajas temperaturas originan una menor fotosíntesis dando lugar a brotes de menor vigor y a frutos de menor tamaño. En la parada de verano las bajas temperaturas afectan principalmente al crecimiento de los frutos.

Si la temperatura es anormalmente baja se retrasará la maduración de los frutos. En el caso de variedades tempranas las maduraciones serán bastante más tarde, por lo que

no serán aconsejables en zonas en que se den temperaturas bajas a principios de verano. En general los frutos tendrán menor tamaño y serán menos azucarados. En las especies más exigentes en calor las temperaturas medias por debajo de 20-25 ºC provocarán frutos de mala calidad. No obstante, las temperaturas bajas durante la noche, en la época previa a la maduración, favorecerán la pigmentación sobre todo en manzanas.

Las temperaturas bajas durante el verano pueden retrasar también el agostamiento de la madera y dificultar la acumulación de reservas.

5.2. Temperaturas altas de verano

Las temperaturas excesivamente altas en verano afectan principalmente a la calidad de los frutos al provocar en ellos daños directos y desequilibrios fisiológicos. Además la conservación de los frutos será peor. Si la temperatura durante el día es muy alta y luego desciende bastante por la noche se pueden provocar caídas de frutos. En condiciones extremas de alta temperatura también puede verse afectada la vegetación.

Temperaturas altas (de 34 ºC a 40 ºC) prolongadas durante varios días, ocasionan en los frutos una maduración acelerada de la zona interna, aunque aparentemente presenten un aspecto de frutos todavía verdes. Este efecto se denomina "sobremaduración" puesto que al alcanzar el fruto la maduración normal, el interior estará pasado. Se produce acusadamente en albaricoquero y en algunas variedades de peral.

También las temperaturas excesivamente altas pueden acentuar la vitrescencia que se produce, principalmente, en los frutos de algunas variedades de manzana. Igualmente se citan otros efectos como deformaciones y cambios de color en ciruelas, ablandamiento de la carne en albaricoques y melocotones, harinosidad en manzanas, etc.

Las manzanas con temperaturas elevadas (superiores a 25 ºC) no colorean bien, y precisan además que durante dos o tres semanas antes de recolección las noches sean relativamente frescas para que su color sea más acentuado.

En días de temperaturas muy altas, la incidencia prolongada de los rayos de sol sobre los frutos más expuestos puede provocar quemaduras, dando lugar a manchas amarillentas y en casos más acusados a una necrosis oscura de los tejidos superficiales del fruto, como ocurre con más frecuencia en algunas variedades de manzana.

Las temperaturas muy elevadas en verano originarán paradas de vegetación más acusadas, lo que se manifiesta más en peral y ciruelo europeo. También acentúan en algunos casos la clorosis en la vegetación.

En algunos frutales (especialmente en algunas variedades de peral y en kiwi) las altas temperaturas acentúan el socarrado gradual que se produce en verano en las hojas de algunos ramos, generalizándose a casi todas las hojas de la planta. Temperaturas extremas superiores a 38-40 ºC durante más de tres o cuatro días (golpe de calor) pueden producir en algunos frutales un socarrado o asurado rápido y generalizado en las hojas, más acusado en la parte superior de los brotes, con la posterior defoliación.

Estos fenómenos están muy ligados con el estrés hídrico de la planta y la humedad ambiental. Para paliar el socarrado habitual que se produce en algunas zonas en ciertas variedades (p. ej. en peral Conferencia o kiwi en general), se puede recurrir a riegos por aspersión o nebulizaciones sobre la vegetación, para rebajar la temperatura y aumentar la humedad ambiental, así como mantener el suelo con cubierta vegetal regada.

6. Temperaturas de otoño

Las temperaturas de otoño se refieren a las que acontecen después de la época estival, durante un período que comprende desde antes de la fase de entrada en reposo hasta una vez pasada la caída de hojas, cuando las plantas inician ya su reposo invernal.

En esta época ya se habrá llevado a cabo la recolección de la fruta en gran parte de las especies de hoja caduca, con excepción, por ejemplo, de algunas variedades de manzano y escasas variedades de peral de maduración muy tardía. En vid aún estará finalizando la vendimia en algunas zonas. En cítricos y olivo estará a punto de iniciarse la recolección al final de dicho periodo.

En este periodo otoñal se requiere que las temperaturas vayan teniendo un descenso gradual según avanzan los días, lo que unido a la reducción de las horas de luz desencadena la disminución de la actividad de los procesos fisiológicos y cambios en los reguladores endógenos y en el metabolismo de la planta, que la preparan para su resistencia al frío invernal.

Si las temperaturas se mantienen excesivamente altas se retrasará la entrada reposo y la madera no tendrá un endurecimiento adecuado, por lo que puede ser afectada por las heladas invernales si son tempranas e intensas.

Estas temperaturas muy altas contribuyen a producir anormalidades en el desarrollo de las yemas fructíferas y acentúan el secado de los botones florales. Ocurre algunos años principalmente en peral, más en unas variedades que en otras, en las que se incrementa el número de yemas fructíferas secas que se desprenden o que sólo producen brotes al secarse total o parcialmente los botones florales que contienen ("yema seca").

Si las temperaturas son excesivamente bajas se adelanta la caída de la hoja, y por lo tanto la entrada en reposo de la planta.

Si acontecen heladas fuertes tempranas puede verse afectada la vegetación, sobre todo si suceden después de un período muy cálido. Las hojas se hielan y adquieren rápidamente una coloración marrón, como ocurre en zonas muy frías con el nogal y la viña. También este efecto se manifiesta en los brotes superiores de manzanos que siguen teniendo un crecimiento muy activo, especialmente en viveros. En otros casos las hojas aún verdes comienzan a caer rápidamente al día siguiente de la helada, como ocurre marcadamente en almendro en regadío.

Si las heladas otoñales son muy intensas se daña también el extremo de los ramos, aun no endurecido, que termina secándose, como ocurre con frecuencia en vid y en algún caso en melocotoneros con crecimiento tardío.

Las yemas fructíferas no son afectadas por las heladas otoñales al haber adquirido ya un endurecimiento suficiente para soportar esas heladas.

7. Bibliografía (Capítulo 3. Temperatura)

Relación de libros y artículos de interés que tratan aspectos generales y específicos sobre el tema; para los libros se indican, entre corchetes, las páginas concretas que se recomienda su lectura:

Almaguer, G. 1998. *Principios de Fruticultura*. Mundi-Prensa México - Universidad Autónoma de Chapingo. México. 370 pp. [169-188].

Alonso, J.M., Espiau, M.T., Ansón, J.M., Socias, R. 2005. *Estimación de las necesidades en frío y en calor para la floración en el almendro mediante series temporales fenológico-climáticas.* ITEA. Vol. 101 (4): 282-302.

Baldini, E. 1992. *Arboricultura General*. Mundi-Prensa. Madrid. 382 pp. [169-192].

Ballard, J.K., Proebsting, E.L., Tukey, R. B. 1971. *Critical Temperatures For Blossom Buds.* Washington State University. College of Agriculture. Cooperative Extension Service. Extension circular Vol. 369-374.

Breisch, H., Gleizer, B. 2006. *Gel de printemps chez les arbres fruitiers. Aspects physiques et physiologiques.* Infos-Ctifl, 227: 34-39.

Calderón, E. 1983. *Fruticultura General*. Ed. Limusa, México. 759 pp. [215-286, 299-362].

Crossa-Raynaud, P. 1956. *Effets des hivers doux sur le comportement des arbres fruitiers caduques.* Ann. Serv. Bot. Agron. 29: 1-22.

Chandler, W.H. 1954. *Cold resistance in horticultural plants: A rewiew.* Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 64: 552-572.

Childers, N.F. 1982. *Fruticultura moderna*. *Tomo I*. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo. 458 pp. [203-214].

Da Mota, F. S. 1957. *Os invernos de Pelotas-RS, em relação às exigências das árvores frutíferas de folhas caducas*. Instituto Agronômico do Sul. Pelotas. Boletim Técnico 18, 31 pp.

Díaz, F. 1983. *Práctica de la defensa contra heladas.* Dilagro S.A. Ediciones. Lérida. 450 pp. [81-104].

Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees.* John Wiley & Sons. New York. 338 pp. [307-331].

Fernández Escobar, R. 1988. *Planificación y diseño de plantaciones frutales*. Mundi-Prensa. Madrid. 205 pp. [15-32].

Ferreres, E. Elías, F. 2001. *Temperatura*. En *Agrometeorología*. Elías, F. Castelví, F. (Coord.). Mundi - Prensa. Madrid. 517 pp. [185-219].

Fishman, S., Erez, A., Couvillon, G.A. 1987. *The temperature dependence of dormancy breaking in plants-mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition.* J. Theor. Biol. 124: 473-483.

Gil-Albert, F. (1989). *Tratado de arboricultura frutal. Vol. II. La ecología del árbol frutal*. Mº. Agricultura P.A. Mundi-Prensa. Madrid. 232 pp. [27-98].

Gil Salaya, G.F. 2000. *Fruticultura. La producción de fruta*. Universidad Católica de Chile. Santiago. 583 pp. [537-551].

Jay, M., Lichou, J. 2010. *Changement climatique et floraison de l'abricotier. Incidence des températures hivernales sur la qualité de la floraison*. L'Arboriculture fruitière, 648: 30-35.

Martínez Zaporta, F. (1964). *Fruticultura. Fundamentos y prácticas.* Mº. Agricultura. INIA. Madrid. 1003 pp. [245-272].

Melgarejo. P. 1996. *El frío invernal, factor limitante para el cultivo frutal: modelos y métodos para determinar la acumulación de frío y de calor en frutales.* A. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid. 178 pp. [16-115].

Miranda, C., Santesteban, L.G., Royo, J.B. 2005. *Variability in the relationship between frost temperature and injury level for some cultivated Prunus species*. HortScience, 40(2): 357-361.

Osaer, A., Vaysse, P., Berthoumieu, J.F., Audubert, A. Trillot, M. 1998. *Gel de printemps, protection des vergers.* CTIFL. París. 151 pp. [19-63].

Pérez, F.J., Ormeño, J., Reynaert, B., Rubio, S. 2008. *Utilización del modelo dinámico para evaluar el frío invernal en una localidad de clima templado y otra subtropical en Chile*. Chilean Journal of Agricultural Research. Vol 68, n.º 2: 198-206.

Proebsting, E.L., Mills, H.H. 1978. *Low temperature resistance of developing flower buds six deciduous fruit species*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 192-198.

Richardson, E.A., Seeley, S.D., Walker, D.R., 1974. *A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees*. HortScience, 9: 331-332.

Royo, J.B., Laquidain, M.J., González J. 1996. *Sintomatología específica de daños por heladas tardías en melocotonero y almendro*. Fruticultura Profesional, 79: 19-28.

Royo, J.B., Laquidain, M.J., M., González, J., Molina, A. 2000. *Daños y síntomas producidos en la vid por accidentes meteorológicos*. ENESA. Ministerio de Agricultura P. A. Madrid. 86 pp. [11-57].

Sepúlveda, A., Yuri, J.A. González, J. 2011. *Aspectos climáticos relacionados con la producción de manzanas en Chile.* Revista de Fruticultura, 17: 34-39.

Snyder, R.L., de Melo-Abreu, J.P. 2010. *Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Vol. 1*. Serie sobre el medio ambiente y la gestión de los recursos naturales, nº 10. FAO. Roma. 241 pp. [1-18, 73-98, 120-122].

Tabuenca, M.C. 1965. *Influencia del clima en plantaciones frutales.* C.S.I.C. Est. Exp. de Aula Dei. Boletín n.º 8. Zaragoza. 297 pp. [9-16, 55-63, 130-137, 173-192].

Tabuenca, M.C., Herrero J. 1966. *Influencia de la temperatura en la época de floración de frutales*. C.S.I.C. An. Estac. Exp. Aula Dei. Vol. 8, n.º 1-2 (1966): 115-153.

Urbano, P. 2010. *Tratado de Fitotecnia general*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 895 pp. [1-78].

Urbina, V., Costa, J., Dalmases, J., Dalmau, R., Llobera, J.O. 1992. *Efectos producidos por las bajas temperaturas en frutales de pepita. Sintomatología y evaluación de daños. 1ª Fase. Análisis documental*. Entidad Estatal de Seguros Agrarios - ENESA. Madrid. 255 pp. [11-228]. http://repositori.udl.cat/handle/10459.1/48181.

Urbina, V., Royo, J. B., Costa, J., Dalmases, J. Pascual, M. J., González Laquidain, M.J., Francés, J. 1998. *Síntomas específicos provocados por las heladas primaverales en frutales de pepita y hueso*. ENESA. Mº. Agricultura P. A. Madrid. 86 pp. [11-74].

Urbina, V. 2007. *Daños por heladas en frutales. Sintomatología y evaluación.* Curs: Valoració de danys climatològics i incendis. Centre de Formació i Estudis Agrorurals. DARP - Generalitat de Catalunya. Reus (Tarragona) 28 i 29 de maig de 2007. 19 pp.

Vozmediano, J. 1982. *Fruticultura. Fisiología, ecología de árbol frutal y tecnología aplicada*. Mº. Agricultura. S.G.T. Serie técnica. Madrid. 521 pp. [146-164].

Weinberger, J.H. 1950. *Chilling requirements of peach varieties*. Pro. Am. Soc. Hort. Sci. 56: 122-128.

Westwood, N.H. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 461 pp. [38-39, 329-366].

Actividades prácticas recomendadas

Capítulo 3. Temperatura

1 [Taller]. En una zona determinada, a partir de las temperaturas mínimas diarias del mes de marzo, durante un periodo de 10 años, determinar el índice de heladas en periodos de 5 días para temperaturas de -1 ºC, -2 ºC, -3 ºC, etc.; y determinar la probabilidad de helada para dichas temperaturas. Ver metodología en la práctica nº. 18 - *Determinación del índice de heladas*, de la Monografía nº. 8 - *Prácticas de Fruticultura General* de esta misma colección.

2 [Campo]. Establecer para una finca de gran superficie, con fisiografía y topografía variada, el mayor o menor riesgo de helada existe en las diferentes parcelas según el tipo de helada que se produzca.

3 [Laboratorio]. Colocar en un congelador durante 6-8 horas, a temperatura alrededor de -10 ºC, ramos fructíferos de melocotonero en reposo (o de otro frutal de hueso) y pasadas 48 horas observar los efectos de la helada sobre las yemas y el ramo.

4 [Laboratorio]. Colocar en un congelador durante 6-8 horas, a temperatura alrededor de -15 ºC, ramos fructíferos de peral o manzano en reposo y pasadas 48 horas observar los efectos de la helada sobre las yemas y el ramo.

5 [Laboratorio]. Colocar en un congelador durante 4 horas, a temperatura aproximada de -4 ºC, ramos fructíferos de melocotonero en floración (o de otro frutal de hueso) y pasadas 48 horas observar los efectos de la helada sobre los órganos florales. Repetir la operación con ramos con frutos recién cuajados.

6 [Laboratorio]. Colocar en un congelador durante 4 horas, a temperatura aproximada de -4 ºC, ramos fructíferos de peral o manzano en floración y pasadas 48 horas observar los efectos de la helada sobre los órganos florales. Repetir la operación con ramos con frutos recién cuajados.

7 [Laboratorio]. Colocar en un congelador durante periodos de 1, 2 o 4 horas, a una temperatura aproximada de -4ºC, ramos fructíferos de melocotonero en floración (o de otro frutal de hueso) y observar el grado de afección y la sensibilidad de los órganos según haya sido la duración de la helada. Para una mejor detección seccionar las flores y observar los síntomas en un microscopio estereoscópico.

8 [Campo y laboratorio]. En el caso de acontecer heladas primaverales, observar en las plantaciones del Campo de Prácticas los efectos producidos. Realizar las observaciones

48 horas después de la helada. También recoger órganos afectados y en el laboratorio seccionarlos y observar los síntomas en un microscopio estereoscópico.

9 [Campo]. Observar en árboles de peral o manzano que hayan sufrido heladas primaverales durante el cuajado o el inicio del crecimiento de los frutos los efectos derivados de la helada en los frutos que han conseguido desarrollarse.

10 [Taller]. Determinar por varios métodos de cálculo la disponibilidad de frío de una zona, a partir de los datos de temperaturas de 10 años, y establecer la aptitud para la plantación de variedades de manzano y melocotonero.

11 [Taller]. Determinar, a partir del 1 de febrero, las unidades de calor (grados hora - GDH) que han sido necesarias hasta llegar a floración para las variedades de melocotonero del Campo de Prácticas.

12 [Campo]. Observar en las variedades de melocotonero del Campo de Prácticas las diferencias existentes en la maduración de los frutos según la posición en el árbol, dada su exposición a adquirir mayor o menor temperatura.

13 [Campo]. Observar en las variedades de peral del Campo de Prácticas el diferente socarrado de hojas que se produce por las temperaturas elevadas en verano. Observar también el socarrado en las plantas de kiwi.

14 [Taller]. A partir de las temperaturas máximas diarias de los meses de verano, durante un periodo de 10 años, establecer el riesgo de golpe de calor existente en una zona determinada.

15 [Campo]. Observar en las plantaciones de frutales, de vid y en el vivero del Campo de Prácticas los posibles efectos que tienen las temperaturas altas de otoño (en caso de suceder) sobre la entrada en reposo de las plantas.

(En las actividades sobre observación de heladas efectuadas en congelador sería más adecuado originar las heladas en un simulador o cámara con control preciso de temperatura y duración de la helada, y control de la velocidad de descenso y ascenso de la temperatura, para que se asemejen más a lo que ocurre en campo)

Cuestionario de evaluación

Capítulo 3. Temperatura

1. ¿Cuáles son, en general, las temperaturas más adecuadas para los procesos fisiológicos que se desarrollan en las plantas y entre qué límites de temperatura se llevan a cabo dichos procesos?

2. Desde un punto de vista agronómico, ¿Qué es una helada? ¿Qué es la temperatura crítica y cómo se establece?

3. ¿En qué tipos se clasifican las heladas y cuáles son los mecanismos preponderantes en cada una de ellas?

4. ¿En qué consiste la inversión térmica y en qué condiciones se produce?

5. ¿En qué se diferencia el enfriamiento rápido de los tejidos del enfriamiento lento, y cuáles son sus consecuencias en ambos casos?

6. Enumerar los factores más importantes que influyen en los daños por helada y cuáles tienen más influencia en la producción de los daños?

7. ¿Cuándo se manifiestan los daños de una helada en una plantación frutal y qué síntomas característicos se representan?

8. ¿Qué condiciones deben reunir las temperaturas de invierno para que resulten favorables para el cultivo frutal?

9. ¿Qué mecanismos tienen los frutales para resistir a las bajas temperaturas de invierno?

10. ¿Cuándo se producen daños en la raíces por heladas de invierno y en qué casos el riesgo es más elevado?

11. ¿Qué daños producen las heladas de invierno en el tronco y la ramificación y cuáles son los síntomas más comunes?

12. ¿Qué daños producen las heladas de invierno en las yemas y cuáles son los síntomas más comunes?

13. ¿Qué repercusión tienen sobre los frutales las temperaturas excesivamente elevadas de invierno?

14. ¿Cuándo se produce la acumulación de frío y qué diferencias se representan en las necesidades de frío entre las especies y variedades frutales?

15. Qué efectos produce la falta de frío invernal en los frutales?

16. ¿Cómo puede compensarse la falta del frío?

17. ¿Qué métodos son los más usuales para la determinación del frío invernal y en qué se fundamentan?

18. ¿Qué condiciones deben reunir las temperaturas de primavera para que resulten favorables para el cultivo frutal?

19. ¿Qué efectos tienen las posibles combinaciones de temperaturas de invierno y primavera, altas o bajas, sobre la brotación y la floración de los frutales?

20. ¿Qué partes y órganos de la planta son más sensibles a las heladas de primavera? Indicar el orden de sensibilidad de los diferentes órganos.

21. ¿Qué sensibilidad tienen las yemas fructíferas en su apertura a las heladas de primavera y cuáles son los síntomas de la helada?

22. ¿A partir de qué temperaturas se producen daños por helada durante la floración de los frutales y qué diferencia hay entre las especies frutales?

23. ¿Cuáles son los síntomas más comunes de la helada en floración, y cuál es el orden de sensibilidad de los diferentes órganos en frutales de pepita y frutales de hueso?

24. ¿Cuáles son los síntomas más comunes de la helada en frutos cuajados y en crecimiento, y cuál es el orden de sensibilidad de los diferentes órganos en frutales de pepita y frutales de hueso?

25. ¿Cómo puede estimarse la necesidad de calor que requieren los frutales para la floración?

26. ¿Qué repercusiones tienen las temperaturas excesivamente elevadas de primavera sobre los frutales?

27. ¿Qué condiciones deben reunir las temperaturas de verano para que resulten favorables para el cultivo frutal?

28. ¿Qué repercusión tienen las bajas temperaturas de verano sobre los frutales?

29. ¿Qué repercusión tienen las temperaturas excesivamente altas en verano sobre los frutales? Citar los posibles daños que producen.

30. ¿Qué efectos tienen las temperaturas de otoño excesivamente altas o bajas sobre los frutales?

4

INSOLACIÓN, LLUVIA Y HUMEDAD AMBIENTAL, VIENTO, GRANIZO Y OTROS FACTORES CLIMÁTICOS

1. Insolación.

2. Lluvia y humedad ambiental.

3. Viento.

4. Granizo.

5. Otros factores climáticos.

6. Bibliografía.

Actividades prácticas y cuestionario de evaluación.

1. Insolación

Los frutales necesitan para su crecimiento y producción niveles de insolación relativamente elevados. La luz solar, en su sentido amplio, proporciona la radiación térmica para obtener la temperatura adecuada y la iluminación que es fundamental para el proceso de fotosíntesis, además de regular otros aspectos de la planta.

Se define como insolación (o tiempo de insolación) la suma de los intervalos de tiempo, en horas, durante los cuales la radiación solar directa (normal al sol) supera el umbral de 120 W/m^2.

Las variables a considerar en los estudios climáticos son dos: duración de la insolación o un número de horas de sol reales a lo largo del día, que dependen también de la nubosidad, y el total de radiación que alcanza la superficie terrestre, expresado en $cal/cm^2/d$ o Langley/d, o su equivalente en W/m^2 (1 $cal/cm^2/d$ = 1 ly/d = 0,4858 W/m^2).

Nuestro País disfruta, en general, de uno de los niveles de insolación más altos de Europa, lo que le da cierta ventaja para el cultivo de frutales, aunque también ello conlleva los efectos negativos que suponen el exceso de calor y la fuerte evaporación.

La luz recibida por las plantas depende de varios factores, como son: la latitud, la altitud, la época al año, la humedad ambiental y la nubosidad, además de la exposición que presente la vegetación.

La absorción de la radiación fotosintética está regulada por los pigmentos del cloroplasto, por lo que los máximos de absorción coinciden con los máximos de absorción de la clorofila y los carotenoides. La clorofila y los otros pigmentos fotosintéticos son los receptores de la radiación para la fotosíntesis, mientras que los fitocromos regulan los procesos inducidos por la luz, como entrada y salida del reposo, germinación, caída de hojas, etc.

Las hojas absorben aproximadamente el 80% de la radiación solar incidente, el resto es reflejada (aprox. 10 %) y transmitida a través de los limbos (aprox. 10%). Sobre un 25% de la energía absorbida es devuelto como radiación infrarroja; una mínima parte (1-2%) se utiliza en la fotosíntesis y se almacena en los enlaces químicos de los carbohidratos; el resto de la energía absorbida (sobre un 73 %) es disipada evaporando agua mediante la traspiración o transmitida por convección.

La radiación fotosintéticamente activa (RFA), o en inglés PAR (*photosynthecally active radiation*), es la cantidad de radiación comprendida en el rango de longitudes de

onda capaces de producir la actividad fotosintética en las plantas. Este rango está comprendido, aproximadamente, entre los 400 y 700 nanómetros, y es coincidente también, aproximadamente, con el espectro visible. A esta radiación fotosintéticamente activa también se le denomina: densidad del flujo de fotones fotosintéticos (PPFD - *activo photosynthetic photun flux density*).

Esta radiación PAR se mide en términos cuánticos, con idéntico valor, en µmol/m^2/s de flujo de fotones o en µE/m^2/s. Habitualmente, los valores de PAR reflejados en bancos de datos o en mapas de distribución territorial suelen expresarse en términos energéticos en MJ/m^2/d (1 J/s/m^2 = 1 W/m^2).

La PAR representa en España sobre el 45% de la radiación solar global incidente, siendo algo mayor este porcentaje en días nublados. En un día claro esta radiación varía, dependiendo del lugar, de 1.800 a 2.500 µmol/m^2/s. En un día nublado baja a 800-1.000 µmol/m^2/s.

1.1. Intercepción de luz por las plantas

En el potencial productivo de la plantación y en la calidad de la producción influirá mucho la intercepción de luz realizada por sus plantas. En su optimización habrá que tener en cuenta la densidad de plantación y la forma y tamaño de las plantas, además del vigor y la densidad de follaje. Lograr una rápida cobertura de la superficie y evitar un sombreamiento excesivo serán aspectos fundamentales del diseño de la plantación y de su posterior manejo; claro está, sin olvidar los requerimientos de la tecnología de producción aplicada.

La formación y manejo la planta deben estar orientados a maximizar la intercepción de luz y su buena distribución en todo el follaje. La disponibilidad de insolación en las hojas de un árbol será tanto más baja cuanto más elevado sea su índice de área foliar (LAI).

La respuesta fotosintética a la iluminación crece rápidamente, de forma hiperbólica, según se va incrementando la PAR, para luego ir atenuándose hasta alcanzar un máximo en el que se produce una saturación y ya no hay aumento en la asimilación neta de CO_2. En frutales este nivel de saturación presenta gran variación, incluso a nivel varietal, aunque en término medio se encuentra entre unos niveles de radiación de 500 a 800 µmol/m^2/s, por lo que en un día soleado sólo es aprovechada por la fotosíntesis, aproximadamente, entre el 30-40% de la PAR disponible. Por lo tanto, en nuestras zonas productivas la disponibilidad de luz, en general, no limita el cultivo de frutales,

aunque no debe olvidarse la gran importancia que tiene su aprovechamiento para la planta y, sobre todo, para la fructificación.

El nivel más bajo de la saturación fotosintética corresponde a los cítricos y al kiwi, y el más alto al olivo. El nivel de saturación también es dinámico y varia en función de las condiciones en que se desarrollan las hojas, siendo bastante menor si las hojas se han desarrollado con baja disponibilidad energética, lo que ocurre en las hojas interiores peor iluminadas.

La producción potencial del cultivo, expresada como materia seca total y considerando que no hay otro factor limitativo, será función de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada (PAR_{int}). Las tasas fotosintéticas máximas, determinadas para diversos frutales, oscilan según especies entre 4,4 y 26,2 µmol $CO_2/m^2/s$ (1 µmol CO_2 = 44 µg).

Si el nivel de luz es muy bajo se producirá menos materia que la necesaria para las hojas, llegando a ser mayor la tasa de respiración que la de fotosíntesis. Además, la respiración en la oscuridad puede consumir cerca del 50% de los carbohidratos sintetizados en la fotosíntesis.

Aunque a nivel global no existan limitaciones por la insolación disponible en un territorio, si en una plantación, por cualquier motivo, hay limitación de la intensidad luminosa en las plantas se verá perjudicado su desarrollo. Aunque la fotosíntesis depende de más factores (temperatura, concentración de CO_2, etc.), es muy importante que la planta tenga expuesta a la luz la mayor superficie foliar por el mayor tiempo posible. En la respuesta final también debe tenerse en cuenta que las hojas de la planta están expuestas a diferentes condiciones ambientales, lo que junto con sus características y edad hacen que tengan diferente capacidad para fotosintetizar, por lo que la fotosíntesis neta de la planta corresponderá al resultado del total de hojas.

La latitud afecta de forma diferente a la radiación recibida en los setos frutales. A latitudes bajas (de 34º N hasta 48º N) los setos orientados N-S interceptan más radiación en toda la estación que los orientados E-O. En cambio, a latitudes altas los setos orientados E-O llegan a tener mayor intercepción de luz que los orientados N-S, sobre todo si son altos.

Debe tenerse en cuenta también que en la orientación N-S los dos lados del seto interceptan, aproximadamente, la misma radiación total. Por el contrario, si la orientación es E-O la mayor parte la radiación es interceptada por la cara que da al sur.

Además de la latitud y la orientación del seto, en la intercepción de luz también influye la altura y la forma de seto. El índice de distribución de luz para una misma forma aumenta en árboles más pequeños. En árboles grandes es preciso dejar espacios entre pisos para aumentar la iluminación de las zonas interiores. Asimismo, en los árboles formados en vaso, estén o no en un seto, la zona central debe estar abierta para permitir el paso de luz.

El ángulo solar que corresponde a cada momento del año también origina variaciones en la intercepción de radiación a lo largo del año. Los setos orientados N-S tienen su máxima intercepción en el solsticio de verano (21 de junio). Los setos orientados E-O tienen su mayor exposición el 21 de septiembre.

En nuestras latitudes, para árboles formados en seto, la orientación N-S de las filas tendrá una mejor intercepción y distribución de la luz, en la mayoría de las situaciones.

Los setos orientados E-O deben ser de copa estrecha para que penetre la luz y la cara orientada al norte no quede con deficiencia de luz (menos de un 30% de la PAR máxima).

La intercepción de luz aumenta con el tamaño de las plantas, ya sea por la mayor altura o anchura de la planta o por menor distancia entre copas. La forma de la copa del seto también influye en la intercepción. A igual anchura en la base de la copa, la mayor intercepción corresponde a la forma rectangular de cima horizontal y lados verticales, y la menor a la forma triangular, correspondiendo una intercepción intermedia a la forma trapezoidal.

La distribución de la radiación en la copa dependerá principalmente de su tamaño, forma y densidad foliar. La densidad foliar determinará fuertemente el grado de sombreamiento en el interior de la copa, pero variará según los espacios que se creen en el árbol para la penetración de la luz. En la Figura 4.1 se muestra un ejemplo de la distribución de la luz en un árbol con copa grande semiesférica.

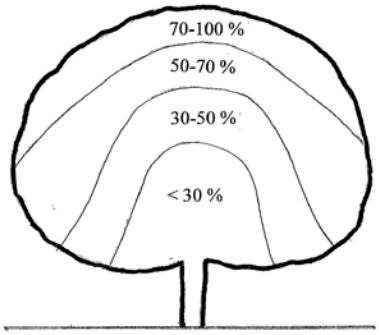


Figura 4.1. Distribución aproximada de la luz en un árbol con copa grande semiesférica.

La distribución de la luz en la copa también variará según la latitud, la orientación de las filas y la época del año. Por ejemplo en latitudes bajas la distribución es mejor todo el año en las filas orientadas N-S que en las orientadas E-O. Generalizando, también se puede afirmar que la orientación N-S es más favorable en latitudes medias (40º - 50º N) y para los meses de verano.

Los setos frutales se sombrean entre si en algún momento del día, dependiendo de su separación, de su orientación y de la estación del año.

Se puede establecer una relación entre la altura (H) de los árboles de un seto y la anchura (L) necesaria en las calles (distancia entre árboles) para que no se produzca sombreamiento. Viene dada por la fórmula:

$$L = H \cdot tg\, \lambda$$

(λ = grado de latitud o ángulo entre la vertical del eje de la planta y el rayo solar al mediodía, en primavera u otoño).

En la Figura 4.2 se representa dicha relación para un seto orientado E-O y una latitud de 45º N. En este caso, un seto de 4 m de alto precisa una calle de 4 metros. Si el espesor del seto es grande (superior a 1 m) debe añadirse a la anchura de la calle la mitad del espesor seto, es decir, la calle deberá ser de 5 m para igualar las condiciones de sombreamiento. El cálculo para determinar la altura del seto puede hacerse también tomando sólo la distancia libre de la calle entre las copas de los árboles, para una mayor seguridad. En el caso de setos orientados N-S los resultados serían idénticos para la latitud de 45º; si la latitud es mayor habría que aumentar ligeramente la distancia resultante para compensar también el menor tiempo de luz que recibe el seto; lo contrario ocurriría con latitudes menores de 45º.

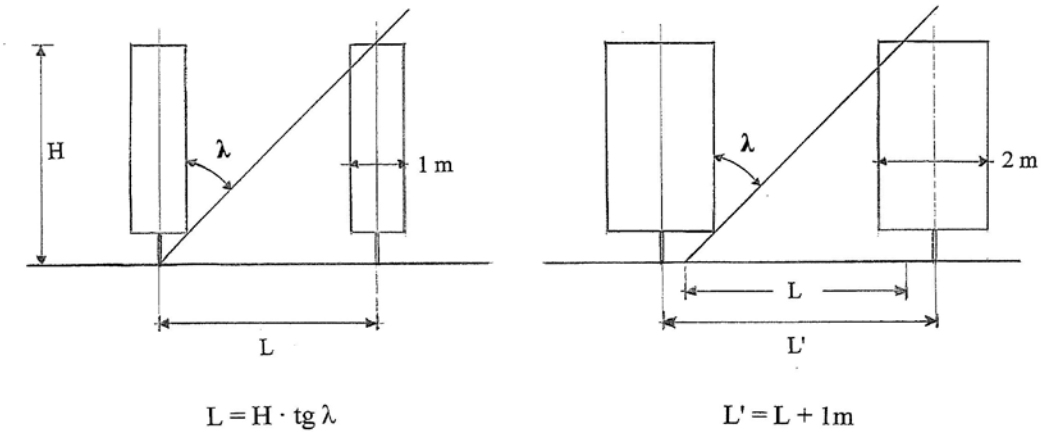


Figura 4.2. Relación entre la altura (H) de los árboles de un seto y la anchura (L y L') necesaria en las calles, para iguales condiciones de sombreamiento.

1.2. Insolación baja y elevada

La insolación excesivamente baja o excesivamente elevada tiene efectos negativos importantes sobre la plantación.

Ya se ha comentado que una insolación deficiente en la planta tiene una repercusión negativa sobre el proceso de fotosíntesis y por lo tanto sobre el desarrollo de la vegetación y la fructificación. Se ha demostrado que las zonas de la copa en que la PAR es menor que el 30% de la PAR máxima, el proceso de inducción floral de las yemas se ve muy perjudicado, el crecimiento de los brotes y de los frutos es menos intenso y los frutos adquieren peor calidad.

La gran influencia que tiene la luz sobre el proceso de inducción floral se ha demostrado sombreando las plantas y viendo cómo llega a inhibirse la inducción. Este efecto se presenta muy acusadamente en peral y manzano. En árboles de copa densa se reduce mucho la floración en las zonas interiores; lo mismo ocurre en la cara norte de un seto orientado E-O, o en árboles situados en lugares sombríos.

Una falta de luz en el crecimiento de los brotes origina que éstos sean débiles o que incluso lleguen a secarse, como ocurre, por ejemplo, en el interior de melocotoneros con copas muy densas. Este efecto se manifiesta acusadamente en plantas madres de injertos y o de estaquillas formadas vaso, sobre todo en híbridos almendro x melocotonero y en algunos ciruelos.

Con el paso de los años, la falta de luz produce el despoblamiento de las zonas interiores de los árboles adultos originando que la fructificación se produzca solo en la zona exterior de la copa, lo que debe corregirse con la poda, favoreciendo la entrada de luz.

La deficiencia de luz en el desarrollo de los frutos da lugar a que tengan menor tamaño, menor contenido en sólidos solubles (índice refractométrico) y una acidez más elevada y desequilibrada respecto a los azúcares. La carne será menos firme y presentarán en conservación mayor sensibilidad al pardeamiento interno. La coloración será más deficiente, sobre todo en frutos rojos, ya que la síntesis de antocianinas está influida por la luz (y además por la temperatura). La radiación ultravioleta es la que más efecto tiene sobre el color, por eso las zonas de mayor altitud, en las que la atmósfera es más pura y no absorbe esta radiación, dan lugar a frutos más coloreados, principalmente manzanas. Aunque en ello también influyen otros factores, como la temperatura más baja en estas zonas de mayor altitud.

Una excesiva insolación, si además va acompañada de temperaturas muy elevadas y ambiente seco, puede producir asurado de las hojas (golpe de sol o de calor), al perder el agua contenida en los tejidos, según ya se ha comentado al tratar las temperaturas elevadas de verano. Este efecto no suele producirse en nuestras zonas frutícolas a no ser que las plantas tengan déficit de agua. El asurado se manifiesta de forma rápida y es más acusado en la parte superior de los brotes y en los bordes de las hojas. El exceso de insolación también acentúa el socarrado o asurado gradual que se produce en hojas de algunas variedades de peral y en kiwi.

En cuanto a ramas y tronco, una incidencia directa de radiación elevada puede producir ulceraciones en la corteza sí no está muy suberificada. En casos graves se necrosa la corteza y se agrieta, llegando la afección hasta el cambium y el xilema. Se manifiesta en la cara orientada al sur. Ocurre en troncos altos no sombreados o en ramas cuando se realizan podas severas, como es el caso de sobreinjerto por cambio de variedad. También puede ocurrir en el tronco de árboles recién plantados al no haber recibido antes en el vivero una radiación fuerte y, por lo tanto, no estar endurecido. Una solución para evitar estos efectos, además de sombrear las zonas afectadas, es el encalado de ramas y tronco.

En frutos, un exceso de insolación puede producir decoloraciones o manchas en la zona más expuesta. Cuando el fruto alcanza una temperatura muy elevada, por recibir la radiación directa, se producirán trastornos en el metabolismo dando lugar a quemaduras con necrosis de tejidos. Se producen sobre todo en manzanas y con menor incidencia en peras y ciruelas, aunque también suceden en otros frutos. En ciruelas se originan manchas en la superficie que pueden extenderse al interior de la pulpa.

En manzanas hay diferencias de susceptibilidad según variedades. El umbral de daño se ha establecido en 37 ºC de temperatura en la piel durante 5 horas (Yuri, 2010). La temperatura es el factor principal que desencadena el daño, dependiendo de la radiación visible y la infrarroja, resultando sin efecto la radiación ultravioleta (aunque ésta se hace necesaria para el desarrollo del color en la fruta).

Las quemaduras y decoloraciones en frutos por exceso de insolación son más acusadas en setos planos y en árboles jóvenes, ya que los frutos están más expuestos al sol. Las mallas antigranizo y los tratamientos con caolín protegen a los frutos.

Finalmente, entre otros efectos para la plantación, cabe citar que una radiación excesiva durante el reposo eleva la temperatura de los órganos expuestos e interfiere con la acumulación de frío. Así mismo, una insolación deficiente durante la floración ocasiona una menor actividad de las abejas en la polinización.

2. Lluvia y humedad ambiental

La lluvia en interacción con otros factores del medio (principalmente evapotranspiración) será determinante del cultivo de frutales en terrenos de secano. La cantidad de agua caída y su distribución a lo largo del año establecen la viabilidad del cultivo sin la aplicación de riego.

En nuestro País hay una gran variabilidad entre regiones, aunque, a grandes rasgos, se diferencian dos zonas: una zona lluviosa que incluye Galicia (zona costera), la cornisa Cantábrica y parte de la falda de los Pirineos; y una zona seca que comprende el resto del territorio, acentuándose la sequía al ir hacia el sur.

Si la precipitación supera, aproximadamente, los 700-800 milímetros y tiene una distribución regular a lo largo del año se pueden cubrir las necesidades de agua de bastantes frutales. Si la precipitación supera los 1.200 milímetros, con buena distribución, puede haber incluso exceso de agua.

En la mayor parte de zonas frutícolas de nuestro País la precipitación se encuentra entre los 350 y 600 milímetros, y en zonas de Murcia y Andalucía entre 200 y 300 milímetros. Además, ocurre que en estas zonas los periodos secos son importantes, sobre todo en verano, cuando los cultivos tienen mayores necesidades de agua. Por lo tanto siempre se necesitará riego, o al menos será recomendable si se quieren conseguir buenos rendimientos productivos.

Determinadas especies como olivo, vid, pistacho, almendro, etc. presentan mayor tolerancia a la sequía y están establecidas en su mayor parte en terrenos de secano. Aunque las plantaciones tengan rentabilidad económica, el rendimiento del cultivo mejoraría mucho al pasarlo a regadío, y sobre todo se eliminaría el riesgo que existe de sufrir sequías extremas ciertos años que afectan a la producción y que llegan incluso en algunas especies, como el almendro, a poner en riesgo la vida del cultivo.

Una gran parte de las especies frutales son muy sensibles a la sequía, como melocotonero, albaricoquero, cítricos, ciruelo, peral, etc. y no pueden establecerse en zonas secas en las que no se tenga asegurado el riego, ya que la producción no sería factible e incluso peligraría la vida de las plantas.

Por lo tanto, la tipificación de los frutales como de secano o de regadío sólo debe entenderse en relación a su susceptibilidad a la falta de lluvias durante el periodo vegetativo, si no disponen de riego. Aspecto que se asocia a la rusticidad de las especies.

La lluvia, además de ser vital para los cultivos de secano como ya se ha comentado, tiene sobre el sistema radical y aéreo de los frutales otros efectos que repercuten tanto en la planta como en la producción.

Los efectos de la lluvia son muy diferentes según el estado fenológico en que se encuentre la planta y los frutos. Estos efectos, en muchos casos, no se manifiestan de forma clara e inmediata, y van muchas veces ligados a la higrometría o humedad ambiental y a otros factores, como la temperatura, el viento, el estado sanitario de la planta, etc.

La lluvia también tiene múltiples efectos sobre las actividades de la plantación. En otros casos también tiene repercusión indirecta, como puede ser el lavado que se produce de los productos fitosanitarios aplicados para la protección o el mayor crecimiento que produce en las malas hierbas.

Íntimamente relacionada con la lluvia, además de con otros factores como la niebla y el viento, se encuentra la humedad ambiental o del aire, que es debida al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. Normalmente viene dada como humedad relativa; es decir, el vapor de agua que contiene el aire en relación al que tendría si estuviera completamente saturado, lo que dependerá de su temperatura.

Si el aire se satura (100% de humedad) estaremos en condiciones de niebla o de lluvia. Humedades relativas del orden del 30% indican aire muy seco; y humedades relativas con valores superiores al 70-80% indican aire bastante húmedo.

Durante el día la humedad relativa es máxima cuando la temperatura es mínima (madrugada), por el contrario la humedad relativa será mínima al alcanzar la máxima temperatura (después de mediodía). Lo mismo ocurre con las variaciones anuales, teniendo humedades relativas mínimas en verano y máximas en invierno.

Estas variaciones de la humedad del aire tienen también influencia sobre el desarrollo de los vegetales. Ejemplo, la humedad incide sobre la evapotranspiración, sobre los procesos que se llevan a cabo durante la floración, tiene incidencia sobre el russeting y el agrietado de algunos frutos, y un exceso de humedad será favorable al desarrollo de enfermedades.

A continuación se comentan separadamente los efectos de la lluvia sobre la planta y la vegetación, y los efectos sobre la fructificación. Además se comentan algunos efectos sobre las actividades del proceso productivo.

2.1. Efectos de la lluvia sobre la planta y la vegetación

Los efectos de la lluvia sobre la planta se puede diferenciar netamente en dos tipos: unos sobre el sistema radical y otros sobre el sistema aéreo. La acción será mayor durante el período de actividad que durante el periodo de reposo.

a) Período de reposo.

La lluvia tiene una escasa incidencia en el periodo reposo sobre el sistema radical. Las plantas pueden tolerar encharcamientos en suelo durante varias semanas sin efectos aparentes, pero la tolerancia es muy variable según las especies.

Cuando se ha producido asfixia radical en invierno, el árbol puede iniciar una brotación débil en primavera, a costa de sus reservas exclusivamente, y si no se produce la recuperación rápida del sistema radical terminará muriendo.

Respecto al sistema aéreo, la incidencia de la lluvia es apreciable aún en pleno estado de reposo, después de una lluvia la ramificación permanece humedecida bastante tiempo, lo que facilitará el desarrollo de hongos, en especial los formadores de chancros, y la entrada de otros patógenos. Así mismo, las heridas de poda humedecidas permiten la entrada de patógenos más fácilmente y cicatrizan con más dificultad.

b) Periodo de actividad.

En el período de actividad las raíces son muy sensibles al encharcamiento. Si se provoca una falta de aireación al inicio de la actividad se dañan las raicillas en crecimiento, paralizando el suministro de nutrientes en este periodo clave en el que la planta, además, ya ha consumido parte de sus reservas, lo que puede afectar muy negativamente al desarrollo de los órganos florales y originar abortos o malformaciones.

Si el fenómeno de asfixia radical se produce durante el crecimiento vegetativo activo de la planta se originará un debilitamiento progresivo y síntomas de clorosis. Los efectos pueden ser muy graves por la gran actividad de la planta y encontrarse los frutos en crecimiento. Si se mantiene encharcado el suelo durante más de 10-15 días se puede provocar la muerte de las plantas.

La tolerancia al encharcamiento varía según especies. Así se tiene como muy tolerantes al membrillero y al peral, y como muy sensibles al olivo y al cerezo Santa Lucía. En el capítulo 5, al tratar la permeabilidad del suelo, se hace referencia a dicha tolerancia.

Los efectos de la lluvia sobre la vegetación serán más importantes al inicio de la brotación a ser retenida el agua de lluvia entre las brácteas y las primeras hojas en formación, facilitando el desarrollo de patógenos (hongos y bacterias). Posteriormente, los efectos de la lluvia sobre la vegetación serán menos importantes, aunque continuará favoreciendo el ataque de patógenos, lo que se potencia con las temperaturas más cálidas. El ataque de moteado, estenfilium, mildiu, etc. será muy dependiente de las lluvias; por el contrario, como excepción cabe señalar que el desarrollo del oídio, en alguna de sus fases, se ve frenado por la lluvia. Los efectos producidos por la lluvia dependerán de la susceptibilidad de la especie y variedad.

Por lo que respecta a las plagas, la lluvia no tiene gran influencia, aunque en algunos casos puede ser beneficiosa o perjudicial. Por ejemplo, la lluvia puede reducir el daño de la psila del peral al arrastrar a las formas móviles en las hojas y lavar la melaza producida; o bien la elevada humedad producida resulta perjudicial para los ácaros y beneficiosa para los cóccidos.

Otros efectos indirectos tienen lugar con las lluvias como es la bajada de temperatura y la alta humedad relativa ambiental, lo que interfiere sobre la transpiración de la planta y sobre la absorción de nutrientes.

2.2. Efectos de la lluvia sobre la fructificación

Los efectos de la lluvia sobre la fructificación son muy diferentes dependiendo de la época en que se produce y del proceso fisiológico que se ve afectado.

a) Efectos en la inducción floral.

Los efectos de la lluvia sobre el proceso de inducción floral son solamente indirectos, al ir asociada a otros factores como temperatura e intensidad de luz. No obstante, si la lluvia induce un mayor crecimiento vegetativo podría reducirse la inducción floral, lo mismo que si produce algún desequilibrio nutricional sobre la planta.

b) Efectos sobre las yemas fructíferas.

Sobre las yemas fructíferas, la lluvia tiene los efectos ya citados para la vegetación al favorecer las infecciones por patógenos. Durante el desborre y apertura de la yema puede aumentar el riesgo de helada, si se hidratan los órganos expuestos, o bien si se evapora rápidamente el agua depositada sobre ellos.

c) Efectos en el periodo de floración.

Las lluvias durante el periodo de floración afectan de forma directa a la polinización, y de forma indirecta debido a los otros fenómenos climáticos asociados a la lluvia, como es la humedad relativa alta, la bajada de temperaturas, el cielo cubierto, etc.

La lluvia lava la secreción de los estigmas dificultando la retención y germinación de los granos de polen, lo que tiene gran importancia dada la corta duración que tiene la receptividad los estigmas. También lava las secreciones de los nectarios de las flores haciéndolas menos atractivas para los insectos.

Desde el momento que se produce la liberación de polen por los estambres, las lluvias pueden provocar el aglutinamiento del polen y su caída al suelo. Además se puede provocar la ruptura de las membranas celulares de los granos de polen por hidratación y por las corrientes osmóticas que aparecen.

Mientras se producen precipitaciones no hay vuelo de los insectos, afectando a la polinización entomófila. Además, las otras condiciones climáticas asociadas a la lluvia (viento, nubosidad, etc.) afectan a la actividad de los insectos.

También el descenso de temperaturas que se produce en períodos de lluvia afecta a los otros procesos que se dan en la flor para que se lleve a cabo la fecundación. Las lluvias siempre aumentarán el riesgo de una mala fecundación. En zonas muy lluviosas se deben adoptar precauciones en la plantación, como utilizar variedades adaptadas y aumentar el número de colmenas y el porcentaje de polinizadores.

d) Efectos sobre los frutos.

Entre los efectos ocasionados por las lluvias sobre los frutos hay que destacar dos: la ruginosidad o russeting que adquieren y el agrietado o rajado (cracking). Además, las lluvias incrementan el riesgo de infección por patógenos (moteado, botrytis, monilia, etc.), sobre todo en el periodo de maduración al aumentar su contenido de azúcares; y sobre las plagas tienen efectos similares a los citados para la vegetación. No debe olvidarse que las lluvias lavan los productos fitosanitarios aplicados para la protección de los frutos.

También las lluvias próximas a la madurez pueden incrementar las caídas de frutos al acelerar la formación de la capa de abscisión en el pedúnculo de los frutos, sobre todo en frutos grandes y de maduración tardía.

A continuación se describen los dos efectos principales citados:

- Russeting.

La adquisición de russeting es un fenómeno complejo en el que tiene gran influencia la lluvia y la humedad ambiental. Se produce cuando determinado tipo de agentes dañan de forma irreversible las células en desarrollo. Es la manifestación visible de una reacción en el fruto, consistente en la aparición de una serie de capas de células de cicatrización de la epidermis de los frutos. En la epidermis se forma suberina y la cutícula se separa en forma de escamas, perdiendo su brillo. En casos muy graves puede agrietarse la capa suberificada.

Si las lluvias van acompañadas de temperaturas frías (inferiores a 5-6 ºC) serán la causa más frecuente del russeting, al crearse un ambiente excesivamente húmedo, que además provoca que la cutícula de los frutos tenga menos espesor, originando una mayor penetración de agua y una mayor sensibilidad del fruto al russeting. Los efectos serán más graves en plantaciones densas o mal ventiladas, en las que se mantiene el ambiente húmedo mucho más tiempo.

En el caso de russeting por lluvia, su aparición está más localizada en el área de la cavidad peduncular y también en la calicina, extendiéndose en los casos graves a las caras del fruto.

El russeting se da en especial en las manzanas, aunque también ocurre en otros tipos de frutos. En su manifestación existen grandes diferencias varietales, siendo muy sensible la manzana Golden Delicious.

El russeting producido por lluvia puede verse potenciado durante el período posterior a la floración por encharcamientos del suelo, por desequilibrios nutricionales y por la aplicación de algunos productos fitosanitarios, principalmente cobre.

En manzanos, las épocas en que los frutos son más sensibles al russeting son dos. La primera se sitúa entre los estados fenológicos E_2 y J, siendo los momentos con más riego en los estados H e I, que coinciden con la fase de multiplicación celular en que la epidermis se encuentra menos protegida. La segunda época coincide con la fase de cambio de color de los frutos al inicio de la maduración.

Para prevenir el russeting se utilizan diferentes productos, aplicados después de la floración. Principalmente se emplean mezclas de giberelinas GA4 y GA7 (Regulex y Promalin) en 4 aplicaciones, en intervalo de 7-10 días a partir de la caída de pétalos. También se han utilizado tratamientos con mezclas de azufre y microelementos, y mezclas de captan y azufre.

En general, el russeting disminuye el valor comercial de los frutos. En algunos casos es una característica varietal, como en manzana Reineta Gris.

- Agrietado.

El fenómeno de agrietado afecta principalmente a cereza, ciruela e higos; en menor escala a nectarina y melocotones de tipo plano, albaricoque y manzana; y ocasionalmente puede darse en otros frutos. No obstante, es en cereza donde el agrietado adquiere su máxima importancia debido a las pérdidas de cosecha que llega a ocasionar en años lluviosos.

La lluvia es una de las principales causas en producir el agrietado del fruto, aunque también puede producirse por heladas y por la adquisición de un russeting severo. El agrietado producido por la lluvia es un fenómeno complejo en el que influyen las características del fruto (composición, tamaño, etc.), las condiciones en que se encuentra la planta, sobre todo hídricas y nutricionales, y otros condicionantes ambientales (temperatura, viento y humedad relativa).

Si la planta ha sufrido antes desequilibrios hídricos importantes, el agrietado se ve incrementado, y lo mismo puede suceder si hay exceso de agua en el suelo, aunque no siempre se manifiesta esta relación. Sobre todo es la cantidad de agua libre sobre el fruto y el tiempo que permanece lo que más influye en el agrietado.

Es generalmente aceptado que el agrietado del fruto se produce a causa de la absorción de agua a través de las paredes del fruto. Sin embargo son diversas las opiniones a la hora de establecer cómo se produce la absorción. Estudios histológicos han puesto de manifiesto que se produce una hinchazón de las células y una separación de las cutículas de las paredes celulares de la epidermis. Si las células continúan recibiendo agua aparecen fracturas transversales de la cutícula, lo que hace que las células epidérmicas queden expuestas al exterior, facilitando la entrada de patógenos y los intercambios de agua. Si se produce una mayor absorción de agua, empiezan a aparecer fracturas más grandes que son las que comúnmente se asocian al fenómeno de agrietado. Si el fruto tiene menor capacidad de absorción de agua y mayor capacidad de expansión de los tejidos externos será menos susceptible al agrietado.

El agrietado del fruto no es debido exclusivamente a un fenómeno puramente físico de absorción de agua, sino que el metabolismo celular del fruto interviene en éste de forma activa, como se ha comprobado en cereza. La susceptibilidad al agrietado está relacionada también con la elasticidad, composición de la pared celular y forma del fruto.

En frutos de hueso, la zona estilar del fruto es la que presenta la máxima sensibilidad al agrietado, ya que al ser el punto donde se encontraba el estilo, no presenta cutícula o barrera epidérmica y además, se acumula en ella una cantidad relativamente importante de carbohidratos. Además, este hecho se ve favorecido porque una vez finalizada la lluvia, el agua se acumula y permanece durante un tiempo en la zona del ápice, debido a la pequeña cavidad que existe en ésta y, además, permite que en ella quede una gota de agua, aunque el fruto cuelgue del pedúnculo. Este fenómeno se produce sobre todo en cereza, además de en alguna variedad de ciruela (ej. President y Ente).

También existe otro tipo de fracturas, generalmente más importantes, que suelen producirse en las caras del fruto, normalmente en la cara opuesta a la sutura central, en los frutos de hueso. Es frecuente también encontrar resquebrajaduras o fisuras longitudinales y semicirculares rodeando la zona del pedúnculo del fruto, especialmente en manzanas (Jonathan, Stayman Winesap, Cox's Orange Pipin, Gala, Belle de Boskoop, etc.).

La máxima sensibilidad de los frutos se muestra al final de su desarrollo. Los frutos más expuestos al sol, los que presentan mayor coloración, o una mayor incidencia al russeting, son los más sensibles.

Existen grandes diferencias de sensibilidad entre variedades, como puede verse en la valoración aproximada que se refleja en la Tabla 4.2 para cereza. El índice de agrietado obtenido por diferentes autores para una misma variedad de cerezas presenta diferencias, posiblemente debido a la influencia de las diferentes condiciones en que se han encontrado los frutos.

En plantaciones de cerezo, para proteger los frutos del agrietado se instalan coberturas con plástico en las líneas de la plantación. Se extienden de tres semanas a un mes antes de la recolección y deben replegarse lo antes posible después de la recolección.

Si la plantación no está protegida, en época de riesgo y si el suelo lo permite, después de una lluvia es recomendable pasar por las calles de la plantación un ventilador potente, o utilizar otro método, con el fin de desprender las gotas de agua que quedan adheridas en el ápice de los frutos y sobre las hojas, favoreciendo así su secado. Aunque esta técnica no sea totalmente eficaz si permite reducir los daños por agrietado de frutos.

Los productos aplicados para evitar el agrietado, principalmente a base de calcio además de ceras y antitraspirantes, giberelinas, etc., no dan resultados suficientemente buenos y regulares.

Tabla 4.2. Sensibilidad al agrietado de variedades de cereza.

Sensibilidad alta	Sensibilidad media	Sensibilidad baja
Marvin	Van	Hedelfinger
Duroni 3	Stark Hardy Giant	Montmorency
Bing	Sunburst	Merton Bigarreau
Lambert	Arcina Fercer	Vernon
Primulat	Rainier	Ambrunés
Earlise	Reverchon	Coralise
Stella	Garnet	Sweetheart
Vista	Lapins	Fermina
Burtat	Ferdiva	Regina
Napoleón	Summit	Pico Colorado
Cristobalina	Garrafal de Lleida	Pico negro

La clasificación varietal presenta notables diferencias según autores.

2.3. Efectos de la lluvia sobre la plantación y sus actividades

En plantaciones en secano, la lluvia tendrá efectos muy favorables respecto a la absorción de agua y nutrientes. La disponibilidad de nutrientes de forma asimilable está íntimamente ligada al contenido de agua del suelo, por lo que en secano será muy dependiente de la lluvia. La aplicación de abonos debe hacerse teniendo en cuenta, además, las épocas de lluvia.

En plantaciones en regadío, las lluvias interfieren sobre la programación de riegos. Si después de un riego por gravedad se producen lluvias importantes se puede originar asfixia radical.

En el caso de lluvias abundantes se pueden producir lixiviaciones y escorrentías, con pérdida de nutrientes. En casos extremos y en terrenos en pendiente tienen lugar erosiones importantes.

Los días de lluvia será imposible realizar actividades en la plantación o bien se verán dificultadas dependiendo de su duración y de la pluviometría caída. En la planificación de actividades habrá que tener en cuenta los días de lluvia que pueden producirse cada mes y la intensidad de las lluvias, con el fin de hacer una valoración de los equipos necesarios para realizar las actividades en los días disponibles y ajustar así el calendario de ejecución.

Las actividades de recolección, aclareo y poda en verde no se pueden realizar con los árboles mojados. La poda de invierno tampoco es conveniente realizarla con los ramos mojados.

En plantaciones con mantenimiento del suelo con laboreo, después de lluvias fuertes no se puede entrar con maquinaria hasta pasados unos días. Tampoco es conveniente entrar con maquinaria pesada a la plantación con el suelo muy blando, aunque haya cubierta vegetal, dado que se compactará el suelo.

Se evitará aplicar tratamientos fitosanitarios o de otros productos si hay amenaza de lluvia. Si las lluvias siguen inmediatamente a la aplicación lavan el producto o disminuyen su efectividad, obligando a repetir el tratamiento.

3. Viento

El viento origina diferentes problemas en las plantaciones frutales, sin llegar a ser, en general, un factor limitante. En su estudio habrá que considerar la dirección de los diferentes vientos que soplan en la zona, la frecuencia y la velocidad.

Son comúnmente conocidos en cada zona los vientos dominantes que soplan a lo largo del año y la fuerza con que suelen hacerlo.

Vientos de intensidad moderada, entre 20 y 30 km/h, ya pueden dar lugar a daños en hojas y frutos, si superan los 40 km/h originarán caída de frutos y provocan inclinación de los árboles, vientos superiores a 70 km/h se consideran ya muy fuertes y pueden causar roturas de ramas, y si la velocidad es superior a 120 km/h son considerados vientos huracanados y pueden originar graves daños en la plantación.

Las características de las plantas y su disposición en el terreno hacen que la incidencia del viento varíe. En la planificación y diseño de la plantación se debe contemplar el viento como condicionante de las soluciones a adoptar, y hay que tratar de paliar la repercusión adversa que los vientos tienen a lo largo del año sobre las plantas.

En la Figura 4.3 se puede observar el flujo de aire que sopla en una plantación con árboles en seto dispuesto trasversalmente a la dirección del viento dominante. En estas plantaciones se forman zonas de turbulencia en las primeras filas y se frena la fuerza del aire al atravesar los diferentes setos; mientras que en plantaciones con árboles aislados y

marcos amplios el flujo de aire discurre de forma laminar y fuerte entre los espacios que dejan los árboles. En plantaciones en seto dispuesto en la dirección del viento dominante, este circulará sin gran impedimento por las calles.

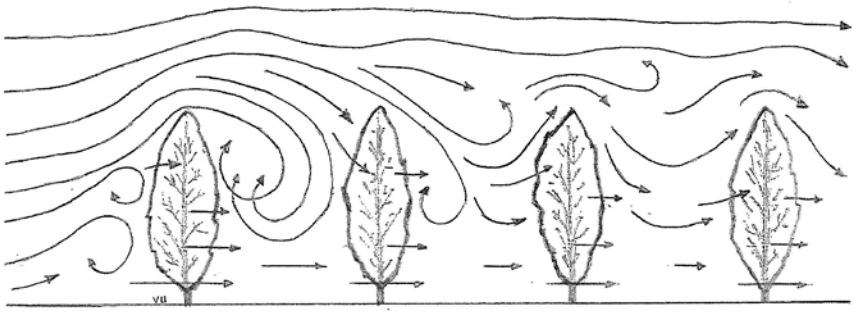


Figura 4.3. Flujo de aire en una plantación en seto dispuesto trasversalmente a la dirección del viento dominante.

3.1. Efectos del viento sobre la plantación

Vientos muy fuertes huracanados pueden causar la caída de árboles de porte alto y copas grandes, cuando su sistema radical tiene poca profundidad por escaso vigor o por problemas de suelo. Si además el suelo está saturado de agua, las raíces presentan menos resistencia a la caída del árbol. Las caídas suceden principalmente en plantaciones formadas en setos planos con empalizada y con gran carga de frutos, cuando el plano longitudinal de la línea esta expuesto a vientos frontales muy fuertes, y su estructura de apoyo y el anclaje los árboles no resiste el empuje del viento.

Estas caídas se acentúan si el viento huracanado viene acompañado de fuertes lluvias o si la plantación está recién regada por gravedad. En algunas tormentas se producen remolinos de viento que atraviesan la plantación y originan caídas de setos en diferentes zonas de la finca. También se producen turbulencias importantes entre las líneas de plantación, según las características de seto, lo que incide también en las caídas.

Un viento marcadamente dominante y frecuente, aunque no sea excesivamente fuerte, origina deformaciones de la copa, con desarrollo asimétrico hacia la dirección que va el viento. Este efecto es muy acusado en árboles formados en eje central, sin estructura de apoyo. Durante el crecimiento del árbol se va produciendo la inclinación del eje hacia el sentido que va el viento dominante, dificultando su formación; luego al llegar a la plena producción la estructura del árbol estará deformada. Este efecto se manifiesta más en las primeras filas de la plantación, si están expuestas a dichos vientos

frecuentes, y los árboles mostrarán de forma acusada, en su mitad superior, la inclinación del eje.

Durante la floración, el viento ejerce una gran influencia. En especies anemófilas la polinización se verá favorecida por brisas débiles, pero si el viento es fuerte, la efectividad de la polinización se ve disminuida. En la polinización de las especies entomófilas, que en frutales se lleva a cabo principalmente por la abeja doméstica, cuando la velocidad del viento alcanza los 15 km/h la actividad de las abejas se reduce considerablemente y dejan de volar si se superan los 30 km/h. Los abejorros (género Bombus) vuelan con vientos algo superiores, siendo más eficientes.

También los vientos fuertes pueden originar daños mecánicos en las flores, principalmente desprendimiento de pétalos, y con temperaturas altas producen la desecación de las secreciones de la flor.

En la vegetación, los vientos fuertes baten las hojas con fuerza y producen laceración y roturas importantes en el limbo, principalmente en hojas jóvenes; siendo el peral y el kiwi de las especies más sensibles, y sobre todo cabe citar a la platanera por los destrozos que produce el viento en sus hojas.

En árboles de bordes sometidos a vientos fuertes se llega a producir defoliación en la cara más expuesta y una deformación de la copa, como ya se ha citado. También los vientos fuertes pueden originar rotura de brotes tiernos, siendo muy sensibles los pámpanos de la vid.

Especial mención cabe hacer del efecto del viento sobre el brote de los injertos, tanto en plantas en vivero como en plantas injertadas en la plantación. Si la inserción del injerto se encuentra orientada a favor del viento y el desarrollo vegetativo del plantón es grande, con vientos fuertes, se puede producir la rotura por el punto de injerto. Por este motivo, en el vivero debe hacerse el injerto en el lado de donde viene el viento fuerte dominante; y al establecer la plantación es conveniente colocar los plantones con el punto de injerto orientado hacia donde viene dicho viento.

En plantaciones próximas a la costa, los vientos salinos son muy perjudiciales, al depositar pequeñísimas gotas de agua salada sobre la vegetación, produciendo efectos fitotóxicos. Las hojas más expuestas al viento se van necrosando y terminan cayendo, apreciándose en la planta una clara gradación de la afección.

Los vientos tienen otras influencias sobre la vegetación, como el incremento de la evapotranspiración, y en el caso de vientos cálidos y secos, con temperaturas altas, puede producirse asurado de las hojas.

Sobre los frutos, el viento muy fuerte llega a tener efectos catastróficos en época de maduración, sobre todo si las variedades son además propensas a una caída previa a la madurez. Son más afectados los frutos con pedúnculo largo y de mayor peso, al desprenderse con mayor facilidad. La caída de frutos por viento se manifiesta de forma acusada en peral y en menor grado en melocotonero, albaricoquero y manzano; aunque está muy relacionada con la sensibilidad a la caída de madurez de las variedades, como ya se ha citado.

Aunque los vientos no sean muy fuertes, si los frutos son agitados por el movimiento de su pedúnculo o de los ramos en que están insertos, se producen rozaduras y golpes que acaban lesionando la epidermis y deprecian al fruto.

Otra acción del viento sobre la plantación es su incidencia sobre las heladas. En el caso de invasión de masas de aire polar produce heladas de advección, atenúa las heladas de radiación al impedir que se forme la capa de inversión térmica y favorece las heladas de evaporación al ser más rápida la evaporación del agua depositada sobre los órganos.

El viento también interfiere sobre las actividades culturales dificultando o haciendo más incómoda su ejecución (poda, aclareo, etc.). Sobre todo, el viento impide la realización de tratamientos fitosanitarios y la aplicación de herbicidas, por las derivas que se producen. Lo mismo ocurre en el caso de riego por aspersión, al alterar la distribución del agua. Los vientos huracanados pueden dañar también las infraestructuras de la explotación, como cortavientos y mallas de protección antigranizo, cobertizos, etc.

Finalmente, cabe citar que el viento tiene algún efecto favorable. Por ejemplo, después de una lluvia facilita el secado de la vegetación y de los frutos disminuyendo el riesgo de ataque de patógenos y el agrietado de frutos. Como ya se ha citado, facilita la polinización anemófila (si el viento es débil) y también evita la inversión térmica en heladas de radiación.

3.2. Protección contra el viento

En zonas ventosas, y para velocidades que superen los 30 km/h, será conveniente defender la plantación contra el viento instalando barreras cortavientos y recurrir a formaciones con una estructura de apoyo (tutores y empalizadas). Asimismo, no será conveniente implantar variedades sensibles a la caída de frutos y utilizar patrones de anclaje débil. Igualmente se debe planificar bien la disposición de las filas de la plantación, la densidad y el sistema de formación de los árboles.

Las barreras de protección tienen la finalidad de debilitar la fuerza del viento y reducir su velocidad. Llegan a proteger, según sus características, un área a sotavento de 10 a 20 veces su altura. Las barreras deben tener una permeabilidad superior al 30%, siendo más eficaz una permeabilidad del 40-50%, al no formar turbulencias y permitir mayor distancia de protección. En el caso de barreras vivas, los árboles utilizados deben ser de crecimiento rápido, para tener también una protección eficaz los primeros años de la plantación.

Cabe citar que las barreras también presentan efectos negativos sobre la plantación al ocupar superficie productiva, por lo que deben integrarse, si es posible, en lindes y caminos de servicio.

En el caso de utilizar árboles, los cortavientos originan competencia radical y pueden ser hospedantes de plagas y enfermedades, aunque en este caso el efecto también puede ser positivo al albergar depredadores de plagas y favorecer la biodiversidad. También las barreras tienen otros efectos sobre la plantación, como producir sombreo sobre las plantas o evitar el drenaje de aire frío en heladas de radiación aumentando el riesgo de helada.

Las barreras cortavientos son objeto de estudio cuando se imparte la tecnología de producción y se recogen en publicaciones específicas, por lo que no se tratan con detalle en este capítulo.

4. Granizo

La tormenta de granizo es, posiblemente, el fenómeno meteorológico más temido por los fruticultores. Son muy numerosas las pérdidas que todos los años originan estas tormentas en nuestras zonas frutícolas, por lo que cada vez se instalan más mallas antigranizo en las plantaciones como método totalmente efectivo para su protección.

Las tormentas más intensas y frecuentes ocurren entre los meses de mayo a septiembre, pero es en verano cuando se presentan las tormentas más destructivas que reciben la denominación popular de "nube negra". En los otros meses el número de tormentas es muy inferior y además tienen bastante menor intensidad. Es de destacar que las tormentas de granizo se presentan con gran frecuencia a primeras horas de la tarde, y en raras ocasiones por la mañana temprano o durante la noche.

Una geografía entrecruzada por cordilleras y valles, con ríos, embalses y zonas de grandes regadíos favorece notablemente la formación de nubes potentes de desarrollo vertical que dan lugar a las tormentas convectivas o de calor y con frecuencia a granizadas. Son numerosas las zonas frutícolas en nuestro País que se ven afectadas por el granizo y se originan todos los años cuantiosas pérdidas.

La actividad tormentosa varía mucho de unas regiones a otras y, además, tiene un comportamiento errático. La Cuenca del Ebro, la Mancha y Levante son regiones características de tormentas de verano. También en zonas costeras de Levante y en el Sureste suelen ocurrir granizadas intensas en otoño. Asimismo hay zonas con carácter típicamente tormentoso como la Comarca del Bajo Aragón o municipios como: Daroca (Zaragoza), Alcañiz e Hijar (Teruel), Lardero (La Rioja), Calasparra (Murcia), Chinchilla (Albacete), Vich y Manresa (Barcelona), etc. No obstante entre años también se presenta variabilidad en el número de tormentas acontecidas y en su siniestralidad, disminuyendo en unas zonas y aumentando en otras. Por ejemplo, en los últimos años han sido más frecuentes los siniestros en varios municipios de las zonas frutícolas de los ríos Segre y Cinca en Lleida y Huesca, respectivamente.

Para denominar a la precipitación solida caída con este fenómeno meteorológico se utilizan indistintamente los términos granizo y pedrisco. Aunque, con frecuencia, también se establece una diferencia entre ellos según el tamaño del hielo caído, para denotar que en caso de pedrisco los efectos serán más desastrosos.

Así, en general, se entiende por granizo la precipitación que llega al suelo en forma de granos de hielo. Estos granos son, normalmente, de forma esférica y tienen un diámetro de 2 a 5 mm. Suelen recibir la denominación de granizo menudo cuando sólo se emplea el término granizo. Están constituidos, generalmente, por un núcleo de nieve granulada envuelto por capas de hielo traslúcido que le da un aspecto cristalino. Estos granos son difíciles de romper y rebotan cuando caen al suelo.

Los granos reciben la denominación de pedrisco cuando están formados por concrescencias de hielo de diámetro variable, mayor de 5 mm, que con frecuencia alcanzan 1-2 cm centímetros, y en ocasiones hasta 5 cm. El pedrisco está constituido por varias capas concéntricas de hielo que suelen coincidir con el número de ascensiones que tuvo durante su formación en la nube. Si los granos de hielo contienen burbujas de aire entre las capas son opacos y tienen un color blanco.

Con frecuencia, los granos de hielo también están constituidos por varios granizos soldados entre sí por capas de hielo transparente. Los granos de pedrisco (o piedras) presentan forma y tamaño irregular.

4.1. Formación del granizo

El granizo se forma en nubes tormentosas de gran desarrollo vertical denominadas cumulonimbos, originadas principalmente en tormentas convectivas o de calor.

En la fase de formación de un núcleo o célula tormentosa, los cumulonimbos surgen como grandes nubes blancas con una cima redondeada en forma de coliflor. Estas nubes crecen y forman una corriente ascendente que alcanza alturas de 6 a 8 km, o incluso más, y se desplazan en la dirección del viento.

En una segunda etapa (estado de madurez), se dan corrientes ascendientes y descendientes, y torbellinos, dentro de la nube; y se produce la máxima actividad tormentosa, con descarga de precipitación y rayos. La base de la nube presenta un color grisaceo que oscurece el sol.

Finalmente, cuando la nube ha adquirido su máximo desarrollo y ha dado lugar a los chubascos más intensos, la cima se va aplanando y presenta la forma de un yunque, entrando en la fase de disipación, aminorando ya las precipitaciones y los vientos.

En una tormenta se pueden presentar varios núcleos o células tormentosas independientes, como la descrita, que pasarán por los tres estados de desarrollo citados. Las nubes cubren un área de varias decenas de kilómetros cuadrados y en las tormentas grandes pueden superar los 200 kilómetros cuadrados. En una tormenta, el granizo cae con más intensidad en unas zonas que en otras, incluso dentro de la misma finca, siguiendo la dirección del viento.

En la formación de las células tormentosas se dan procesos complejos estrechamente imbricados. Por una parte, unos procesos microfísicos que dan origen a la formación de los hidrometeoros y, por otra, unos procesos dinámicos (corrientes verticales violentas, células convectivas y turbulencias) que permiten los movimientos del aíre y la formación de los granizos.

Si los embriones de granizo no encuentran en la nube corrientes ascendentes suficientemente fuertes (velocidad superior a 40 km/h), precipitan al suelo en forma de granizo menudo, o bien de lluvia tras su fusión entre la isoterma de 0 ºC y el suelo.

Por el contrario, si continúan los movimientos ascendentes y descendentes el granizo sigue creciendo entre las isotermas -10 ºC y -30 ºC, aproximadamente, cubriéndose de diferentes capas por la recogida de gotas de agua, nieve o granizo menudo, y se transforma rápidamente en granizo de gran tamaño (pedrisco). Los granizos se mueven en el interior de la nube a velocidades de hasta 30 m/s. Cuando las corrientes

ascendentes no pueden aguantarlos más en la nube, los granizos caen masivamente al suelo a una velocidad elevada (hasta de 100 km/h). Finalmente se disipa la célula tormentosa apareciendo la lluvia, aunque también puede haber una repetición de células tormentosas que se solapan y alargan la duración de la tormenta.

En la Figura 4.4 se representa un núcleo o célula de tormenta de granizo con las corrientes de viento producidas en su interior.

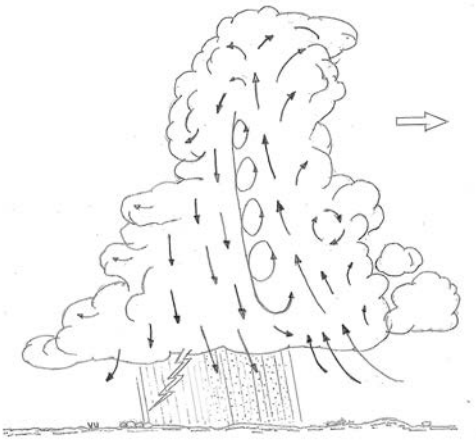


Figura 4.4. Esquema de un núcleo de tormenta con las corrientes de viento.

Las tormentas de granizo más destructivas se forman, principalmente, en verano, en días muy calurosos y con una gran evaporación, y suelen ir acompañadas de un fuerte aparato eléctrico. Las tormentas formadas otras épocas menos calurosas sólo originan granizo menudo.

La duración total de la tormenta suele ser como mucho de una hora (en algún caso algo más). También la granizada, que suele durar, con más frecuencia, de unos 5 a 15 minutos, en general, va precedida y seguida de gran cantidad de lluvia y acompañada de vientos fuertes. Este viento agrava los efectos del granizo al incrementar la fuerza de los impactos y tener una penetración lateral en los árboles.

La instalación sobre un soporte horizontal de una placa de material sensible a los impactos (ejemplo Styrofoan) permite valorar su cuantía y tamaño. Esta instalación recibe el nombre de "granizometro".

4.2. Daños producidos por el granizo

Los daños mecánicos ocasionados por la granizada dependen, evidentemente, de la intensidad y tamaño del granizo, y de la época del año en la que se produce.

Existen numerosos factores que inciden sobre el efecto final de una granizada. En muchos casos no se puede establecer una buena correlación entre la intensidad de la granizada, determinada con el "granizometro" y los daños en cosecha, aunque sí se puede dar una buena idea del grado de catástrofe.

Para conocer con exactitud los daños hay que observar los árboles y valorar la afectación. La valoración de los daños producidos por la granizada no tiene la dificultad y complejidad que tiene la valoración de heladas. En el caso del granizo los síntomas son muy patentes. Por un lado hay que valorar mediante muestreos la afectación de los frutos que quedan en el árbol, y por otro, valorar los frutos desprendidos del árbol.

Las pérdidas en cosecha se determinan teniendo en cuenta las posibilidades de desarrollo de los frutos afectados, respecto a la producción potencial esperada. Por otro lado hay que valorar también las pérdidas en calidad de los frutos afectados, lo que presenta más dificultad y requiere un seguimiento posterior.

Los efectos producidos por el granizo o el pedrisco se pueden diferenciar en dos tipos:

1. Daños sobre el tronco y la ramificación.

Para que se produzcan daños sobre el tronco y las ramas debe caer pedrisco con gran fuerza. En este caso los impactos destrozan la corteza dejando el xilema al descubierto. En algunos casos la plantación es irrecuperable, sobre todo con árboles jóvenes.

Aún en el caso de reconstruir la ramificación con nuevas brotaciones, el árbol se verá muy debilitado después del pedrisco y con gran riesgo de enfermedades. En casos muy graves las heridas producidas por el pedrisco tardan más de tres o cuatro años en cicatrizar completamente.

Si el granizo no llega a afectar gravemente a las ramas del árbol pero los impactos originan heridas abundantes en los ramos ya formados, con destrucción de yemas, puede verse comprometida la producción del siguiente año al no disponer de una carga adecuada; además de interferir sobre la conducción vascular y la nutrición del ramo, disminuir su resistencia mecánica e incrementar considerablemente el riesgo de enfermedades.

No es recomendable desmochar los árboles que han sufrido un pedrisco muy fuerte, puesto que se recuperan mejor interviniendo solo en la poda invernal, mediante la supresión de las ramas fructíferas o los ramos que se consideren totalmente perdidos o no necesarios. La extensión del xilema necrosado en las heridas producidas en las ramas

y ramos es superior en melocotonero que en peral y manzano; aunque los ramos vigorosos de melocotonero cicatrizan más rápidamente que los de peral y manzano.

2. Daños sobre la vegetación y la fructificación.

Los daños ocasionados sobre los brotes tiernos y las hojas son recuperables con el tiempo, pero se provoca una pérdida de superficie foliar con una parada drástica del crecimiento. Los frutos que puedan haber quedado verán reducidas sus posibilidades de alimentación, además de tener un mayor riesgo de enfermedades, como ya se ha citado. Además pueden generarse brotaciones anticipadas no deseadas, interferencias en la inducción floral, floraciones secundarias en verano u otoño, disminución de reservas, etc.

Las granizadas primaverales débiles que originan pequeños impactos sobre los frutos no suelen tener repercusión sobre la cantidad de cosecha, pero deprecian considerablemente la calidad de los frutos. Si los daños son más severos afectan totalmente a la viabilidad de los frutos y se originan graves destrozos en la vegetación.

Si el granizo cae sobre frutos con cierto tamaño de desarrollo se pueden desprender los frutos, o bien se originar heridas que pueden llegar a cicatrizar si se frena la entrada de patógenos. Si los frutos están próximos a la madurez los daños suelen originar su depreciación total o la pudrición de los frutos.

4.3. Protección contra el granizo

Desde hace siglos se ha tratado de luchar contra las tormentas de granizo, en unos casos con oraciones y ritos, confiando en milagros; y en otros casos con sistemas inútiles y de comprobada ineficacia. Los primeros intentos de siembra de nubes comenzaron en la segunda década del siglo XX para lograr lluvia, pero no es hasta mediados del siglo XX cuando se comienzan a utilizar métodos basados en el conocimiento científico de las tormentas para luchar contra el granizo.

Los primeros métodos utilizados se fundamentan en la siembra de nubes con sustancias higroscópicas o con pequeños cristalitos, con el fin de conseguir más núcleos de congelación y que se formen granizos de tamaño mucho más pequeño.

A principios de los años 70 del siglo pasado ya se organizaron campañas de defensa en diferentes regiones españolas. El método utilizado normalmente en las redes de defensa ha sido la siembra de nubes con ioduro de plata, mediante el lanzamiento de

cohetes o con generadores acetónicos tipo Dessens desde el suelo. Aunque también se han sembrado las nubes desde el suelo con otro tipo de quemadores (carbón activado) o desde aviones; además de utilizar otros productos.

Han sido muy numerosos las polémicas y los debates surgidos entre partidarios y detractores de las campañas de defensa, debido a aspectos medioambientales, a la dificultad existente para probar su eficacia y a la financiación de su coste. Por ello se han ido suprimiendo las campañas de defensa en algunas zonas (Lleida en 2005, Alto Aragón en 2012) pero se han mantenido en otras (Zaragoza) o incluso hay proyectos de ampliación (Fraga - Huesca).

Después de varios estudios, el sistema de defensa mediante generadores tipo Dessens se ha mostrado más eficaz que los cohetes, aunque también hay defensores de su utilización como método complementario o de emergencia. La red de generadores no es infalible, pero los estudios realizados en España han demostrado que con las campañas de defensa se evita entre el 25% y el 40% de los daños que producen las tormentas de granizo en los cultivos. Además está claro que se consigue disminuir el tamaño y la fuerza con que las piedras llegan al suelo.

Y por otro lado, no se ha probado que se originen modificaciones en las condiciones climáticas de las zonas experimentadas, ni otros efectos negativos ambientales que se les achaca, sino que los estudios realizados al efecto muestran que no tienen consecuencias negativas. Asimismo, en Francia se preconiza su utilización para la protección de los cultivos.

Otro método de defensa antigranizo utilizado, sobre todo en Italia y Francia, son los cañones de onda de choque, consistentes en una cámara de explosión con un tubo troncocónico vertical. En la cámara se provoca una explosión de gas que da lugar a una onda sonora, la cual debería tener la función de disgregar los granizos en un área reducida (sobre un radio de 500 m). Este sistema también tiene sus defensores y detractores, sin que realmente se haya llegado a probar su eficacia, pero si cuenta con resultados e informes negativos.

El único método de protección eficaz de las plantaciones frutales son las mallas protectoras que se despliegan sobre la plantación, en general, una vez pasada la floración, cuando el riesgo de granizo comienza a ser alto, y se pliegan a finales de otoño. No obstante, las mallas modifican el microclima de la plantación, incidiendo sobre la temperatura y la insolación. Aunque la instalación es cara, actualmente se está imponiendo este método.

Los sistemas de protección antigranizo son objeto de estudio cuando se imparte la tecnología de producción y se recogen en publicaciones específicas, por lo que no se tratan con detalle en este capítulo.

Finalmente, cabe recordar que después de una granizada se deben proteger inmediatamente las heridas originadas en las plantas con un tratamiento fitosanitario (Captan, Tiram, Metil-tiofanato, etc.) que favorezca la cicatrización de heridas y proteja al cultivo de ataques de patógenos, repitiéndolo las veces necesarias según la intensidad del daño.

5. Otros factores climáticos

Los factores climáticos comentados en los apartados anteriores son los que ejercen una mayor influencia sobre los frutales, pero hay otros factores de menor importancia que también afectan a las plantas o dificultan las actividades de la plantación. Entre estos últimos se encuentra en la niebla, el rocío, la escarcha y la nieve. Ligada a las condiciones meteorológicas, en algún caso concreto, también tendrá incidencia sobre la plantación la contaminación atmosférica que será comentada en un apartado posterior.

5.1. Niebla

La niebla se forma por condensación de la humedad del aire en forma de pequeñas gotas en suspensión, de manera similar a la formación de nubes. Se considera que hay niebla si la visibilidad se reduce a menos de 1 km.

Las nieblas se clasifican en varios tipos según sea su formación, pero las que más influencia y persistencia tienen son las nieblas de valle o nieblas de radiación, confinadas por un accidente orográfico, y las nieblas de advección que se forman cuando masas de aíre cálido cargado de humedad pasan sobre terrenos fríos.

Cuando la niebla no es intensa se denomina neblina y también bruma, aunque este último término se emplea más cuando el aire contiene polvo en suspensión y disminuye la visibilidad.

La niebla es un fenómeno característico de las zonas del valle y depresiones geográficas, aunque también puede formarse en zonas de montaña al condensar el aíre frío. Se presenta principalmente a finales del otoño y en invierno. En algunas zonas, si

la niebla es intensa puede permanecer todo el día sin levantarse; y si el tiempo está en calma puede durar bastantes días.

Entre las zonas de mayor niebla destacan: los valles del Ebro (Lleida y Huesca por su persistencia), Duero (Valladolid), y Guadalquivir; la cordillera Cantábrica (Lugo y Oviedo) y los Montes Vascos; las sierras de Guadarrama y Nevada; siendo frecuentes también en otras montañas y valles. También hay zonas de pequeñas hoyas con bastante niebla como Vic; puede aparecer en zonas costeras, sobre todo en primavera como en la Costa Catalana; o incluso en verano, como en la Costa Gallega y Cantábrica donde también se extienden hacia el interior.

La niebla no tiene en general mucha influencia sobre las plantaciones, pero en determinadas zonas sí llega a tener efectos negativos importantes. Por ejemplo, al humedecer la ramificación favorece la entrada y desarrollo de patógenos; o puede tener incidencia en la manifestación de russeting y agrietado de frutos, aunque en esa época de desarrollo del fruto ya hay pocas nieblas.

Otra repercusión negativa es la dificultad que supone para la realización de actividades, como tratamientos fitosanitarios y, sobre todo, la poda de invierno, dado que no es conveniente realizar los cortes con los ramos humedecidos, al producirse más magulladuras y dificultar la cicatrización. En el caso de niebla con temperatura muy baja se terminará helando y formando centellada en la ramificación, lo que impide realizar la poda.

Como efecto favorable cabe citar que las nieblas pueden llegar a depositar sobre suelo y la vegetación gotas de agua, denominándose en este caso "nieblas lloronas". Este aporte complementario de agua tiene interés para los cultivos de zonas áridas. Las nieblas van asociadas también a otras condiciones meteorológicas, como es la disminución de la temperatura, lo que puede favorecer que haya mayor acumulación de horas-frío al final del otoño o durante el invierno.

5.2. Rocío, escarcha y centellada

El rocío se forma por la condensación de gotitas de agua sobre la vegetación o sobre otras superficies. La temperatura a la que el vapor de agua pasa a líquido se denomina "punto de rocío".

El rocío se presenta en noches con el cielo despejado, viento en calma o flojo y aíre algo húmedo. Entonces se produce un enfriamiento de la zona próxima al suelo debido a

la radiación, enfriándose también el aire en contacto, lo que da lugar a la condensación del vapor que se deposita sobre las superficies frías, en especial sobre la vegetación próxima al suelo. Si la temperatura desciende luego por debajo de 0 ºC, el rocío depositado se hiela dando lugar a lo que se denomina "rocío blanco".

También puede suceder que en las noches en calma se alcancen temperaturas por debajo de 0 ºC, sin haberse formado rocío; entonces el vapor de agua en contacto con las superficies frías se deposita directamente en forma de cristalitos de hielo, lo que ocurre desde temperaturas ambientales de -2 a -4 ºC, dando lugar al fenómeno denominado escarcha. El hielo originado en la escarcha toma formas de pequeñas escamas y agujas, con aspecto plumoso.

Los dos fenómenos comentados también pueden tener lugar sucesivamente, formando, en definitiva, un hielo blanquecino sobre las superficies. Por eso la vegetación, la tierra labrada, las superficies metálicas, los tejados, etc. aparecen blancos por la mañana. A las escarchas se les suele denominar "heladas blancas".

De forma similar al rocío y a la escarcha, las nieblas con humedad muy alta también depositan sobre el suelo, la vegetación y los objetos, gotas de agua ("niebla llorona"). Si la temperatura está por debajo de 0 ºC, el vapor de agua contenido en la niebla forma directamente cristalitos de hielo que se depositan sobre la ramificación, cables y otros objetos, lo que da lugar al fenómeno denominado centellada.

Cuando la niebla a muy baja temperatura se prolonga, el hielo va recubriendo los ramos y otros objetos originando lágrimas de hielo que cuelgan de ellos. A la mañana siguiente, si la niebla levanta y sale el sol, la vegetación del suelo y los árboles aparen con un color blanco reluciente. Si el hielo depositado tiene forma de plumas o agujas se denomina "centellada blanca" y tiene aspecto similar a la nieve.

Resumiendo, para diferenciar los meteoros comentados, podemos decir que con el suelo frío y el viento en calma, el rocío y la escarcha se forman con poca humedad; y la niebla y la centellada con mucha humedad. A su vez, los meteoros de ambos grupos se diferencian por formase con temperatura sobre 0 ºC o bajo 0 ºC.

Cabe llamar la atención sobre hecho de que el rocío se deposita sobre la cara superior de las hojas y no sobre la inferior. Además, cuanto más cerca del suelo esté la vegetación se depositará más rocío, al ser menor la temperatura.

Como efecto negativo de estos meteoros cabe citar su contribución a que se produzcan en primavera heladas de evaporación sobre los órganos humedecidos

(especialmente las flores), si por la mañana aumenta la temperatura rápidamente y hay viento.

También pueden tener, en algunos casos, otras repercusiones negativas para las plantaciones. Por ejemplo, la escarcha y la centellada impiden la poda de las plantas mientras permanecen heladas; además de que luego no es conveniente efectuar los cortes con la ramificación humedecida. También la humedad que aportan estos meteoros favorece el ataque de patógenos. Asimismo, impiden la realización de actividades, como tratamientos fitosanitarios, o dificultan los trabajos al estar mojada la cubierta vegetal del suelo y, en menor cuantía, la vegetación de las plantas.

El rocío y los otros meteoros comentados tienen en algunas zonas concretas incidencia muy favorable sobre los cultivos, al proporcionar humedad. Por ejemplo, para las vides cultivadas en arenas volcánicas higroscópicas en la isla de Lanzarote, donde se emplaza la planta en pequeños hoyos con una pared semicircular para recoger el vapor de agua del viento y retener mejor la humedad ambiental de las nubes rasantes. También en otras zonas áridas de la Península, el rocío nocturno supone un refuerzo de las escasas precipitaciones y ayuda a mantener la humedad del suelo.

5.3. Nieve

La nieve presenta aspectos positivos y negativos para las plantaciones, dependiendo de las otras condiciones meteorológicas que se den y de las características del cultivo.

Su incidencia, en general, no tiene importancia, excepto en zonas altas donde las nevadas son frecuentes y perduran largo tiempo. En las dos o tres últimas décadas se ha notado un descenso importante de las nevadas en las zonas frutícolas, por lo que prácticamente no han tenido incidencia.

El efecto negativo más importante que tienen las nevadas ocurre en las plantas de hoja perenne, debido a que el peso de la nieve sobre la vegetación puede producir rotura de ramas. Es especialmente grave en cítricos, en los que además la nieve suele coincidir con temperaturas excesivamente bajas que dañan a la planta.

En las especies de hoja caduca la nevada no suele tener repercusión, a no ser que ocurran nevadas muy tempranas antes de la caída de hoja, o que la ramificación de la planta sea muy tupida y retenga la nieve.

Son problemáticas las nevadas intensas, seguidas de fríos intensos, que hacen que la nieve dure mucho tiempo incrementando el riesgo de daños mecánicos y, además, de que se produzcan heladas.

Entre otros efectos negativos de la nevada cabe citar el impedimento que supone para realizar cualquier actividad en la plantación. Además humedece la ramificación favoreciendo el ataque de patógenos.

Como efecto favorable de la nevada cabe citar, en primer lugar, el aporte de agua que supone, y luego su acción protectora, gracias a que la capa formada en el suelo impide su enfriamiento y disminuye el riesgo de helada de raíces. Además, en general, protege la zona del cuello de los árboles, a no ser que se produzcan deshielos consecutivos en esa zona dejando al aire el cuello, aumentando así, contrariamente, el riesgo de helada, lo que afecta más a las plantas jóvenes.

6. Bibliografía (Capítulo 4. Insolación, lluvia y humedad ambiental, viento, granizo y otros factores climáticos)

Relación de libros y artículos de interés que tratan aspectos generales y específicos sobre el tema; para los libros se indican, entre corchetes, las páginas concretas que se recomienda su lectura:

Baldini, E. 1992. *Arboricultura General*. Mundi-Prensa. Madrid. 382 pp. [161-169, 192-204].

Bonet, J.C., Monera, R.V. 1992. *El viento: prevención de sus daños en agricultura*. Agrícola Vergel, mayo-1992: 349-357.

Bosch, A.D. 2001. *Viento y cortavientos*. En *Agrometeorología*. Elias, F. Castelví, F. (Coord.). Mundi - Prensa. Madrid. 517 pp. [239-257].

Boucher, L. 1996. *La gestion du risque grêle*. Infos - Ctilf, 125: 16-19.

Calderón, E. 1983. *Fruticultura General*. Ed. Limusa, México. 759 pp. [362-382].

Charlot, G., Millan, M., Filleron, E., Arregui, M., Quero-García, J. 2009. *L'éclartement de la cerise*. Infos-Ctifl, 252: 34-39.

Charlot, G., Millan, M., Filleron, E., Arregui, M., Quero-García, J. 2009. *L'éclartement de la cerise. Quelles solutions à disposition*. L'Arboriculture Fruitière, 646: 27-31.

Christensen, J.V. 1972. *Cracking in cherries. III. Determination of cracking susceptibility.* Acta Agriculturae Scandinavica, 22: 128-136.

Christensen, J.V. 1972. *Cracking in cherries. IV. Physiological studies of the mechanism of cracking*. Acta Agriculturae Scandinavica, 22: 153-161.

Crétè, X., Regnard, J.L., Ferre, G., Tronel, Cl. 2000. *Filets paragrêle. Effets secondaires et conséquences sur la conduite du verger.* L'Arboriculture fruitière, 544: 51-55.

Dalmau, R. *La rugosidad de la manzana*. 1979. Ministerio de Agricultura. Hojas divulgadoras. Nº. 16-79 HD. Madrid. 16 pp.

Fernández Escobar, R. 1988. *Planificación y diseño de plantaciones frutales*. Mundi-Prensa. Madrid. 205 pp. [32-35].

García, J. 1976. *Pedriscos y granizadas*. Ministerio de Agricultura. Hojas divulgadoras, Nº 20-76 HD. 20 pp.

García de Pedraza, J. 1977. *Rocío y escarcha*. Ministerio de Agricultura. Hojas divulgadoras, Nº 20-77 HD. 20 pp.

García de Pedraza, J., García J. 1978. *Diez temas sobre el clima*. Ministerio de Agricultura. Publicaciones de Extensión Agraria. 213 pp. [53-165].

Gil-Albert, F. (1989). *Tratado de arboricultura frutal. Vol. II. La ecología del árbol frutal*. Mº. Agricultura P.A. Mundi-Prensa. Madrid. 232 pp. [99-152].

Guyot, G., Elejabeitia, P. 1970. *Los cortavientos en agricultura*. C.S.I.C. Est. Exp. de Aula Dei. Cuaderno n.º 4. Zaragoza. 64 pp. [5-30].

Iglesias, I., Alegre, S. 2005. *Efecto de las mallas antigranizo en la protección de los frutos, la intercepción de radiación, la temperatura y la calidad de diferentes variedades de manzana. Análisis de los costes de instalación*. Fruticultura Profesional, 150: 25-42.

Martínez Zaporta, F. (1964). *Fruticultura. Fundamentos y prácticas*. Mº. Agricultura. INIA. Madrid. 1003 pp. [272-280].

Merino, D. 1991. *Cortavientos en agricultura.* Agroguías Mundi-Prensa. Mundi-Prensa. Madrid. 80 pp. [13-33].

Mezeix, J.F., Waldvogel, A., Vento, D. 1986. *El granizo.* Mundo Científico. N.º 58: 484-494.

Pérez, J.A. García, T. 1988. *El "rajado" de la cereza y los tratamientos contra "gnomonia"*. Agricultura, 676: 802-805.

Pérez, J.L., Ramos, J.L., García-Escudero, E. 2010. *Recomendaciones en viñedo después de una granizada*. Gobierno de La Rioja. Cuaderno de Campo, mayo-2010, N.º 44: 36-39.

Royo, J.B., Laquidain, M.J., M., González, J., Molina, A. 2000. *Daños y síntomas producidos en la vid por accidentes meteorológicos*. ENESA. Ministerio de Agricultura P. A. Madrid. 86 pp. [59-81].

Royo, J.B.; Miranda, C.; Santesteban, L.G.; Urbina, V. 2011. *Influencia de los daños de pedrisco en la madera de manzanos sobre la capacidad productiva de los años posteriores*. Revista de Fruticultura, 17: 40-47.

Royo, J.B.; Miranda, C.; Santesteban, L.G.; Urbina, V. 2012. *Influencia de los daños de pedrisco en la madera de peral sobre su capacidad productiva*. Vida Rural 15/septiembre/2012: 40-46.

Sánchez, J.L. 2013. *Entrevista del mes: Dr. José Luís Sánchez. Campañas de lucha antigranizo.* RAM - Revista del Aficionado a la Meteorología. Entrevistas. 8-agosto-2013. www.tiempo.com.

Tabuenca, M.C. 1965. *Influencia del clima en plantaciones frutales.* C.S.I.C. Est. Exp. de Aula Dei. Boletín n.º 8. Zaragoza. 297 pp. [193-216].

Tabuenca, M.C. Cambra, M. 1982. *Susceptibilidad al agrietamiento de los frutos de distintas variedades de cerezo (Prunus avium L.).* Anales Est. Exp. de Aula Dei, 16 (1/2): 95-99.

Urbina, V., Costa, J., Dalmau, R., Godall, M. 1991. *Efectos producidos por la lluvia en frutales de pepita y hueso. Informe final - Memoria*. Entidad Estatal de Seguros Agrarios - ENESA. Madrid. 265 pp. [10-193]. http://repositori.udl.cat/handle/10459.1/48182.

Urbina, V. 2007. *Daños por granizo en frutales. Sintomatología y evaluación.* Curs: Valoració de danys climatològics i incendis. Centre de Formació i Estudis Agrorurals. DARP - Generalitat de Catalunya. Reus (Tarragona) 28 i 29 de maig de 2007. 6 pp.

Westwood, M.N:, Bjornstad, H.O. 1970. *Some factors affecting rain cracking of sweet cherries*. Proc. Oregon Hort. Soc., 61: 70-75.

Westwood, N.H. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 461 pp. [31-38].

Yuri, J.A. 2010. *Daños por el sol en manzanas*. Revista de Fruticultura, 8: 4-15.

Zinoni, F., Nanni, S. 2001. *Il monitoraggio e la difesa dalla grandine in Emilia-Romagna tra realtà e speranze*. Frutticoltura, n.º 9 - 2001: 55-58.

Actividades prácticas recomendadas

Capítulo 4. Insolación, lluvia y humedad ambiental, viento, granizo y otros factores climáticos

1 [Campo]. En las plantaciones de manzano del Campo de Prácticas, observar cómo se han producido defectos de color o quemaduras por el sol en frutos muy expuestos. En invierno, observar en las plantas madres de estaquillas de híbridos almendro x melocotonero que algunos ramos interiores débiles se han secado por falta de luz. Asimismo, en las plantaciones de peral observar cómo en las zonas peor iluminadas de los árboles ha habido una menor inducción floral y hay menos yemas fructíferas.

2 [Taller]. Determinar la altura máxima recomendable de los árboles de una plantación ubicada en una latitud de 42º N, formada en seto plano y orientada E-O, para una anchura de 3, 4 y 5m.

3 [Taller]. A partir de los datos climáticos sobre lluvia, de una serie de 10 años de un observatorio, determinar la viabilidad de la zona para establecer una plantación en secano; y, en su caso, que especies serían recomendables.

4 [Taller]. A partir de los datos analizados en la actividad anterior establecer la incidencia que la lluvia puede tener en la zona, para plantaciones frutales de manzano y cerezo en regadío. Complementar el análisis con la humedad ambiental.

5 [Campo]. Observar en la plantación de cerezos del Campo de Prácticas la incidencia del agrietado de frutos en las diferentes variedades y analizar su relación con las condiciones meteorológicas de la campaña.

6 [Campo]. Observar en las plantaciones de manzano Golden Delicious y Golden Paradís del Campo de Prácticas el grado de russeting de los frutos y analizar las diferencias encontradas y su causa.

7 [Campo]. Observar en las plantaciones del Campo de Prácticas, en un día de invierno con temperaturas bajo 0ºC y con niebla intensa, la centellada producida sobre los árboles y analizar su repercusión.

8 [Campo]. Observar y analizar en una plantación de secano y en ladera, los efectos que tienen las lluvias fuertes de las tormentas de verano y proponer acciones a llevar a cabo en la plantación.

9 [Campo]. Observar una plantación formada en eje central y sin sistema de apoyo, sometida a un viento dominante fuerte, la deformación que presentan los ejes de los árboles en su parte superior y proponer las medidas que hubiera sido necesario adoptar para evitar el efecto.

10 [Campo]. Observar y analizar en una plantación frutal en la que exista un cortaviento con seto vivo, la repercusión que éste tiene sobre los árboles y la explotación.

11 [Taller]. A partir de los datos climáticos sobre viento, de una serie de 10 años de un observatorio, establecer la incidencia que puede tener para una plantación frutal a establecer en la zona y qué medidas deben tomarse.

12 [Taller]. A partir de los datos climáticos sobre granizo, de una serie de 10 años de un observatorio, establecer el riesgo existente en la zona para una plantación frutal y proponer acciones a llevar a cabo.

13 [Campo]. Observar en una plantación que haya sido dañada por pedrisco el año anterior, como se ha llevado a cabo la cicatrización de las heridas. Analizar las intervenciones de poda realizadas en los árboles y su respuesta. Realizar también la observación en plantaciones en las que hayan transcurrido dos o más años desde el pedrisco.

14 [Taller]. A partir de los datos climáticos sobre rocío y escarcha, de una serie de 10 años de un observatorio, establecer la incidencia de estos meteoros sobre las plantaciones frutales de la zona.

15 [Campo]. Observar en otoño en una plantación frutal la diferencia entre el rocío depositado en la cubierta vegetal y el depositado en las hojas de los árboles y analizar la causa. Establecer la incidencia que el rocío tiene sobre la plantación. Igualmente, realizar la observación en invierno cuando haya tenido lugar una escarcha y analizar su incidencia.

Cuestionario de evaluación

Capítulo 4. Insolación, lluvia y humedad ambiental, viento, granizo y otros factores climáticos

1. ¿Qué se entiende por insolación y por radiación fotosintéticamente activa?

2. ¿De qué depende la distribución de luz en la copa de un árbol? ¿Cómo se distribuye la luz en el caso de una copa grande semiesférica?

3. ¿Cómo influye la falta de luz en la vegetación y en la fructificación de un árbol frutal?

4. ¿Cuándo se produce asurado de las hojas y qué efectos tiene un exceso de insolación sobre los frutos?

5. ¿Qué importancia tiene la lluvia para los cultivos leñosos en España? ¿Qué cantidad de precipitación se requiere para cultivar frutales sin riego y con qué distribución?

6. ¿Qué diferencias hay entre la incidencia de un exceso de lluvia en el período de reposo y en el período de actividad de las plantas?

7. ¿Qué efectos tiene la lluvia en los diferentes procesos que se llevan a cabo durante la fructificación?

8. ¿Qué es el russeting? ¿Qué características presenta el russeting originado por la lluvia?

9. ¿Qué condiciones favorecen la incidencia del russeting en las manzanas? ¿En qué época son más sensibles los frutos y qué factores inciden en la adquisición de russeting?

10. ¿Qué influencia tiene la lluvia en el agrietado de frutos y cuáles son las especies frutales más sensibles?

11. ¿Por qué se produce el agrietado de frutos y qué factores influyen sobre el mismo?

12. ¿En qué momento son más sensibles los frutos al agrietado y qué diferencias varietales se presentan?

13. ¿Qué efectos tiene la lluvia sobre el manejo de la plantación y sobre qué actividades incide?

14. ¿Qué aspectos deben considerarse al estudiar la influencia del viento en una plantación?

15. ¿Qué incidencia tienen los vientos fuertes sobre la vegetación en las diferentes épocas del año?

16. ¿Qué efectos produce un viento fuerte sobre los frutos y cuáles son los frutos más afectados?

17. ¿Qué efectos favorables tiene el viento en una plantación y en qué condiciones debe soplar?

18. ¿Cómo se puede proteger una plantación del viento fuerte dominante?

19. ¿En qué épocas tienen lugar las tormentas de granizo y con qué intensidad? ¿Hay diferencias en la actividad tormentosa entre zonas?

20. ¿Qué condiciones favorecen la formación de tormentas de granizo? ¿Qué diferencia hay entre granizo y pedrisco?

21. ¿Cómo se forma el granizo y el pedrisco y qué características tienen los núcleos tormentosos que los originan?

22. ¿Qué daños produce el granizo sobre el tronco y la ramificación? ¿Qué repercusión tienen estos daños sobre la plantación?

23. ¿Qué daños produce el granizo sobre los frutos según su estado de desarrollo?

24. ¿Cómo se puede actuar contra el granizo?

26. ¿Cómo se forma la niebla, qué tipos se presentan y en qué zonas es característica?

27. ¿Como influye la niebla en una plantación frutal?

28. ¿Qué es el rocío, la escarcha y la centellada? ¿Cómo se forman estos meteoros?

29. ¿Qué incidencia tiene el rocío sobre la plantación? ¿Qué incidencia tiene la escarcha y la centellada sobre la plantación?

30 ¿Qué efectos negativos y positivos tiene la nieve sobre las plantaciones frutales? ¿En qué casos puede resultar grave la nevada?

5

EL SUELO. INTRODUCCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS

1. El suelo y las especies frutales.
2. Estudio del suelo.
3. Fisiografía y topografía de la finca.
4. Origen del suelo y antecedentes culturales.
5. Perfil del suelo.
6. Textura y estructura.
7. Temperatura del suelo.
8. Permeabilidad
9. Capacidad de reserva de agua.
10. Pedregosidad y otras características físicas.
11. Bibliografía.

Actividades prácticas y cuestionario de evaluación.

1. El suelo y las especies frutales

Las especies frutales presentan, en general, una amplia adaptación a los diferentes tipos de suelo, aunque, evidentemente el desarrollo del cultivo estará condicionado en mayor o menor grado por las propiedades del suelo, en interacción con las otras condiciones ecológicas, sobre todo climáticas.

Las características del suelo condicionan el desarrollo y la distribución del sistema radical de las plantas. Además, el suelo será el suministrador de agua y elementos nutritivos y contribuirá a la sustentación de las plantas. Evidentemente, el suelo puede llegar a tener una gran repercusión en el rendimiento de la plantación, o incluso ser un factor limitante para el cultivo, pero si las condiciones son normales, es decir que no hay aspectos restrictivos, el suelo no ejerce una gran influencia sobre el cultivo.

Desde un punto de vista práctico, para dar una idea global del tipo de suelo sobre el que se asienta la plantación se emplean términos que definen sus características más influyentes sobre manejo y el rendimiento de la planta. Por ejemplo, se habla de suelos pesados o ligeros, húmedos o secos, fértiles o pobres, superficiales o profundos, pedregosos, etc. Aunque el suelo tenga algunas restricciones que no permitan caracterizarlo como un suelo bueno, con un manejo adecuado y con actuaciones correctoras se puede conseguir que el cultivo se desarrolle aceptablemente. Claro está, lo ideal sería que todas las características del suelo fueran óptimas; pero esto raramente ocurre en nuestras zonas frutícolas.

Las restricciones más comunes e importantes que suelen presentar los suelos para el cultivo frutal son las referentes a: profundidad, permeabilidad, contenido de caliza activa y salinidad. Será importante conocer todas las posibles restricciones del suelo antes de establecer la plantación. De esta forma se puede elegir el material vegetal más adecuado, sobre todo el patrón, y tomar las medidas pertinentes en el diseño de la plantación y en la preparación del terreno. Una vez implantado el cultivo, muchas de las actuaciones sobre suelo serán mucho más difíciles de ejecutar o incluso imposibles de llevar a cabo.

Junto con las condiciones topográficas, las características físicas y químicas del suelo determinarán el sistema de mantenimiento del suelo a elegir en secano o en regadío, para prevenir su conservación y para que muestre un comportamiento adecuado a las necesidades en cada momento del año. La capacidad de almacenar y de ceder calor, la capacidad de infiltración del agua, el grado de aireación, la facilidad de compactación, etc., determinarán las actuaciones y labores más convenientes a realizar.

Así mismo, para el proceso productivo de la plantación será de gran ayuda conocer las características físicas y químicas del suelo a la hora de planificar el riego y la fertilización, ya que nos informarán de la capacidad de almacenamiento de agua y de la disponibilidad de elementos nutritivos.

Durante la vida de la plantación también debe vigilarse cuál es la evolución del suelo, para corregir o limitar los aspectos desfavorables y conservarlo adecuadamente. La falta de adaptación de la planta a las características que presenta el suelo, en muchas ocasiones, se va manifestando más acusadamente según transcurren los años, lo cual acentúa su repercusión económica, y en la mayoría de los casos tiene una difícil solución.

En ocasiones se exagera la importancia del suelo sobre los aspectos productivos, como por ejemplo sobre la calidad de los frutos. Además se generaliza a todo un territorio, cuando la variabilidad del suelo puede ser importante, e incluso hasta en una misma finca. En muchos de estos casos, en que por un motivo de denominación de origen o comercial se trata de diferenciar la producción obtenida en una zona, las posibles diferencias en esa producción suelen estar más marcadas por la influencia de otros condicionantes ecológicos y por el manejo de las plantaciones que por el propio suelo.

Aunque en algunos casos, como ocurre en la viña, las características del suelo pueden ayudar a controlar determinados aspectos de la planta como vigor, producción, etc., consiguiendo así vinos diferenciados o de mayor calidad; contribuyendo, en este caso, el suelo a esa valorización.

En este sentido, la utilización del término francés "terroir", introducido en viticultura y luego generalizado a otros cultivos, puede crear confusión con el término terreno, referido al suelo de la plantación. El "terroir", según la OIV (Organización internacional de la viña y del vino), es un concepto que se refiere a un espacio en el que interaccionan el medio físico y biológico y las prácticas de cultivo, para conferir unas características distintivas a los productos originarios de ese espacio. El "terroir" incluye características específicas del suelo, de la topografía, del clima, del paisaje y de la biodiversidad.

Resumiendo, podemos decir que con un buen manejo y una correcta aplicación de fertilizantes y, especialmente, de agua, el suelo deja de tener peso importante en el cultivo de frutales, a no ser que presente alguna restricción grave en sus características que afecte al rendimiento de la plantación. Por esto último es imprescindible conocer las características del suelo.

2. Estudio del suelo

Para conocer las características de un suelo y determinar su aptitud para establecer una plantación frutal se requiere inspeccionar la finca y tomar muestras de suelo para que sean analizadas en un laboratorio.

En la inspección de la finca se deben estudiar, en primer lugar, aspectos del medio físico relacionados con el suelo. La fisiografía, o espacio geográfico en que se enclava la finca, y su topografía, condicionarán a la plantación. También es conveniente estudiar el origen geológico, la formación del suelo y los antecedentes culturales de la finca.

Además se estudiará la variabilidad del suelo en las diferentes parcelas de la finca, para establecer el número de puntos de muestreo para analizar. Si el suelo es muy uniforme, una calicata puede representar a 5-10 ha, por el contrario, si hay gran variabilidad se requerirán varios puntos de muestreo para dicha superficie. En caso de duda se realizarán sondeos ya que puede haber variaciones importantes en la profundidad del suelo sin presentar síntomas externos.

Para los análisis es muy conveniente realizar calicatas con una profundidad de al menos 0,7-1 m que es, normalmente, hasta dónde se desarrollará la parte más importante del sistema radical de los árboles. Se estudia previamente el perfil de suelo y luego se toman separadamente muestras de tierra de los diferentes horizontes. Si se toma una sola muestra y la capa de suelo muestreada tiene horizontes diferentes, los resultados del análisis pueden dar lugar a conclusiones erróneas.

Para conocer los valores medios de una capa de suelo, la muestra tomada en sentido vertical debe contener un volumen de suelo constante para toda su profundidad. Esto se consigue más fácilmente empleando una sonda. Si no se realiza un análisis por horizontes, debe tomarse una muestra de la capa superficial, hasta una profundidad de unos 30 cm (capa labrada) y otra muestra de la capa profunda (desde los 30 cm hasta los 70 cm, al menos).

Algunas empresas dedicadas al asesoramiento y análisis de suelos realizan todo el proceso y se encargan también de la toma de muestras en el campo con equipos especializados.

En el perfil del suelo se estudiarán características físicas (profundidad, estructura, etc.) y biológicas (raíces y fauna). Paralelamente, es también conveniente realizar un ensayo de permeabilidad en cada zona diferenciada según los perfiles de suelo.

Los análisis de suelo en laboratorio incluyen, en general, las siguientes determinaciones:

Físicas:

- Porcentaje de tierra fina.
- Humedad.
- Textura (arena gruesa y fina, limo y arcilla).
- Relaciones suelo-agua.
- Conductividad eléctrica a 25 ºC (en extracto 1/5).

Químicas:

- Materia orgánica oxidable.
- pH en agua.
- Carbonato cálcico.
- Caliza activa.
- Capacidad total de cambio.
- Fosforo asimilable.
- Potasio asimilable.
- Magnesio asimilable.
- Calcio asimilable.

En análisis más completos, o si las condiciones lo requieren, se incluyen otras determinaciones, como conductividad en pasta saturada, sodio, manganeso, zinc, hierro, cobre, sulfatos, etc.

Es imprescindible que los resultados facilitados incluyan el método de análisis, para la correcta interpretación. Con frecuencia, los laboratorios indican junto con los resultados la categoría en la que se encuentran los valores (ejemplo: alto, medio, bajo). Algunos laboratorios dan los resultados con una interpretación más extensa y añaden consejos para el cultivo de determinados frutales.

En los siguientes apartados de este texto se hace una breve referencia a las características más importantes del suelo y a su influencia en el cultivo de frutales, sin entrar en sus fundamentos que se estudian en la materia Edafología y en su aplicación que se estudia en la materia Fitotecnia.

3. Fisiografía y topografía de la finca

El estudio de la fisiografía de la finca tiene como finalidad establecer los posibles condicionamientos para la plantación derivados del espacio geográfico en que se localiza.

La posición fisiográfica (ladera, hondonada, etc.) tiene especial influencia. El relieve y los componentes geográficos que caracterizan la zona y que están próximos o lindan con la plantación, como por ejemplo: montañas o colinas, ríos y embalses, masas forestales, zonas rocosas, barrancos, etc.; así como el origen y el modelado que ha tenido el terreno y el paisaje; ejercen influencia sobre el microclima y el terreno de la plantación. Estos accidentes geográficos pueden modificar las condiciones de helada, viento, humedad ambiental, etc. El origen del suelo determinará sus características; el relieve y la ubicación de la finca determinarán el riesgo de erosión, inundación, etc.; asimismo, los aspectos bióticos del entorno influirán sobre la plantación (reservorios de plagas, roedores, etc.) y contribuirán a la biodiversidad.

La topografía de la finca será determinante para la elección de la tecnología de producción de la plantación, especialmente para el sistema de riego, aunque también condicionará el mantenimiento del suelo y la mecanización. Asimismo, la disposición de las plantas, y en definitiva el diseño de la plantación, deberán adaptarse a las condiciones topográficas.

En ocasiones será preciso modificar la topografía de la finca y la forma o dimensión de las parcelas, como lo fue en las nivelaciones y abancalados realizados en las trasformaciones a riego por gravedad. Aunque actualmente con los riegos localizados, es frecuente desabancalar para permitir filas más largas o mejor orientadas. También en el caso de necesitar drenajes, su trazado dependerá de la topografía de la finca. Lo mismo sucede con la previsión de obras para evitar escorrentías en lluvias torrenciales.

Antes de realizar trasformaciones en la topografía del terreno será preciso conocer las características del suelo, especialmente su profundidad y las características de las capas profundas, para evitar que algunas zonas queden en malas condiciones con la trasformación. Asimismo se bebe conocer si hay afloramientos rocosos u otros impedimentos.

Los terrenos en pendiente presentan dificultad para el cultivo y para la mecanización. Para un trabajo normal de la maquinaria en la plantación se recomienda que la pendiente no supere el 15%. Con pendientes superiores al 30-40% será preferible la repoblación forestal que el establecimiento de frutales.

4. Origen del suelo y antecedentes culturales

En la formación del suelo han contribuido, además del material originario, las condiciones climáticas, la topografía, la flora y la fauna, y las actividades humanas. El conjunto de procesos desarrollados en suelo a lo largo del tiempo dan origen a un perfil característico que pone en evidencia su mayor o menor adecuación para el cultivo de frutales.

El estudio geológico de la zona da una idea de la uniformidad que podemos encontrar en el suelo. Junto con la vegetación existente y su estado pone de manifiesto la existencia de zonas poco favorables para el cultivo, como son las margas arcillosas, calizas o yesosas; las areniscas poco profundas o con capas impermeables, los aluviales recientes con exceso de grava y piedras, etc.

Los mapas de suelos disponibles dan una información previa valiosa sobre el tipo de suelo que podemos encontrar la finca, según el orden principal de suelo o clasificación que se establezca en el mapa. También pueden encontrarse en algunas zonas estudios y mapas de aptitud que recogen su idoneidad para la producción de fruta. En estos estudios se tienen encuentra, además del suelo, aspectos climáticos y agronómicos. Por ejemplo, en el proyecto FruitMap llevado a cabo en Cataluña se dan indicaciones generales de la aptitud de las zonas de cultivo (http://afrucat.com/ca/usuaris).

En el estudio del suelo es preciso recabar también información sobre los antecedentes culturales de la finca, sobre todo para replantaciones. Si la finca ha tenido antes prácticas no adecuadas de manejo del suelo que han provocado erosión, compactación, acumulación de sales, etc., será preciso tomar medidas previas para su corrección. La acumulación de residuos de herbicidas de cultivos anteriores puede afectar el enraizamiento de la nueva plantación.

En el caso de replantaciones será muy útil conocer el estado en que se encontraba la plantación anterior y si las plantas presentaban problemas en determinadas zonas de la finca debido al suelo, para estudiar esas zonas y conocer sus características, con la finalidad de corregir o paliar sus limitaciones y elegir el material vegetal que mejor se adecúe a las características de esas parcelas concretas.

Además de disponer de los antecedentes culturales será útil recabar información sobre posibles trasformaciones que se hayan realizado en el terreno anteriormente y sobre la disponibilidad de análisis de suelos de años anteriores, para conocer así la evolución del suelo.

5. Perfil del suelo

El perfil que presenta el suelo será un indicador importante de las características físicas y biológicas que presenta el mismo.

Para estudiar el perfil del suelo con fines frutícolas, en las calicatas realizadas se debe profundizar como mínimo de 0,7 m a 1 m; y en los casos que haya duda sobre las características de las capas inferiores conviene profundizar hasta 1,5 m.

En el perfil se observan las diferentes capas, denominadas horizontes, que lo componen. Tienen su origen en la desintegración de la roca originaria o en el arrastre de materiales de otras zonas y en los procesos físicos, químicos y biológicos que han tenido lugar. Atendiendo a una nomenclatura normalizada, los horizontes principales se denominan por medio de letras mayúsculas a las que se añade como subíndice una letra minúscula que indica el proceso edafogénico.

Comúnmente, desde un punto de vista práctico, se consideran en el perfil de un suelo agrícola tres horizontes característicos, denominados por las letras A, B y C, con dimensiones muy variables según las características de su formación. En perfiles complejos deberán estudiarse minuciosamente sus diferentes capas. Así mismo, en un estudio más riguroso debe utilizarse una nomenclatura normalizada para los horizontes.

El horizonte A representa a la capa superficial que generalmente coincide con la labrada, por lo que se le denomina horizonte de laboreo. Es el horizonte más rico en materia orgánica, bien por el aporte de estiércol o por los procesos de descomposición de los restos de la vegetación y las raíces. Este horizonte está sometido a cambios bruscos de temperatura y humedad, y al lavado de sus elementos solubles (excepto en los casos de ascenso de sales) y arrastre de partículas a las capas inferiores. En este horizonte hay una mayor actividad biológica.

El horizonte B presenta, en general, bastante profundidad y uniformidad, tiene mucha menos materia orgánica que el superficial y suele estar enriquecido por la acumulación de materiales lixiviados de las capas superiores (arcilla y caliza).

El horizonte C se caracteriza por presentar una discontinuidad acusada con el anterior que en algunos casos corresponde con el material originario de la roca madre en proceso de desintegración; y en otros casos con capas de piedras más o menos cementadas, capas arcillosas muy compactadas, capas de caliza, etc.

Estos horizontes genéricos descritos son comúnmente la referencia para tomar las muestras de tierra, coincidiendo con los horizontes A y B. Aunque se insiste en la necesidad de estudiar detalladamente cada horizonte si el perfil del suelo es más complejo, definiendo la transición entre horizontes y los subhorizontes apreciables.

5.1. Estudio del perfil del suelo

El estudio en campo del perfil del suelo incluye las siguientes características:

- Delimitación de horizontes y color.
- Profundidad.
- Estructura.
- Consistencia.
- Porosidad.
- Compactación.
- Elementos gruesos y pedregosidad.
- Contenido de raíces y fauna.
- Nivel freático, humedad y drenaje.

A continuación se realiza una breve descripción de estas características y de su importancia.

La delimitación de los diferentes horizontes del perfil en unos casos es clara y con un cambio acusado de color, en otros casos el cambio es gradual y poco definido. Estos horizontes serán la referencia para la toma de muestras de tierra.

La profundidad del perfil puede estar limitada por condiciones mecánicas (roca madre, capa de petrocálcico o compacta), químicas (capa caliza o salina), o fisiológicas (capa freática).

Los suelos con profundidad inferior a 0,5 m serán muy limitantes para el cultivo de frutales y no permitirán un buen anclaje. Profundidades de 0,7 a 1 m permiten ya sin problemas el cultivo si se mantienen las condiciones adecuadas de humedad. En general, la mayor parte del sistema radical de los frutales en regadío se encuentra distribuido hasta una profundidad de aproximadamente 1 m o algo más, y si el riego es localizado se hallará principalmente concentrado en el bulbo húmedo.

Evidentemente, profundidades mayores de suelo serán más favorables para el cultivo, sobre todo en secano, ya que en caso necesario, la capacidad de las raíces de

explorar capas de suelo profundas les permite encontrar reservas de agua y nutrientes. Además cuanto más profundo se localice el sistema radical más posibilidades tendrá de aprovechar el nitrógeno arrastrado por el agua.

En definitiva, la profundidad de suelo requerida viene marcada por la necesidad de anclaje y por las limitaciones impuestas por el suministro de agua y nutrientes a la planta.

La estructura depende de la agrupación que presentan las partículas del suelo, formando agregados de diferentes formas y grado de estabilidad. La materia orgánica es fundamental para tener una buena estructura del suelo. Una buena estructura permite que el aire y el agua circulen bien. Esta característica será tratada en un punto posterior.

La consistencia se estudia en suelo mojado (adhesividad y plasticidad), húmedo y seco. Si el suelo ligeramente humedecido no se desmenuza bajo presión con los dedos se dice que es muy compacto. Ligada a otras propiedades, la consistencia influye en el desarrollo de las raíces y en el laboreo.

La porosidad del suelo está relacionada con la densidad aparente y es función de la textura o tamaño de las partículas y de su estructuración. Determina la aireación, la permeabilidad y la capacidad de retención de agua; estas dos últimas propiedades serán tratadas en un punto posterior

La oxigenación del suelo es imprescindible para la respiración de las raíces y de los microorganismos aerobios. El oxígeno afecta al crecimiento de las raíces y a la absorción de nutrientes y agua.

Los suelos de textura gruesa tienen menor cantidad total de espacio poroso, siendo los poros de gran tamaño (macroporos), por lo que el movimiento del agua y del aire se realiza con rapidez, secándose con facilidad. Su capacidad de retención de agua es baja y su densidad aparente es ligeramente superior a la de suelos de textura fina.

Los suelos de textura fina tienen una gran proporción de espacio poroso, siendo los poros de tamaño muy reducido (microporos), aunque por su elevado número hacen que la densidad aparente sea menor. Debido al reducido diámetro de estos poros, el agua está retenida con gran fuerza y se dificulta el movimiento del aire. Su capacidad de retención de agua es alta, por lo que serán más favorables para cultivos de secano, siempre que permitan una buena infiltración del agua de lluvia. Estos suelos se denominan comúnmente suelos pesados al ser más difíciles de trabajar y oponer mayor resistencia al laboreo, pero debe tenerse en cuenta que son más livianos que los suelos arenosos.

La compactación del suelo se produce por el paso de la maquinaria y por la disgregación de la estructura; y en las capas profundas también por la disminución del contenido de materia orgánica y por el peso de los horizontes superiores. Con la compactación aumenta la densidad aparente al disminuir el espacio poroso. El paso de la máquina por la calle de la plantación, siempre por la misma rodadura, compactará esa zona. La cubierta vegetal y el triturado de la leña de poda disminuyen la compactación. Antes de plantar, sobre todo en replantaciones, será preciso corregir la compactación mediante un subsolado que resquebraje en profundidad el suelo, y un alzado profundo que deje mullida la capa de enraizamiento de la futura plantación.

Cuando el suelo ha sido labrado muchos años a una misma profundidad, y sobre todo con pases de rotavator, se forma por debajo de la zona labrada una capa compacta denominada "suela de labor" que impide el drenaje y el paso de aire a las capas más profundas.

La observación del contenido de raíces, su tipo y su distribución en el perfil del suelo, dará información sobre la aptitud para el desarrollo radical y sobre la fertilidad. En replantaciones, según la ubicación de la calicata, la observación mostrará el comportamiento que ha tenido el sistema radical del cultivo anterior en los diferentes horizontes.

El contenido en fauna, junto con las raíces y el estado de la materia orgánica, son indicadores de la actividad biológica a lo largo del perfil del suelo. Los microorganismos del suelo intervienen en la descomposición de la materia orgánica, ya atacada por los organismos mayores. Dentro de la macrofauna cabe destacar a las lombrices de tierra por su actividad escarbadora y de trasformación de la materia orgánica, y por la excavación de galerías que mejora la aireación de las capas profundas.

La existencia de una capa freática impedirá el desarrollo del sistema radical debido a la falta de oxígeno. Será preciso observar la fluctuación del nivel freático entre invierno y verano para establecer con más precisión su incidencia. Si el nivel freático asciende y se mantiene un tiempo se produce la muerte por asfixia de las raíces sumergidas. Por ello es importante mantener constante el nivel freático mediante drenaje. Las raíces explorarán el suelo situado por encima de la capa freática.

Las condiciones de hidromorfismo pueden ser apreciadas en el perfil por coloraciones accidentales, como la presencia de gley (hierro ferroso con un color gris azulado o verdoso), y por manchas de herrumbre depositadas en torno a las raíces. También aparecen raíces muertas por asfixia que desprenden olores desagradables.

6. Textura y estructura

En las muestras tomadas de los horizontes del perfil del suelo se separan los elementos gruesos (diámetro > 2 mm) y la tierra fina (diámetro ≤ 2 mm). La textura del suelo o granulometría hace referencia al tamaño de las partículas de la tierra fina. Viene dada por la proporción de arena, limo y arcilla que existe en el suelo.

Las fracciones granulométricas dadas en los resultados analíticos corresponden, usualmente, a los siguientes diámetros (según criterios ISSS):

- Arena gruesa: 2,0 mm a 0,20 mm.
- Arena fina: 0,20 mm a 0,02 mm.
- Limo: 0,02 mm a 0,002 mm.
- Arcilla: menor de 0,002 mm.

Según los porcentajes de arena, limo y arcilla (en total 100%) que tenga un suelo será clasificado texturalmente. Es frecuente utilizar un diagrama triangular o triangulo de texturas como el reflejado en la Figura 5.1 para establecer la clase de textura a la que corresponde el suelo.

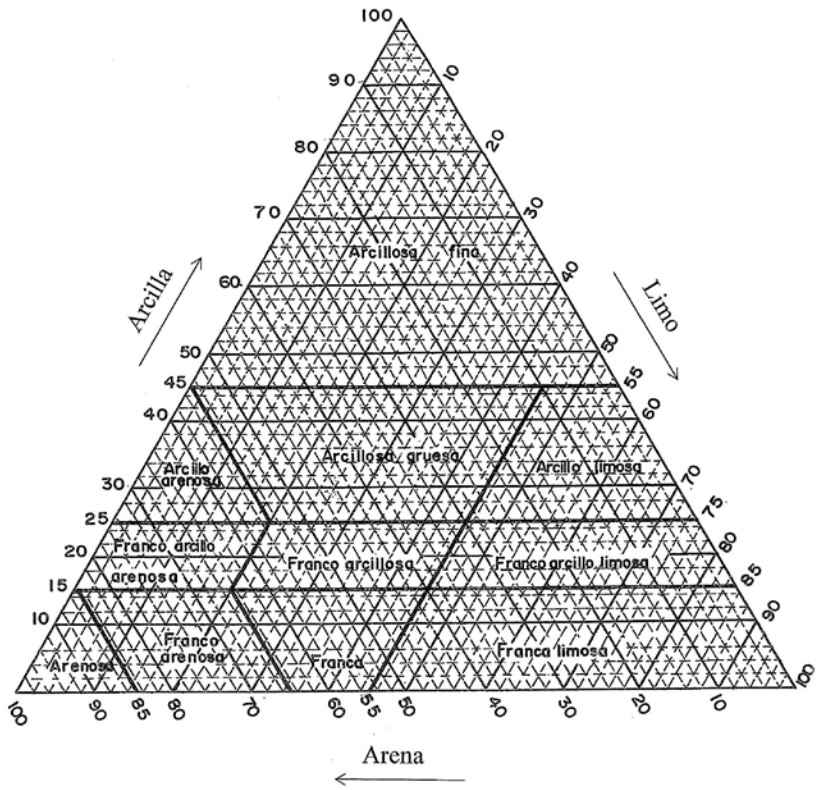


Figura 5.1. Diagrama triangular para la determinación de la textura del suelo (según la clasificación internacional - ISSS)

Según puede verse en la Figura 5.1, a partir de 45% de arcilla el suelo puede ser clasificado como arcilloso, mientras que se precisa alcanzar un 85% de arena para que sea clasificado como arenoso. Por tanto la arcilla tiene propiedades dominantes sobre las características del suelo, mientras que la arena es menos determinante.

Los suelos de textura fina son los que contienen partículas de menor tamaño, en general, con predominio de la arcilla. Tienen un alto contenido en materia coloidal por lo que son suelos fértiles ya que las arcillas tienen la capacidad de retener elementos nutritivos en forma asimilable en su superficie. Además las arcillas retienen muy bien el agua y en mucha mayor cantidad, al tener poros de tamaño muy reducido y en gran cantidad. Como efecto negativo pueden presentar una mala aireación y un drenaje deficiente, lo que origina asfixia radical en la planta e incremento de russeting en frutos. Los suelos arcillosos, en general, presentan plasticidad y tienen gran compactación, dificultando el laboreo y la penetración de las raíces que en estos suelos son generalmente gruesas y poco ramificadas.

Los suelos de textura gruesa tienen poca capacidad de retener el agua y presentan un bajo contenido de materia coloidal. Tienen un menor volumen total de espacio poroso, siendo los poros de gran tamaño, por lo que el agua y el aire se mueven con facilidad, por eso son suelos con buena aireación y buen drenaje, y tienen poca capacidad de retención de elementos nutritivos. En consecuencia son suelos de baja fertilidad y secos, su laboreo resulta fácil al ser suelos sueltos, pero ello conlleva un mayor riesgo de erosión. En estos suelos las raíces se desarrollan bien y se ramifican profusamente aunque algunas arenas suponen un obstáculo para crecimiento de las raíces. Las raíces tienen tendencia a extenderse más en estos suelos que en suelos arcillosos, aunque ello también depende de otros factores.

Conocer solo la textura es un dato insuficiente para tener una idea exacta de las propiedades físicas del suelo, dado que la adaptación para el cultivo de frutales también varía según su estado estructural.

La estructura del suelo se estudia en el perfil de la calicata, analizando la forma y tamaño en que se ordenan los aglomerados, la estabilidad y compacidad, y la configuración de los poros y su continuidad.

La estructura desempeña un papel fundamental en el comportamiento de las raíces, al influir sobre su capacidad de crecimiento y sobre la aireación del suelo. La estructura se degrada de varias maneras: por el desmenuzamiento provocado por el agua de lluvia, por disgregación al humedecerse el suelo, por deshielos con exceso de humedad en el

suelo, por arrastre de partículas y colmatación de grietas, por rotura o soldadura de agregados con la compactación, por exceso de sodio asociado con las arcillas, etc.

La materia orgánica favorece la ordenación estructural y la estabilidad de los aglomerados. El calcio del complejo arcillo-húmico también influye en la estructura. En una plantación frutal con cubierta vegetal, evitando encharcamientos y compactaciones, la estabilidad de los aglomerados se mantiene casi constante a lo largo de los años.

La presencia de poros o hendiduras entre los elementos estructurales y las galerías de las lombrices de tierra desempeñan un papel importante en la aireación de las capas profundas, sobre todo en suelos pesados.

Para el cultivo de frutales la textura más favorable es la del suelo franco, aunque son también muy favorables los suelos ligeramente franco-arcillosos o franco-arenosos. La adecuación dependerá también de otras características físicas, sobre todo de la estructura, como ya se ha comentado, además del manejo que se haga del suelo.

Las especies frutales tienen distinta adaptación a la textura del suelo, dependiendo del patrón utilizado. Es difícil predecir el comportamiento exacto que tendrán las plantas en cada tipo de suelo por los otros factores que intervienen en su desarrollo. Además el estudio de las raíces presenta una gran dificultad.

Generalizando, y si no hay otros factores limitantes, podemos afirmar que el peral, manzano, ciruelo y cerezo prefieren suelos ligeramente limosos y arcillosos que suelos arenosos. Por el contrario, el melocotonero, el almendro y el albaricoquero prefieren más suelos ligeramente arenosos que suelos arcillosos.

7. Temperatura del suelo

La temperatura del suelo tiene influencia sobre el crecimiento de las raíces y su actividad respiratoria; además tiene una gran influencia sobre la actividad microbiana del suelo.

La absorción de nutrientes disminuye con temperaturas del suelo excesivamente altas o bajas; la nitrificación es inhibida por las bajas temperaturas y la descomposición de la materia orgánica se reduce; y también otros procesos que ocurren en suelo son influidos por la temperatura (evaporación y condensación de agua, solubilidad de fertilizantes y sales, etc.)

El suelo capta la radiación solar y la reflejada por la atmósfera calentándose. La energía recibida dependerá de la localización geográfica, de las condiciones meteorológicas y de la fisiografía del terreno. Una ladera orientada al sur será más cálida que una orientada al norte. El suelo se enfría al perder calor, principalmente, por la radiación emitida por sus elementos sólidos pero también hay que añadir las pérdidas por la evaporación del agua que contiene y por la conducción de calor que se produce en contacto con el aire y hacia las capas inferiores.

Es complejo establecer el calentamiento o enfriamiento que se produce en un suelo a lo largo de su profundidad. Para analizar el comportamiento térmico del suelo debe tenerse en cuenta, por un lado, su capacidad de almacenar calor (calor específico) y, por otro, su capacidad para trasmitir calor (conductividad térmica); ambos factores varían según las características del suelo. Téngase en cuenta que el calor específico del agua es 1 (Kcal/kg ºC), del aire 0,24, del humus 0,47, de la arcilla 0,23 y de la arena 0,19. El calor específico de un suelo típico puede considerarse similar al del aire (referido a volumen el del aire sería despreciable) y unas 4 veces inferior al del agua. La conductividad térmica del aire es muy pequeña, la de las partículas de tierra unas 10 veces mayor y la del agua unas 30 veces mayor.

La superficie del suelo tiene una variación brusca de temperatura entre el día y la noche. Durante el día se calienta por la insolación que recibe, resultando positivo el balance y por la noche se enfría, principalmente, por la radiación que emite. Según se desciende en profundidad la variación diaria de temperatura se atenúa bastante y a más de 50 cm se considera que la variación de temperatura se produce sólo entre las estaciones del año. En la Figura 5.2 se representa, para un suelo franco arenoso seco, la variación diaria de la temperatura de la superficie y a 50 cm.

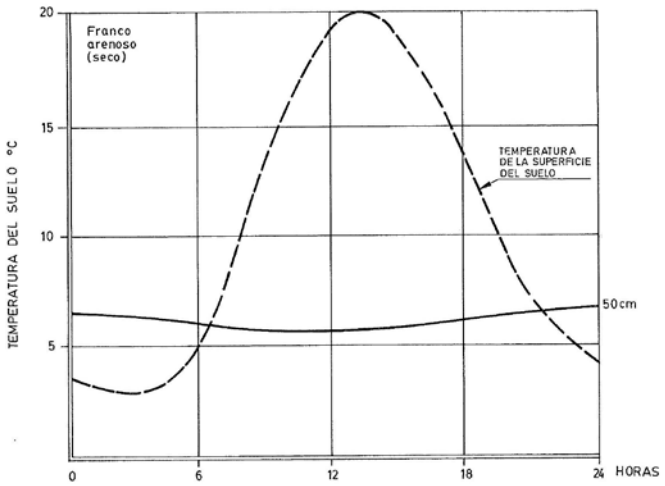


Figura 5.2. Variación diaria de la temperatura de la superficie y a 50 cm, en un suelo franco arenoso seco (Porta y López-Acevedo, 1994).

A lo largo del año, la temperatura de la capa superficial varía aproximadamente con la temperatura ambiental y, en general, es ligeramente superior a la del aire; por el contrario, en las capas inferiores del suelo la temperatura es inferior a la del aire en primavera y verano y superior en otoño e invierno.

7.1. Factores que influyen sobre el comportamiento térmico del suelo

La textura y estructura del suelo, junto con la humedad, mantienen una estrecha relación con la temperatura del suelo. El color del suelo sólo tiene una influencia muy ligera en la captación de calor. Estos aspectos, junto con el manejo que se haga del suelo, determinarán el comportamiento térmico. En definitiva, la temperatura del suelo dependerá de la relación entre la energía captada y la que se pierde.

Los impedimentos que tenga el suelo en su superficie para absorber energía como una cubierta vegetal espesa, una capa de mulching o incluso el laboreo superficial, hacen que se caliente menos durante el día.

El agua del suelo regula de forma importante la posibilidad de calentamiento o enfriamiento. Los suelos arenosos y secos se caracterizan como suelos calientes, al calentarse más rápidamente en primavera; por el contrario, los suelos arcillosos, ricos en materia orgánica y húmedos, se caracterizan como suelos fríos, al tardar más en calentarse.

Un suelo seco se calienta antes que un suelo húmedo pero la capacidad de almacenar calor será mucho mayor en un suelo húmedo. Asimismo, un suelo húmedo tendrá menos variación de temperatura que cuando está seco. Otro aspecto a tener en cuenta es que un suelo húmedo trasmite mejor el calor, por el contrario, un suelo seco y muy poroso conduce muy mal el calor. En la Figura 5.3 se representa esquemáticamente el comportamiento térmico de un suelo seco comparado con el de un suelo húmedo.

Una capa superficial labrada y esponjada hace de aislante. Durante el día hace que el suelo se caliente menos y durante la noche reduce la transmisión de calor de las capas más profundas del suelo a la atmósfera, lo que origina que la capa de aire situada inmediatamente encima del suelo se enfríe más. Además, el laboreo aumenta la superficie de radiación y aumenta la posibilidad de evaporación del agua que contiene el suelo, lo que también contribuye al descenso de la temperatura. El mismo efecto aislante, pero más acentuado, lo produce la cubierta vegetal de césped o más aún un mulching de paja. Esta reducción en la transmisión de calor durante la noche hace que el

riesgo de helada de radiación aumente, y además el suelo tiene menos posibilidades de captar calor durante el día.

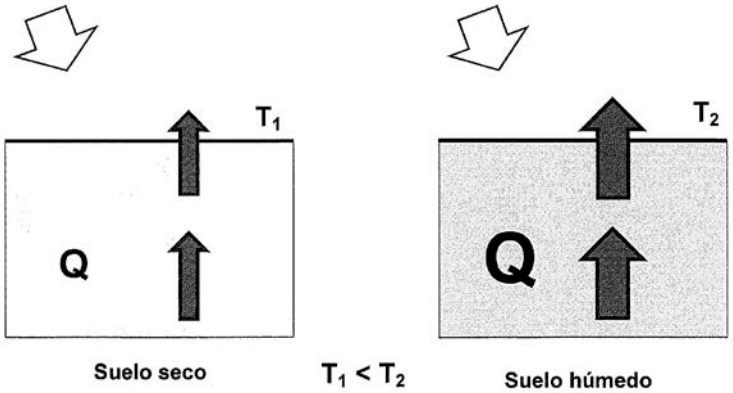


Figura 5.3. Calor almacenado y trasmisión de calor en un suelo seco y en un suelo húmedo (T: temperatura de la capa de aíre situada inmediatamente encima del suelo)

En la Figura 5.4 se representa esquemáticamente el comportamiento térmico de un suelo labrado apelmazado comparado con el de un suelo con cubierta vegetal. Se consideran suelos con las mismas características.

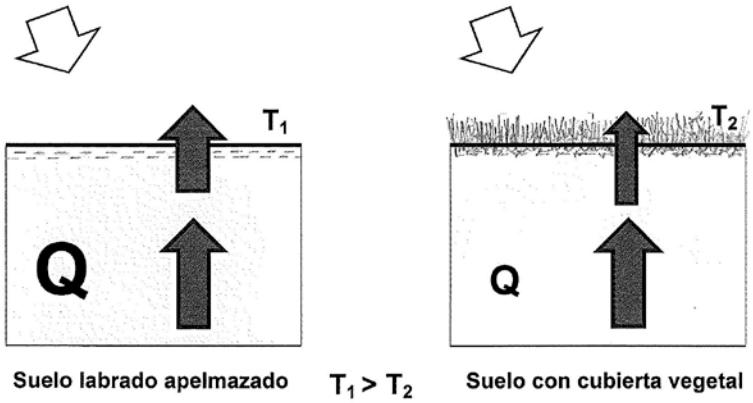


Figura 5.4. Calor almacenado y trasmisión de calor en un suelo labrado apelmazado y en un suelo con cubierta vegetal (T: temperatura de la capa de aíre situada inmediatamente encima del suelo).

Por lo tanto, para la protección contra las heladas de radiación se deberá favorecer la captación de calor por el suelo durante el día y luego disminuir la radiación y favorecer la transmisión de calor durante la noche, manteniendo la superficie labrada compactada o la cubierta vegetal bien segada.

Asimismo, un suelo húmedo dará más protección para la helada de radiación que un suelo seco, al tener más capacidad de conducir el calor desde las capas inferiores a las superiores, y además almacena más calor por su mayor calor específico, como ya se ha comentado.

8. Permeabilidad

Comúnmente se denomina permeabilidad a la capacidad de drenar agua que tiene un suelo. Es decir, a la mayor o menor facilidad de descenso del agua hacia las capas inferiores del suelo. También es una referencia para determinar el tiempo que permanecerá encharcado el suelo.

El término permeabilidad (o coeficiente de permeabilidad) se utiliza para denominar a la constante K de la ley de Darcy, aplicada al flujo de agua en el suelo; aunque su denominación correcta actual es conductividad hidráulica (K). Ésta es frecuente confundirla con la permeabilidad intrínseca (k) o constante específica de permeabilidad, que depende únicamente del suelo (o medio poroso), mientras que la conductividad hidráulica depende de las características del suelo y de las del fluido. La conductividad hidráulica referida a suelos no saturados también sigue denominándose permeabilidad.

La permeabilidad se mide por los centímetros que baja la capa de agua cada 30 minutos o una hora.

Permeabilidad e infiltración no son términos sinónimos. La infiltración hace referencia al proceso de entrada de agua a través de la superficie del suelo.

La velocidad de infiltración es la velocidad con que penetra el agua en el suelo en cada instante. Es decir, la cantidad de agua infiltrada por unidad de superficie y de tiempo. Si el suelo está seco el agua se infiltra inicialmente de forma muy rápida y ocupa todos los espacios lagunares desplazando al aire. Luego, esta velocidad tiende a disminuir deprisa y tiende a estabilizarse asintóticamente con el tiempo, denominándose velocidad de infiltración básica o final.

La velocidad de infiltración se mide como los milímetros de agua que penetran en 1 hora. Cuando el suelo está saturado de agua la velocidad final de infiltración corresponde a su permeabilidad o conductividad hidráulica.

Una vez sobrepasada la capacidad de campo, el agua infiltrada se irá eliminado por acción de la gravedad a las capas profundas, lo que se denomina percolación o drenaje interno.

Si el aporte de agua de riego o la precipitación de la lluvia es superior a la infiltración, se origina encharcamiento del suelo o bien escorrentía, dependiendo de la pendiente. Si la permeabilidad es muy baja el encharcamiento puede mantenerse un tiempo, y lo mismo ocurre si el suelo tiene un nivel freático alto.

La infiltración está condicionada por numerosos aspectos. En primer lugar por la precipitación o intensidad con que se aplica el agua y por las características del medio (pendiente y vegetación). Luego por las características del suelo (textura, estructura, contenido inicial de humedad, conductividad hidráulica, capacidad de almacenamiento de agua, etc. Además influirán las características del agua (partículas en suspensión) y aspectos del manejo del suelo (costra superficial, compactación de la superficie, laboreo reciente, etc.).

El agua del suelo también tiene movimientos laterales y ascendentes a una velocidad muy pequeña (inferior a un 1 centímetro al día). Además del agua consumida por el cultivo o la vegetación espontánea hay pequeñas pérdidas por evaporación en la capa superficial.

En la Figura 5.5 se representan esquemáticamente los movimientos del agua en suelo

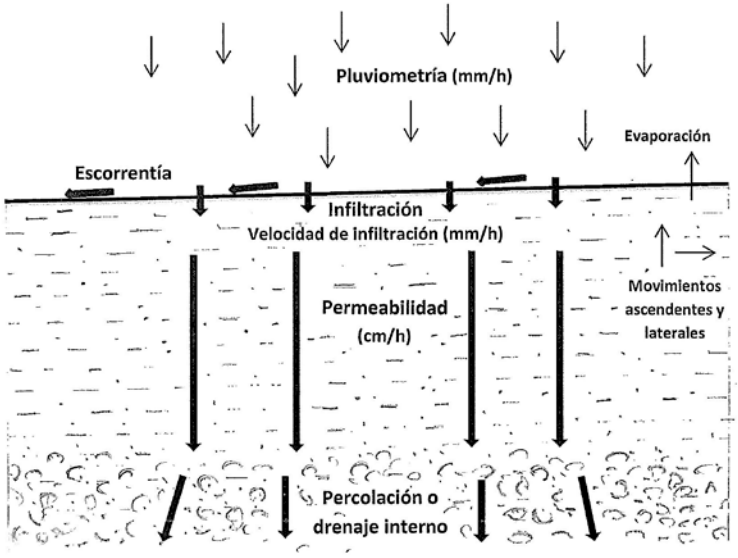


Figura 5.5. Movimientos del agua en el suelo.

En aquellos suelos en que se considere que puede haber problemas de encharcamiento se deberá determinar la conductividad hidráulica en saturación. Generalmente se mide con un infiltrómetro de doble anillo y lo que se determina es la velocidad final de infiltración, es decir, cuando se alcanza la tasa de infiltración constante. En la Tabla 5.1 se refleja, para un suelo en saturación, la velocidad final de infiltración, la clase de conductividad hidráulica equivalente y su correspondencia con las diferentes texturas del suelo.

Tabla 5.1. Conductividad hidráulica del suelo en saturación.

Velocidad final de infiltración (cm/h)	Clase	Textura del suelo
0,1 - 0,5	Muy lenta	Fina
0,5 - 2,0	Lenta	Moderadamente fina
2,0 - 6,0	Media	Media
6,0 - 12,0	Bastante rápida	Moderadamente gruesa
12,0 - 25,0	Rápida	Gruesa
>25,0	Muy rápida	Muy gruesa

8.1. Sensibilidad a la asfixia radical

La asfixia radical es un problema grave para los frutales porque son poco tolerantes, en general. Los suelos más adecuados para el cultivo de frutales son los que tienen una velocidad final de infiltración (permeabilidad) comprendida entre 6 y 25 cm/h, y son poco adecuados los suelos con velocidades finales de infiltración inferiores a 2 cm/h o superiores a 25 cm/h.

Los suelos con capas freáticas temporales a poca profundidad no son adecuados para los frutales y mucho menos si la capa freática es permanente. Si en el periodo vegetativo la capa freática permanece a unos 15-30 cm de profundidad más de una o dos semanas, y si el patrón es sensible, los daños pueden ser importantes. Se insiste en que los suelos encharcados o saturados de agua en alguna de sus capas no son aptos para el cultivo de frutales. Si se impide la respiración normal de las raíces, el crecimiento vegetativo y la producción se verán afectados, y si perduran bastante tiempo las condiciones de asfixia radical se verá en peligro la vida el árbol, sobre todo en el periodo vegetativo, como ya se ha comentado. Además, el estancamiento de agua favorece el desarrollo de enfermedades en las raíces y en la zona del cuello.

La sensibilidad a la asfixia radical varía según especies y variedades. En la Tabla 5.2 se refleja la tolerancia al encharcamiento de diferentes especies frutales. Estos datos son

orientativos puesto que debe conocerse la sensibilidad concreta de los posibles patrones a utilizar. Por ejemplo, el cerezo Santa Lucía, el manzano MI 973 y algunos almendros y albaricoqueros francos son muy sensibles; por el contrario, los membrilleros Provence C y BA-29, el peral *Pyrus betulifolia* y los ciruelos Mariana y Damas son bastante tolerantes.

Tabla 5.2. Tolerancia de diversas especies frutales al encharcamiento.

Especie	Tolerancia	Especie	Tolerancia
Membrillero	Muy tolerante	Avellano	Sensible
Peral	Muy tolerante - toler.	Aguacate	Sensible
Manzano	Tolerante - intermed.	Chirimoyo	Sensible
Ciruelo	Intermedia	Vid	Sensible
Cítricos	Intermedia	Nogal	Muy sensible
Cerezo	Intermedia - sensible	Almendro	Muy sensible
Melocotonero	Sensible	Cerezo Santa Lucía	Muy sensible
Albaricoquero	Sensible	Olivo	Muy sensible

Si el suelo tiene problemas de permeabilidad se deberá mejorar su estructura, habrá que elegir el patrón que presente una mayor tolerancia a la asfixia, y habrá que adecuar el sistema de riego (evitar riegos por inundación y aplicar cantidades menores de agua con mayor frecuencia). Si hay problemas por capas freáticas altas se deberán ejecutar drenajes antes de plantar y será conveniente disponer la plantación en meseta.

9. Capacidad de reserva de agua

El suelo actúa como depósito regulador de agua para el suministro de las plantas; abastecido exclusivamente por las precipitaciones en cultivos de secano y además por el riego en cultivos de regadío. La capacidad de reserva de agua depende de la porosidad del suelo. Luego, principalmente, según su textura y estructura tendrá mayor o menor capacidad de retención de agua.

El agua disponible para las plantas dependerá de su estado energético o, en definitiva, de las fuerzas a que está sometida. Desde un punto de vista fácil de comprender y simplificando los conceptos, tradicionalmente se ha clasificado el agua del suelo en tres clases:

a) Agua gravitacional o libre. Es agua que se desplaza libremente por los poros por la acción de la gravedad y, por lo tanto, se elimina mediante drenaje a las capas más profundas. El drenaje es inicialmente rápido (hasta 24 horas) y luego lento, dependiendo del tamaño de los poros, en el primer caso mayor de 50 micras y en el segundo de 10 a 50 micras.

b) Agua capilar. Es agua retenida por las partículas del suelo mediante fuerzas de tensión superficial. Parte de esta agua es utilizada por las plantas mientras que la fuerza de succión de las raíces pueda vencer a las fuerzas de retención. El agua retenida no es absorbible a partir de una fuerza de succión de 15 atmosferas

c) Agua higroscópica. Es agua fuertemente fijada a las partículas del suelo al ser atraída electrostáticamente. Esta agua no puede ser absorbida por las plantas. Representa una fracción muy pequeña del agua retenida.

También se encuentra agua de constitución de las materias en los diferentes componentes del suelo (materia orgánica, arcilla, etc.) y que, lógicamente, tampoco es utilizable por las plantas.

9.1. Potencial de agua

Desde un punto de vista de conocer la energía con que el agua está retenida en el suelo, y que puede ser atraída por las plantas, se emplea el concepto de potencial de agua (Ψ), que representa la energía necesaria para separar la unidad de peso, de masa o de volumen de agua de la matriz del suelo. El agua pura y libre tiene potencial cero, por lo que el agua del suelo no saturado tendrá potencial negativo, y el potencial de la planta también será negativo (excepto cuando se producen exudaciones). Este término de potencial sustituye a otros utilizados anteriormente, como tensión, fuerza o presión. Si la relación se da en energía/volumen la unidad de medida se expresa en J/m^3 o Pa (Pascal). Téngase en cuenta que 10^5 Pa = 10^5 N/m^2 = 1 bar = 1,02 atm (técnica).

El potencial de agua desciende exponencialmente al ir disminuyendo el contenido de agua del suelo. En la planta la evapotranspiración reduce el potencial en el tejido foliar y esta reducción se trasmite a través de los tejidos conductores a las raíces. La demanda hídrica establece un gradiente de potencial de agua en la planta que favorece la circulación de la misma hacia los tejidos de potencial más bajo.

En un suelo no saturado, los componentes esenciales del potencial hídrico total (Ψ_T) son los siguientes:

- Potencial matricial (Ψ_m). Denominado también potencial capilar. Es debido a mecanismos de retención de agua en el suelo por fuerzas de adhesión y cohesión (fuerzas capilares). Su valor es siempre negativo y cuanto más seco esté el suelo más bajo es el potencial matricial y mayor será la fuerza necesaria para extraer agua por las raíces. En un suelo saturado este potencial será cero.

- Potencial osmótico (Ψ_o). Depende de las sustancias disueltas en el agua del suelo y se debe a la diferencia de concentración a ambos lados de las membranas semipermeables de las células de las raíces, produciéndose un flujo de agua hacia la solución más concentrada. Este potencial es siempre negativo. Su acción se manifiesta claramente con el empleo de agua de riego salina, o en suelos salinos, en los que se dificulta la absorción radicular.

- Potencial gravitacional (Ψ_g). Es el componente asociado con la posición vertical y es debido al movimiento del agua hacia abajo por la fuerza gravitatoria. Tiene un papel fundamental para la planta al eliminar el exceso de agua que puede haber después de una lluvia o riego en la zona radicular.

El potencial hídrico total resulta de la suma de estos tres componentes:

$$\Psi_T = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_g$$

Teniendo en cuenta que el potencial osmótico no influye en el flujo de agua, se excluye a la hora de estudiar el movimiento del agua y evaluar la dirección y magnitud de las fuerzas que lo provocan. Para ello se introduce el concepto de potencial hidráulico, definido como:

$$\Psi_H = \Psi_m + \Psi_g$$

En relación a la absorción de agua por las plantas tiene interés la suma de los potenciales matricial y osmótico. En árboles muy altos puede adquirir también importancia el potencial gravitacional.

El contenido de agua del suelo puede medirse por métodos directos, pesando una muestra inalterada de suelo y desecándola en estufa a 105 ºC hasta peso constante (unas 24 horas) y luego volviéndola a pesar. La humedad del suelo en un momento determinado se define, comúnmente, como el peso de agua que retienen 100 gramos del mismo, y por tanto los contenidos se expresan %. Evidentemente, éste no es un método de campo para determinar la humedad del suelo.

Los métodos indirectos para medidas en campo utilizan técnicas y medios muy diferentes y son varios: tensiómetros (miden el potencial hidráulico, $\Psi_m + \Psi_g$), bloques

de yeso (miden $\Psi_m + \Psi_o$), sondas de neutrones (miden el contenido de agua a partir de un flujo de neutrones), dispositivos TDR (miden la constante dieléctrica del suelo que varía según su contenido de agua), dispositivos FDR (sensores ECH2O), EnviroScam (mide la evolución del contenido de agua en el suelo), etc.

9.2. Influencia del estado de humedad del suelo

Para definir el estado de humedad de un suelo, además del concepto de potencial hídrico, también se siguen utilizando conceptos clásicos, fácilmente comprensibles y a los que se encuentran referenciados muchos datos disponibles sobre suelos. Estos conceptos de la relación agua-suelo-planta se comentan seguidamente indicando su terminología y la influencia que tienen sobre el cultivo.

Después de una lluvia intensa o de un riego, el agua infiltrada va ocupando los poros y es retenida en gran parte por el suelo hasta llegar a la saturación (suelo saturado). Por acción de la gravedad, el agua que ocupa los poros más gruesos no puede ser retenida y va drenando rápidamente a las capas inferiores (agua de gravedad).

La cantidad de agua retenida por el suelo después de un drenaje de una duración de 48 horas es lo que se denomina capacidad de campo (CC). A partir de este tiempo, el suelo sigue drenando lentamente una pequeña cantidad de agua; así, a la cantidad máxima que finalmente puede retener, cuando su drenaje está asegurado normalmente, se le denomina capacidad de retención.

La capacidad de campo es prácticamente el máximo contenido de agua que puede retener el suelo cuando la mayoría de los macroporos están ocupados por aire. Por lo tanto, la capacidad de retención prácticamente coincide con la capacidad de campo en los suelos arenosos y es ligeramente inferior a ésta en los suelos arcillosos. En la Tabla 5.3 se refleja la capacidad de campo orientativa de diversos tipos de suelo, expresada en % de tierra seca.

A efectos de cálculo, la capacidad de campo se estima partir del valor del contenido de agua que retiene una muestra de suelo en equilibrio con una presión de 33 kPa, en un equipo de placas de presión.

No toda el agua retenida por el suelo puede ser absorbida y utilizada por las plantas. Por debajo de cierto valor las raíces ya no pueden seguir extrayendo agua y la planta se marchita. En este caso se dice que suelo ha llegado a su punto de marchitamiento permanente (PMP). Este valor viene a coincidir con el límite inferior del agua retenida

por fuerzas capilares que es absorbible por las raíces. Se encuentra entre el valor resultante de dividir la capacidad de campo por un factor entre 2 y 2,5 aproximadamente. En la Tabla 5.3 se refleja, de forma orientativa, el punto de marchitamiento de diversos tipos de suelo.

En el punto de marchitamiento permanente el aíre ocupará, además de los macroporos, una fracción de los microporos. El punto de marchitamiento permanente se estima como el contenido de agua que retiene una muestra de suelo en equilibrio con una presión de 1.500 kPa, en un equipo de placas de presión. Es decir, si la fuerza necesaria de succión supera, aproximadamente, 15 atmósferas, el agua ya no es absorbible por las plantas. Debe tenerse en cuenta que el punto de marchitamiento permanente varía según el tipo de planta y con los factores del medio, por lo que no tiene un significado físico claro. En la marchitez y recuperación de la planta no influye solo del contenido de agua del suelo sino que intervienen otros factores.

Tabla 5.3. Valores orientativos de la capacidad de campo y del punto de marchitamiento de diversos tipos de suelo, expresados en % de tierra seca.

Tipo de suelo	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitamiento (%)
Arenoso	8 a 12	3 a 5
Franco-arenoso	12 a 20	5 a 8
Franco	20 a 25	8 a 12
Franco-arcilloso	25 a 30	12 a 15
Arcilloso	30 a 40	15 a 20

El agua comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento se denomina reserva útil o agua útil (AU) ya que es el agua disponible para las plantas. Esta agua útil también recibe la denominación de capacidad de retención de agua disponible (CRAD).

Es difícil determinar el contenido de agua que realmente está disponible para las plantas sin que se produzca una reducción de su actividad fisiológica por estrés hídrico. Aunque no se manifieste marchitez en la planta, el crecimiento y la producción pueden verse reducidos si el contenido de humedad del suelo no es el óptimo. El agua que puede ser utilizada por las plantas sin gran esfuerzo se define como agua útil fácilmente utilizable. Por tanto, en frutales en regadío se deberá volver a regar cuando se haya agotado solo una parte del agua útil, que en ningún caso debería superar el 65-75% de esa agua útil. Si el suelo no tiene problemas de aireación, lo ideal sería mantener la

reserva de agua próxima a la capacidad de campo, lo que se consigue regando diariamente con un sistema de riego localizado.

En la Figura 5.6 se representan, esquemáticamente, los diferentes contenidos de agua en suelo comentados y las clases de agua definidas.

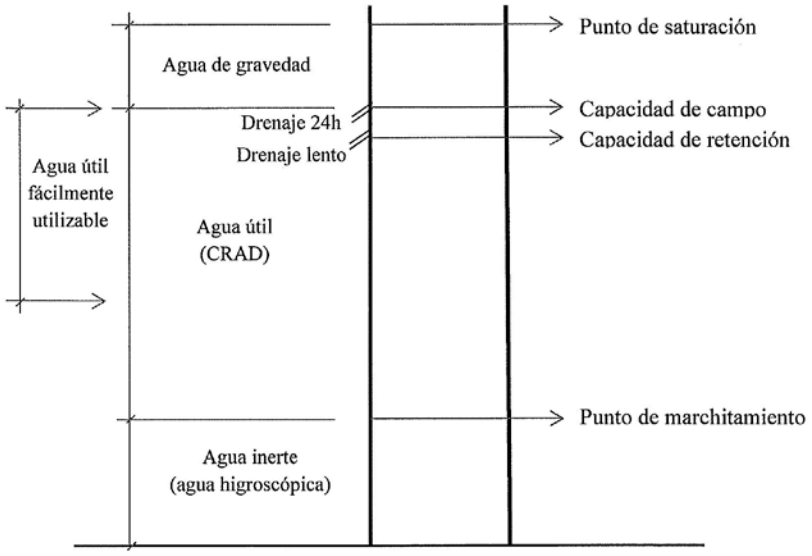


Figura 5.6. Representación esquemática de los contenidos de agua en suelo y de las clases de agua, en relación con las plantas.

La capacidad de retención de agua que tiene un suelo será un aspecto muy importante en los cultivos de secano, para aprovechar la mayor cantidad posible del agua de lluvia infiltrada. Con un buen manejo del suelo, además de evitar el consumo de la vegetación espontánea, se puede aumentar o conservar la reserva de agua, por ejemplo: aportando materia orgánica para incrementar la capacidad de retención, limitando las pérdidas por evaporación de agua mediante laboreo superficial del suelo y limitando las posibles pérdidas por escorrentía.

En cultivos de regadío, la capacidad de retención de agua condicionará la planificación del riego, al determinar el agua máxima que puede aportase en cada riego y la frecuencia de riego necesaria.

Si los frutales crecen en un suelo rico en agua y en elementos nutritivos tendrán las raíces más cortas, más ramificadas y más compactas que aquellos que creen en un suelo pobre en agua y en elementos nutritivos. El sistema radical más eficiente será el que explora más rápidamente y con una abundante ramificación el volumen de terreno; no sólo es preciso que las raíces profundicen y se extiendan más para captar más agua.

10. Pedregosidad y otras características físicas

En un suelo se consideran elementos gruesos los que superan los 2 mm de diámetro. A partir de este tamaño las partículas se mantienen separadas sin cohesión. En la observación de los elementos gruesos del suelo debe tenerse en cuenta la proporción, el tamaño, la forma, el grado de alteración y la distribución en el perfil. En la Tabla 5.4 se clasifican los elementos gruesos del suelo según su tamaño.

Un suelo es pedregoso si tiene, sobre todo, gran cantidad de grava gruesa y cantos: Se considera muy pedregoso cuando las piedras cubren más de un 15% de su superficie. Si las piedras cubren más del 90% se dice que el suelo es ripioso o está pavimentado de piedras. Las plantaciones frutales admiten suelos mucho más pedregosos que otros tipos de cultivo. Las piedras de mayor tamaño y los bloques deben retirarse antes de establecer la plantación.

Tabla 5.4. Clasificación de los elementos gruesos de un suelo.

Elementos gruesos	Diámetro aparente (cm)	Elementos gruesos	Diámetro aparente (cm)
Gravilla	0,2 a 0,6	Cantos	6 a 25
Grava media	0,6 a 2	Bloques	25 a 60 y más
Grava gruesa	2 a 6		

La pedregosidad tiene incidencia en cuanto al volumen de tierra útil disponible y en la fertilidad del suelo. Asimismo, puede incidir sobre otros aspectos del comportamiento del suelo como la captación y transmisión de calor en la capa superficial, la consistencia y cohesión del suelo, etc. Asimismo, el agua penetra más fácilmente en un suelo pedregoso que cuando la matriz es de tierra fina, y las piedras en superficie pueden mitigar la erosión producida por el golpeo de las gotas de lluvia y por el arrastre de partículas.

La pedregosidad superficial interfiere con el laboreo y con la siega de cubiertas vegetales, y en algún caso con la recolección en el suelo de algunos frutos secos.

A pesar de las dificultades que la pedregosidad origina para el manejo del suelo y para las actividades en la plantación, los frutales pueden desarrollarse en suelos muy pedregosos, incluso con la totalidad la superficie cubierta de piedras, siempre que las capas más profundas del suelo permitan el cultivo y las piedras o fragmentos no dificulten extremadamente las actividades en la plantación. Con frecuencia pueden

verse viñedos cultivados en suelos pedregosos, y frutales en zonas aluviales de suelos cascajosos con gran cantidad de cantos rodados.

Cuando en el terreno hay afloramientos rocosos, además de disminuir la superficie productiva, se dificulta el trazado de la plantación y luego las actividades culturales.

Finalmente, cabe citar que otras características físicas de los suelos, con menor importancia, también pueden ejercer pequeñas influencias sobre el cultivo y pueden ser de utilidad para analizar su formación y evolución. Por ejemplo:

- Color del suelo y existencia de manchas. El color tiene una ligera incidencia sobre la captación de calor.

- Acumulaciones. Se deberá observar la cantidad, forma (nódulos, eflorescencias superficiales y en el perfil, costras, etc.), dimensiones, composición y distribución. Estas acumulaciones suelen ser un indicador de problemas en el suelo, como salinidad.

- Signos en el perfil de actividades culturales o transformaciones. Indican el manejo anterior que ha tenido el suelo o modificaciones en su constitución.

11. Bibliografía (Capítulo 5. El suelo. Introducción y propiedades físicas)

Relación de libros y artículos de interés que tratan aspectos generales y específicos sobre el tema; para los libros se indican, entre corchetes, las páginas concretas que se recomienda su lectura:

Calderón, E. 1983. *Fruticultura General*. Ed. Limusa, México. 759 pp. [382-395].

C.B.D.S.A. (Comisión del Banco de Datos de Suelos y Aguas). 1983. *SINEDARES. Manual para la descripción codificada de suelos en campo*. Ministerio de Agricultura P.A. Madrid. 137 pp. [19-120].

Diehl, R., Mateo Box, J.M. 1973. *Fitotecnia general*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 814 pp. [91-154].

Duchaufour, P. 1975. *Manual de edafología*. Toray - Masson. Barcelona. 478 pp. [3-83].

FAO. 2009 (4ª Ed.). *Guía para la descripción de suelos.* FAO. Roma. 99 pp. [5-99].

Fernández Escobar, R. 1988. *Planificación y diseño de plantaciones frutales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 205 pp. [37-44].

Garrido, Mª.S. 1993. *Interpretación de análisis de suelos.* Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación Hojas divulgadoras. Nº. 5/93 HD. Madrid. 40pp.

Gautier, M. 1973. *L`étude du sol avant la création du verger*. L'Arboriculture Fruitière. N.º 236:15-24.

Hauser, G.F. 1980. *Interpretación de los análisis de suelos al formular recomendaciones sobre fertilizantes*. FAO, Roma. Boletines de suelos de la FAO nº 18. 75 pp. [3-29].

Kramer, P.J., Boyer, J.S. 1995. *Water relations of plants and soils.* Academic Press . New York. 495 pp. [84-114, 182-198].

López Ritas, J., López Melida, J. 1985 (4ª Ed.). *El diagnóstico de suelos y plantas.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 368 pp. [23-28, 151-181].

Martínez Zaporta, F. (1964). *Fruticultura*. *Fundamentos y prácticas*. Ministerio de Agricultura. INIA. Madrid. 1003 pp. [281-291, 298-306].

Mathieu, Cl., Pieltain, F. 1998. *Analyse physique des sols*. Lavoisier TEC&DOC: París. 275 pp. [1-17 y varias según cap.].

Peverill, K.J., Sparrow, L.A., Reuter, D.J. (Ed.). 1999. *Soil. Analysis and interpretation manual*. CSIRO Publishing. Collingwood (Australia). 369 pp. [1-102].

Pizarro, F. 1985. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Editorial Agrícola Española. Madrid. 542 pp. [34, 72].

Porta, J. López-Acevedo, M., Roquero, C. 1994. *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp. [39-115, 275-401].

Porta, J. López-Acevedo, M. 2005. *Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 541 pp. [39-200, 255-320].

Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M. 2011 (4ª Ed). *Introducción a la Edafología. Uso y protección de suelos.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 535 pp. [19-57, 93-163, 337-358].

Roquero, C., Porta J. 1990 (5ª Ed.). *Agenda de campo para el estudio del suelo.* ETSIA. Universidad Politécnica de Madrid. 71 pp. [13-91].

Soltnert, D. 2011 (25ª Ed.). *Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration*. Sciences et Techniques Agricoles. Bressuire (Francia), 472 pp. [9-84, 205-237, 269-330].

Thompson, L.M. 1962. *El suelo y su fertilidad.* Editorial Reverté. Barcelona. 409 pp. [3-73].

Trocme, S., Gras, R. 1979. *Suelo y fertilización en fruticultura*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 388 pp. [71-132, 143-196, 327-332].

Urbano, P. 2010 (2ª Ed., reimp.). *Tratado de Fitotecnia general*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 895 pp. [167-227].

Westwood, N.H. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 461 pp. [142-147].

White, R.E. 2006 (4ª Ed.). *Principles and practice of soil science*. Blackwel Publishing. Victoria (Australia). 364 pp. [3-175].

Actividades prácticas recomendadas

Capítulo 5. El suelo. Introducción y propiedades físicas

1 [Campo]. En una plantación adulta de perales o melocotoneros, establecida sobre un suelo desfavorable, analizar en el periodo vegetativo las posibles restricciones que impone el suelo y observar cómo se manifiestan sobre los árboles y el manejo de la plantación.

2 [Campo]. En una finca de secano con varias parcelas, definir las calicatas que será conveniente hacer y su localización, para realizar un estudio de suelo de cara a una plantación de almendro.

3 [Campo]. En una explotación frutal de dimensión grande y con diferentes especies, analizar la influencia que tienen los aspectos fisiográficos del terreno sobre las plantaciones y las infraestructuras.

4 [Taller]. En el plano topográfico de una finca de secano de forma irregular, localizada en una ladera con diferentes pendientes, que se va a transformar a regadío y se van a implantar frutales, analizar qué aspectos del diseño la plantación condicionará topografía.

5 [Campo]. Observar en el perfil del suelo de una calicata los diferentes horizontes y definir sus principales características, estableciendo las posibles limitaciones que tiene el suelo para el cultivo de frutales. Si es posible, observar perfiles con una capa freática alta y con un petrocálcico a poca profundidad.

6 [Taller]. A partir de varios análisis de textura de suelos muy diferentes, definir la adecuación de cada suelo para el cultivo de frutales y establecer posibles mejoras.

7 [Campo]. En plantaciones frutales con diferente tipo de mantenimiento del suelo analizar cuál será el comportamiento del calor del suelo durante el día y durante la noche, y proponer actuaciones a llevar a cabo para paliar en lo posible las heladas de radiación en primavera.

8 [Campo]. Observar y analizar en plantaciones frutales con problemas de encharcamiento en algunas zonas, la incidencia que tiene éste sobre el desarrollo de los árboles y sobre las actividades a realizar.

9 [Campo]. Analizar, al final de primavera o verano, las diferencias de humedad que se presentan en el suelo de dos plantaciones frutales de características similares, una regada diariamente por goteo y otra después de 5 días de haber sido regada por gravedad. Si es posible medir con tensiómetros, a una misma profundidad, la humedad a diferentes distancias de la línea de plantación.

10 [Campo]. Analizar en una plantación con gran pedregosidad en la capa superficial (cantos rodados) la repercusión que tiene ésta sobre los árboles y sobre las actividades de la plantación. Establecer la conveniencia de realizar un despedregado.

Cuestionario de evaluación

Capítulo 5. El suelo. Introducción y propiedades físicas

1. ¿Qué peso tiene el suelo, respecto a otros condicionantes ecológicos, sobre los resultados de una plantación frutal?

2. ¿Qué aspectos deben considerarse en un estudio del suelo para establecer una plantación frutal y qué determinaciones incluyen los análisis realizados en laboratorio?

3. ¿Cómo condicionan los diferentes aspectos fisiográficos del terreno a una plantación frutal?

4. ¿Qué condicionantes impone la topografía de la finca al diseño una plantación frutal y cuándo será conveniente su modificación?

5. ¿Para qué puede ser útil la información sobre los antecedentes culturales que se dispongan de una finca, a la hora de planificar actuaciones sobre el suelo de una nueva plantación?

6. Qué horizontes característicos suelen encontrarse en los suelos agrícolas y por qué se caracterizan estos horizontes?

7. ¿Qué características deben estudiarse en el perfil del suelo de cara a establecer una plantación frutal?

8. ¿Qué profundidad requieren los suelos destinados a plantaciones frutales y por qué puede estar limitada la profundidad del perfil?

9. ¿Qué efectos tiene para una plantación frutal la compactación del suelo y por qué se produce?

10. ¿Qué problemas presenta para una plantación la existencia de una capa freática en el perfil del suelo?

11. ¿Por qué se caracterizan los suelos de textura fina y los de textura gruesa, y cuál es su adaptación al cultivo de frutales?

12. ¿Qué papel desempeña la estructura del suelo en el comportamiento de las raíces y cómo puede mejorarse esta estructura?

13. ¿Qué influencia tiene la temperatura del suelo para la actividad de las raíces?

14. ¿Qué factores influyen en el calentamiento y en el enfriamiento del suelo?

15. ¿Cómo varía la temperatura diaria de un suelo en superficie y a diferentes profundidades?

16. ¿Qué relación mantiene la estructura del suelo con la humedad y su temperatura?

17. ¿Qué comportamiento térmico puede tener un suelo respecto al riesgo de heladas de radiación y cómo debe actuarse sobre el suelo para intentar atenuar los daños de estas heladas en una plantación frutal?

18. ¿Qué es la velocidad de infiltración y la permeabilidad de un suelo, en qué unidades vienen dadas y qué relación mantienen?

19. ¿Qué consecuencias tiene una permeabilidad muy baja del suelo para el cultivo de frutales?

20. ¿Qué diferencias presentan los diferentes frutales respecto a la asfixia radical?

21. ¿De qué depende la capacidad de reserva de agua de un suelo y en qué tipos se clasifica el agua del suelo?

22. ¿Qué se entiende por potencial de agua y cuáles son los componentes del potencial hídrico total?

23. ¿Cómo se mide el contenido de agua del suelo en una plantación frutal?

24. ¿Qué se entiende por agua útil del suelo, por qué viene definida y qué relación mantiene con el riego de las plantas?

25. ¿Cuándo se considera que un suelo es muy pedregoso y qué repercusión tiene para una plantación de frutales?

6

EL SUELO. PROPIEDADES QUÍMICAS Y OTRAS CARACTERÍSTICAS

1. Materia orgánica.
2. Reacción y pH de los suelos.
3. Salinidad.
4. Carbonatos y caliza activa.
5. Fertilidad.
6. Características biológicas.
7. Erosión del suelo.
7. Problemas de replantación.
8. Bibliografía.

Actividades prácticas y cuestionario de evaluación.

1. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo de una plantación está constituida por restos vegetales, en diferente grado de descomposición, producidos en la plantación (hojas, frutos, restos de poda, restos de la cubierta vegetal y raíces en descomposición); por las materias orgánicas aportadas, de origen diverso y también en descomposición (estiércol, compost, etc.) y además por las raíces vivas y los organismos vivos y sus restos (fauna y microorganismos).

El contenido medio de materia orgánica en la capa superior de los suelos de las plantaciones frutales suele estar entre el 1 y el 3%, disminuyendo considerablemente en profundidad. Evidentemente, este contenido dependerá del tipo de suelo y de su mantenimiento, además de las aportaciones externas que se realicen.

En la Tabla 6.1 se da una valoración del contenido de materia orgánica para un suelo de textura media. Téngase en cuenta que en la mayoría de las condiciones de cultivo de nuestro País se consideran ya satisfactorios niveles del 1,5% en suelos de secano y del 2% en suelos de regadío; e incluso se consideran niveles altos los superiores al 2,5%. En suelos arenosos estos niveles pueden ser algo inferiores y en suelos arcillosos ocurre lo contrario. Debe tenerse en cuenta que la fertilidad de un suelo se relaciona más con el equilibrio húmico que con el contenido de materia orgánica. Los suelos fértiles generan gran cantidad de humus, por lo cual tienen que recibir muchas aportaciones de residuos orgánicos. Los frutales generan bajas cantidades de residuos orgánicos y en algunos casos parte de ellos se retiran de la plantación, como son los residuos de poda.

Tabla 6.1. Valoración del contenido de materia orgánica de un suelo de textura media, en las condiciones habituales de cultivo en España.

Materia orgánica (%)	Valoración
< 1,0	Muy bajo
1,0 a 1,5	Bajo
1,5 a 2,5	Normal
2,5 a 3,5	Alto
> 3,5	Muy alto

La determinación cuantitativa de la materia orgánica del suelo se realiza mediante análisis del carbono orgánico oxidable (método de Walkley y Black). En los análisis se considera toda la materia orgánica como humus, dado que al tamizar la tierra se separa la materia no descompuesta.

Los residuos orgánicos se van descomponiendo debido a la actividad biológica de los organismos del suelo. Las temperaturas elevadas y una buena aireación del suelo favorecen la actividad de los microorganismos, por el contrario una humedad elevada frena el desarrollo microbiano. El proceso de descomposición de la materia orgánica, en general, incluye dos fases.

En la primera fase, la mayor parte de la materia orgánica se transforma en humus, mediante el proceso relativamente rápido denominado humificación. El humus es por lo tanto el componente más significativo de la materia orgánica en el suelo y constituye del 50 al 80% de la materia orgánica total del suelo, aunque este valor varía ampliamente según los aportes, el tipo de suelo, el manejo y las condiciones ambientales.

A la cantidad de humus que se forma a partir de 1 kg de materia seca de la materia orgánica aportada al suelo, se le denomina coeficiente húmico (K_1). Por ejemplo, para el estiércol bien hecho oscila de 0,4 a 0,5, para el estiércol fresco es de 0,25 a 0,30, para los sarmientos de vid triturados es de 0,3, para la leña triturada de la poda de frutales es de 0,2 y para la paja de trigo es de 0,15.

En una segunda fase, el humus desaparece al transformarse más lentamente en elementos minerales, CO_2 y agua, mediante el proceso denominado mineralización. Las sustancias no húmicas de la materia orgánica (azucares, aminoácidos, proteínas, etc.) también acaban descompuestos por los microorganismos dando CO_2 y agua.

La materia orgánica será también una reserva apreciable de nitrógeno y fósforo en el suelo. La cantidad de humus que se mineraliza anualmente se denomina tasa anual de mineralización del humus, y es del orden del 1,5% en suelos arcillosos del 2,5% en suelos arenosos.

La constitución del humus es compleja y el conjunto de sustancias orgánicas (ácidos húmicos y fúlvicos y huminas) que lo componen es variable de unos suelos a otros. El humus se caracteriza por su color oscuro.

El humus tiene una elevada reactividad química. La mayoría de sustancias se encuentran en forma coloidal y poseen, en general, carga eléctrica negativa, lo que da lugar a importantes reacciones de superficie. Está estrechamente asociado al coloide arcilloso, encontrándose adsorbido en su superficie constituyendo el complejo arcillo-húmico. Con los metales da lugar a complejos órgano-metálicos. También puede encontrarse floculado en el suelo por las sales de calcio y magnesio.

Respecto a las propiedades físicas, la materia orgánica del suelo interviene en la formación y en la estabilidad de los agregados, mejorando la estructura, y por

consiguiente la aireación y la permeabilidad; aumenta considerablemente la capacidad de retención de agua al ser el humus un coloide hidrófilo; disminuye el riesgo de erosión y la formación de costra y, al dar al suelo colores más oscuros, aumenta la radiación absorbida calentándose más.

Respecto a las propiedades químicas, las sustancias húmicas juegan un papel importante junto con las arcillas en los procesos de intercambio de elementos, aumentado la capacidad de intercambio catiónico (CIC); con la mineralización del humus se aportan al suelo elementos esenciales; y forma complejos con algunos iones metálicos manteniéndolos bajo formas más asimilables (quelación). Por todos estos aspectos la materia orgánica aumenta la fertilidad del suelo y constituye una reserva apreciable de nitrógeno, fósforo y azufre. Además, el humus se une fuertemente con los metales pesados inmovilizándolos y disminuyendo la toxicidad para las raíces de las plantas; también contribuye a la regulación del pH del suelo.

Respecto a las propiedades biológicas, la materia orgánica es fuente de alimento y energía para la fauna y los microorganismos del suelo. Una mayor actividad microbiana favorecerá el proceso de mineralización del nitrógeno en suelo hasta transformarlo a formas asimilables. También se asignan a las sustancias de degradación del humus algunas acciones específicas, como potenciar la rizogénesis, efectos antibióticos, etc. Hay que citar que, en caso de encharcamiento en el suelo, la materia orgánica aumenta el riesgo de asfixia al consumir los microorganismos en las fermentaciones el oxígeno disponible.

Además, cabe destacar que la materia orgánica fresca y los productos intermedios de la descomposición también tienen un papel fundamental sobre la estabilidad de la estructura y sobre la fauna del suelo.

1.1. Relación C/N

Para caracterizar el grado de descomposición en que se encuentra la materia orgánica del suelo o, en definitiva, el nivel de humificación, se utiliza la relación carbono/nitrógeno (C/N). La relación es elevada en la materia orgánica fresca y va descendiendo con el proceso hasta estabilizarse en suelos cultivados en valores próximos a 10 o muy ligeramente superiores. Valores inferiores indican que casi la totalidad de la materia orgánica está humificada. Valores muy altos corresponderían, por ejemplo, al estiércol bien hecho (20) y a la paja de trigo (80).

Si la materia orgánica aportada al suelo tiene una relación C/N relativamente baja, será más rica en nitrógeno y en sustancias hidrosolubles y celulosa, más favorables para el desarrollo bacteriano; por lo que es más beneficiosa para el suelo que la materia orgánica con una relación C/N muy alta, que será pobre en nitrógeno, rica en lignina y en productos inhibidores de la actividad bacteriana (taninos y ácidos orgánicos, etc.).

La relación C/N es un indicador de la tasa de liberalización de nitrógeno y de su disponibilidad para las plantas. Si la relación es baja se da una fuerte liberalización, dando lugar a bastante nitrógeno disponible; por el contrario, si la relación es muy alta, se da una liberalización muy baja y hay competencia por el nitrógeno entre los microorganismos y la planta, por lo que no habrá aportación de nitrógeno disponible al suelo; si la relación es próxima a 10 indica que se produce una liberalización correcta de nitrógeno. En la Tabla 6.2 se recoge una valoración de la relación C/N de la materia orgánica del suelo.

Tabla 6.2. Valoración de la relación C/N de la materia orgánica del suelo.

Relación C/N	Valoración
< 8	Baja
8 a 12	Media
12 a 15	Alta
> 15	Muy alta

1.2. Aporte de materia orgánica

Antes de realizar una plantación frutal, lo ideal sería partir de unos contenidos aceptables de materia orgánica en el suelo. Las enmiendas húmicas consisten en elevar el contenido de materia orgánica del suelo mediante el aporte de estiércol o incorporando otras fuentes de humus, como residuos orgánicos, abonos verdes, etc. El nivel de materia orgánica recomendable debe ser como mínimo del 2%.

Para ello se recurre en la preparación del suelo a la aportación de enmiendas húmicas, para elevar el contenido de materia orgánica; aunque esto no siempre es posible, bien por resultar excesiva la aplicación o por la falta de disponibilidad o por el elevado coste que supone. Por ejemplo, para elevar solamente un 0,1% más el nivel de materia orgánica, en una profundidad de suelo de 50 cm, sería preciso aplicar unas 65 t/ha de estiércol. En término medio se recomiendan enmiendas, antes de plantación, entre 40 - 60 t/ha, con la finalidad de mejorar las condiciones físicas del suelo y

favorecer el enraizamiento, además de aumentar la fertilidad los dos o tres primeros años.

En bastantes casos, en plantaciones con riego por goteo, se recurre a enmiendas previas sólo en la línea de plantación y luego con el cultivo a aportaciones periódicas también en la línea de plantación. Así se facilita el enraizamiento de las plantas y luego durante la vida de la plantación se mejora la retención de agua y nutrientes en el bulbo húmedo, además del aporte nutricional que supone la materia orgánica.

Consecuentemente, también será recomendable realizar aportaciones sucesivas de materia orgánica durante la vida de la plantación, para mantener el nivel inicial, o incluso ir elevándolo, con la consiguiente mejora de las propiedades antes citadas.

A lo largo de los años la materia orgánica del suelo se va descomponiendo y mineralizando, por lo que desciende su nivel si no hay nuevos aportes. El ritmo o velocidad de mineralización de la materia orgánica en el suelo depende de la actividad microbiana, asimismo, esta actividad es función de las diferentes condiciones del suelo y del clima. En término medio se considera una mineralización del 1,5% anual en secano y del 2% anual en regadío, para determinar las pérdidas anuales de humus en una plantación. Hay que tener en cuenta también que en suelos arenosos la velocidad es ligeramente superior a la que tiene lugar en los suelos arcillosos.

Las pérdidas anuales de humus se comparan con la restitución producida por los residuos de la plantación, para establecer así las enmiendas húmicas necesarias para conservar o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo.

Los residuos vegetales aportados cada año por las hojas en las plantaciones frutales adultas se sitúan alrededor de 3.000 kg/ha de materia seca, equivalentes a 600 kg/ha de humus. En frutales adultos en regadío, la leña de poda (considerando que el momento de la poda contiene un 50% de humedad), si se tritura en la plantación, aporta, aproximadamente, entre 1.800 y 2.000 kg/ha de materia seca, según se consideren frutales de pepita o de hueso. Para la viña el aporte que materia seca de la leña de poda está alrededor de 1.000 kg/ha en secano y 1.900 kg/ha en regadío.

Según se ha expuesto, la materia orgánica del suelo resulta muy útil para el cultivo, pero los frutales restituyen poca cantidad de residuos orgánicos al suelo, por lo que en el manejo de la plantación debe plantearse como mantener o elevar el contenido de materia orgánica del suelo. La siega de la cubierta vegetal de la calle de la plantación o el triturado de la leña de poda es una fuente importante de materia orgánica; además, esto permite reducir la compactación del suelo y facilitar el acceso después de una lluvia.

Ahora bien, también es necesario tener en cuenta que los contenidos altos de materia orgánica (superior al 3-4%) también puede originar problemas para la plantación, como crecimientos desequilibrados, incremento del bitter pit en manzanas, uvas de peor calidad para vinificación, naranjas y mandarinas de peor calidad, etc. Es decir, siempre se deberá buscar un equilibrio, teniendo cuenta a la especie cultivada y los objetivos de la producción.

Por otro lado, unas especies soportan mejor suelos pobres en materia orgánica, como olivo, vid y almendro. Otras prefieren suelos más ricos, como melocotonero membrillero y manzano. Esta adaptación también dependerá, por supuesto, de las otras características del suelo y de los elementos nutritivos disponibles.

Para finalizar se puede decir que la materia orgánica tiene gran influencia sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo que en la plantación frutal no debe ser considerada sólo por su aporte de nutrientes al suelo, ni debería ser olvidada y reemplazada por la aplicación de abonos minerales. Claro, que tampoco hay que darle más importancia de la necesaria, lo que dependerá de las características del suelo y de la estrategia de producción seguida. Por ejemplo, en la "producción ecológica" adquiere un papel esencial la materia orgánica del suelo.

2. Reacción y pH de los suelos

La reacción del suelo es una propiedad físico-química que hace referencia al grado de acidez o de basicidad. Se expresa por medio de un valor de pH y se mide, usualmente, en una suspensión suelo-agua de relación 1:2,5. El valor está referido a la acidez real o activa.

El pH es el logaritmo de la inversa de la concentración de iones H^+ del suelo, por tanto la escala de pH es logarítmica, es decir, una variación de un punto del pH supone una variación de 10 puntos en la concentración de H^+. En la práctica, generalmente, se habla de acidez del suelo en lugar de reacción del suelo.

El complejo coloidal arcillo-húmico está muy relacionado con la reacción del suelo, ya que ésta depende de la mayor o menor cantidad de iones hidrógeno (H^+) que el complejo arcillo-húmico puede retener en relación con otros iones considerados como básicos (cationes básicos o bases). Estos otros iones atraídos en el complejo del suelo son precisamente los que requiere la planta: Ca^{++}, Na^+, K^+, Mg^{++} y microelementos. Los cuales proceden de los abonos aplicados y de las sales y ácidos del suelo.

El valor teórico de pH está comprendido entre 0 y 14, aunque en los suelos cultivados suele variar entre 4 y 9. Si el pH está próximo a 7 se denominan suelos neutros; si es relativamente inferior a 7 se denominan suelos ácidos (predominio de iones H^+) y si es relativamente superior a 7 se denominan suelos básicos o alcalinos (concentración de H^+ inferior a la de bases). En la Tabla 6.3 se da una clasificación de los suelos cultivados según el valor del pH.

Tabla 6.3. Clasificación de los suelos cultivados según el valor del pH.

Valor del pH	Clase de suelo
< 4,5	Extremadamente ácido
4,5 a 5,5	Fuertemente ácido
5,5 a 6,5	Ácido
6,5 a 6,8	Ligeramente ácido
6,8 a 7,2	Neutro
7,2 a 7,5	Ligeramente básico
7,5 a 8,5	Básico
8,5 a 9	Ligeramente alcalino
> 9	Alcalino

2.1. Factores que influyen sobre la reacción del suelo

La acidez del suelo es debida a causas muy variadas. Sobre la acidificación influyen factores como el origen del suelo, el clima, la cubierta vegetal, las aportaciones realizadas o incluso contaminantes ambientales. Los principales factores son:

- **Naturaleza de la roca madre.** Si la roca madre es de naturaleza ácida tenderá a dar suelos ácidos (materiales ricos en sílice). Por el contrario, los materiales calizos frenan la acidificación. Estos efectos también dependen de las condiciones de humedad del clima. Algunos elementos contribuyen especialmente a la acidificación del suelo, como el aluminio.

- **Humedad del suelo.** Los suelos ácidos son característicos de zonas de clima húmedo, al producirse un lavado excesivo de bases por el agua de lluvia infiltrada en el suelo. También con poca importancia puede intervenir el CO_2 de aire disuelto en el agua de lluvia, al transformarse a ácido carbónico en el suelo. Además en suelos húmedos crece más vegetación, la cual incorpora más materia orgánica al suelo que finalmente contribuirá a la acidificación. En suelos áridos la vegetación

es escasa y se incorpora muy poca materia orgánica, y si además no se lavan las sales que dan alcalinidad, o incluso terminan aflorando por capilaridad, el pH resulta alto en la capa superficial.

- Actividad biológica. La transformación de la materia orgánica del suelo da lugar a compuestos ácidos. Además el CO_2 producido por la respiración de las raíces y los microorganismos pueden generar acidez al disolverse en agua. La fijación de nitrógeno atmosférico por las bacterias también da origen a compuestos ácidos.

- Pérdida de bases. Una causa importante de la pérdida de bases en la extracción producida por el cultivo, por lo que si no son repuestas por el abonado tenderá a acidificarse el suelo. Además del lavado de bases producido por la lluvia, el riego excesivo también puede originar pérdida de bases.

- Abonado. Algunos fertilizantes tienden a acidificar el suelo, como los abonos amoniacales, al transformarse el ion amonio en NO_3^-, de carácter ácido. Para suelos ácidos se deberán emplear abonos neutros o alcalinos.

2.2. Efectos de la reacción del suelo

Según sea la reacción del suelo puede haber o no problemas para la plantación. Los suelos neutros o ligeramente ácidos son los favorables para los frutales al tener una máxima disponibilidad de nutrientes y no interferir sobre las otras características y funciones del suelo.

En los suelos ácidos, aunque mejora la asimilación de algunos nutrientes como el hierro, habrá deficiencia en otros nutrientes, especialmente en calcio y generalmente también en, K, N, Mg, P, etc.; además la actividad microbiana es menor, y si son muy ácidos puede haber toxicidad por Al, Mn y Fe. Con una acidez fuerte no se desarrolla correctamente la actividad microbiana; habrá muy poca transformación del nitrógeno de la materia orgánica a la forma asimilable (NO_3^-), esto mismo ocurre si hay carencia de Ca.

Los suelos básicos son generalmente calizos y pueden presentar deficiencia en la disponibilidad de P, B, Cu, Fe, Mn, etc. Además la destrucción de la materia orgánica es muy intensa. En estos suelos se manifiesta de forma creciente el problema de la clorosis férrica, por insolubilización del hierro a partir de pH superior a 7,5.

Si el pH es excesivamente alto (mayor de 8,5), los suelos reciben la denominación de alcalinos, presentando un porcentaje elevado de sodio intercambiable que resulta tóxico. Con valores de pH superiores a 9 la presencia de carbonato sódico origina condiciones físicas y químicas muy desfavorables en el suelo. Además, en estas condiciones la actividad microbiana es muy baja.

El la Figura 6.1 se representa la influencia de la reacción del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes para la planta, según el diagrama de E. Truog. Téngase en cuenta que esta disponibilidad varia también según el contenido de materia orgánica del suelo.

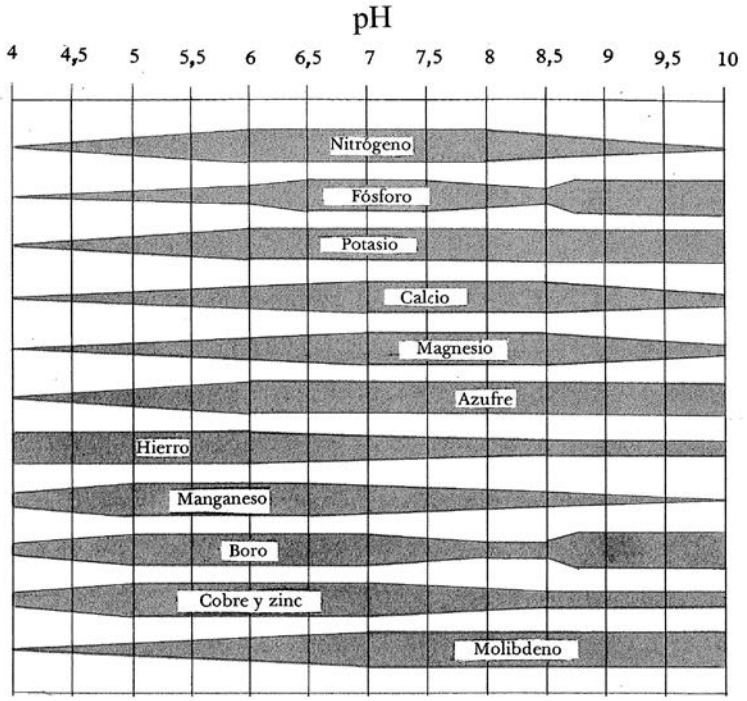


Figura 6.1. Disponibilidad de elementos nutritivos en función del pH del suelo (diagrama de E. Truog).

Como se ha visto, el pH condiciona, principalmente, a la disponibilidad de nutrientes en el suelo, pero además tiene efectos sobre otras propiedades físicas y químicas, sobre la fauna y sobre el desarrollo de las raíces.

La tolerancia de los frutales al pH del suelo varía según la especie, sobre todo según el patrón utilizado. En general, los frutales están bien adaptados a un suelo de pH ligeramente ácido, situándose el óptimo entre 6,5 y 7,3, o en algún caso algo inferior. En la Tabla 6.4 se refleja el intervalo orientativo de pH que toleran bien diferentes especies frutales.

Tabla 6.4. Tolerancia de los frutales al pH.

Especie	pH
Peral	6,0 - 8,0
Manzano	5,5 - 8,0
Melocotonero	6,5 - 8,0
Albaricoquero	6,5 - 8,0
Ciruelo	6,5 - 7,5
Cerezo	6,5 - 7,5
Almendro	6,5 - 8,5
Nogal	6,0 - 7,5
Olivo	6,5 - 8,5
Cítricos	6,0 - 7,5
Vid	6,0 - 7,5

3.3. Corrección del suelo

La corrección de suelos ácidos debe hacerse antes de la plantación, con las actividades de preparación del suelo. Se corrigen mediante encalado (aplicación de enmiendas calizas). Habitualmente se emplean compuestos cálcicos y magnésicos (carbonato cálcico, carbonatos de calcio y magnesio, óxido de cal e hidróxido de cal), aunque también pueden utilizarse otras sustancias, como conchas pulverizadas, subproductos industriales con calcio, etc. La cantidad de cal a aplicar dependerá del pH inicial y final, y del poder tampón del suelo dado por las arcillas y la materia orgánica; por lo que será necesario conocer la curva de neutralización.

Si el pH es superior a 6,5 no se necesita corregir el estado cálcico del suelo. Si el pH es superior a 5,5 e inferior a 6,5 pero el contenido de calcio activo es superior a 100 ppm, generalmente, no será necesario el encalado aunque se debe controlar el contenido de calcio; por el contrario, si en este caso el contenido en calcio activo es inferior a 100 ppm se aconseja encalar hasta pH 6,5. Si el pH es inferior a 5,5 el suelo es muy problemático y es preciso encalar. En suelos ricos en humus el encalado debe ser progresivo y si el pH ya es superior a 6 no será conveniente encalar. En suelos limosos y arcillosos el encalado tiene además otros efectos favorables sobre la estructura del suelo y sobre la actividad microbiana.

Como orientación, en un suelo franco para elevar el pH de 4,5 a 5,5, en una profundidad de 15 cm, aproximadamente se precisan 1.000 kg/ha de cal viva (CaO) y

1.700 kg/ha si es de 5,5 a 6,5; si el suelo es arcilloso estas cantidades se elevan a 2.000 y 2.400 kg/ha, respectivamente.

Si además de la enmienda caliza es necesario hacer una enmienda orgánica, se debe enterrar primero la enmienda caliza, y posteriormente aportar la orgánica. Como complemento, en los suelos ácidos será conveniente emplear abonos alcalinizantes (cianamida de cal, fosfato de cal, etc.).

La corrección de suelos básicos presenta más dificultades. Si el contenido de caliza es alto resulta prácticamente imposible acidificar el suelo. Normalmente, se recurre a elegir portainjertos mejor adaptados a estas condiciones en lugar de realizar correcciones. Para realizar la corrección los materiales más adecuados son: azufre, sulfato ferroso o sulfato de aluminio, además de abonos acidificantes (sulfato amónico). El sulfato ferroso es el más eficaz y además proporciona hierro al suelo.

3. Salinidad

Las sales de los suelos provienen inicialmente la meteorización de las rocas y minerales; y normalmente son disueltas y transportadas por el agua y acumuladas en zonas bajas con drenaje deficiente. Además, los suelos pueden salinizarse por otras causas, como por el riego con aguas salinas o por la invasión de capas freáticas salinas.

La salinidad se debe a la presencia en el suelo de sales no solubles, principalmente cloruros y sulfatos, sódicos y magnésicos, en concentraciones elevadas que son perjudiciales para las plantas.

Además, en suelos salinos se manifiestan otros problemas como alteración de la estructura y desequilibrios nutritivos. Por ejemplo, un exceso de Na interfiere sobre la absorción de Ca y Mg, o un exceso de Ca sobre la absorción de Mg y K. También el pH originado puede disminuir la disponibilidad de ciertos elementos (Fe, P, Cu, etc.).

Cuando el drenaje del suelo es deficiente y la evaporación superficial elevada, el suelo tiende a acumular sales en la superficie. Los suelos salinos se caracterizan por las eflorescencias salinas blanquecinas que se acumulan en la superficie en períodos secos. En estos suelos crece una vegetación halófila característica y también suelen presentar problemas de encharcamiento. Estas condiciones de salinidad se dan con más frecuencia en zonas áridas o semiáridas.

3.1. Conductividad eléctrica del suelo

La concentración total de sales en un suelo está relacionada con la conductividad eléctrica (CE), por eso se utiliza para caracterizar a la salinidad. La medida se da en decisiemens por metro a 25 ºC (dS/m). Anteriormente esta medida se daba en mmho/cm, siendo 1 mmho/cm equivalente a 1 dS/m.

Generalmente se hace una prueba previa de salinidad con extracto 1:5 y si el valor de conductividad obtenido es superior a 0,2 dS/m se considera que puede haber problemas de salinidad, por lo que es conveniente hacer una determinación con extracto de pasta saturada (CE_{es}) para hacer diagnósticos más precisos.

Normalmente, la conductividad eléctrica del suelo se entiende referida al extracto de pasta saturada (CE_{es}), a no ser que se haga mención expresa del extracto (por ejemplo: CE extr. 1:5).

Dado que los resultados de los análisis de conductividad en muchos laboratorios se dan para el extracto 1:5 ($CE_{1/5}$), en la Tabla 6.5 se da una interpretación orientativa de los diferentes valores de la conductividad eléctrica para dicho extracto 1:5. Los valores de conductividad reflejados deben considerarse ligeramente inferiores si el suelo tiene menor contenido de arcilla. En el extracto saturado los valores de conductividad suelen ser superiores entre 5 y 7 veces a los obtenidos en el extracto 1:5, pero de forma general no puede establecerse una correspondencia clara. Una relación propuesta es:

$$CE_{es} = 7{,}351 \times CE_{1/5} - 0{,}568$$

Tabla 6.5. Valoración orientativa de la conductividad eléctrica del suelo en extracto 1:5 (para suelos con un contenido de arcilla del 50%).

$CE_{1/5}$ (dS/m)	Valoración	Suelo
< 0,10	Muy bajo	No limitante
0,10 a 0,20	Bajo	No limitante
0,20 a 0,50	Medio	Ligeramente limitante
0,50 a 1,0	Alto	Moderadamente limitante
1,0 a 1,5	Muy alto	Limitante
> 1,5	Extremo	Muy limitante

Si los resultados del extracto saturado dan una conductividad (CE_{es}) inferior a 2 dS/m se considera que no hay problemas de salinidad, de 2 a 4 dS/m la salinidad afectará a los frutales más sensibles, si es superior a 4 dS/m ya será bastante problemático para el cultivo de cualquier frutal, si se superan los 8 dS/m el suelo no será

viable por los efectos negativos que tiene sobre los rendimientos de los frutales, y para valores superiores a 16 dS/m no será apto para la supervivencia de los frutales.

La conductividad eléctrica en un suelo a capacidad del campo (CE_{cc}) será superior a la determinada mediante extracto saturado (CE_{es}) y esta conductividad irá aumentando según la humedad del suelo desciende hacia el punto de marchitamiento. La relación entre estas conductividades es la siguiente:

$$CE_{cc} = CE_{es} \times (\varepsilon / cc) \quad \text{siendo } \varepsilon\text{: porosidad (\%) y cc: capacidad de campo (\%)}$$

La conductividad eléctrica a capacidad de campo será mayor en suelos arenosos que en suelos arcillosos, para una misma conductividad en extracto saturado.

Para valores de CE_{es} entre 0,1 y 5 dS/m puede considerarse la siguiente relación entre la concentración de sales en la solución del suelo, o sólidos disueltos (SD), y la CE_{es}:

$$SD\ (meq/l) = CE_{es}\ (dS/m) \times 10$$

Respecto a la concentración de sales en la solución del suelo (SD) en mg/l esta relación es:

$$SD\ (mg/l) = 0{,}64 \times CE_{es}\ (dS/m) \times 10^3$$

Asimismo, una regla práctica (en suelos con Ca^{2+} o Mg^{2+} altos) que relaciona, aproximadamente, la conductividad con la concentración de cationes o aniones es:

$$CE_{es}\ (dS/m) = Cationes\ (meq/l) / 12$$

3.2. Clasificación de los suelos según la salinidad

Los suelos se clasifican, a efectos prácticos, como salinos o alcalinos según el tipo de sales que contienen, la cantidad de sales y de sodio intercambiable, y el pH correspondiente. Será importante conocer qué tipo de cationes predominan en el complejo adsorbente, si es el Ca^{2+} o por el contrario el Na^+.

El porcentaje de Na^+ respecto a la suma de todos los cationes (CIC) se denomina porcentaje de sodio intercambiable (PSI):

$$PSI = ([Na^+] / CIC) \times 100$$

El PSI evalúa la concentración en el complejo adsorbente y se utiliza, sobre todo, para establecer el comportamiento del suelo en relación con la salinidad. En el caso de

suelos salino-sódicos también puede emplearse la relación de adsorción de sodio (RAS o SAR), aunque este índice se utiliza más para evaluar la salinidad del agua de riego. Con la SAR se evalúa la concentración de sodio en la solución del suelo y es calculada a partir de las concentraciones de Na, Ca y Mg.

Se considera que un suelo comenzará a sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el PSI supere el 15%.

En la Figura 6.2 se representa una clasificación de los suelos según el porcentaje de sodio intercambiable y la conductividad del extracto saturado. Los cambios de suelo representados en el diagrama deben considerarse de forma gradual a la hora de evaluar el comportamiento. En algunas clasificaciones similares no se emplea el término alcalino, utilizando genéricamente en su lugar la denominación de suelos sódicos.

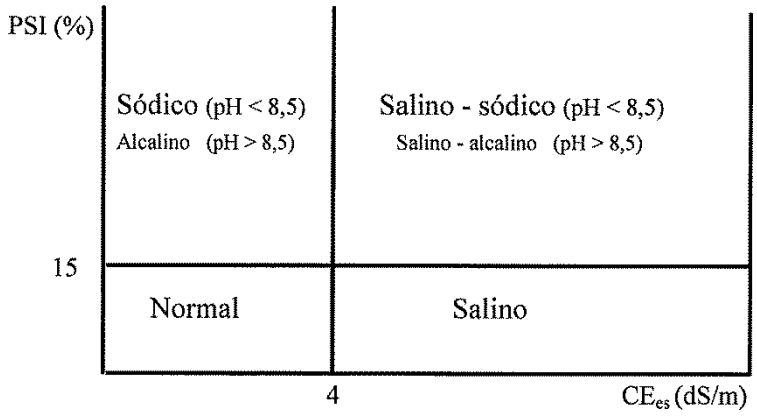


Figura 6.2. Clases de suelo según el porcentaje de sodio intercambiable y la conductividad eléctrica del extracto saturado (basada en las clases del U. S. Salinity Laboratory).

A continuación se comentan las características y las diferencias entre estos tipos de suelos.

a) Suelos salinos.

Se considera un suelo salino cuando la conductividad en extracto de pasta saturada supera 4 dS/m, tiene un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) menor del 15% y el pH no supera 8,5.

Estos tipos de suelos tienen tendencia a formar eflorescencias blanquecinas en la superficie. Tienen un alto contenido en bases y ausencia de cantidades importantes de sodio. Las sales están en proporción superior al 0,2%, generalmente, y suelen ser una mezcla de cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, de los elementos: sodio, calcio, magnesio y potasio.

b) Suelos alcalinos.

El suelo alcalino contiene el suficiente exceso de sales de sodio, particularmente carbonatos y bicarbonatos, que sitúan el pH por encima de 8,5. El porcentaje de sodio intercambiable es superior al 15%, aunque la conductividad eléctrica del extracto de saturación de estos suelos suele ser inferior a 4 dS/m.

En estas condiciones, si el pH es inferior a 8,5 el suelo se denomina sódico, al tener un contenido salino bajo y altos niveles de sodio.

La materia orgánica tiene tendencia a disolverse y dispersarse por el suelo, dándole un color más oscuro.

El exceso de sodio provoca la dispersión o defloculación de los coloides arcillosos y húmicos, lo que da lugar a una estructura inestable y deficiente del suelo, comportándose como un suelo impermeable. El pH elevado provoca a la vez una baja solubilidad del Fe, Mn, Cu y Zn; y el exceso de sales dificulta el desarrollo de las plantas.

c) Suelos salino-alcalinos.

Son suelos con elevado contenido en sales (CE_{es} > 4 dS/m), de las cuales las sódicas alcanzan un valor alto. El porcentaje de sodio intercambiable es superior al 15%, y el pH superior a 8 o se mantiene próximo a este nivel. En estas condiciones, si el pH es inferior a 8,5, se denominan suelos salino-sódicos.

Cuando se lavan estos suelos se arrastran las sales, el sodio terminará formando carbonato sódico y aumentará el pH.

3.3. Efectos de la salinidad del suelo

La utilización de suelos salinos o alcalinos para plantaciones frutales conlleva siempre problemas asociados. Será conveniente efectuar correcciones del suelo antes de establecer la plantación y también disponer las plantas en caballones. Además habrá que aportar agua suficiente para el lavado de las sales, o evitar su ascenso con el laboreo en terrenos de secano.

La sensibilidad de los frutales a la salinidad varía según las especies y el patrón utilizado. La salinidad se manifiesta por crecimientos débiles, con hojas pequeñas en el extremo de los brotes, cloróticas y con los bordes necrosados y deformados, que en

casos graves, finalmente, terminan cayendo. Estos síntomas pueden confundirse con deficiencias en potasio y magnesio, aunque en el caso de salinidad las hojas no caen tan pronto, son pequeñas y la clorosis es muy acentuada.

En la Tabla 6.6 se recoge el grado orientativo de sensibilidad de diferentes especies frutales. Los datos disponibles de diferentes autores presentan gran variación. Es bien conocida la buena tolerancia a la salinidad de la palmera datilera, del algarrobo y del pistacho; por el contrario, el peral, el manzano y los frutales de hueso son considerados bastante sensibles.

Tabla 6.6. Grado orientativo de sensibilidad a la salinidad del suelo de diferentes especies frutales.

Muy sensibles	Sensibles	Liger. tolerantes	Buena tolerancia
Frambueso	Melocotonero	Granado	Palmera datilera
Aguacate	Albaricoquero	Higuera	Algarrobo
Cerezo	Almendro	Olivo	
Manzano	Peral	Pistacho	
Nogal	Ciruelo		
Cítricos	Membrillero		
Níspero	Vid		

A medida que aumenta la salinidad en el suelo disminuye el rendimiento productivo de las plantas. Se han propuesto fórmulas como la de Maas y Hoffman que recoge la posible relación que existe entre el rendimiento productivo (P en %) y la conductividad eléctrica del extracto saturado (CE_{es}) en dS/m:

$$P = 100 - b\,(CE_{es} - a) \leq 100$$

El coeficiente 'a' representa el umbral de tolerancia a la salinidad de cada especie en dS/m y el coeficiente 'b' el porcentaje de disminución del rendimiento por unidad de CE_{es} de cada especie.

En la Tabla 6.7 se reflejan los valores de CE_{es} para diferentes porcentajes de disminución del rendimiento (o desarrollo de la planta, según casos), obtenidos según la fórmula de Maas y Hoffman y según los datos recopilados por Ayers y Westcok.

3.4. Corrección de la salinidad

Para corregir la salinidad se deben conocer bien las características del suelo y definir exactamente el problema existente. Si la salinidad se debe a una capa freática salina alta no habrá otra solución que realizar un sistema de drenaje y luego lavar las sales.

Tabla 6.7. Valores de la CE_{es} para diferentes porcentajes de disminución del rendimiento de cultivos frutales (en albaricoquero, ciruelo, almendro y vid la evaluación se basa en el desarrollo de la planta).

Especie	a	b	Valores de la CE_{es} (dS/m) para disminución del rendimiento de:				
			0%	10%	25%	50%	100%
Palmera datilera	4,0	4,50	4,0	6,8	10,9	17,9	32,0
Granado	2,7	8,77	2,7	3,8	5,5	8,4	14,0
Higuera							
Olivo							
Vid	1,5	9,62	1,5	2,5	4,1	6,7	12,0
Peral	1,7	16,13	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Manzano							
Naranjo							
Limonero							
Nogal							
Ciruelo	1,5	17,86	1,5	2,1	2,9	4,3	7,0
Almendro	1,5	19,23	1,5	2,0	2,8	4,1	7,0
Melocotonero	1,7	20,83	1,7	2,2	2,9	4,1	6,5
Albaricoquero	1,6	23,81	1,6	2,0	2,6	3,7	6,0
Aguacate	1,3	20,83	1,3	1,8	2,5	3,7	6,0
Frambuesa	1,0	22,73	1,0	1,4	2,1	3,2	5,5

'a' = umbral de tolerancia a la salinidad de cada especie CE_{es} en dS/m, 'b' = porcentaje de disminución del rendimiento por unidad de CE_{es} de cada especie.
(Según fórmula de Maas y Hoffman y recopilación de Ayers y Westcok; en Pizarro, 2006)

Si el suelo es salino no sódico se deberá aplicar, además del riego, una dosis de lavado (LR, requerimiento de lixiviación) para mantener la conductividad por debajo de un valor determinado. LR será la relación entre el volumen de agua lixiviado y el volumen total de riego aplicado. Aproximadamente, las necesidades de lavado están comprendidas entre el 10-20% del agua aportada.

El cálculo real de las necesidades de lavado es complicado. Se estima a partir de diferentes fórmulas. Estas tienen en cuenta la conductividad del agua aportada en el riego (CE_{ar}) y la conductividad requerida en el extracto saturado del suelo (CE_{es}), aunque se presentan variaciones entre las fórmulas a la hora de establecer las conductividades eléctricas tomadas como referencia para el suelo. Para un cálculo aproximado, la fórmula más utilizada es la siguiente (conductividades en dS/m):

$$LR = CE_{ar} / (5 \times CE_{esu} - CE_{ar})$$

Siendo CE_{ar} la conductividad del agua de riego y CE_{esu} la conductividad umbral del extracto saturado para que se produzca una determinada reducción de cosecha, o el valor objetivo a conseguir con el lavado.

Esta fórmula se aconseja más para riegos por gravedad y de baja frecuencia (aspersión), proponiéndose para riegos de alta frecuencia (goteo, microaspersión) la siguiente:

$$LR = CE_{ar} / 2 \times CE_{max}$$

Siendo CE_{ar} la conductividad del agua de riego y CE_{max} la conductividad umbral del extracto saturado para una pérdida del rendimiento del 100%.

También se debe considerar un factor de eficacia del lavado (L_e); puede ir desde 0,25 en suelos muy arcillosos a 1 en suelos arenosos; normalmente, en suelos de textura media se toma 0,6 - 0,7. Finalmente, si las necesidades de agua del cultivo están dadas por N (m3/ha), la cantidad total de agua a aportar (N_T), viene dada por la expresión:

$$N_T = N / (1 - LR_t), \quad \text{siendo} \quad LR_t = LR / L_e$$

Con el lavado en suelos pesados se debe evitar provocar problemas de asfixia y se debe lavar con agua de buena calidad.

En los suelos salino-sódicos y sódicos, además de los lavados de las sales se aporta, en general, yeso. También se puede aportar yeso y azufre, cloruro cálcico, sulfato ferroso, y otros compuestos de calcio para reemplazar el sodio del complejo de cambio. Al reemplazar el sodio por el calcio se mejorará la estructura del suelo y su permeabilidad.

La cantidad de sodio a desplazar (en meq/100 g) se calculará según el PSI inicial y final, y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que tiene el suelo (en meq/100 g). La expresión resultante es:

$$\Delta Na^+ = CIC \times [(PSI_i - PSI_f) /100]$$

Para desplazar 1 meq Na^+/ha en un espesor de suelo de 30 cm será necesario aplicar una dosis teórica de yeso de unas 3,8 t/ha (teniendo en cuenta que para desplazar 1 meq Na^+/100g de suelo se precisan 86 mg de yeso por 100g suelo). En caso de azufre se precisarían 0,72 t/ha. Si para la aplicación anterior de yeso se considera un 75% de rendimiento, debido a pérdidas de lavado, la dosis práctica a aplicar es de 5 t/ha de yeso.

El PSI del suelo no debería superar el 10% para tener garantías de que no habrá repercusión sobre los frutales.

Existen productos en el mercado (en general compuestos de ácidos orgánicos y calcio) para mejorar la acción del agua de lavado y ayudar a reducir la cantidad de sales y por tanto la conductividad. Además, estos productos aportan calcio al suelo.

4. Carbonatos y caliza activa

Los carbonatos que con más importancia se encuentran en el suelo son el carbonato cálcico (calcita), el carbonato magnésico (magnesita) y el carbonato cálcico y magnésico (calcita magnésica y dolomita). En suelos salinos se encontrará también carbonato sódico. Los carbonatos más comunes en el suelo son los de calcio y le siguen los de sodio y magnesio. Junto a los carbonatos también pueden precipitar otros minerales contenidos en la calcita.

Los carbonatos pueden ser determinados previamente en campo, mediante ácido clorhídrico (al 10%), para detectar su presencia y ver la conveniencia de realizar análisis de laboratorio. El carbonato cálcico se determina normalmente por el método llamado del calcímetro de Bernard y su resultado se da en porcentaje en peso de caliza en el suelo. Normalmente, el resultado reflejado por el laboratorio viene dado como carbonatos totales o carbonato cálcico equivalente. Es conveniente que la muestra de tierra recoja también los nódulos y láminas de carbonatos que tenga el horizonte, según su distribución, para que los resultados sean más reales.

En la Tabla 6.8 se da una valoración de la caliza total en suelo. En general, niveles de caliza total menores del 15% no originarán problemas en los frutales, sino por el contrario, serán favorables para el suministro de calcio. A partir del 15% se recomienda conocer el contenido de caliza activa, ya que puede verse afectada la productividad según aumenta el contenido de caliza. Para niveles superiores al 40%, en general, el suelo no será viable para los frutales.

Tabla 6.8. Valoración del contenido total de caliza en el suelo.

Caliza total (%)	Valoración
< 4	Inapreciable (deficiente)
4 a 8	Muy poco calizo
8 a 15	Poco calizo
15 a 25	Calizo
25 a 40	Muy calizo
> 40	Extremadamente calizo

Cuando el agua del suelo contiene CO_2, debido principalmente a la actividad biológica, se movilizan estos carbonatos y se lavan, acumulándose en las capas inferiores. En zonas muy lluviosas y en suelos ácidos habrá ausencia de carbonatos.

Con presencia alta de carbonatos en suelo el pH puede alcanzar valores elevados (8 - 8,5), lo que reduce la solubilidad de algunos elementos y por tanto su disponibilidad para las plantas.

No toda la caliza que se encuentra en el suelo afecta a las plantas, sino solamente la que está disgregada y se impone activamente desde la solución del suelo, evitando la retención de otros cationes. La fracción de carbonatos del suelo que se solubiliza y pasa a la solución del suelo se denomina caliza activa. Este es un indicador más preciso que los carbonatos totales a la hora de analizar el efecto que tendrá la caliza de un suelo para los frutales.

La cal activa, en general, se determina mediante extracción con oxalato amónico y calcimetría. En definitiva se trata de reflejar como la caliza puede interceptar la absorción del hierro por las raíces. Este efecto se denomina clorosis férrica.

En la Tabla 6.9 se da una valoración del contenido de caliza activa en el suelo y de su acción sobre los frutales.

Tabla 6.9. Valoración del contenido de caliza activa en el suelo y de la acción clorosante sobre los frutales.

Caliza activa (%)	Valoración	Acción clorosante
< 2	Bajo (inapreciable)	Sin efectos
2 a 5	Bajo	Nula o escasamente clorosante
5 a 8	Medio	Ligeramente clorosante
8 a 10	Medio	Clorosante
10 a 12	Alto	Clorosante
12 a 15	Alto	Bastante clorosante
15 a 20	Muy alto	Muy clorosante
> 20	Muy alto	Extremamente clorosante

Para dar una idea más exacta del hierro extraíble por la planta se propuso por Pouget y Yuste (1972) el denominado índice de poder clorosante (IPC), el cual relaciona la caliza activa y el hierro asimilable. Está dado por la expresión:

$$IPC = [(\text{Caliza activa en } \%) / (\text{Fe ext. en mg/kg})^2] \times 10^4$$

El IPC suele utilizarse más frecuentemente en vid, en la que se dispone de una valoración de referencia de este índice para varios patrones. Por ejemplo el 3309-C tiene un índice 10, mientras que el 41B tiene un índice de 60.

4.1. Efectos de la caliza del suelo. Clorosis

Los suelos requieren un contenido mínimo de carbonatos ya que son la fuente principal del calcio necesario para la nutrición de las plantas; aunque éste también se encuentra en fosfatos, sulfatos, cloruros y compuestos orgánicos. El calcio, a su vez, contribuye a mantener de la estructura del suelo y la actividad microbiana.

En plantaciones frutales son precisos niveles de caliza activa entre el 2 y el 5% para mantener los requerimientos de calcio, pero también es conveniente que estos niveles de caliza activa no superen el 6-7% para que no haya efectos negativos sobre las plantas por exceso de caliza, según puede verse en la Tabla 6.9.

La clorosis debida a suelos calizos es un problema que afecta a muchas plantaciones frutales y viñas en nuestro País.

Coma ya se ha citado, la clorosis producida por un exceso de caliza y suelos de reacción alcalina se debe principalmente a insolubilización del hierro, o también del manganeso en algún caso. Hay una interacción entre la caliza activa y el nivel de pH del suelo. La clorosis también puede aparecer con niveles bajos de caliza pero con un pH elevado. Si ambos niveles son muy altos el problema se acentúa.

Si la alcalinidad del medio mantiene el hierro en estado férrico insoluble, las raíces tienen poca capacidad de absorber hierro, lo que unido a la escasa movilidad del hierro en la planta origina carencia y hace que la fotosíntesis no se realice bien, produciéndose clorosis.

La clorosis aparece primero en las hojas más jóvenes, que adquieren un menor desarrollo, y se va extendiendo a las hojas adultas. El amarilleamiento de las hojas es progresivo, pasando de un verde pálido a un amarillo verdoso y luego a amarillo, destacando las nervaduras con un color más verde; en casos graves las hojas llegan a presentar una coloración amarillo-blanquecina. En estos casos graves se necrosan los bordes del limbo y llegan a producirse defoliaciones. El síntoma aparece desde principios de primavera y se va acentuando con el tiempo.

Cabe destacar que la clorosis no siempre indica exceso de cal en el suelo, sino que otras causas también producen clorosis (carencia de nitrógeno, salinidad, asfixia radical, etc.), aunque los síntomas en las hojas amarillentas, con las nerviaciones verdes marcadas, son característicos de la clorosis férrica.

Para diagnosticar la deficiencia se suele recurrir al análisis foliar, pero debe tenerse en cuenta que el resultado puede dar lugar a confusión, ya que se acumula hierro

fisiológicamente inactivo en las hojas enfermas y puede dar lugar a valores altos, incluso más que en las hojas sanas, lo que se conoce como "paradoja de la clorosis". Para el diagnóstico debe tenerse en cuenta el equilibrio con los otros elementos, así las concentraciones de fósforo y potasio tienden a ser mayores en las hojas cloróticas, mientras que la concentración de calcio tiende a ser más baja.

La sensibilidad de los frutales a la caliza activa es variable según especies, variedades y patrones. En general puede decirse que valores por encima del 7-8% ya pueden dar problemas.

Es importante conocer la tolerancia del patrón empleado. Por ejemplo, melocotoneros que clorosan con los patrones francos Higama y Montclar no presentan clorosis con el patrón franco GF-305, en las mismas condiciones (sobre 8%); o se mantienen sin síntomas con patrones de híbrido almendro x melocotonero aunque aumente el nivel de caliza activa (sobre 12%). Para la vid hay patrones con niveles de resistencia muy diferentes, por ejemplo, 41B, 140-Ru y Fercal se sitúan en el extremo de la tolerancia alcanzando hasta un 40% de caliza activa (según el medio), mientras que 3309-C y 101-14 son los menos tolerantes con un 10%, aproximadamente.

El la Tabla 6.10 se da una indicación del nivel de resistencia de algunos frutales a la caliza activa. El valor del intervalo depende de la variedad y sobre todo del patrón en que está injertada, pudiéndose encontrar variaciones respecto a los valores indicados en la manifestación de clorosis según las características de la plantación.

Lo más recomendable para evitar los efectos de la clorosis férrica es elegir, entre los patrones que se adecuen a la variedad, los que presentan el mayor grado de resistencia a la caliza.

También es recomendable aplicar técnicas de cultivo que palíen los efectos, como la aplicación de materia orgánica, reducir la compactación y mejorar la estructura del suelo. Los síntomas se acrecientan en suelos húmedos, por lo que habrá que evitar encharcamientos. Asimismo, las cubiertas vegetales contribuyen a la reducción de la clorosis por los efectos favorables que tienen sobre el suelo y además las gramíneas mejoran la eficacia de los productos correctores aplicados al suelo.

Ante la aparición de los síntomas, o si se prevén, será necesario aplicar correctores al suelo. Los productos más usuales y de probada eficacia son los quelatos férricos sintéticos. Se aplican sobre todo en el riego por goteo, aunque también se pueden aplicar por inyección al suelo de soluciones acuosas.

El Fe-EDDHA y sus homólogos son los más eficaces. El Fe-DTPA y, sobre todo, el Fe-EDTA pierden la eficacia en suelos muy básicos siendo recomendables solo en suelos neutros o ácidos. En suelos con problemas de clorosis, según el grado de afección que presentan las plantas, se utilizan entre 10 y 50 kg/ha de quelato de hierro (6%) en cada campaña.

También se aplican al suelo sales inorgánicas, como sulfato ferroso, nitrato ferroso y fosfato ferroso (vivianita), mediante abonados localizados o inyección. Para corregir también la basicidad del suelo es recomendable emplear en este caso sulfato ferroso y azufre.

También es posible la aplicación foliar de los productos citados aunque es más problemática para la planta y el medio ambiente. Incluso se pueden aplicar mediante inyecciones o implantes en los troncos. En el mercado existe una amplia gama de productos en los que hay que considerar si está probada su efectividad y el coste de la aplicación.

Tabla 6.10. Niveles de resistencia de los frutales a la caliza activa.

Especie	Caliza activa (%)
Manzano	12 - 15
Peral	
Sobre membrillero	7 - 9
Sobre franco	10 - 15
Melocotonero	
Sobre franco	7 - 9
Sobre ciruelo	9 - 12
Sobre híbrido a x m	12 - 14
Cerezo	
Sobre P. avium	7 - 9
Sobre Colt	6 - 7
Sobre Santa Lucía	10 - 12
Ciruelo	8 - 13
Albaricoquero	11 - 13
Almendro	11 - 14
Cítricos	8 - 14
Olivo	15 - 20
Vid	15 - 30

5. Fertilidad

La fertilidad del suelo está determinada por un conjunto de propiedades del suelo ligadas a la nutrición de las plantas que hace que el cultivo se desarrolle adecuadamente y con unos buenos rendimientos, si las condiciones climáticas y agronómicas son también adecuadas.

En muchas ocasiones se entiende la fertilidad del suelo como referida solamente a las propiedades químicas o incluso solamente al contenido de elementos nutritivos, pero las propiedades físicas del suelo también tienen importancia en la fertilidad, sobre todo en estrategias de producción no basadas en la aplicación de productos químicos que puedan corregir las posibles deficiencias del suelo.

En la fertilidad se deben contemplar de forma global todas las propiedades del suelo, teniendo cuenta además los aspectos medioambientales y las necesidades de su conservación y sostenibilidad.

Dentro de estas propiedades el contenido de macroelementos y microelementos tiene una importancia esencial sobre la fertilidad del suelo, pero además otros aspectos a los que se ha hecho referencia en apartados anteriores, como materia orgánica y actividad biológica, textura y estructura, pH, etc. y, evidentemente, el contenido de humedad, también condiciona la disponibilidad de los nutrientes y por tanto el potencial productivo del suelo.

Las plantas necesitan esencialmente para su constitución C, O e H y además precisan tomar del suelo en cantidades relativamente elevadas los siguientes macroelementos: N, P, K, Ca, Mg, y S. De estos macroelementos N, P y K son considerados esenciales en la fertilidad del suelo, pero no debe despreciarse el papel de los demás. Ca y S no suelen presentar deficiencias en nuestros suelos a no ser que haya un problema de disponibilidad.

Las plantas también precisan en cantidades muy pequeñas los siguientes microelementos: Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo y Cl. En las plantas también se encuentran trazas de otros elementos que pueden tener interés fisiológico o bien que no se ha probado su interés.

Entre los citados elementos se producen interacciones iónicas que desencadenan antagonismos y sinergismos. Por ejemplo: un exceso de K puede influir negativamente en la absorción del Ca; el exceso de P tiende a reducir la asimilación de N y viceversa; un exceso de Mn crea una deficiencia en el Fe funcional y se reduce la absorción de N;

la absorción de B es reducida por altos contenidos de N. Incluso las interacciones pueden involucrar a más de dos elementos, por ejemplo el K influye negativamente en la absorción de Mg si el nivel de N es alto, pero no si es bajo.

Las carencias en algún macro o micro elemento tienen repercusión negativa sobre el cultivo, por lo que antes de establecer una plantación se debe conocer el contenido en el suelo y luego controlar sus niveles durante la vida de la plantación, para evitar problemas en los procesos fisiológicos de las plantas antes de que manifiesten la carencia en la vegetación y la fructificación.

En ocasiones, el exceso de alguno de estos elementos origina desequilibrios nutricionales al dificultar la absorción de otros, e incluso puede desencadenar clorosis y en casos concretos toxicidad para las plantas, como Cl, S y B. También un exceso de otros elementos que no se encuentran entre los citados puede causar toxicidad, como Na, Al, etc.

Un indicador de la fertilidad natural de un suelo es la capacidad de retener o adsorber cationes o capacidad de intercambio catiónico (CIC). Tiene varios efectos sobre las características del suelo (floculación y dispersión de arcillas, estabilidad de la estructura, retención de contaminantes, etc.) pero sobre todo interviene en el suministro de nutrientes al hacer que puedan estar disponibles para las plantas, además de evitar que se pierdan por lavado a las capas profundas, por lo que la CIC tiene gran influencia en la fertilidad del suelo.

Esta capacidad viene dada por el contenido y tipo de arcilla y materia orgánica. La CIC puede aumentarse añadiendo materia orgánica. En la Tabla 6.11 se refleja una valoración orientativa de la CIC total de un suelo.

Tabla 6.11. Valoración orientativa de la capacidad de intercambio catiónico total de un suelo (CIC).

CIC (meq/100 g)	Nivel	Tipo de suelo
< 10	Muy bajo	Suelo muy pobre
10 a 20	Bajo	Suelo pobre
20 a 35	Medio	Suelo medio
35 a 45	Alto	Suelo rico
> 45	Muy alto	Suelo muy rico

La relación entre los cationes de cambio principales: Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+} y K^{+}, y la CIC total indica el porcentaje de cationes basificantes o la saturación por bases (V), dada por la expresión:

$$V\ (\%) = [(Ca^{++} + Mg^{++} + Na^{+} + K^{+}) / CIC\ ] \times 100$$

Cuanto mayor sea el grado de saturación, más posibilidades tendrá el suelo de retener cationes. Si es menor de 50 el suelo será muy ácido y originará dificultades en la nutrición, siendo necesario incorporar enmiendas calizas, como ya se ha comentado en apartados anteriores.

Como ya se ha citado, una de las bases del estudio de la fertilidad del suelo son los análisis de nutrientes. Estos tratan de reproducir la forma en que las plantas extraen nutrientes del suelo, lo que es bastante complejo. Es recomendable para su interpretación conocer otras características del suelo (pH, conductividad, materia orgánica, CIC, etc.), y en las plantaciones ya establecidas es útil también disponer de un análisis foliar si se han detectado problemas nutricionales.

Normalmente, los análisis de suelo indican el método de terminación y la valoración. Cuando se acude para la valoración a las tablas de interpretación que se encuentran en la bibliografía se debe comprobar que el método de análisis por el que se obtienen los resultados se corresponde con el método que figura en la tabla de valoración.

En el caso de deficiencia importante de P o K se debería corregir antes de la plantación mediante un abonado de fondo, lo que económicamente es costoso y la eficacia no siempre es buena; por eso se recurre muchas veces a ir paliando esta deficiencia durante los primeros años de la plantación. Las deficiencias en los otros elementos se van corrigiendo una vez establecido el cultivo.

Las necesidades de elementos fertilizantes de la plantación se determinan a partir de las extracciones previstas por el cultivo y teniendo en cuenta la disponibilidad de los elementos en el suelo y la eficiencia de la aplicación (localización, inmovilización, lavado, etc.).

La aportación de abono se hace bien directamente al suelo o por fertirrigación, o en caso necesario puede recurrirse a tratamientos con abono foliar o con correctores de carencias. En general, si la fertilidad del suelo es baja habrá una respuesta patente a la aportación de nutrientes, si es alta no se observará la respuesta; en todo caso es necesario vigilar las posibles deficiencias o excesos de los nutrientes en el suelo.

A continuación se hace una breve referencia a los elementos de más importancia, los cuales deben estar incluidos siempre en los análisis de suelos que se encargan a los laboratorios.

5.1. Nitrógeno

El nitrógeno es considerado el factor principal del crecimiento de las plantas, claro está, sino hay limitaciones importantes de otros elementos. Es el componente esencial de las proteínas de las células y también contribuye a la composición de los granos de clorofila.

Los frutales requieren nitrógeno en cantidades importantes. Con deficiencia de nitrógeno el crecimiento del brote será escaso, las hojas serán más pequeñas y presentan un color verde claro a amarillento, especialmente en el extremo del brote. Los peciolos y los ramos suelen presentar coloraciones más rojizas. La deficiencia influye también negativamente en varios procesos fisiológicos esenciales (floración, cuajado, etc.) y los frutos adquieren menor tamaño.

Por otro lado, un exceso de nitrógeno provoca desequilibrios vegetativos en la planta con un exceso de crecimiento, en detrimento de la inducción floral; además tiene efectos negativos sobre la calidad de los frutos, por ejemplo bitter pit en manzanas y peor conservación de frutos. Si las hojas caen en otoño más tarde que lo normal, puede ser un síntoma de exceso de nitrógeno; este retardo en la entrada en reposo hace más susceptible a la planta a las heladas tempranas.

La fuente de nitrógeno en suelo es el humus que contiene y las aportaciones minerales que se realizan. Además puede incorporarse al suelo nitrógeno atmosférico en forma orgánica, aunque éste no es considerado en los balances. En ocasiones el agua de riego puede contener cantidades apreciables de nitratos, si ha sido contaminada por purines o proviene de drenajes cargados de nitratos.

El nitrógeno se encuentra en el suelo de forma orgánica y química, en este último caso en forma de nitratos, nitritos y amoniaco. Los nitritos resultan tóxicos para las plantas. Las formas amoniacales son retenidas por el complejo absorbente, por lo que tienen un menor riesgo de perdida; en su mayor parte pasan por un proceso de nitrificación antes de ser absorbidas. Las formas nítricas permanecen libres en la solución del suelo desplazándose con el agua, por lo que tienen riesgo de lavado.

Los resultados dados en los análisis reflejan el nitrógeno orgánico y el amoniacal. Este nitrógeno será liberado gradualmente para ser utilizado por los plantas, por lo que el análisis no refleja el nitrógeno realmente disponible para las plantas. Los nitritos y nitratos suponen, en general, una fracción muy pequeña y se encuentran en la solución del suelo, siendo lavados fácilmente.

Las plantas asimilan indistintamente nitrógeno en forma de NO_3^- o de NH_4^+, con preferencia según el pH del suelo y la especie de que se trate. Si lo absorben en forma de iones nitrato deberán reducirlo hasta iones amonio para su metabolización.

Dada la gran variabilidad del contenido en nitrato que hay a lo largo del tiempo en el suelo no se puede clasificar la fertilidad respecto a este valor. Se considera que la nutrición de la planta está garantizada si el contenido de NO_3^- es al menos de 10 ppm.

Los análisis de nitrógeno se realizan, normalmente, según el método Kjeldalh, considerando el resultado como nitrógeno elemental total. En la Tabla 6.12 se da una interpretación orientativa del contenido de nitrógeno en suelo. Téngase en cuenta que esta valoración no indica disponibilidad de nitrógeno para las plantas.

Tabla 6.12. Valoración del contenido de nitrógeno elemental en suelo.

N (%)	Valoración
< 0,05	Muy bajo
0,05 a 0,10	Bajo
0,10 a 0,20	Normal
0,20 a 0,40	Alto
> 0,40	Muy alto

Los resultados de los análisis sólo sirven para prever posibles correcciones a la hora de determinar las aportaciones precisas para el cultivo. Excepto si es mediante aportación de materia orgánica, no deben hacerse enmiendas nitrogenadas previas a la plantación, debido a la gran movilidad que tiene el nitrógeno aportado con los fertilizantes minerales nitrogenados.

Para suplir las extracciones del cultivo el abonado se debe fraccionar a lo largo del año. Se debe elegir el tipo de abono a aplicar según sus características de movilidad y las necesidades de las plantas en cada época; considerando además la eficiencia de la aplicación. Debe tenerse en cuenta que durante el invierno se puede lavar por las lluvias el nitrógeno disponible, por lo que debe ser aportado a la salida del invierno antes de que sea necesitado por la planta en el inicio de la brotación. Asimismo, en otoño, antes de la entrada en reposo, habrá que asegurar que en el suelo haya suficiente nitrógeno para que la planta lo absorba y lo acumule en sus reservas, pero sin que el exceso de nitrógeno interfiera en la correcta entrada en reposo.

Los suelos arenosos resultan pobres en nitrógeno por la mayor facilidad de lavado, además de que, normalmente, tienen menor contenido de materia orgánica.

La capacidad del suelo para suministrar nitrógeno depende principalmente del nitrógeno mineral aportado en la fertilización y de su reserva de nitrógeno orgánico junto con la facilidad de mineralización que presente. En una capa de suelo de 30 cm, si contiene el 1 por mil de N, con una velocidad de mineralización del 2% anual, las reservas orgánicas suministrarán unos 75 kg/ha de N anuales. En las capas profundas el suministro será inferior al tener menor contenido de materia orgánica.

Son numerosas las formulaciones de fertilizantes nitrogenados disponibles en el mercado para la aplicación directa al suelo o mediante fertirrigación. En la aplicación debe tenerse en cuenta el posible carácter acidificante y el contenido en nitrógeno nítrico o amoniacal del producto. En corrección de carencias o como complemento también hay formulaciones para aplicar mediante pulverización foliar, en la que se debe cuidar la fitotoxicidad del producto.

5.2. Fósforo

El fósforo es otro de los elementos esenciales para las plantas; forma parte de numerosas sustancias orgánicas entre las que destacan las proteínas (fosfoproteínas y nucleoproteínas) y participa en diversas reacciones bioquímicas (respiración, transporte de energía, etc.). Respecto a los procesos fisiológicos de las plantas, se ha comprobado su acción muy positiva sobre el desarrollo de las flores, el cuajado de los frutos y la maduración, por lo que es importante para la fructificación, además de intervenir en otros procesos como el endurecimiento de la planta.

La carencia de fósforo ralentiza el crecimiento de raíces y brotes, originando hojas de menor tamaño. Los ramos son más débiles; en frutales de pepita adquieren un color rojizo anormal y las hojas adquieren una coloración más oscura que luego palidece y termina volviéndose rojiza, especialmente el peciolo y las nervaduras en el envés.

El fósforo se presenta en el suelo en numerosas formas en compuestos orgánicos e inorgánicos. La mayor parte se encuentra en forma de fosfatos insolubles. El fósforo activo, incorporado a los coloides y soluble, es el asimilable para las plantas y se encuentra en muy pequeña cantidad. Este fósforo está muy ligado a la materia orgánica, al pH y a la cal activa.

El movimiento del fósforo en el suelo es muy limitado y está relacionado con el hierro en suelos ácidos y con el calcio en suelos neutros y alcalinos. En suelos alcalinos se inactiva fácilmente en forma de fosfato insoluble.

Los análisis tratan de reflejar el fósforo asimilable por las plantas (ácido fosfórico soluble). El método utilizado normalmente es el método Olsen, aunque para suelos muy ácidos y ricos en materia orgánica se recomienda el método Bray. Los resultados se dan, normalmente, en mg P/kg. En análisis de suelos el fósforo se expresa, en general, como P y a la hora de definir la fertilidad del suelo y en terminología de abonos se expresa como P_2O_5. La unidad fertilizante se define como 1 kg de P_2O_5 ($P_2O_5 = P \times 2{,}292$).

En la Tabla 6.13 se da una interpretación orientativa del contenido de fósforo asimilable en el suelo. Estos valores corresponden a un suelo de textura media y en regadío. Si el suelo es pesado los niveles reflejados deben considerarse un poco más elevados y si el suelo es ligero los valores serán algo inferiores. Para suelos de secano los valores deben considerarse ligeramente inferiores.

Tabla 6.13. Valoración del contenido de fósforo asimilable en suelos de textura media.

Método Olsen P (mg/kg)	Valoración	Método Bray P (mg/kg)
< 8	Muy bajo	< 3
8 a 16	Bajo	3 a 7
16 a 24	Medio	7 a 20
24 a 32	Alto	20 a 30
> 32	Muy alto	> 30

La deficiencia de fósforo en el suelo es conveniente corregirla mediante abonado de fondo, antes de la plantación, incorporando el abono con las labores de preparación del suelo. En bastantes ocasiones, en plantaciones con una calle predominante, suele realizarse la corrección solamente en una banda correspondiente con la línea de plantación. También se aporta fósforo con la materia orgánica. Si la deficiencia es alta se irá corrigiendo también gradualmente durante los primeros años de la plantación. Según los resultados obtenidos por el método Olsen (con extracción 1/20) y con una densidad del suelo de 1,25, para elevar 1 ppm el contenido de fósforo (en peso) en una capa de 10 cm de suelo, se precisan 25 kg de P/ha, equivalentes a 57,3 kg de P_2O_5/ha.

A lo largo de la vida la plantación se deberán suplir las extracciones del cultivo. En suelos ácidos o alcalinos se considerará una menor eficiencia de la aplicación que en suelos de pH neutro, por lo que debe aumentarse la aportación de fósforo. En abonado directo al suelo se hace una sola aportación antes de iniciarse la actividad de las plantas o, en su caso, se complementa con otra aportación al inicio del verano. En fertirrigación la aportación de fósforo se fracciona a lo largo del ciclo vegetativo. En suelos con un contenido alto o muy alto en fósforo deberá restringirse bastante la aportación.

5.3. Potasio

El potasio es también otro de los elementos esenciales para las plantas aunque no se encuentra en compuestos constituyentes, por eso su papel está menos definido. Se sabe que interviene en la permeabilidad de las membranas celulares; en la transpiración elevando la resistencia a la sequía y en incrementar la presión osmótica celular elevando la resistencia al frío; participa en la fotosíntesis y en reacciones bioquímicas (formación de hidratos de carbono, síntesis de proteínas, reacciones enzimáticas, etc.).

El potasio activa la absorción de los nitratos. En exceso de calcio o de magnesio se origina por antagonismo una deficiencia de potasio. Asimismo, un exceso de potasio puede originar deficiencias de magnesio, hierro y otros elementos.

La carencia de potasio ocasiona un menor desarrollo de los brotes, originando ramos delgados y menor crecimiento de la planta. Las hojas se quedan más pequeñas y tienen amarilleamientos; en frutales de pepita tienen el peciolo relativamente largo; los bordes comienzan a enrojecerse y secarse, y se enrollan; este síntoma comienza por las hojas inferiores o medias del brote y avanza hacia el extremo; estas hojas medio secas permanecen en los ramos. Los frutos son más pequeños, presentan un color deficiente (rojo menos intenso), sus cualidades gustativas pueden ser peores y tienen peor conservación.

Para algunas especies frutales se ha comprobado que la sensibilidad a la carencia de potasio es diferente según las variedades y patrones.

El potasio se encuentra en algunos suelos de forma natural, a partir de roca madre de origen magmático, combinado en diferentes silicatos; o a partir de roca madre de pizarra, contenido en arcillas de tipo illita, encontrándose principalmente en forma de cloruros y sulfatos. También se incorpora al suelo a partir de la materia orgánica.

El potasio tiene poca movilidad en el suelo, aunque algo más que el fósforo. Una parte importante del potasio permanece inerte entre las arcillas (parte retrogradada). Sólo una pequeña parte constituye el potasio fácilmente cambiable (o asimilable); está absorbido en la superficie externa de los coloides minerales y orgánicos y mantiene un equilibrio permanente y rápido con la solución del suelo.

Las plantas lo absorben fácilmente, incluso en cantidades superiores a sus necesidades. Debe tenerse en cuenta que el exceso del calcio activo y de magnesio asimilable tiene efectos antagónicos con el potasio. Si hay deficiencia en potasio pueden

darse situaciones de sustitución con el sodio, absorbiendo entonces la planta sodio con repercusiones fisiológicas muy negativas.

Los análisis tratan de reflejar el potasio asimilable por las plantas (K^+). El método utilizado normalmente es el Oficial, mediante extracción con acetato amónico. Los resultados se dan, normalmente, en mg K/kg. En los análisis de suelo se expresa generalmente como K y a la hora de definir la fertilidad del suelo y en terminología de abonos se expresa como K_2O. La unidad fertilizante se define como 1 kg de K_2O ($K_2O = K \times 1{,}205$).

En la Tabla 6.14 se da una interpretación orientativa del contenido de potasio asimilable en el suelo. Estos valores corresponden a un suelo de textura media y en regadío. Si el suelo es pesado los niveles reflejados deben considerarse un poco más elevados, y si el suelo es ligero los valores serán algo inferiores. Para suelos de secano se consideran valores ligeramente inferiores a los indicados.

Tabla 6.14. Valoración del contenido de potasio asimilable en suelos de textura media (método Oficial, extracción 1/10 con acetato amónico).

K (mg/kg)	Valoración
< 75	Muy bajo
75 a 140	Bajo
140 a 220	Normal
220 a 280	Alto
> 280	Muy alto

La deficiencia de potasio en el suelo es conveniente corregirla mediante abonado de fondo, antes de la plantación, incorporando el abono con las labores de preparación del suelo. Puede hacerse junto a la corrección del fósforo, si también es necesario. De igual manera que se propuso para el fósforo, la corrección puede hacerse sólo en una banda coincidente con la línea de plantación; y si las deficiencias son altas conviene corregirlas también gradualmente durante los primeros años de la plantación. En su caso, hay que considerar las aportaciones de potasio procedentes del aporte de materia orgánica.

Según los resultados obtenidos por el método Oficial (extracción 1/10) y con una densidad del suelo de 1,25, para elevar 1 ppm el contenido en potasio (en peso), en una capa de 10 cm de suelo, se precisan 12,5 kg de K/ha, equivalentes a 15 kg de K_2O/ha.

Durante la vida de la plantación se deben suplir las extracciones del cultivo mediante la aplicación de abono. En abonado directo al suelo se hace una aportación antes de iniciarse la actividad las plantas, y otra antes de iniciarse la maduración, para asegurar que habrá suficiente potasio asimilable en el suelo. En fertirrigación la aportación de potasio se fracciona a lo largo del ciclo vegetativo, prestando especial atención al período de maduración. En suelos con un contenido alto o muy alto en potasio deberá restringirse bastante la aportación.

5.4. Calcio

Los efectos del calcio en el suelo han sido ya comentados en apartado 2 al tratar la corrección de suelos ácidos, y en el apartado 4 al tratar los efectos de la caliza en el suelo. En la mayor parte de nuestros suelos frutícolas no hay carencia de calcio.

El calcio tiene un papel múltiple en las plantas; interviene en el crecimiento de los meristemos, en la constitución de las membranas celulares y en el intercambio de agua, en la neutralización de ácidos orgánicos, etc. Tiene una relación importante con la aparición de bitter pit en las manzanas, aumentando éste si los frutos son deficientes en calcio (también contribuye el exceso de nitrógeno en su aparición). En general, el calcio influye en la resistencia a la manipulación de los frutos, sobre la calidad y sobre la conservación de los frutos. También tiene una influencia importante sobre el desarrollo de las raíces.

El calcio es también importante para las propiedades físicas del suelo al participar en el mantenimiento de su estructura, por ser floculante del complejo arcillo-húmico. Interviene en otras propiedades químicas y biológicas (es antagónico del hidrógeno, regula la solubilización de otros elementos, acelera la descomposición de la materia orgánica, etc.). En el complejo de cambio suele ser el catión más abundante.

Los síntomas de carencia de calcio son poco característicos. Se asocian con un bajo desarrollo del árbol, hojas cloróticas y desecamiento del extremo de los ramos.

Se presenta en el suelo bajo numerosas formas: silicatos, fosfatos, carbonatos, sulfatos, etc., y en la materia orgánica.

El calcio es antagónico con el magnesio; niveles altos de calcio originan deficiencias en magnesio. También mantiene interacción con otros elementos del suelo. Por ejemplo niveles altos de calcio pueden originar antagonismo con potasio, hierro, manganeso,

boro y cinc. En la Tabla 6.15 se da una interpretación orientativa del contenido de calcio asimilable en un suelo de textura media.

En suelos pobres en calcio será preciso realizar un encalado del suelo según se refleja en el apartado 2.3 de corrección de suelos ácidos. Luego, en la plantación se emplearán abonos ricos en calcio.

Tabla 6.15. Valoración del contenido de calcio asimilable en suelos de textura media (método Oficial, extracción con acetato amónico).

Ca (mg/kg)	Valoración
< 700	Muy bajo
700 a 2.000	Bajo
2.000 a 4.000	Medio
4.000 a 6.000	Alto
> 6.000	Muy alto

5.5. Magnesio

El magnesio cumple también funciones múltiples en las plantas; es uno de los constituyentes de la clorofila; interviene en la absorción y transporte del fósforo; interviene en la formación de lípidos y pigmentos, y contribuye con el potasio a mantener la turgencia de las células.

Los síntomas de carencia de magnesio se muestran por clorosis y manchas necróticas en el centro y bordes de las hojas que se encuentran en la base de los brotes, y por su posterior caída prematura. Se ha observado diferente sensibilidad de esta carencia en variedades de manzano. La vid es muy sensible a la carencia de magnesio y origina en las hojas clorosis locales características y manchas necróticas.

El magnesio mantiene antagonismo con el calcio; niveles altos de calcio originan deficiencias en magnesio. También mantiene interacción con otros elementos del suelo. Por ejemplo niveles altos de magnesio son antagónicos con potasio, sodio y nitrógeno amoniacal.

En la Tabla 6.16 se da una interpretación orientativa del contenido de magnesio asimilable en un suelo de textura media.

En suelos pobres en magnesio se deben aportar productos magnésicos (dolomitas, cal magnésica, etc.). En suelos básicos se debe utilizar sulfato magnésico.

Normalmente, la corrección se hace durante los primeros años de la plantación y luego se siguen aportando abonos que contengan magnesio. También pueden realizarse pulverizaciones foliares con sulfato magnésico y quelatos de magnesio para corregir la carencia.

Tabla 6.16. Valoración del contenido de magnesio asimilable en un suelo de textura media (método Oficial, extracción con acetato amónico).

Mg (mg/kg)	Valoración
< 60	Muy bajo
60 a 80	Bajo
80 a 100	Medio
100 a 120	Alto
> 120	Muy alto

5.6. Azufre

El azufre es también indispensable para las plantas al ser parte integrante de las proteínas y también está relacionado con la formación de clorofila. Se presenta en compuestos orgánicos, en los que sufre un proceso de mineralización parecido al del nitrógeno, y en compuestos minerales, principalmente en forma de sulfatos.

En nuestros suelos, prácticamente, no hay deficiencia de azufre, por lo que no son necesarias correcciones. Normalmente, este elemento no figura en los análisis de suelo.

El contenido medio de azufre de los suelos agrícolas oscila entre el 0,02% y el 0,06%. De este azufre total, sólo una pequeña parte será asimilable por las plantas. No obstante, esta cantidad es suficiente para las plantas, y dado que las extracciones realizadas por el cultivo suelen compensarse con los aportes de la materia orgánica y con el azufre contenido en los abonos minerales aplicados a plantación, no se necesitan aportaciones complementarias de azufre.

5.7. Microelementos

Los microelementos que se consideran necesarios para las plantas son los siguientes: Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo y Cl. Generalmente, se encuentran en los suelos en cantidades suficientes para las plantas y no es necesario aportarlos a la plantación, salvo que se produzcan deficiencias concretas. Por el contrario, los problemas vienen dados en algunos casos por su exceso.

Dependiendo de la reacción del suelo pueden quedan bloqueados y entonces varía su disponibilidad. Si la absorción es deficitaria se presentan síntomas de carencia en las plantas. En algún caso puede llegar a haber deficiencia del elemento en el suelo, como ocurre con el hierro y el boro.

La corrección de las carencias de estos elementos se realiza una vez establecido el cultivo mediante aplicaciones concretas de fertilizantes al suelo o por fertirrigación, y también, según los casos, mediante pulverización foliar.

Los síntomas que provoca en la planta la carencia de estos elementos son, en algunos casos, característicos para la especie, y en otros casos no resultan claros y su diagnóstico es difícil.

Entre los microelementos que más importancia tienen para los frutales se encuentra el hierro. Este elemento es fundamental para la formación de la clorofila, por lo que su falta da lugar a clorosis. Los efectos de la clorosis férrica y las aplicaciones para evitarla ya han sido comentados en el apartado 4.1, por lo que no se hace más referencia a ello en este apartado.

El manganeso participa en la formación de la clorofila y su falta origina también clorosis. Es imprescindible para la actividad de muchos sistemas enzimáticos.

Otro elemento con cierta importancia para los frutales es el boro, que juega un papel importante en el transporte de azucares y hormonas, así como en las paredes celulares y en la pérdida de agua. El boro tiene una incidencia probada sobre el desarrollo de las flores y la formación de los órganos reproductivos. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los frutales son muy sensibles al exceso de boro y no toleran cantidades superiores a 1 ppm, aunque el olivo es algo más tolerante.

En la Tabla 6.17 se da una interpretación orientativa del contenido de hierro, manganeso y boro asimilables en el suelo.

Tabla 6.17. Valoración del contenido de hierro, manganeso y boro asimilables en el suelo.

Fe (mg/kg) (Extrac. Mehlich 3)	Mn (mg/kg) (Extrac. Mehlich 3)	B (mg/kg) (Extrac. agua caliente)	Valoración
< 50	< 20	< 0,5	Bajo
50 a 100	20 a 50	0,5 a 1,0	Medio
> 100	> 50	> 1,0	Alto

Los restantes microelementos: cobre, zinc, molibdeno y cloro también participan en procesos fisiológicos importantes de las plantas, por lo que su carencia tendrá repercusión.

El cloro ha sido uno de los últimos elementos en considerarse esencial, aunque no se conoce con precisión su papel se sabe que interviene en la turgencia de las células y en la transpiración. Con frecuencia se considera perjudicial por encontrarse en exceso en el suelo en bastantes casos, y al ser los cloruros muy solubles eleva el efecto de salinidad del suelo. Aunque sea deficiente en el suelo, si se aporta entre los abonos cloruro potásico ya se aportan ampliamente las necesidades de cloro. La tolerancia al exceso de cloro en los frutales tiene el límite entre 10 y 25 meq/l de Cl^- en el extracto de saturación del suelo. Los frutales de hueso son los más sensibles al exceso de cloro.

Cabe destacar, como se acaba de citar en algunos casos, que el exceso de microelementos en el suelo origina toxicidades importantes en la planta, y que muchas veces no está claro el límite entre el contenido necesario en el suelo y el umbral de toxicidad.

Las plantas también absorben otros elementos, sin que en muchos casos se conozca su función y se admite que no son esenciales para las plantas. En caso de exceso pueden provocar ciertas alteraciones a planta y toxicidad, como ocurre con el sodio y el aluminio.

6. Características biológicas

Los organismos vivos del suelo son muy diversos y numerosos. Unos son visibles a simple vista pero la gran mayoría no, encuadrándose éstos dentro de los microorganismos. Su contenido en el suelo fluctúa bastante, dependiendo, sobre todo, del contenido de materia orgánica, aunque también influyen otras propiedades (aireación, humedad, pH, etc.). Según la forma de obtener la energía y el carbono se clasifican en dos tipos: autótrofos y heterótrofos.

Los organismos autótrofos, en general, fijan el CO_2 de la atmósfera mediante fotosíntesis, por lo que viven superficialmente y utilizan la energía del sol; aunque algunos organismos obtienen energía y carbono de la oxidación de compuestos inorgánicos. Comprenden algas, líquenes y bacterias.

Los organismos heterótrofos necesitan compuestos orgánicos para obtener energía y carbono. Unos se alimentan de plantas vivas o de otros organismos, entre los que se encuentran animales vertebrados (mamíferos) e invertebrados (artrópodos, moluscos, gusanos, etc.). Otros son saprófitos, entre los que se encuentran la mayoría de bacterias y hongos que viven de la descomposición de la materia orgánica.

Gran parte de los organismos son aerobios pero también hay anaerobios facultativos y estrictos, como algunas bacterias.

Como puede verse, en el suelo hay una gran diversidad y complejidad biológica. Los organismos vivos tienen naturaleza muy diferente y realizan funciones muy distintas; dándose también del hecho de que una misma función sea realizada por diversos organismos, lo que da al suelo funcionabilidad y estabilidad ante alteraciones ambientales.

De forma práctica, los organismos del suelo se encuadran en dos categorías:

1) Microorganismos (microflora y microfauna).

Los microorganismos tienen una dimensión, en general, inferior a 10 µm, aunque entre la microfauna se consideran los organismos inferiores a 0,1-0,5 mm.

En la rizosfera hay una mayor proliferación de microorganismos y se produce una interacción entre éstos y las raíces de la planta debido a las sustancias liberadas por ambos a la solución del suelo.

Las bacterias son el grupo más importante de los microorganismos. Intervienen en los ciclos del carbono, nitrógeno y azufre para que sean utilizables por las plantas. A la vez que realizan tareas de degradación, como descomposición de la materia orgánica, realizan tareas de síntesis, como la formación de humus. Se encuentran bacterias autótrofas, como las que nitrifican el amoniaco y oxidan el azufre; o heterótrofas que utilizan directamente la materia orgánica del suelo. Adquieren gran importancia las actinobacterias o actinomicetos que suelen ser los organismos más numerosos del suelo y que atacan todo tipo de materia orgánica, incluso a las ligninas que son las más resistentes, y mineralizan la materia orgánica que otras bacterias y hongos no degradan, poniendo a disposición de las plantas el nitrógeno retenido en los complejos húmicos.

Asimismo, las bacterias fijadoras de nitrógeno, como Rhizobium, en simbiosis con las leguminosas, convierten el nitrógeno atmosférico en compuestos orgánicos nitrogenados. Estas bacterias también ejercen como agentes de biocontrol, al defender a las raíces del ataque de diferentes hongos patógenos.

Las bacterias son muy sensibles a la reacción del pH del suelo, especialmente las nitrificantes y las fijadoras de nitrógeno que se desarrollan difícilmente si el pH es inferior a 5,5.

Algunos hongos también se incluyen dentro de los microorganismos, por lo que se comenta aquí su función. En general, los hongos realizan funciones de transformación en el suelo, como descomponer celulosa, almidón, azucares, proteínas, etc. Realizan también estas funciones de descomposición cuando las bacterias y otros organismos no pueden hacerlo y se desarrollan en suelos ácidos con más facilidad que las bacterias.

Ciertos hongos son patógenos de las plantas como armillaria y rosellinia que atacan a las raíces, y phytophthora que ataca a la zona del cuello de la planta.

Cabe citar también la asociación simbiótica de hongos con las raíces de las plantas (micorrizas). Esta asociación da lugar a un incremento en absorción de determinados nutrientes por la planta, mientras que la planta suministra al hongo hidratos de carbono procedentes de la fotosíntesis. Uno de los géneros más importantes para los frutales es el *Glomus*, perteneciente a las endomicorrizas.

Con las micorrizas se aumenta la superficie de absorción de las raíces por parte de las hifas del hongo y, además, los iones más inmóviles, como fosfato, amonio, zinc, etc. se transportan más rápidamente a través de las hifas del hongo. El incremento en la absorción de nutrientes origina un mayor crecimiento de las plantas micorrizadas, destacando la mejora de la nutrición nitrogenada y fosfatada, y la mejor absorción de microelementos, principalmente zinc y cobre. Producen otros efectos indirectos debidos, en general, al mejor estado nutricional, como es la mayor resistencia a la sequía, mayor tolerancia a la salinidad y a los metales pesados, mayor tolerancia a enfermedades causadas por patógenos del suelo y una mejor respuesta al trasplante en el establecimiento de la plantación. Además también producen cambios hormonales (mayor producción de citoquinina) y tienen acción antibiótica al interaccionar con los posibles patógenos de la raíz.

Las algas también contribuyen a descomponer los tejidos vegetales, especialmente en la capa superficial, aunque en algunos casos también pueden obtener energía de la materia orgánica.

Dentro de la microfauna cabe citar a los protozoarios que dependen de la materia orgánica en descomposición y se desarrollan principalmente en suelos húmedos. También se incluyen dentro de la microfauna los nematodos, con un tamaño de unas décimas de mm, aunque algunos alcanzan un tamaño superior a 2 mm de longitud. Parte son saprófitos, pero hay especies que penetran fácilmente en las raíces de las plantas y

viven como parásitos, o bien dañan a las raíces con picaduras y producen deformaciones o protuberancias con sus secreciones; por tanto son muy perjudiciales para las plantas y además algunos transmiten virosis graves.

2) Mesofauna y macrofauna.

En la mesofauna del suelo se incluyen organismos de tamaño ligeramente mayor a los de la microfauna pero que no suelen sobrepasar los 2 mm. Comprende, principalmente, colémbolos y ácaros (considerados a veces dentro de la microfauna), además de pequeños equitréidos (tipo de gusanos de unos 2 mm) que descomponen materia orgánica y favorecen la actividad de hongos y bacterias.

En la macrofauna se incluyen el resto de los invertebrados mayores de 2 mm que viven en el suelo, principalmente en la capa superficial. Destacan los artrópodos de tamaño relativamente grande y las lombrices (y en casos especiales las termitas). Estos organismos influyen en la aireación y permeabilidad del suelo al construir galerías en las que habitan; y también contribuyen a trasladar materia orgánica de la superficie a capas más profundas.

Entre estos organismos cabe citar por ser una plaga a algunas larvas de coleópteros que se alimentan de raíces o del cuello de los árboles, resultando muy perjudiciales para plantación (gusano cabezudo, cossus, etc.).

Las lombrices de tierra constituyen en la macrofauna el grupo más importante de la fauna del suelo y comprenden numerosas especies. Se pueden encontrar de 1 a 2 t/ha de lombrices en suelos con cubierta vegetal. Su cantidad se reduce considerablemente en caso de laboreo y en suelos secos. Ejercen una doble función: por un lado digieren compuestos orgánicos complejos como lignina y celulosa, por las enzimas que tienen en su estómago, y procesan y mezclan importantes cantidades de suelo, favoreciendo la estabilidad estructural; por otro lado escavan pequeñas galerías (de 3 a 10 mm) que alcanzan profundidades superiores a 1 m, por las que circula el aire y el agua, y proliferan los microorganismos. Además, estas galerías son vías preferentes para el crecimiento de las raíces de las plantas.

Dentro de la macrofauna hay que citar también a otros animales, por la posible acción que tienen sobre el suelo, como caracoles, babosas, pequeños roedores, etc.

Para finalizar, cabe resaltar que la actividad biológica del suelo ejerce una gran influencia sobre la fertilidad. Los diferentes organismos ponen a disposición de las plantas los nutrientes contenidos en la materia orgánica, sintetizan sustancias útiles y fijan nitrógeno atmosférico, favorecen la absorción de nutrientes y de agua, intervienen

en el reciclado de materiales y de energía, descomponen sustancias contaminantes (fitosanitarios, herbicidas, etc.), mezclan el suelo y mejoran su estructura y porosidad. Por otro lado, algunos organismos del suelo son patógenos o parásitos de las plantas, resultando ser enfermedades o plagas muy perjudiciales para los frutales.

7. Erosión del suelo

La erosión del suelo consiste en la pérdida gradual de material constituyente. Se produce por un proceso de desagregación y transporte de materiales de la superficie y deposición en otras zonas.

Está originada, principalmente, por la escorrentía superficial producida por las lluvias fuertes o por riegos mal aplicados, a la que contribuye un manejo incorrecto del suelo. La erosión eólica tiene muy poca influencia en los suelos frutícolas, a excepción de los cultivos de secano con suelos muy labrados y poco estructurados.

La desagregación que se produce por el impacto de las gotas de lluvia disminuye la capacidad de infiltración y aumenta la escorrentía superficial, la cual discurre por los surcos que va trazando el agua al arrastrar los materiales. La concentración de surcos o arroyaderos y el aumento de caudal originan el desplazamiento de la capa superficial en determinadas zonas de la finca. La erosión será, por tanto, más problemática cuanto mayor sea la pendiente del suelo. También se origina erosión por el agua que circula por las galerías que excavan los pequeños animales (roedores) o por galerías originadas por el agua infiltrada, y que finalmente provoca hundimientos del terreno, sobre todo cerca del talud en los límites de parcelas abancaladas.

En caso de fuerte erosión se forman torrentes y se producen cárcavas en el suelo difíciles de eliminar con las labores ordinarias. Además quedan al descubierto las raíces de las plantas, o incluso se produce su arrastre si están recién plantadas.

Aunque la erosión no provoque grandes desperfectos en la superficie en suelo, siempre produce degradación de la estructura y pérdidas de nutrientes disueltos en el agua de escorrentía o contenidos en los elementos arrastrados. En caso de erosión laminar los elementos gruesos aparecen limpios en la superficie del suelo.

La erosión debe ser tenida en cuenta en la planificación y diseño de la plantación. En suelos con gran riesgo de erosión será necesario antes de plantar tomar medidas contra las escorrentías o realizar un abancalamiento de la finca. La parcelación proyectada

debe tener en cuenta el drenaje natural de las aguas de lluvia no infiltradas, a las que debe darse solución de continuidad en la finca. En algunos casos se requerirá que las líneas de plantación sigan las curvas de nivel y que las plantas vayan dispuestas sobre caballones con canalización para evitar escorrentías. En plantaciones con pendiente el sistema de riego más adecuado es mediante goteo, si se utiliza aspersión se debe regular la dosis para evitar escorrentías. Evidentemente, el riego por gravedad no será viable o bien sólo podrá realizarse en surcos siguiendo curvas de nivel, y será problemático.

Una vez establecida la plantación, si hay riesgo de erosión el manejo del suelo debe ir encaminado a evitar en lo posible que se produzca erosión. La forma más eficaz es mediante el establecimiento de una cubierta vegetal en las calles de la plantación. En caso de laboreo se debe realizar con maquinaria adecuada y contra la pendiente, para favorecer la retención de agua en los surcos de la labor y aumentar así la cantidad infiltrada. Asimismo, las actuaciones encaminadas a mejorar la estructura del suelo, como aporte de materia orgánica, reducen la posible erosión.

8. Problemas de replantación

Los frutales tienen una vida productiva relativamente larga. Las plantaciones permanecen como mínimo unos 8-10 años, superando en casos los 20 años, o incluso muchos más como la vid y el olivo. Durante este periodo de años que ha permanecido el cultivo han podido empeorar las condiciones físicas y químicas del suelo debido a las actividades de la plantación y al manejo realizado en el suelo. Igualmente, las características biológicas se han adaptado a las condiciones del cultivo y se han podido desarrollar plagas o enfermedades que han afectado de forma específica a su sistema radical.

Asimismo, el mantener la misma especie durante tantos años y con las mismas prácticas culturales ha supuesto una reducción de la biodiversidad en todo el medio productivo. Se han podido originar desequilibrios en la fertilidad del suelo y acumular sustancias no deseadas. Finalmente, al arrancar la plantación, las numerosas raíces que quedan en el suelo sufren descomposición y durante un tiempo generan compuestos que pueden resultar tóxicos para el crecimiento de nuevas raíces.

Esta serie de problemas que han podido generarse en el suelo, si no se corrigen influirán negativamente sobre la nueva plantación que se realiza a continuación. Por eso se denominan problemas de replantación y comúnmente reciben (de forma ambigua) la denominación de "fatiga del suelo".

En la replantación será siempre recomendable la rotación de especies, pero en muchas ocasiones los objetivos productivos de la explotación no lo permiten.

Si la nueva especie tiene necesidades diferentes y no es tan sensible a los problemas que manifestó la especie anterior, se desarrollará mejor que si se repite la misma especie y patrón. No obstante, si los problemas no se solucionan o no se realiza una corrección de los aspectos negativos detectados, la nueva plantación correrá siempre el riesgo de tener dificultades en su desarrollo, sea o no de la misma especie.

También es aconsejable establecer un reposo del suelo o dedicarlo a cultivos herbáceos (cereal, alfalfa, etc.), al menos 2 o 3 años, antes de volver a plantar; pero esto, generalmente, no es factible por la instalación de riego, o no es asumible por la explotación.

Entre las especies frutales que se suceden se ha encontrado diferente sensibilidad a estos problemas. Por ejemplo, el manzano manifiesta gran sensibilidad a sucederse y a suceder al peral. Lo mismo le ocurre al peral en ambos casos, pero en menor grado. La sensibilidad es menor si a estas especies de pepita les suceden especies de hueso. Entre las especies de hueso, el cerezo y el ciruelo presentan especial sensibilidad a sucederse a sí mismos o entre ellos. También se ha manifestado mayor sensibilidad en la sucesión de especies herbáceas en algún caso, como el melocotonero si sucede al cultivo de alfalfa o tomate.

Los problemas de replantación se manifiestan por los siguientes síntomas:

- Mal enraizamiento o incluso mortalidad de las plantas.
- Crecimiento más reducido o irregular, tanto aéreo como radical.
- Falta de uniformidad en la plantación.
- Producción inferior e irregular.
- Menor vida productiva y otras depresiones.

Como ya se ha citado, la incidencia será superior cuando una especie se sucede a sí misma. Cada especie cultivada lleva consigo un mayor desarrollo de sus propios parásitos, luego si continuamos con la misma especie habrá menos posibilidades de restablecer el equilibrio biótico roto con la plantación. Asimismo, se continuará primando la extracción selectiva de los mismos nutrientes, y si la especie no tiene buena adaptación a las características físicas y químicas del suelo seguirá manifestando la deficiencia.

Son numerosos los factores que solos o combinados pueden producir o acentuar la sintomatología de los problemas de replantación. Es difícil separar estos factores y establecer causas aisladas. Como principales causas se citan las siguientes:

1) Deterioro de las condiciones físicas del terreno. La compactación es uno de los problemas más generalizados, debido al paso de la maquinaria en la plantación anterior y a la formación de suela de labor en caso de laboreo. Con la compactación cambia la estructura del suelo, disminuye la porosidad, y por tanto la aireación y la permeabilidad, y se dificulta el crecimiento de la raíces. Otros cambios que han podido producirse a lo largo de los años son: degradación de la estructura, acumulación de materiales lixiviados de las capas superiores (arcilla y caliza), colmatación de grietas por arrastre de partículas, cimentaciones, etc.

2) Alteraciones de tipo nutricional o químico, debidas a deficiencias de elementos nutritivos, exceso de fertilizantes, acidificación o salinización del suelo, etc.

3) Emisión o secreción de toxinas específicas, formadas por la descomposición de las raíces una vez muertas, o bien emitidas por las raíces o generadas por las hojas caídas, que pueden afectar a las futuras raíces y a la fauna existente. En este sentido se cita a los productos de descomposición de la amigdalina del melocotonero, que afecta de forma considerable a las nuevas raíces, produciendo efectos deprimentes.

4) Presencia de enfermedades y plagas. Los nematodos son una de las principales causas, junto con las virosis asociadas. Se encuentran especies altamente patógenas entre los géneros *Meloydogine, Heterodera, Pratylenchus, Xiphinema* y otros. En general son bastante polífagos y atacan especies frutales muy diferentes, aunque también se encuentran nematodos específicos de un grupo de especies. En el caso de infección grave del suelo no queda más remedio que elegir los patrones menos sensibles al ataque de estos parásitos y recurrir a tratamientos químicos (cada vez más restringidos) y la lucha biológica. Los hongos son también otra de las causas principales, especialmente *Armillaria spp*. y *Roselinia spp.*, (podredumbres de raíz) y *Phytopthora spp*. (podredumbre de cuello). Finalmente, actinomicetos, bacterias, y alguna plaga como gusanos del suelo.

5) Acumulación de pesticidas y herbicidas. La acumulación de determinadas sustancias que provienen de los tratamientos anteriores pueden resultar tóxicas o antagónicas (cobre, zinc, manganeso, etc.). Pueden también desequilibrar biológicamente al suelo.

Para saber si existen problemas de replantación, primero se debe conocer el estado en que se encontraba la plantación arrancada y las causas de su arranque, y analizar la

sintomatología que presentaban los árboles y el perfil del suelo. Luego es conveniente realizar análisis específicos de nematodos y hongos. También se puede realizar un test sobre la "fatiga". Para ello se toman muestras del suelo a diferentes profundidades y se someten a diferentes tratamientos (calor, tratamiento nematicida, fungicida, etc.). Con la tierra tratada y un testigo sin tratar se cultivan en macetas plantas indicadoras, que son sensibles a determinados problemas, las cuales manifiestan una sintomatología característica que nos orienta sobre los factores limitantes en el suelo.

En caso positivo se deberá acudir a la desinfección del suelo, utilizando para ello vapor de agua o fumigantes polivalentes, que tienen también una cierta acción herbicida. En el caso de que se quiera combatir solamente un determinado tipo de parásito se puede recurrir a un insecticida, nematicida o fungicida exclusivamente. La elección del producto dependerá de los parásitos que se quieran combatir, del tipo de suelo, de la eficacia del producto, de su toxicidad y del coste total del tratamiento. En este sentido cabe citar que la legislación ambiental es cada vez más restrictiva respecto a los productos aplicados en la desinfección de suelos.

Si existen problemas de compactación y de mala estructura del suelo se deberá realizar un subsolado profundo y un alzado del suelo; y además aplicar materia orgánica. Las deficiencias importantes del suelo deben corregirse mediante enmiendas aplicadas antes de la plantación.

9. Bibliografía (Capítulo 6. El suelo. Propiedades químicas y otras características)

Relación de libros y artículos de interés que tratan aspectos generales y específicos sobre el tema; para los libros se indican, entre corchetes, las páginas concretas que se recomienda su lectura:

Calderón, E. 1983. *Fruticultura General*. Ed. Limusa, México. 759 pp. [395-437, 463-468].

Casas, R. 2011. *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Paraninfo. Madrid. 235 pp. [28-116].

Diehl, R., Mateo Box, J.M. 1973. *Fitotecnia general*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 814 pp. [155-188, 205-220, 349-391].

Duchaufour, P. 1975. *Manual de edafología*. Toray - Masson. Barcelona. 478 pp. [84-157].

FAO. 1980. *Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations*. Soils Bulletin 38/2. FAO. Roma. 119 pp. [10-33].

Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley & Sons. New York. 338 pp. [53-123].

Fernández Escobar, R. 1988. *Planificación y diseño de plantaciones frutales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 205 pp. [44-51].

Gautier, M. 1987. *La culture fruitière. Volume 1, L`arbre fruitier*. Éditions J.B. Baillière. París. 492 pp., [94 - 111].

Hauser, G. F. 1980. *Interpretación de los análisis de suelos al formular recomendaciones sobre fertilizantes*. FAO, Roma. Boletines de suelos de la FAO nº 18. 75 pp. [3-29].

López Ritas, J., López Melida, J. 1985 (4ª Ed.). *El diagnóstico de suelos y plantas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 368 pp. [89-149, 183-219].

Martínez Zaporta, F. (1964). *Fruticultura. Fundamentos y prácticas*. Mº. Agricultura. INIA. Madrid. 1003 pp. [292-297, 306-319].

Mathieu, Cl., Pieltain, F. 1998. *Analyse physique des sols*. Lavoisier TEC&DOC: París. 275 pp. [1-22 y varias según cap.].

Peverill, K.J., Sparrow, L.A., Reuter, D.J. (Ed.). 1999. *Soil. Analysis and interpretation manual*. CSIRO Publishing. Collingwood (Australia). 369 pp. [103-317].

Pizarro, F. 1985. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Editorial Agrícola Española. Madrid. 542 pp. [73-124, 143-221].

Porta, J. López-Acevedo, M., Roquero, C. 1994. *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp. [167-241, 403-427, 589-706].

Porta, J. López-Acevedo, M. 2005. *Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 541 pp. [321-372].

Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M. 2011 (4ª Ed). *Introducción a la Edafología. Uso y protección de suelos.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 535 pp. [183-313].

Prat, L. 1981. *Importancia de la reacción del suelo.* IOATO. Centro de Edafología y Biología Aplicada. Diputación Provincial de Salamanca. Temas de divulgación nº 5. 36 pp. [9-36].

Roquero, C., Porta J. 1990. *Agenda de campo para el estudio del suelo. 5ª edición*. ETSIA. Universidad Politécnica de Madrid. 71 pp. [93-118].

Soltnert, D. 2011 (25ª Ed.). *Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration*. Sciences et Techniques Agricoles. Bressuire (Francia), 472 pp. [85-204].

Thompson, L.M. 1962. *El suelo y su fertilidad.* Editorial Reverté. Barcelona. 409 pp. [75-107, 144-311].

Trocme, S., Gras, R. 1979. *Suelo y fertilización en fruticultura*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 388 pp. [127-140, 162-165, 197-320].

Urbano, P. 2010 (2ª Ed., reimp.). *Tratado de Fitotecnia general*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 895 pp. [363-646].

Westwood, N.H. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 461 pp. [148-167].

White, R.E. 2006 (4ª Ed.). *Principles and practice of soil science*. Blackwel Publishing. Victoria (Australia). 364 pp. [200-260, 291-311].

Actividades prácticas recomendadas

Capítulo 6. El suelo. Propiedades químicas y otras características

1 [Campo]. Observar el perfil del suelo y comparar el aporte de materia orgánica que se produce en una plantación con cubierta vegetal y en una plantación mantenida mediante laboreo. Establecer los diferentes orígenes de la materia y los efectos sobre el suelo y sobre los árboles.

2 [Taller]. Determinar la cantidad de estiércol que es necesario aplicar en una finca para elevar el contenido de materia orgánica del suelo del 1,5% al 2% en una profundidad de 40 cm (densidad 1,3). Indicar cuando se debería aportar y la conveniencia de la aplicación.

3 [Taller]. A partir del resultado de un análisis de un suelo relativamente ácido, indicar, en base a la reacción del suelo, la adecuación para el cultivo de diferentes que especies frutales y establecer qué elementos nutritivos verán reducida su disponibilidad.

4 [Taller]. En los análisis de suelo de una finca se obtiene un pH de 5,5 y un contenido de calcio activo de 85 ppm, determinar la cantidad de cal viva que es necesario aplicar en la finca para elevar el pH de 5,5 a 6, en una profundidad de 30 centímetros.

5 [Campo]. Observar en una plantación con problemas de salinidad cómo se manifiesta sobre el suelo la salinidad y observar la sintomatología que se produce en los árboles. Proponer acciones para reducir los efectos.

6 [Taller]. Determinar la posible reducción del rendimiento productivo que tiene una plantación de melocotonero en un suelo con una conductividad de 3,0 dS/m.

7 [Campo]. Observar en plantaciones de melocotonero sobre patrón franco y de peral sobre patrón de membrillero, implantadas en suelo con un contenido alto de caliza activa, la sintomatología que se produce en los árboles y los efectos que tiene. Proponer acciones para reducir los efectos.

8 [Taller]. A partir de los resultados de análisis de carbonatos y caliza activa de diferentes fincas, elegir los patrones más recomendables para establecer plantaciones de melocotonero y cerezo, con riego por goteo

9 [Taller]. A partir de diferentes análisis básicos de suelos establecer la adecuación de las fincas para implantar frutales.

10 [Taller]. A partir de análisis completos de suelo de diferentes fincas, de secano y regadío, establecer su fertilidad.

11 [Campo]. Observar en una plantación de almendro en secano, en una finca en ladera, los efectos de la erosión. Analizar si el manejo del suelo que se realiza es adecuado y, en su caso, proponer acciones correctoras.

12 [Campo]. En una plantación que se está procediendo a su arranque, observar la mesofauna y la macrofauna existente en el suelo y analizar sus posibles efectos. Observar en los árboles y en las raíces posibles síntomas que hagan prever problemas de replantación.

Cuestionario de evaluación

Capítulo 6. El suelo. Propiedades químicas y otras características

1. ¿Por qué está constituida la materia orgánica del suelo de una plantación? ¿Cuál es el contenido medio aceptable de materia orgánica según el análisis de suelo?

2. ¿Cómo se forma el humus y qué papel desempeña en el suelo de una plantación frutal?

3. ¿Qué indica la relación C/N? ¿Qué efectos tiene para una plantación el exceso de materia orgánica en el suelo?

4. ¿Qué factores influyen sobre la reacción del suelo y qué efectos tiene el pH sobre una plantación frutal?

5. ¿Cómo se puede corregir el pH bajo y alto del suelo?

6. ¿A qué se debe la salinidad del suelo, cómo se manifiesta y en base a qué se determina?

7. ¿Cómo se clasifican los suelos según la salinidad?

8 ¿Qué síntomas produce la salinidad del suelo sobre los frutales y qué efectos tiene para la plantación?

9. ¿Qué actuaciones se realizan en la plantación para corregir la salinidad del suelo y paliar sus efectos?

10. ¿Qué carbonatos se encuentran con más frecuencia en el suelo y cuándo tienen incidencia sobre las plantaciones frutales?

11. ¿Por qué se produce clorosis en los suelos calizos y cuál es la sintomatología característica?

12. ¿Qué resistencia tienen los diferentes frutales a la caliza activa del suelo y de qué factores depende?

13. ¿Cómo se puede paliar la clorosis férrica en los frutales?

14. ¿Por qué está determinada la fertilidad del suelo?

15. ¿Cuáles son los elementos nutritivos esenciales para las plantas?

16. ¿Cuáles son las fuentes de nitrógeno en el suelo y bajo qué forma se encuentra?

17. ¿Qué incidencia tiene para los frutales la falta y el exceso de nitrógeno en suelo?

18. ¿Qué efectos produce la carencia de fósforo en los frutales y que sintomatología presenta?

19. ¿Cómo se corrige la carencia de fósforo en el suelo?

20. ¿Qué efectos tiene la carencia de potasio para los frutales y que sintomatología presenta?

21. ¿Cómo se corrige la carencia de potasio en el suelo?

22. ¿Qué importancia tiene el contenido de calcio en el suelo para la plantación?

23. ¿Qué síntomas presenta en los frutales la carencia de magnesio y como se corrige?

24. ¿Cómo se manifiesta la carencia de microelementos y qué consecuencia tiene su exceso para las plantas?

25. ¿Qué organismos determinan las características biológicas del suelo?

26. ¿Cuál es la importancia de las bacterias del suelo y que funciones realizan?

27. ¿Qué importancia tienen los hongos del suelo para la plantación?

28. ¿Qué organismos de la macrofauna tienen más importancia para el suelo y por qué?

29. ¿Cómo se produce la erosión hídrica del suelo en una plantación frutal, qué efectos tiene y qué actuaciones pueden seguirse para evitarla?

29. ¿Qué se entiende por problemas de replantación y por qué síntomas se manifiestan?

30. ¿Cuáles son las principales causas que originan los problemas de replantación y qué actuaciones deben seguirse en cada caso?

7

EL AGUA

1. El agua y las especies frutales.
2. Necesidades de agua de los frutales.
3. Efectos de la sequía.
4. Estudio del agua.
5. Calidad del agua de riego e influencia sobre las plantas.
6. Otras influencias de la calidad del agua de riego.
7. Bibliografía.

Actividades prácticas y cuestionario de evaluación.

1. El agua y las especies frutales

El agua es el principal componente de las plantas y sobre todo de los frutos. En muchas especies, como las de fruta dulce, el contenido de agua en el fruto se sitúa en un intervalo comprendido, aproximadamente, entre el 80 - 90% de su composición. Por lo tanto, el agua es uno de los principales condicionantes de la producción y desempeña funciones esenciales para las plantas.

En el capítulo 5 se ha hecho referencia a la capacidad de reserva de agua del suelo y se ha comentado el contenido de agua en el suelo, la relación suelo-agua y la influencia que el agua tiene sobre otras propiedades del suelo y sobre los frutales. Asimismo los efectos de la lluvia han sido tratados en el capítulo 4. En el presente capítulo se tratarán las necesidades de agua de los frutales, las características del agua de riego y la influencia que estas características tienen sobre el suelo y sobre las plantas.

Es evidente que todos los frutales precisan agua para su supervivencia y desarrollo. En algunas zonas será suficiente con el agua de lluvia que se acumula en el suelo, pero en la mayor parte de casos será conveniente o necesario el riego. Los frutales no se pueden tipificar, simplemente, como de secano o de regadío. Que una especie sea capaz de vegetar y de producir cosechas aceptables en una zona sin el aporte de agua de riego no implica que ese sea su óptimo productivo; ya que con el riego, normalmente, se mejorará la producción. En todo caso, la decisión de puesta en riego dependerá de la disponibilidad de agua y de los objetivos productivos y económicos de la explotación.

Como ya se ha comentado, se entiende que los frutales de secano son especies mejor adaptadas a la falta de agua durante el periodo vegetativo y que son capaces de dar una producción aceptable con la pluviometría media que se de en la zona, aunque, en general, no supera los 500 mm al año y en muchos casos tampoco los 400 mm. Los años de sequía verán reducida su producción, e incluso en casos extremos peligrará la vida de las plantas; por el contrario, los años lluviosos el crecimiento y la producción se verán incrementados.

En nuestras zonas de secano, además de tener poca lluvia, suele ocurrir que la distribución estacional de las precipitaciones es muy irregular, sufriendo períodos secos estivales, cuando el cultivo es más sensible por estar los frutos en desarrollo.

Si la pluviometría de la zona es superior a los 800 mm y tiene una distribución regular, sin períodos de sequía en verano y sin temperaturas excesivamente cálidas, se podrían establecer bastantes cultivos frutales sin riego. No obstante siempre se corre

riesgo de que las plantas puedan sufrir un estrés hídrico en algún período y se tiene menos control nutricional sobre la plantación.

Especies características de secano son: olivo, vid, pistacho, higuera y almendro. No obstante, si estos cultivos se establecen en regadío mejoran notablemente el rendimiento y se puede controlar mejor la calidad de los frutos, dado que se aplica agua cuando las plantas lo precisan, a la vez que se controla mejor la disponibilidad de los nutrientes aportados.

Para una misma zona hay diferencias importantes en la necesidad de agua entre las especies frutales, dependiendo de su ciclo vegetativo y de su consumo; lo mismo ocurre entre variedades, dependiendo, principalmente, de la época de maduración de los frutos. Por otro lado, las características del suelo y su manejo influirán bastante en el aprovechamiento del agua disponible. Por estos motivos la deficiencia de agua afectará más a unas plantaciones que a otras.

Si hay disponibilidad de agua, casi siempre será aconsejable instalar un sistema de riego en la plantación, a ser posible un riego localizado por goteo, por las ventajas que presenta respecto a otros sistemas, tanto por el ahorro de agua, como por la eficiencia y la facilidad de control, además de permitir la aplicación de fertilizantes (fertirrigación).

El agua era un factor del sistema productivo frutícola que si no había problemas de suministro a partir de los ríos y acequias, no se le prestaba la atención debida. Además, el suministro solía ser prácticamente gratuito, en muchos casos.

En las últimas décadas, el agua comienza a adquirir importancia por la escasez en muchas zonas y por el coste que ha llegado a tener, sobre todo cuando es necesario captarla de pozos o bombearla a embalses de regulación.

Asimismo, cada vez se tiene mayor conocimiento del estado hídrico que deben tener las plantas para llevar a cabo de manera óptima sus procesos fisiológicos y conseguir frutos de calidad. Tanto el déficit como exceso de agua tienen efectos contraproducentes para la plantación.

Por otro lado, se deben estudiar con sumo cuidado las características del agua empleada, dado que la productividad de la plantación se verá también influida por la calidad del agua de riego, además de por la cantidad aplicada. Será necesario disponer de análisis de agua para acometer la planificación de la plantación, y luego realizar un seguimiento con algún otro análisis durante los años de explotación.

La calidad del agua aplicada, además de tener influencia sobre el cultivo, tiene influencia sobre el suelo dado que si es de buena calidad puede mejorar el suelo con el lavado de sales; o por el contrario, si es salina contribuye a su salinización y alcalinización, y a su degradación progresiva.

2. Necesidades de agua de los frutales

Las necesidades de agua de los frutales varían según las características de la especie y variedad cultivada, y dependen, sobre todo, que las condiciones climáticas de la zona de cultivo.

Desde el punto de vista de la explotación frutal, las necesidades deben contemplarse con el objetivo de optimizar la producción y la calidad, para lograr el máximo rendimiento económico.

A la hora de establecer las necesidades de agua de una plantación deben diferenciarse claramente los siguientes aspectos:

1) Las necesidades de agua diarias (o mensuales) del cultivo. Están representadas por la evapotranspiración real que se produce en la plantación, según sus características, a lo largo del ciclo vegetativo. Estas necesidades dependerán del consumo del cultivo según su desarrollo fenológico, de la edad y tamaño alcanzado por las plantas y de la cantidad de producción esperada, además de sus requisitos de calidad.

2) Las necesidades de agua de riego que tiene la plantación, según el turno de riego. Se determinarán a partir de las necesidades del cultivo en cada periodo, teniendo en cuenta las precipitaciones y la eficiencia del riego aplicado; por tanto, las necesidades totales variarán según el sistema de riego utilizado. Estas necesidades pueden verse incrementadas por la necesidad de agua de lavado en el caso de salinidad, o por las necesidades de mantenimiento de una cubierta vegetal en las calles.

3) Las necesidades de agua consideradas en el diseño agronómico del riego y que son utilizadas para el cálculo de las instalaciones (diseño hidraúlico). Normalmente, para el diseño se tienen en cuenta las necesidades de riego del periodo de máximo consumo, sin considerar las precipitaciones; de forma que la red pueda suministrar diariamente (o según el turno) esas necesidades, y las plantas no sufran restricciones; pero evitando que la red no esté sobredimensionada para no elevar su coste.

Las necesidades de agua del cultivo deben establecerse a partir de los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular de las plantas en un periodo de tiempo. En la Figura 7.1 se representa el balance de agua de la plantación. En condiciones normales de cultivo y de suelo, sin capas freáticas altas ni terrenos en pendiente pronunciada, el balance se reduce prácticamente a las pérdidas por transpiración (frutales y cubierta vegetal) y evaporación del suelo, y al aporte por lluvia y riego, en su caso.

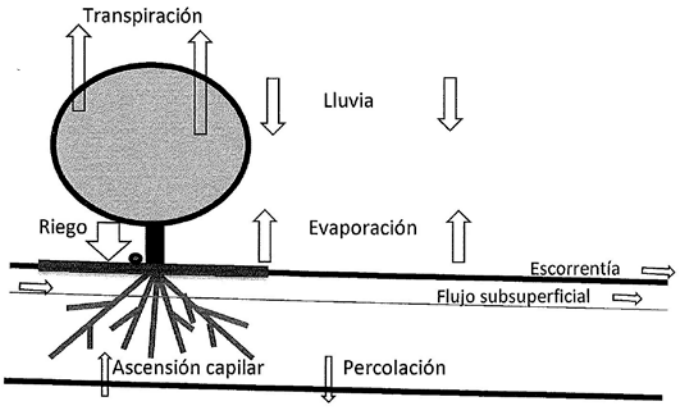


Figura 7.1. Balance de agua en la plantación

2.1. Métodos de cálculo

La necesidad de agua de la plantación se evalúa mediante la interacción de las plantas con el clima, en condiciones no restrictivas de agua. Habitualmente se determina a partir de la estimación de la evapotranspiración que tiene lugar en el cultivo implantado.

La evapotranspiración (ET) es el proceso de transferencia de agua a la atmósfera y engloba la evaporación de agua producida a través de la superficie del suelo y la transpirada por las plantas. La evapotranspiración depende de las condiciones climáticas, de factores de cultivo (especie, variedad, desarrollo, etc.), del manejo del suelo (laboreo, cubierta vegetal, etc.) y de las condiciones ambientales de la plantación (microclima, cortavientos, etc.).

En una plantación frutal plenamente desarrollada y con riego por goteo, la mayor parte de la evapotranspiración ocurre como transpiración, dado que las calles de la plantación permanecen secas y la zona húmeda se encuentra sombreada debajo de la copa de los árboles; por lo tanto la evaporación en el suelo será baja. El consumo de agua de la plantación coincidirá, prácticamente, con las necesidades de transpiración de las plantas. Se supone que la plantación se habrá diseñado con un marco de plantación y un volumen de copa optimizado según sus características y objetivos de producción.

Si la plantación no tiene un diseño adecuado o tiene un mal sistema de formación, o por otros motivos tiene marcos de plantación excesivamente amplios, lógicamente, sus necesidades de agua no serán las determinadas para una plantación en condiciones estándar y con pocas pérdidas de agua por evaporación en el suelo. Otra cuestión muy diferente es que una plantación joven consuma menos agua que una adulta, porque su volumen de copa y la producción que porta son más pequeños; en este caso habrá que aplicar un coeficiente reductor al consumo de referencia tomado para la plantación adulta.

La necesidad de agua de la plantación debe establecerse por unidad de superficie y no por árbol. Es decir, el consumo de agua de la plantación debe referirse a la superficie total ocupada por los árboles y no a la superficie proyectada por las copas, ni al número de árboles implantados. El consumo debe estar dado en l/m^2 (o mm) por unidad de tiempo (día, mes, año). El consumo de 1 mm equivale a 10 m^3/ha.

La evapotranspiración se calcula por diferentes métodos a partir de los datos meteorológicos (temperatura, radiación, viento etc.); o también se puede estimar a partir de la evaporación obtenida en un evaporímetro de cubeta, para lo que se utiliza, generalmente, el tanque evaporímetro Clase A.

Las fórmulas de cálculo de cada método y las tablas de tabulación u otra documentación necesaria se pueden consultar en la bibliografía citada al final del capítulo, por lo que solo se hace una breve referencia de los métodos más utilizados.

Los métodos iniciales de cálculo introdujeron el concepto de evapotranspiración potencial (ETP), considerada como la cantidad de agua consumida por una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo (césped corto) si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su utilización por las plantas.

Entre estos primeros métodos (1948) se encuentra el de Thornthwaite y el de Penman. El primero se considera impreciso y en el segundo se introducen factores de corrección para darle más precisión. Ambos consideran que la evapotranspiración no puede ser superior a la de una superficie libre de agua en las mismas condiciones, por lo que son más adecuados para climas húmedos, ya que en climas áridos los cultivos bien regados pueden transpirar más agua que la evaporada por una superficie libre de agua.

Otro método bastante utilizado ha sido el de Blaney y Cridle que tiene una determinación fácil y ofrece más precisión que el de Thornthwaite. Se complementa con éste como un método mixto, tomando la media entre ambos métodos los meses en que las necesidades calculadas por el método de Thornthwaite son mayores que las determinadas por el método de Blaney y Cridle.

Estos métodos iniciales calculan la ETP con la temperatura media y con la temperatura máxima, para más seguridad en los consumos estimados. A su vez, para determinar el consumo del cultivo proponen la utilización de coeficientes de intensidad de cultivo que multiplicados por la ETP darán una estimación del consumo del cultivo. Actualmente ya no se utilizan estos métodos y el término ETP ha sido sustituido por el término evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) que se considera menos ambiguo.

Los únicos factores que afectan a la ET_o son parámetros climáticos, por tanto puede ser calculada a partir de datos meteorológicos. La ET_o expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específica, y no considera ni las características del cultivo ni los factores del suelo.

Asimismo, siguiendo la metodología FAO, se propone la utilización de coeficientes de consumo (K_c) para cada cultivo en cada periodo. Estos coeficientes se obtienen empíricamente mediante lisímetros o con otros métodos.

La evapotranspiración del cultivo (ET_c), bajo condiciones estándar, en el periodo, de tiempo considerado, viene dada por el valor:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Los métodos de cálculo han ido evolucionando y así la FAO realizó en 1976 una revisión del método Penman que ha sido muy utilizada, pero requiere datos meteorológicos que a veces no se encuentran en todas las estaciones. Este método es bastante exacto, aunque sobreestima las necesidades de agua en algunas situaciones y no se adapta a las condiciones de viento fuerte.

Un método simple, también recomendado por la FAO cuando solo se dispone de datos de temperatura, es el de Hargreaves. En su versión inicial únicamente requiere datos de temperatura media y radiación solar incidente. A su vez, este método dispone de una fórmula simplificada que determina la ET_o a partir de las temperaturas: máxima, mínima y media, además de la radiación solar extraterrestre que se encuentra tabulada en función de la latitud y del mes.

Actualmente se recomienda la utilización del método FAO Penman Monteith para el cálculo de la evapotranspiración. Aunque no utiliza los conceptos de cultivo de referencia se toma como ET_o. Este método es complejo y requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. Además precisa obtener otras variables dependientes de la temperatura, como el calor latente de

vaporización, la constante psicométrica, la presión de vapor del aire, etc. Para ajustar algunos parámetros también se precisa conocer la altitud y la latitud.

El método Penman Monteith puede ser consultado en el Estudio FAO Riego y Drenaje nº. 56, que es una guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

Los servicios meteorológicos y los de asesoramiento de riego suelen facilitar la ET_o semanalmente, para la previsión de riegos. Como ejemplo de evapotranspiración del cultivo de referencia, en la Tabla 7.1 se da la ET_o media diaria y mensual, y la total anual, calculada para la zona de Lleida.

Tabla 7.1. ET_o media en los diferentes meses y total anual en la zona de Lleida (mm).

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Anual
Diaria	0,81	1,46	2,68	3,57	4,84	5,83	6,29	5,63	3,58	2,20	1,13	0,65	
Mensual	25	41	83	107	150	175	195	169	111	66	35	20	1.177

2.2. Coeficientes de cultivo

Para determinar las necesidades de agua del cultivo a partir de la ET_o, calculada por los diferentes métodos comentados, se precisan conocer los coeficientes de consumo o cultivo (K_c) que tienen los frutales a lo largo del ciclo vegetativo.

Estos coeficientes son determinados empíricamente y deben ajustarse a las condiciones de desarrollo de cada especie en su ciclo anual, o incluso de variedades según su época de recolección.

Hay dificultades para disponer de los coeficientes adaptados a la fenología de cada especie en zonas concretas y en ocasiones los datos disponibles son dispares.

Una referencia clásica han sido los coeficientes propuestos por Doorenbos y Pruitt en el Estudio FAO Riego y Drenaje n.º 24 (revisado en 1977). En la Tabla 7.2 se recogen los coeficientes propuestos para zonas con inviernos fríos con heladas ligeras y suelos labrados o sin cubierta vegetal, en dos condiciones de viento. Asimismo en el Estudio FAO n.º 56 se proponen para diferentes cultivos frutales los coeficientes de cultivo inicial, medio (o de máximo consumo) y final, con los que se establece la curva del coeficiente de cultivo en la temporada.

Tabla 7.2. Coeficientes de cultivo en zonas con inviernos fríos con heladas ligeras y suelos labrados o sin cubierta vegetal, en dos condiciones de viento (Doorenbos y Pruitt, FAO - 1977).

Condiciones de viento	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N
	Manzano y cerezo								
Viento débil a moderado seco	0,5	0,75	0,95	1,0	1,0	0,95	0,9	0,85	0,7
Viento fuerte seco	0,5	0,8	1,0	1,05	1,05	1,0	0,95	0,9	0,75
	Melocotonero, albaricoquero, peral, ciruelo y almendro								
Viento débil a moderado seco	0,5	0,7	0,85	0,9	0,9	0,9	0,8	0,75	0,65
Viento fuerte seco	0,5	0,75	0,9	0,95	0,95	0,95	0,85	0,8	0,7

(Estos coeficientes tienen variaciones según localización, lluvias y condiciones de cultivo)

En la Tabla 7. 3 se dan unos coeficientes de cultivo (K_c) orientativos de diferentes especies frutales, en plantaciones sin cubierta vegetal (o espontanea en la calle y segada y no regada) para la zona media del Valle del Ebro. Estos coeficientes variarán según sea la maduración temprana o tardía de las variedades y según las condiciones de cultivo, sobre todo si la plantación tiene cubierta vegetal activa (regada) en la calle, en cuyo caso el coeficiente se incrementará sobre un 20%. Los coeficientes prácticos a aplicar variarán de inicio a final de mes.

Tabla 7.3. Coeficientes de cultivo (K_c) orientativos para diferentes frutales, en plantaciones sin cubierta vegetal (según promedio de diferentes autores).

	A	M	J	Jl	A	S	O
Peral	0,5	0,75	0,85	0,9	0,9	0.7	0,65
Manzano	0,5	0,7	0,9	1,0	1,0	0,95	0,7
Melocotonero	0,65	0,8	1,0	1,0	1,0	0,75	0,65
Albaricoquero	0,6	0,8	0,95	0,95	0,9	0,75	0,6
Cerezo	0,6	0,85	0,95	0,9	0,9	0,7	0,6
Ciruelo	0,6	0,75	0,85	0,9	0,9	0,75	0,65
Olivo	0,4	0,5	0,6	0,6	0,65	0,65	0,65

(Estos coeficientes tienen variaciones según localización y condiciones de cultivo. En caso necesario, según cultivo, se añadirán valores de K_c en marzo entre 0,20-0,30 y en noviembre entre 0,30-0,40).

Debe tenerse en cuenta que la ETo hace referencia a condiciones sin restricción de agua. En condiciones de riego insuficiente se producen situaciones de estrés hídrico que hacen que los valores de la evapotranspiración estén por debajo de la ET_c en condiciones estándar, por lo que el coeficiente K_c debe reducirse. Lo mismo ocurre en condiciones de salinidad que se puede reducir la evapotranspiración debido a que el agua del suelo es menos extraíble por las raíces de las plantas.

Si en la zona existe alguna estación experimental frutícola o servicio de asesoramiento de riego, se recomienda consultar si estos centros disponen de coeficientes de cultivo recomendados en la zona para las diferentes especies frutales. También pueden encontrarse los coeficientes en publicaciones sobre experiencias de riego en frutales, es este sentido se aconseja consultar el Dosier Técnico nº. 61 "Requerimientos hídricos de los cultivos leñosos" del DAAM de la Generalitat de Catalunya.

2.3. Consumo del cultivo y necesidades de riego

El cultivo tiene unas necesidades fisiológicas de agua representadas por la evapotranspiración del cultivo (ET_c), según se ha comentado en los apartados anteriores. No obstante, dependiendo de los objetivos de producción, puede interesar en algún caso concreto que el estado hídrico de la planta (régimen hídrico) en algunos períodos del ciclo vegetativo presente variación (en general deficiencia) respecto al que tendría sin restricciones en el suministro de agua.

Son casos concretos en los que interesa, por ejemplo, una reducción en el crecimiento de las plantas o primar terminados aspectos de la calidad de los frutos, como un mayor contenido en sólidos solubles. También puede interesar en el manejo postcosecha de las plantas una restricción en el aporte de agua para favorecer el endurecimiento de la planta de cara al reposo invernal.

Asimismo, si la disponibilidad de agua no permite el riego en condiciones óptimas, será necesario conocer los periodos más sensibles de la planta al estrés y sobre todo los periodos de la curva de crecimiento de los frutos en los que éstos resultan más afectados por la deficiencia de agua; para así realizar un riego deficitario controlado en base al agua disponible, de forma que la producción resulte lo menos afectada posible.

En la cuantificación de la ET_c en los casos en que la plantación no está formada en seto continuo, o no se aprovecha toda la superficie productiva, o que los marcos de plantación son muy amplios debido a condiciones específicas del cultivo, se tiene en cuenta también un coeficiente (K_r) que cuantifica la superficie útil de suelo cubierta por la copa de los árboles o el suelo que realmente soporta el volumen productivo de las copas. En este caso la ET_c será:

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_r$$

De la misma forma, teniendo en cuenta también un coeficiente reductor (K_r), se establecen las necesidades de las plantaciones jóvenes, en las que la copa está en

crecimiento hasta alcanzar el volumen de plena producción. En este caso, Doorenbos y Pruitt (1977) proponen para árboles jóvenes con cubierta arbórea del 20 y 50% una reducción del coeficiente K_c que figura en la Tabla 7.2 del 25-35% y del 10-15%, respectivamente, para dichas copas.

En el cálculo de las necesidades de agua también hay métodos que proponen la utilización de otros coeficientes que mayoran o aminoran la ET_c, obtenida según se ha expuesto. Estos coeficientes no deberían ser utilizados indiscriminadamente en plantaciones convencionales con riego por goteo, sino solamente en casos específicos en que se conozca que su empleo aporta más exactitud para establecer el consumo real de agua de la plantación.

De forma aparte se deben determinar las necesidades de agua para llenar el bulbo húmedo al comienzo de la campaña de riego, en plantaciones con riego por goteo. Estas necesidades dependerán del volumen del bulbo y de la reserva de agua del suelo en ese momento. Igualmente, se deben determinar las necesidades de agua para el riego de plantación, que dependerán del bulbo húmedo que se quiera conseguir, con la finalidad de asentar la tierra y que tenga un buen contacto con las raíces.

Conocidas las necesidades del cultivo mediante la ET_c, para establecer las necesidades de riego se tendrá en cuenta la precipitación efectiva (P_e) ocurrida en el período. Suele tomarse como precipitación efectiva la superior a 5 mm diarios. En la práctica se determina a partir la precipitación diaria (P) según la expresión:

$$P_e = (P - 5) \times 0{,}75$$

Las necesidades diarias de riego netas (N_{netas}) serán por lo tanto:

$$N_{netas} = ET_c - P_e$$

En zonas áridas y semiáridas no se tienen en cuenta las precipitaciones a la hora de establecer las necesidades de riego. Igualmente, en la planificación de riegos localizados no suelen considerarse las precipitaciones en los meses que éstas son escasas. Además, en las plantaciones con riego localizado el sistema radical de los árboles está localizado principalmente en el bulbo húmedo, por lo que la precipitación caída en las calles de la plantación prácticamente no será aprovechable por los árboles.

En todo caso se deberán tener en cuenta las características de la plantación y del suelo, y la finalidad de la determinación, para ver la conveniencia o no de considerar las precipitaciones en el balance. Asimismo, al inicio de la campaña se deberá conocer la reserva de agua del suelo ya que si el invierno ha sido muy seco se deberá adelantar el inicio del riego.

Será el gestor de la explotación el que tomará la decisión de tener en cuenta la precipitación efectiva a la hora de aplicar los riegos necesarios en cada momento del proceso productivo.

Para establecer las necesidades diarias totales de agua de riego ($N_{totales}$) habrá que tener en cuenta la eficiencia de la aplicación (E_a). Estas necesidades totales serán:

$$N_{totales} = N_{netas} / E_a$$

Si la plantación tiene además necesidades de agua de lavado de sales, siendo LR el coeficiente de lavado en tanto por uno, y considerando que ya está afectado por el factor de eficacia del lavado, entonces las necesidades diarias totales de agua de riego serán:

$$N_{totales} = N_{netas} / (1 - LR) \times E_a$$

Una vez conocida la dosis diaria total y según el sistema de riego aplicado y las características del suelo, se deben determinar otros parámetros, como la dotación en cada riego, la duración, la frecuencia, etc.; los cuales no son objeto de estudio en este apartado y que se tienen en cuenta al tratar la tecnología del riego.

El control de las necesidades de riego y de la eficiencia del agua aplicada al cultivo puede hacerse mediante medidas de agua en suelo y en planta. Las medidas en suelo son relativamente fáciles de realizar mediante tensiómetros, sondas, etc. Las medidas en planta son complicadas de realizar en condiciones de campo y sus resultados difíciles de interpretar.

Numerosos servicios de asesoramiento de riego dan la ET_o calculada y los coeficientes de cultivo recomendados en la zona correspondiente, para los diferentes meses del ciclo vegetativo de los frutales. Asimismo, normalmente realizan recomendaciones semanales de riego en base a las condiciones meteorológicas acontecidas.

A modo de referencia general, puede considerarse que la ET_c de los cultivos frutales en los meses de máximas necesidades está comprendida, en condiciones medias, entre 5-7 mm/día. Las necesidades medias anuales suelen estar comprendidas entre 700 y 1.000 mm/año. Estos valores, teniendo en cuenta una pluviometría normal, pueden suponer una aportación media de riego que varía entre 3.000 y 7.000 m^3/ha y año. Evidentemente, estos valores son solo orientativos y pueden variar significativamente según las condiciones meteorológicas y el tipo de cultivo.

3. Efectos de la sequía

La sequía se produce cuando, agotadas las reservas del suelo, el agua que llega al suelo por lluvia o por riego no cubre las necesidades hídricas de las plantas. Esta agua puede dividirse en tres partes: infiltración, escorrentía y evaporación.

El agua infiltrada pasará al suelo y será la potencialmente aprovechable por la planta. El agua de escorrentía dependerá de que el suelo no permita infiltrar toda el agua y de la pendiente del suelo. Si la precipitación caída o el agua aportada por el riego (en mm/h) es superior a la velocidad de infiltración, habrá riesgo de escorrentía. Por otro lado, si se sobrepasa la capacidad de campo del suelo, el agua infiltrada, si no hay impedimento, pasará por percolación o drenaje a las capas profundas del suelo.

El agua evaporada dependerá de la temperatura del suelo y del estado de sequedad de la capa superficial. Si el suelo está seco el agua que se infiltra debe ir ocupando todos los espacios y desplazar el aire; por lo que si la precipitación es escasa y la retención de agua es importante puede evaporarse gran parte de la precipitación. En un suelo seco será necesaria una precipitación de al menos 20 mm para humedecer la capa superficial. Una precipitación de 4-5 mm puede ser evaporada en un día, sin ser, prácticamente, aprovechada por los frutales.

En caso de sequía se producirá un estrés hídrico que afecta a la mayoría de procesos fisiológicos de las plantas, siendo la fotosíntesis y la transpiración las primeras afectadas. Una manifestación clara del estrés es la disminución de la presión osmótica de los tejidos de la planta, originando marchitez. La recuperación de la turgencia de las hojas es rápida después de la aplicación de agua y la tasa de transpiración se recupera en un 80% a las 24 horas.

La disminución de la conductancia estomática en los tejidos de la planta regula las pérdidas de vapor de agua y la entrada de CO_2, con la finalidad de minimizar la transpiración y optimizar la fotosíntesis.

El estrés será reversible en muchos casos; o no lo será dependiendo de la intensidad alcanzada, pero siempre originará una parada en el crecimiento de las raíces, de la vegetación y de los frutos, lo que afecta muy negativamente a la producción.

La incidencia del estrés hídrico se manifiesta en la fructificación en todas las etapas del ciclo de la planta. Durante el proceso de inducción floral origina una menor formación de yemas fructíferas. Posteriormente, si el estrés origina una disminución de las reservas de la planta, afectará a la diferenciación de las flores y a la calidad de las

yemas fructíferas. Durante la floración y cuajado, el estrés interfiere en los procesos fisiológicos que se llevan a cabo y puede dar lugar a falta de fecundación, aborto del embrión y caída de frutos. Durante la fase de engrosamiento celular el estrés hídrico originará un descenso en la tasa de crecimiento, lo que repercutirá considerablemente en el tamaño final del fruto. La tendencia al agrietado del fruto será mayor si la planta ha sufrido desequilibrios hídricos. Finalmente, si el estrés es muy acusado se produce marchitamiento y caída de frutos.

La incidencia sobre la vegetación se manifiesta en una reducción o parada del crecimiento. Finalmente, en condiciones extremas de sequía se producirá amarilleamiento y marchitamiento de las hojas y la posterior caída, e incluso la muerte de la planta si las raíces profundas no satisfacen las exigencias de agua para la supervivencia.

El estado hídrico de la planta dependerá de la disponibilidad de agua en suelo, de la capacidad de absorción de agua de las raíces, de la facilidad del transporte de agua a través del xilema de la planta y del movimiento de agua desde las hojas hasta la atmósfera. Cuando el potencial hídrico del suelo (Ψ_m) llega a valores de -0,8 MPa la carencia hídrica comienza a ser grave y cuando llega a -1,5 MPa está en riesgo la supervivencia de la planta.

El potencial hídrico foliar (Ψ_H) varía a lo largo del día, por ejemplo en melocotonero, potenciales bajos de -1,5 MPa al alba pueden llegar a -3,1 MPa al mediodía. La tolerancia a la sequía hace que se puedan soportar potenciales más bajos, por ejemplo, el peral ha sobrevivido a sequías que han producido un Ψ_H de hojas sombreadas de -4,5 MPa, en comparación con sólo -3,9 MPa en melocotonero (según datos de Proebsting y Middleton).

La medida del estado hídrico de la planta sirve para controlar sus necesidades de agua y es una herramienta para la planificación del riego. Uno de los métodos más utilizados para la medida es mediante la cámara de Scholander que da información directa del potencial de agua de la hoja.

También mediante el dendrómetro se pueden registrar los cambios dimensionales de los órganos de la planta que reflejan el crecimiento y los cambios en el contenido de agua; y con el porómetro se obtienen medidas sobre la conductividad estomática de la hoja que mantiene una relación inversa con su humedad.

Existen otros métodos para determinar el potencial hídrico y las presiones osmótica y de turgencia de los tejidos vegetales.

3.1. Resistencia a la sequía

La resistencia a la sequía tiene gran importancia para los cultivos frutales implantados en terrenos de secano. La pluviometría media anual no supera los 300 mm en algunas zonas de Andalucía Oriental, Murcia, Lleida o de Aragón; o los 400 mm en zonas de la Mancha. Además la distribución de las precipitaciones es muy irregular y el período de sequía (con precipitación inferior a 100 mm) llega a los 150 días, o incluso más, en algunas zonas.

En las zonas más secas sólo serán factibles los cultivos de olivo, vid (para vinificación), pistacho, almendro e higuera. También en terrenos de regadío, por la escasez de agua embalsada, se han presentado algunos años restricciones importantes de agua que han afectado gravemente a los cultivos frutales, principalmente en zonas de los valles del Júcar y Segura y en zonas de Andalucía Oriental.

La resistencia a la sequía es variable según la especie y depende mucho del patrón empleado. En la Tabla 7.4 se refleja el grado de resistencia a la sequía de diferentes especies frutales.

Figura 7.4. Grado de resistencia a la sequía de diferentes especies frutales.

Sensibles	Ligeramente resistentes	Bastante resistentes
Cítricos	Cerezo	Olivo
Albaricoquero	Ciruelo	Vid
Melocotonero	Manzano	Pistacho
Kiwi	Peral	Almendro
Nogal	Caqui	Higuera
Avellano		

Aunque algunas especies manifiesten menos los síntomas de sequía en la vegetación, la producción siempre se verá afectada. No obstante, la sequía afectará menos a las variedades de maduración temprana, ya que al haber recolectado los frutos no se verán afectados por las sequías posteriores y la planta tiene menos necesidades de agua después de la recolección. Si es previsible una sequía es conveniente reducir la carga de los árboles para que los frutos que queden se vean menos afectados; y si hay exceso de vegetación se eliminará con una poda en verde.

Para paliar la falta de agua en plantaciones de secano se pueden realizar las siguientes actuaciones:

- Ampliar los marcos de plantación para reducir la demanda global por unidad de superficie.
- Incrementar la capacidad de retención de agua con materia orgánica (y productos absorbentes de agua) y realizar labores profundas antes de las lluvias.
- Eliminar la vegetación espontánea y mullir la capa superficial del suelo para reducir pérdidas de agua.
- Producir sombreo del suelo con la vegetación baja y crear un microclima en el entorno de la planta. Por ejemplo, en viñas en terrenos muy secos.

Los frutales de fruta dulce no deberían implantarse en terrenos de secano, excepto si la precipitación es abundante y está bien distribuida; no obstante, aún en este caso y si no hay suficiente agua para un riego normal, un sistema de riego de apoyo, evitaría algo los efectos del estrés en años secos, pero los costes del sistema no deben superar los beneficios obtenidos. Además la explotación siempre se encontraría en una situación menos competitiva.

4. Estudio del agua

Para determinar la aptitud del agua utilizada en el riego de una plantación frutal se requiere tomar muestras en el punto de suministro para que sean analizadas en un laboratorio. La toma de muestras de agua para análisis debe hacerse, al menos, en dos épocas del periodo de riego, para contrastar la variabilidad que pueda haber en la fuente de suministro.

En ríos se tomará la muestra en aguas corrientes y nunca en remansos, a media altura de la profundidad de agua. En pozos se tomará la muestra después de un tiempo de funcionamiento del bombeo. En caso de tener reserva de agua en un embalse, la muestra se debe tomar en el momento de llenado.

Antes de acometer la planificación de la plantación se debe disponer de los resultados del análisis de agua. Además hay que realizar un seguimiento con algún otro análisis durante los años de explotación para controlar las posibles variaciones en la calidad del agua.

Las determinaciones deben incluir las siguientes características:

- Residuo seco a 105 ºC, en g/l.

- Sólidos disueltos, en g/l.
- Conductividad eléctrica a 25 °C, en dS/m.
- pH.
- Sodio (Na^+).
- Potasio (K^+).
- Calcio (Ca^{2+}).
- Magnesio (Mg^{2+}).
- Boro (B^{3+}).
- Cloruros (Cl^-).
- Sulfatos (SO_4^{2-}).
- Carbonatos (CO_3^{2-}).
- Bicarbonatos (HCO_3^-).
- Nitratos (NO_3^-).
- Nitritos (NO_2^-).

El boletín de análisis también puede incluir más determinaciones (NH_4^+, Pb^{+2}, Fe^{+3}, Al^{+3}, etc.) y, además, los laboratorios suelen dar los siguientes datos:

- Dureza en grados hidrotimétricos franceses.
- Relación de absorción de sodio (SAR).
- Clasificación según normas Riverside (USSSL).

Es aconsejable realizar la siguiente comprobación de los resultados analíticos:

> La suma de aniones tiene que coincidir, aproximadamente, con la de cationes, ambos expresados en meq/l. Generalmente se permite un error de ± 5%.

Otra comprobación que se puede realizar es:

> La conductividad eléctrica (expresada en dS/m) multiplicada por 10^3 y dividida por la suma de cationes o aniones (expresada en meq/l), debe tener un valor próximo a 100. Esta relación puede descender a 80 en aguas con muchos bicarbonatos o sulfatos, en las que el contenido de Ca^{+2} o Mg^{+2} suele ser alto. En aguas ricas en cloruros, en las que abunda el Na^+, la relación puede llegar a 110. Si no se cumple esta generalidad de la norma se debería buscar una explicación a la desviación.

En algunos casos los laboratorios ya realizan estas comprobaciones y reflejan los resultados en el boletín de análisis. Tanto los datos del análisis como los índices obtenidos con ellos deben servir para interpretar la calidad del agua de riego y su influencia en las plantas, en el suelo y en los elementos de la instalación de riego.

5. Calidad del agua de riego e influencia sobre las plantas

La mala calidad del agua de riego está asociada, en general, a contenidos elevados de sales y a la toxicidad de ciertos iones. Los problemas derivados de la mala calidad del agua se pueden minimizar según el manejo del agua y el tipo de riego empleado. En la mayor parte de casos será aconsejable aumentar el volumen de riego para facilitar el lavado de sales.

Los riegos localizados de alta frecuencia serán preferibles en estos casos de salinidad, dado que mantienen el suelo constantemente con un contenido elevado de humedad, por lo que las plantas se verán menos afectadas al ser menor la concentración de sales y absorber más fácilmente el agua. Además, las sales se concentran en el límite del bulbo húmedo afectando menos al sistema radical.

Los riegos muy separados en el tiempo originan períodos secos intermitentes en el suelo en los que se incrementa la concentración de sales y el problema de absorción de agua; además se produce un ascenso de sales que afecta más a las plantas. Con los riegos por aspersión se pueden originar también toxicidades en las hojas por acumulación de sales, lo que se incrementa si la evaporación es alta.

La temperatura del agua, aunque no se incluye dentro de los aspectos de la calidad, también tiene influencia sobre las plantas. Sobre todo si el agua procede de pozos profundos y se aplica nada mas bombearla; entonces provoca trastornos en sistema radical al producirse un enfriamiento del suelo y de las raíces que altera la absorción de agua y nutrientes. Si el riego es por aspersión el enfriamiento también puede provocar desequilibrios en los procesos fisiológicos de las hojas.

La calidad del agua de riego se establece a partir de los resultados del análisis y también mediante la determinación, con estos datos, de diferentes índices que sirven para clasificar el agua y poner de manifiesto su adecuación para el riego.

5.1. Características del agua de riego

A continuación se comentan las características más utilizadas para determinar la calidad del agua de riego y la influencia que estos aspectos tienen sobre las plantas.

1) pH.

El pH normal del agua de riego está comprendido entre 6,5 y 8,0 (o ligeramente superior). En general, este factor no suele tener importancia para la planta ni para el suelo. No obstante, las aguas con pH anormal pueden contener iones tóxicos y originar desequilibrios nutricionales. Las aguas de muy baja salinidad suelen dar un pH anormal y aunque no originan problemas para las plantas pueden corroer rápidamente los componentes metálicos de la instalación.

2) Contenido total de sales.

El total de sólidos disueltos que figura en los análisis de agua es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o en suspensión micro-granular (coloide) que contiene el agua y que pasan por un filtro de 2 micras. Este valor se toma para reflejar la concentración total de sales disueltas (SD) del agua de riego. Las sales que generalmente contiene el agua de riego son:

- Cloruro sódico y magnésico ($Cl\,Na$ y $Cl_2\,Mg$).
- Sulfato sódico, cálcico y magnésico ($SO_4\,Na_2$, $SO_4\,Ca$, $SO_4\,Mg$).
- Carbonato sódico ($CO_3\,Na_2$).
- Bicarbonato cálcico y magnésico [$(CO_3\,H)_2\,Ca$ y $(CO_3\,H)_2\,Mg$)].

El contenido total de sales o sólidos disueltos (SD) es una de las características más importantes para la calidad del agua. Si el contenido es superior a 1 g/l se considera ya un agua peligrosa para el riego; no obstante, este dato es relativo ya que el efecto dependerá del equilibrio mantenido con la salinidad del suelo. En algunos casos contenidos inferiores originan problemas en el suelo y las plantas, y en otros casos aguas con contenido salino superior son utilizadas sin grandes problemas. Además, la problemática originada dependerá también de los tipos de sales disueltas que contiene el agua. Igualmente, la permeabilidad del suelo condiciona la posibilidad de aplicar aguas salinas.

El contenido de sales también se evalúa mediante la conductividad eléctrica del agua (CE_{ar}), expresada en dS/m. En la Tabla 7.5 se da una clasificación de la calidad del agua de riego según la conductividad y el contenido total de sales, indicando las restricciones de uso.

En la práctica se considera la siguiente relación entre la conductividad y el contenido total de sales:

$$SD\ (mg/l) = 0{,}64 \times CE_{ar}\ (dS/m) \times 10^3$$

Tabla 7.5. Clasificación de la calidad del agua de riego según la conductividad (según Ayers y Westcot, 1987).

	Restricción de uso		
	Ninguna	Ligera o moderada	Severa
CE_{ar} (dS/m)	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
SD (mg/l)	< 450	450 - 2.000	> 2.000

Las sales dan lugar a un potencial osmótico (Ψ_o) o presión osmótica en la solución; esta presión aumentará linealmente con la concentración y, por tanto, con la conductividad, estableciéndose la siguiente relación:

$$\Psi_o = - 0{,}36 \times CE_{ar} \text{ (dS/m)}$$

La peligrosidad real de las sales del agua de riego suele descender cuando pasan a formar parte del agua del suelo, debido a la precipitación de las sales menos solubles, como los carbonatos de calcio y magnesio y el sulfato de calcio, según se va concentrando el agua en el suelo por la evapotranspiración, por lo que no participarán en la presión osmótica.

En este caso, la salinidad efectiva (SE) viene dada por expresión:

$$\text{SE (meq/l)} = \text{(Suma de aniones o cationes)} - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$$

Se considera un agua buena cuando está salinidad efectiva es menor de 3 meq/l y no recomendable si supera los 15 meq/l.

La conductividad eléctrica resultante se puede estimar mediante la relación aproximada:

$$\text{CE (dS/m)} = \text{Suma de aniones o cationes (en meq/l)} / 12$$

Los efectos que produce la salinidad del agua de riego varían según las características del suelo. Las sales en la solución del suelo pueden desencadenar desequilibrios nutritivos y el pH originado puede disminuir la disponibilidad de algunos elementos. Un exceso de Na interfiere sobre la absorción de Ca y Mg, y un exceso de Ca interfiere sobre sobre la absorción de Mg y K. La acumulación de sales no solubles en el suelo en concentraciones elevadas resulta perjudicial para las plantas.

Los efectos de la salinidad sobre las plantas y el grado de sensibilidad de los diferentes frutales ya han sido comentados en apartado 3 del capítulo 6, por lo que se remite a dicho apartado para estudiar estos aspectos.

En la Tabla 7.6 se dan los valores de tolerancia a la salinidad según la conductividad del agua de riego (CE_{ar}), para diferentes porcentajes de disminución del rendimiento de los cultivos frutales o disminución del desarrollo del árbol (según casos), basados en datos de Ayers y Westcot.

Tabla 7.6. Tolerancia a la salinidad (en caso de que no exista toxicidad por Na^+ o Cl^-), según la conductividad del agua de riego (CE_{ar}), para diferentes porcentajes de disminución del rendimiento en cultivos frutales (en albaricoquero, ciruelo, almendro y vid la evaluación se basa en el desarrollo de la planta).

Especie	**Valores de la CE_{ar} (dS/m) para disminución del rendimiento de:**				
	0%	**10%**	**25%**	**50%**	**100%**
Palmera datilera	2,7	4,5	7,3	12	21
Vid	1,0	1,7	2,7	4,5	7,9
Naranjo	1,1	1,6	2,2	3,2	5,3
Ciruelo	1,0	1,4	1,9	2,9	4,7
Almendro	1,0	1,4	1,9	2,8	4,5
Melocotonero	1,1	1,5	1,9	2,7	4,3
Albaricoquero	1,1	1,3	1,8	2,5	3,8

(Según Ayers y Westcot; 1987)

En el caso de utilización de aguas salinas se deberá aplicar una mayor cantidad de agua de riego para el lavado de sales. El cálculo de estas necesidades de lavado se ha expuesto en el apartado 3 del capítulo 6. En general se precisa un incremento sobre el 10-20% de las necesidades de riego.

3) Toxicidad.

La toxicidad del agua de riego es debida al efecto que algunos iones, incluso en concentraciones muy bajas, tienen sobre las plantas. Principalmente es debida al sodio, cloro y boro, aunque hay otros oligoelementos que también resultan tóxicos para los cultivos. El suelo puede tener influencia en la toxicidad para una misma concentración del elemento y depende también del contenido de otros elementos. Por ejemplo, el boro origina menos toxicidad en suelos calizos.

Estos iones inducen alteraciones en el metabolismo de las plantas originando la acumulación de productos tóxicos. Los frutales son más sensibles a la toxicidad que las plantas herbáceas. En el caso de riego por aspersión sobre las hojas, concentraciones de cloro o de sodio por encima de 3 meq/l pueden producir quemaduras, especialmente en días cálidos.

En la Tabla 7.7 se da una clasificación del agua según la concentración de sodio cloro y boro que puede causar problemas de toxicidad en los cultivos sensibles.

Tabla 7.7. Clasificación de la calidad de agua de riego según la toxicidad por sodio, cloro y boro. (Según Ayers y Westcot; 1987).

	Restricción de uso		
	Ninguna	Ligera o moderada	Severa
Sodio (meq/l)	< 3	3 - 9	> 9
Cloro (meq/l)	< 4	4 - 10	> 10
Boro (meq/l)	< 0,7	0,7 - 2,0	> 2,0

En general, los síntomas del contenido elevado de sales y de la toxicidad se manifiestan por una disminución del crecimiento, clorosis y, sobre todo, por una necrosis progresiva en el ápice y bordes de las hojas más viejas que produce su deformación o incluso caída en los casos más graves.

El efecto tóxico del sodio depende más de la proporción final que se encuentra en la solución del suelo respecto al calcio que de la concentración absoluta del catión. Por este motivo la tolerancia del cultivo se da respecto al PSI. Los síntomas de toxicidad por sodio se manifiestan mediante quemaduras en los bordes de las hojas que avanzan entre los nervios hacia el centro. Se observan antes en las hojas adultas más viejas, por la acumulación que se va produciendo. Los frutales son muy sensibles al sodio y son afectados por valores de PSI superiores a 10.

Los síntomas por toxicidad de cloro se diferencian de los de sodio por comenzar las quemaduras en el ápice de las hojas en lugar de en los bordes; y luego se van extendiendo las quemaduras por el borde, hasta que cae la hoja si la quemadura es intensa. Los cítricos, los frutales de hueso y el caqui son muy sensibles al cloro. La tolerancia al cloro es muy variable según patrones y variedades. Por ejemplo (según Maas), en cítricos, el patrón mandarino cleopatra tiene el nivel máximo permisible en 16,6 meq/l mientras que citrange troyer lo tiene en 6,7 meq/l. Algo similar ocurre también en patrones de frutales de hueso.

El boro tiene un intervalo entre los límites de carencia y toxicidad muy reducido. La toxicidad por boro se manifiesta por el amarilleamiento del ápice de las hojas más viejas y por presentar moteados. Los síntomas avanzan por los bordes y hacia el centro de la hoja. En frutales se suelen presentan los síntomas aunque no haya una acumulación

apreciable de boro en hojas. En frutales de hueso, si están muy afectados, puede producirse también gomosis. El limonero es muy sensibles al boro (< 0,5 mg/l) y la tolerancia de los demás frutales se sitúa entre 0,5 y 0,7 mg/l.

Algunos oligoelementos, aunque sea en cantidades muy pequeñas, también pueden resultar tóxicos para los cultivos. Por ejemplo, los cítricos son muy sensibles al litio y no toleran cantidades superiores a 0,075 mg/l. Como orientación en la Tabla 7.7 se dan las concentraciones máximas de oligoelementos recomendables para el riego

Tabla 7.7. Concentraciones máximas de oligoelementos recomendables para el riego (según N.A.C. y Pratt; en Ayers y Wescot, 1987).

Elemento	mg/l	Elemento	mg/l	Elemento	mg/l
Al	5,00	Cu	0,20	Ni	0,20
As	0,10	F	1,00	Pb	5,00
Be	0,10	Fe	5,00	Se	0,02
Cd	0,01	Li	2,50	V	0,10
Co	0,05	Mn	0,20	Zn	2,00
Cr	0,01	Mo	0,01		

5.2. Índices de calidad y clasificación del agua de riego

Los índices de calidad se obtienen a partir de dos o más determinaciones del análisis de agua. A partir de estos índices y de otros valores analíticos se realiza la clasificación de la calidad del agua para riego. Los indicadores más utilizados a los siguientes:

1) SAR.

La relación de absorción del sodio (SAR) hace referencia a la parte relativa de sodio respecto al calcio y magnesio. Este índice se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \qquad \text{(cationes en meq/l)}$$

Un alto contenido en sodio inducirá un PSI elevado y, por tanto, riesgo de alcalinización. Mediante la SAR se evalúa el comportamiento que tendrá el suelo respecto a la degradación producida por el sodio. Si el agua aplicada tiene valores de SAR superiores a 10 será alcalinizante y aumentará el riesgo de degradación cuanto

mayor sea la SAR. En la Figura 7.2 se refleja un nomograma para determinar los índices SAR y PSI.

La influencia que tiene el agua de riego sobre la permeabilidad del suelo no sólo está relacionada con la presencia de sodio, calcio y magnesio, sino que está también relacionada con los iones bicarbonato y carbonato que originan la precipitación de calcio y magnesio, disminuyendo su concentración y acentuando la acción degradante del sodio. Por este motivo Rhoades propuso un índice SAR ajustado, mediante la siguiente expresión:

$$SAR_{aj} = SAR\ [1 + (8{,}4 - pH_c)]$$

El valor de pH_c se obtiene a partir de las sumas de las concentraciones de los diferentes cationes y aniones y el empleo de tablas para el cálculo (véase Cánovas, 1986 - pp. 42-47).

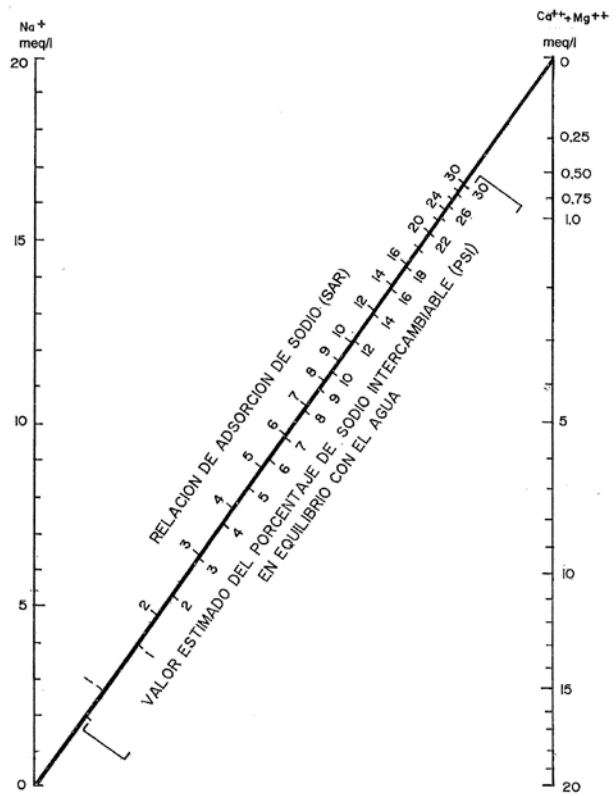


Figura 7.2. Nomograma para determinar los índices SAR y PSI.

2) Índice de Eaton. Carbonato sódico residual (CSR).

Es otro indicador de la acción degradante del agua. Se determina mediante la expresión:

$$CRS = (CO_3^{-2} + CO_3H^-) - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \qquad \text{(en meq/l)}$$

Para valores inferiores a 1,25 meq/l el agua será recomendable, para valores entre 1,25 y 2,5 meq/l será poco recomendable y para valores superiores al 2,5 meq/l no será recomendable.

3) Dureza.

La dureza hace referencia al contenido en calcio del agua. Las aguas duras no son recomendables en suelos arcillosos. Para paliar el exceso de sodio sería aconsejable emplear aguas duras.

La dureza del agua se determina, en general, mediante la siguiente expresión (dada en grados hidrotimétricos franceses):

$$D\ (^{o}F_r) = [(Ca^{+2} \times 2{,}5) + (Mg^{+2} \times 4{,}12)]\ /10 \qquad \text{(cationes en mg/l)}$$

En la Tabla 7.8 se da una interpretación de la dureza del agua. La dureza se considera también como un indicador de la potabilidad del agua, dado que este indicador está relacionado con el contenido en calcio y con la posibilidad de que se formen precipitados en la instalación de riego.

Tabla 7.8. Valoración del agua según la dureza.

Grados hidrotimétricos franceses	Tipo de agua
< 7	Muy dulce
7 - 14	Dulce
14 - 22	Medianamente dulce
22 - 32	Medianamente dura
32 - 54	Dura
> 54	Muy dura

4) Normas de Greene.

Se basan en la relación entre la concentración total de sales expresada meq/l y el PSI. La valoración se realiza a partir del gráfico representado en la Figura 7.3 y comprende tres calificaciones del agua. Los resultados son más fiables en los valores correspondientes a aguas de regular o mala calidad.

5) Normas de Wilcox.

La calificación se basa en el PSI y la conductividad eléctrica del agua. La valoración se realiza a partir del gráfico representado en la Figura 7.4 y comprende cinco calificaciones del agua.

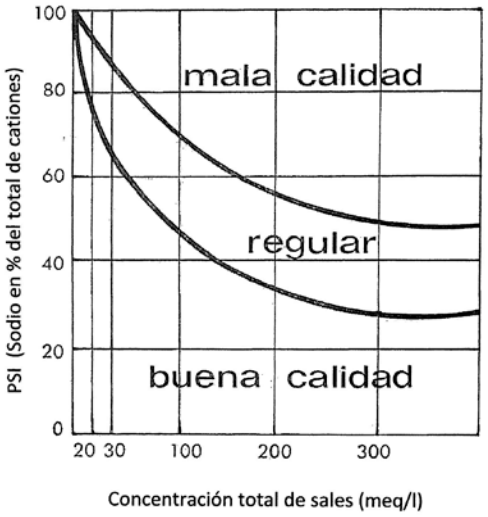


Figura 7.3. Diagrama para la interpretación de la calidad del agua según las normas de H. Greene.

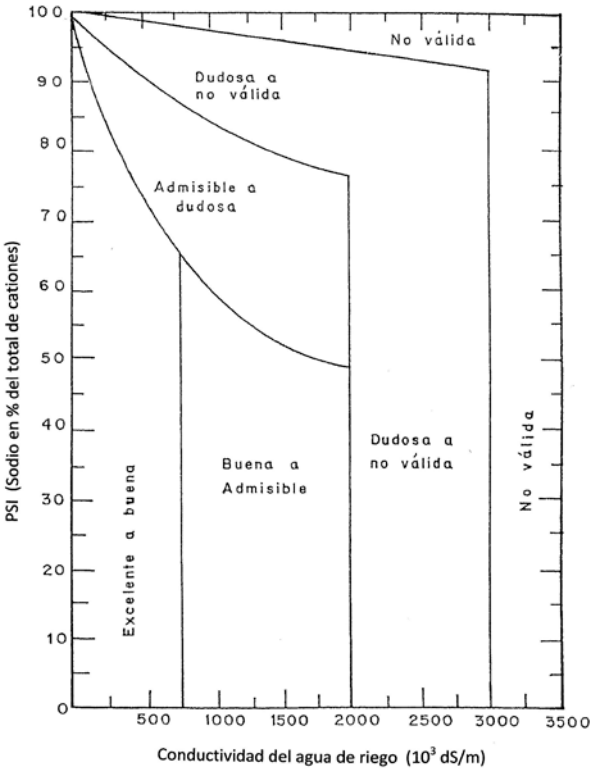


Figura 7.4. Diagrama para interpretación de la calidad del agua según las normas Wilcox.

6) Normas Riverside (USSLS).

La calificación se basa en el índice SAR y la conductividad eléctrica del agua. A partir de estos valores se establecen categorías de agua definidas por las letras C (grado de salinización) y S (grado de alcalinización), con subíndices que toman valores entre 1 y 4, en relación con el aumento del correspondiente riesgo. La valoración se realiza a partir del diagrama representado en la Figura 7.5. A estas normas se les achaca que son muy restrictivas para aguas relativamente salinas. Se han propuesto otros diagramas en los que se amplían y se modifican las categorías para el riesgo de salinización, sin penalizar tanto este aspecto.

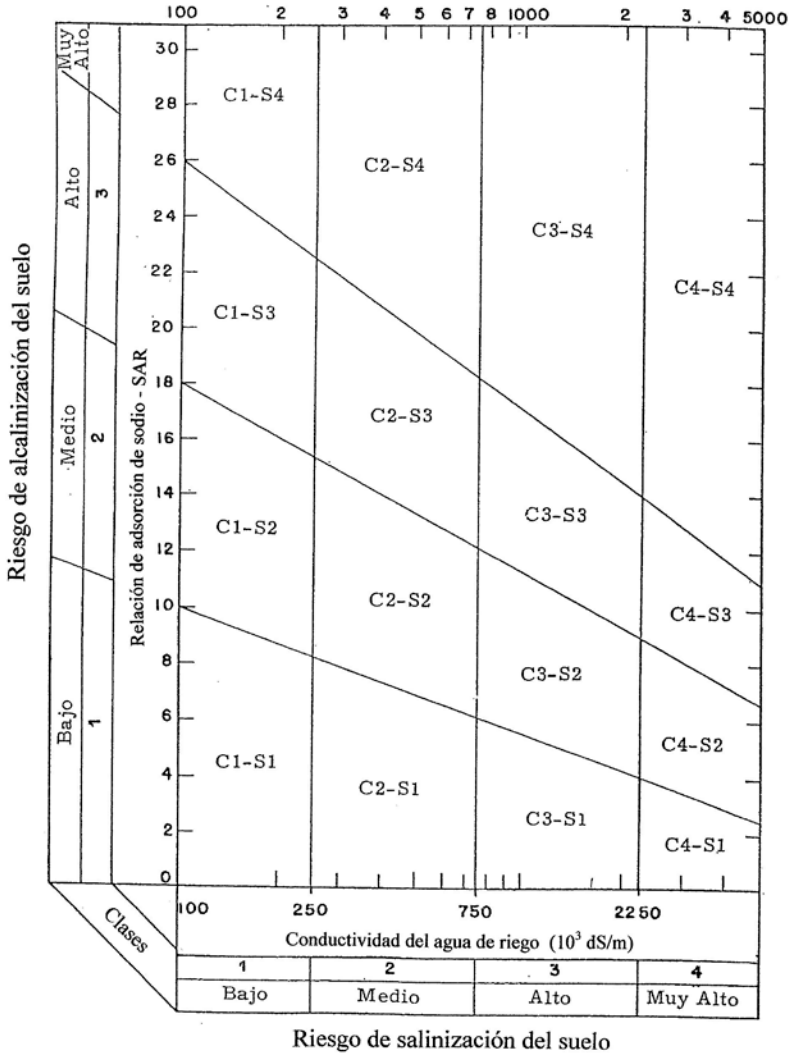


Figura 7.5. Diagrama para la interpretación de la calidad del agua según las normas Riverside (U. S. Salinity Laboratory Staff)

Además de los índices y normas expuestos anteriormente hay otras clasificaciones de aguas; por ejemplo, el índice de Kelly, basado en los contenidos de sodio, calcio y magnesio, y la clasificación propuesta por Tamés (1965) en la que se consideran varios indicadores para calificar el agua.

6. Otras influencias de la calidad del agua de riego

La calidad del agua de riego tiene bastante influencia sobre suelo. El riego con aguas salinas incrementa el contenido de sales del suelo. Según aumenta la concentración de sales en el agua, el lavado es menos eficaz y se precisa aumentar mucho la cantidad de agua.

Si el agua tiene un contenido elevado de sodio, en relación a los contenidos de calcio y magnesio en el agua y en el suelo, afectará negativamente a la estructura del suelo y disminuirá en gran medida la infiltración, al dispersarse o deflocular los coloides arcillosos y húmicos. En este caso, si el contenido total de sales del agua es bajo se acentuarán los problemas de infiltración. El efecto también puede ser provocado por un contenido de calcio en suelo extremadamente bajo.

Estos problemas ocurren, sobre todo, en la capa superficial del suelo al dispersarse los agregados del suelo y obturar los poros. El sodio se acumulará en los primeros centímetros del suelo.

En la Figura 7.6 se refleja un diagrama para la interpretación de la reducción de la infiltración según el índice SAR y la salinidad del agua expresada por la conductividad.

Las normas Riverside, vistas en el apartado anterior, establecen el riesgo de alcalinización y salinización del suelo según la calidad del agua de riego. Respecto a la alcalinización, las aguas clasificadas como S_1 no afectarán a las condiciones físicas del suelo. Las aguas S_2 ya pueden afectar al suelo si su permeabilidad es baja y carecen de yeso. Las aguas S_3 originan efectos perjudiciales en la mayor parte de suelos y su utilización requiere prácticas especiales, como un buen lavado, aportación de materia orgánica, y aplicación de yeso o azufre si la salinidad no es muy alta. Las aguas S_4, generalmente, no se pueden utilizar para el riego, excepto si la salinidad es muy baja o se aplican mejoradores de suelo.

Siempre hay que tener en cuenta el tipo de suelo sobre el que se aplica el agua. En un suelo arenoso se podría utilizar un agua que resulte no apta para un suelo arcilloso.

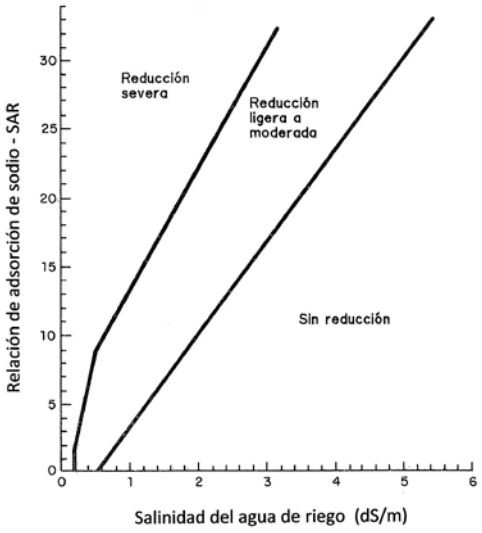


Figura 7.6. Diagrama para la interpretación de la reducción de la infiltración del suelo según la SAR y la salinidad del agua (Rhoades - Oster y Schroer; en Ayers y Wescot, 1987)

La calidad del agua de riego incidirá también en la elección del sistema de riego, según su repercusión sobre las plantas, como ya se ha comentado; y, asimismo, en la elección de los componentes de la instalación. Igualmente, el diseño del riego será condicionado por las necesidades de lavado y por otros aspectos del manejo. Por ejemplo, si se instalan en la línea de plantación dos tuberías de goteo separadas, de forma que los bulbos húmedos no se solapen en el centro, se produce en esta zona central una acumulación de sales que afectará a las raíces que deberían desarrollarse en ese volumen de suelo, por lo que esta disposición de las tuberías no es aconsejable.

En plantaciones en caballón, el aporte de agua debe hacerse en la parte superior del caballón, para lavar las sales hacia las calles y evitar su ascenso, por lo que no se aconseja este tipo de plantación si el riego es por gravedad.

El agua de mala calidad también afecta a los elementos de la instalación de riego. Se puede producir una corrosión excesiva de los equipos aumentando el coste de mantenimiento. Las sustancias en suspensión afectan a las bombas y a los filtros. Si el filtrado no funciona correctamente, las impurezas que atraviesan los filtros provocan la obturación de aspersores y emisores de goteo. Asimismo, la deposición de sales disueltas, principalmente carbonatos, va obturando con el tiempo los emisores, por lo que no aplicarán el agua prevista. También se pueden producir incrustaciones en el interior de las tuberías y válvulas, originando un mal funcionamiento de la red de riego.

7. Bibliografía (Capítulo 7. El agua)

Relación de libros y artículos de interés que tratan aspectos generales y específicos sobre el tema; para los libros se indican, entre corchetes, las páginas concretas que se recomienda su lectura:

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo.* Estudio FAO Riego y Drenaje n.º 56. FAO. Roma. 298 pp. [1-134].

Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1987. *La calidad del agua en la agricultura*. Estudio FAO Riego y Drenaje n.º 29 (Rev 1). FAO. Roma. 174 pp. [1-110].

Baldini, E. 1992. *Arboricultura General*. Mundi-Prensa. Madrid. 382 pp. [102-110].

Bosch, A.D. (ed.). 2010. *Avaluació de la qualitat d'aigua per a reg.* Col·lecció Eines Digitals, n.º 1. Servei Edicions i Publicacions de la Universitat de Lleida. CR-ROM.

Campos, I, Calera, Martínez, A, Casterad, M.A. 2010. *Estimación de la evapotranspiración de cultivos leñosos en regadío mediante teledetección en Aragón.* Riegos del Alto Aragón, Nº. Extra 1, 2010: 16-18.

Cánovas, J. 1986 (3ª ed.). *Calidad agronómica de las aguas de riego*. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid. 55 pp. [7-53].

Diehl, R., Mateo Box, J.M. 1973. *Fitotecnia general.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 814 pp. [189-203].

Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees.* John Wiley & Sons. New York. 338 pp. [133-165].

Gil Salaya, G.F. 2000. *Fruticultura. La producción de fruta*. Universidad Católica de Chile. Santiago. 583 pp. [469-520].

Kramer P. J. 1974. *Relaciones hídricas de suelos y plantas*. Edutex S.A. México. 538 pp. [1-50, 336-343, 393-443].

Kramer, P.J., Boyer, J.S. 1995. *Water relations of plants and soils.* Academic Press . New York. 495 pp. [16-37, 201-234, 337-403].

López, P., Cuesta, A., Montoro, A. Jochum, A.M., Calera, A. 2005 *Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite.* ITEA, N.º 3, 2005: 212-224.

Martínez, A., Faci, J.M., Bercero, A. 1998. *Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón*. Institución Fernando el Católico. Zaragoza. 223 pp. [9-33, 113-125].

Pizarro, F. 1985. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Editorial Agrícola Española. Madrid. 542 pp. [125, 141].

Pizarro, F. 1996 (3ª Ed.). *Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 513 pp. [55-81, 133-135].

RuralCat (varios autores). 2013. *Requeriments hídrics dels cultius llenyosos (I)*. Dossier Tècnic nº. 61. DAMM - Generalitat de Catalunya. 24 pp. [3-23]. www.ruralcat.net.

Urbano, P. 2010 (2ª Ed., reimp.). *Tratado de Fitotecnia general*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 895 pp. [255-299].

Villar, J.M. 2013. *Conceptos aplicados a la gestión del agua de riego de frutales.* Revista de Fruticultura. Especial 2013: 2-6.

Actividades prácticas recomendadas

Capítulo 7. El agua

1 [Taller]. A partir de los datos del Anuario de Estadística Agraria, analizar la importancia de los cultivos de secano y regadío en España; y a partir del mapa de distribución de pluviometría anual de España, analizar las posibilidades de cultivo de frutales de fruta dulce, sin riego, en las diferentes regiones.

2 [Taller]. A partir de los datos climáticos mensuales de una zona, calcular la evapotranspiración potencial en los diferentes meses por los métodos de Thornthwaite y Blaney y Cridle, y comparar los resultados.

3 [Taller]. A partir de los datos climáticos mensuales del ejercicio anterior, calcular la evapotranspiración (ET_o) en los diferentes meses, utilizando los métodos de Hargreaves y de Penman Monteith, y comparar los resultados (ver Estudio FAO Riego y Drenaje n.º 56).

4 [Taller]. A partir de la ET_o calculada en el ejercicio anterior o de una ET_o facilitada, determinar la ET_c en cada mes para diferentes cultivos frutales, en la zona media del Valle del Ebro. Analizar las diferencias entre cultivos.

5 [Campo]. En árboles de melocotonero del Campo de Prácticas, sometidos a estrés hídrico, observar y analizar los síntomas y los efectos producidos en la vegetación y en los frutos.

6 [Campo]. En plantaciones de almendro de secano, observar al final del verano los posibles síntomas producidos por la sequía. Analizar las prácticas realizadas para paliar estos efectos.

7 [Taller]. A partir de los resultados de varios análisis de agua para riego, establecer la adecuación de las determinaciones y comprobar la fiabilidad de los resultados analíticos.

8 [Taller]. A partir de los resultados de un análisis completo de agua, determinar diferentes índices de calidad y su clasificación y adecuación para el riego.

9 [Campo]. En la toma de agua en un rio y en un embalse, observar y analizar la calidad del agua respecto a los elementos en suspensión, para su empleo en riego por goteo. Observar en el sistema de filtrado y en la red la repercusión de la calidad del agua.

10 [Campo]. Observar y analizar en una plantación regada por goteo con aguas salinas los efectos de la calidad del agua sobre las plantas y la instalación.

Cuestionario de evaluación

Capítulo 7. El agua

1. ¿Qué se entiende al decir que un frutal es de secano y qué especies se consideran de secano?

2. ¿Qué aspectos se consideran a la hora de establecer las necesidades de agua de una plantación y qué necesidades de agua se consideran para el diseño de la instalación de riego?

3. ¿Qué factores se tienen en cuenta en el balance de agua de una plantación y cómo se evalúan las necesidades de agua?

4. ¿Qué es la evapotranspiración potencial y qué métodos de cálculo introdujeron este concepto?

5. ¿Qué son la ET_o y la ET_c?

6. ¿Qué método se recomienda para la determinación de la ET_o?

7. ¿Qué finalidad tiene el empleo de coeficientes de cultivo para determinar la ET_c y en base a qué se establecen estos coeficientes?

8. ¿Cómo se determinan las necesidades de agua de una plantación joven?

9. ¿Qué influencia tienen las precipitaciones a la hora de establecer las necesidades de riego de una plantación?

10. ¿Cómo se determinan las necesidades diarias totales de agua de riego de una plantación?

11. ¿Cuándo se produce sequía en una plantación?

12. ¿Qué efectos tiene la sequía sobre las plantas y cómo se manifiesta sobre la vegetación y los frutos?

13. ¿Qué grado de resistencia a la sequía tienen las diferentes especies frutales?

14. ¿Cómo y cuándo se toman las muestras para análisis de agua y qué determinaciones debe incluir su estudio?

15. ¿Qué características principales definen la calidad del agua para riego y cómo se evalúa la calidad?

16. ¿Qué sales contiene, generalmente, el agua de riego y cómo se evalúa su contenido?

17. ¿A qué se debe la toxicidad del agua de riego y qué síntomas presentan los frutales?

18. ¿Qué influencia tiene la calidad del agua de riego sobre el suelo de la plantación?

19. ¿Qué repercusiones tiene la calidad del agua sobre la instalación de riego?

20. ¿A partir de qué índices y clasificaciones se establece la calidad del agua de riego y qué factores se tienen en cuenta?

8

OTRAS CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS DEL MEDIO ECOLÓGICO

1. Características del medio biológico.
2. Biodiversidad y sostenibilidad del medio ecológico.
3. Contaminación del medio ambiente.
4. La huella de carbono.
5. Otras características y condicionamientos ecológicos de la plantación frutal.
6. Bibliografía.

Actividades prácticas y cuestionario de evaluación.

1. Características del medio biológico

Los factores del medio biológico que ejercen influencia sobre las plantaciones frutales son muy numerosos y su acción se manifiesta de forma muy variable, según la presencia de estos seres del reino animal o vegetal en cada zona de cultivo, y según las características y el manejo de cada plantación.

Incluyendo también las actuaciones que el fruticultor puede realizar sobre las plantas, el conjunto de seres vivos que participan en el medio ecológico de la plantación tiene efectos, en unos casos positivos y en otros negativos, sobre las plantas. La función del fruticultor será la de proteger las plantas de los daños, alteraciones o efectos negativos que unos seres pueden causarles y potenciar la acción favorable o beneficiosa que otros seres pueden tener.

Los factores del medio biótico rara vez van a ser limitantes por no poder actuar sobre ellos, pero sí tienen una incidencia económica importante al afectar en gran medida al cultivo, y en consecuencia a la producción; por lo que es necesario su control. En el control del medio biótico que se realice en la plantación será recomendable siempre seguir las directrices de la Producción Integrada.

La acción de los organismos se desarrolla tanto sobre el sistema aéreo como sobre el sistema radical, y en algunos casos se centra sobre los frutos adquiriendo mayor importancia. El estudio de estos organismos es objeto de otras materias como Entomología, Patología y Malherbología, por lo que solamente se hace una breve descripción de su importancia y de su repercusión en la planificación y gestión de las explotaciones frutales.

En el apartado 6 del capítulo 6 ya se han comentado las características biológicas del suelo y los efectos positivos y negativos que tienen los organismos sobre las propiedades del suelo y sobre las plantas, prestando especial atención a los microorganismos (microflora y microfauna), por lo que se remite al lector a dicho apartado para su estudio.

En el medio aéreo encontramos también organismos que resultan favorables para la plantación y que son considerados para la lucha biológica. Pueden citarse las aves insectívoras y las hormigas predadoras de algunas plagas. Mención especial cabe hacer de los enemigos naturales de las plagas de los frutales, entre los que se encuentran diversos entomófagos, parásitos y depredadores de insectos y ácaros, y diferentes microorganismos entomopatógenos que actúan como agentes de biocontrol de plagas y enfermedades.

Entre los parásitos y depredadores de insectos y ácaros se encuentran, por ejemplo: antocóridos, coccinellas, crisopas, sírfidos, ambliseius, etc. Entre los hongos que actúan como agentes de biocontrol de plagas y enfermedades se encuentran organismos de los géneros: *Beauveria*, *Lecanicilium*, *Conidiobulus*, *Erynia*, *Metarhizium*, *Phaecilomyces*, etc. Igualmente, con la misma aplicación hay cepas bacterianas (de *Bacillus*, *Pseudomonas*, etc.), nematodos (*Steinernema*, etc.) y partículas virales (virus de la granulosis de la carpocapsa, etc.). También cabe citar la intervención que se hace sobre el medio biológico con la lucha "autocida" consistente en la utilización de un insecto como agente nocivo de su propia destrucción.

Para el estudio de los efectos negativos del medio biótico de la plantación, los organismos se agrupan en tres tipos: plagas, enfermedades y malas hierbas. Para paliar sus defectos, en la elección del material vegetal para plantación, habrá que tener en cuenta la sensibilidad de los patrones y variedades a los patógenos más importantes y valorar el riesgo para el cultivo. Luego, la explotación deberá prever los medios de control y de lucha contra plagas, enfermedades y malas hierbas a aplicar antes de la plantación y durante el proceso productivo.

1.1. Plagas

Entre las plagas se diferencian por un lado los animales superiores y por otro los insectos y ácaros.

Los animales perjudiciales para plantación son principalmente roedores y pájaros.

Los roedores como conejos y liebres ocasionan daños en el tronco de las plantas, y las liebres también en la inserción de las primeras ramas si se encuentran bajas. Los daños pueden resultar graves para las plantaciones jóvenes colindantes a zonas de monte o no cultivadas, siendo necesario proteger los troncos de las plantas o cercar la parcela con un vallado muy seguro para que resulte efectivo. En plantaciones próximas a los ríos, los castores y otros roedores semiacuáticos también pueden originar daños a los troncos. Los topillos de campo (especies del género *Microtus*, del subgénero *Pitymys*) originan daños en las raíces y en la zona del cuello de la planta, y resultan un grave problema en árboles recién plantados y en plantaciones jóvenes, por lo que será preciso su control inmediato si se observa un ataque.

Los pájaros causan daños en la fructificación al dañar con las picaduras las flores y frutos jóvenes en frutales de hueso (almendro, nectarina, albaricoque y cereza), y los frutos maduros, en general. Los daños resultan especialmente graves, en frutos maduros,

en cerezas y en menor grado en uvas y peras, aunque también resultan picados otros frutos, sobre todo en las variedades más dulces. En árboles aislados o escasos en la zona, las pérdidas de frutos maduros de cereza y de variedades tempranas de pera pueden ser totales. Entre los pájaros que más daños causan se encuentran: estorninos o tordos, gorriones, mirlos, urracas y palomas.

La protección contra los pájaros resulta difícil ya que cubrir totalmente los árboles con malla es complejo, aunque proteger los racimos en las viñas en espaldera resulta más sencillo. El empleo de detonaciones con cañones sónicos antipájaros o la reproducción de sonidos mediante altavoces no tiene la efectividad deseada, sobre todo al cabo unos días si se mantiene la regularidad de los sonidos. Mucho menos eficaces resultan las medidas visuales (espantapájaros) empleadas para ahuyentarlos.

Los insectos y los ácaros, si no se controlan, originan pérdidas importantes en la plantación al causar daños a las plantas y a los frutos. En muchas ocasiones una plaga afecta a varias especies frutales, pero en ocasiones son específicas de una especie. También unas variedades son más sensibles que otras al ataque de una plaga y los efectos se manifiestan en mayor o menor grado dependiendo de la edad de la planta, del vigor de la vegetación, del estado general que presenta y de las características de los frutos.

Normalmente, las plagas no son limitantes para el cultivo, pero deben conocerse cuáles son las que más afectan a un cultivo determinado en la zona de producción, para adoptar medidas previas para paliar su incidencia y prever los medios de control a utilizar en el proceso productivo.

En general, en frutales de pepita y hueso lo más problemático resulta ser el control de carpocapsa en manzano y de psila en peral, además de pulgones, piojo de San José, mosca de la fruta, araña roja y otras muchas plagas que en ocasiones tienen un control también difícil. En olivo cabe citar: polilla, mosca de olivo, cochinillas, etc. En cítricos mosca de la fruta, mosca blanca, minador de brotes, pulgones, cochinillas, etc. En vid: polilla del racimo, mosquito verde, acariosis, erinosis, etc.

1.2. Enfermedades

Las enfermedades tienen una incidencia sobre la plantación similar a las plagas, aunque en algunos casos, como las desarrolladas en el suelo (hongos y nematodos), pueden ser limitantes para el cultivo si no se eliminan con desinfección del suelo antes

de la plantación. Estas enfermedades del suelo son uno de los principales problemas de replantación.

Al igual que las plagas, una enfermedad puede afectar también a varias especies, aunque en ocasiones es más específica de una especie o grupo de especies. También unas variedades son más sensibles que otras. El desarrollo de enfermedades está muy ligado a las condiciones del medio y es también importante el manejo que se haga de la plantación.

En general, en frutales de pepita y de hueso resultan problemáticas enfermedades fúngicas cómo: rossellinia, armillaria y phytophtora que afectan a la raíz y al cuello de la planta. Asimismo, tienen bastante incidencia en frutales de pepita: venturia, oídio, stemphylium, etc.; y en frutales de hueso: monilia, oídio, abolladura, cribado etc. En olivo cabe citar: verticilosis, antracnosis, phytophtora, repilo, etc. En cítricos: phytophtora, alternaria, etc. En vid: mildiu, oidio, yesca, eutipiosis, etc.

Entre las bacterias resulta especialmente problemática la reciente introducción y expansión del fuego bacteriano (*Erwinia amylovora*) que afecta especialmente a peral y manzano. También cabe citar entre las más problemáticas a agrobacterium, pseudomonas y xanthomonas (en frutales de hueso), que son patógenos muy prolíficos y el primero de difícil tratamiento.

Los nematodos presentes en el suelo pueden representar un problema para la plantación y en algunos casos son transmisores de virosis a las plantas. Si hay una fuerte presencia se precisará la desinfección del suelo. Resultan especialmente problemáticas algunas especies de los géneros: *Meloidogine*, *Pratylenchus*, *Tylenchus*, *Xiphinema*, *Heterodera*, etc.

También algunos virus y enfermedades afines pueden resultar problemáticos si afectan al cultivo, como por ejemplo: la sharka en frutales de hueso, la tristeza y la psoriasis en cítricos, o el fitoplasma de la flavescencia dorada en vid.

Especial mención cabe hacer de las enfermedades de cuarentena (lo mismo que de las plagas de cuarentena) que se debe evitar su introducción en las zonas donde no están extendidas, ya que algunas de ellas amenazan seriamente al cultivo de frutales. Entre estos organismos de cuarentena se encuentran: *Erwinia amylovora*, *Xanthomonas arborícola pv. Pruni*, el virus de la Sharka (PPV) y *Xylella fastidiosa*, este último amenaza gravemente al olivar.

La introducción de estos patógenos de cuarentena en una zona frutícola, además de afectar a la producción de fruta, afecta a la producción de plantas de vivero, ya que los

viveros dejan de estar en zona protegida a efectos de emisión de pasaportes fitosanitarios. Cuando se detectan síntomas sospechosos de la presencia de un patógeno de cuarentena la legislación obliga a comunicarlo al Servicio de Protección de los Vegetales.

Como sucede con las plagas, se deben conocer cuáles son las enfermedades que más afectan a un cultivo determinado en la zona de producción, y sobre todo si se encuentran en el suelo de la finca, para adoptar medidas previas antes de la plantación y luego prever los medios de control a utilizar en el proceso productivo.

1.3. Malas hierbas

Las malas hierbas no son un factor limitante para las plantaciones, aunque su control supone riesgos para las plantas y un coste más para el proceso productivo. Se encontrarán diferencias apreciables entre cultivos de secano y regadío en la presencia y efectos de las malas hierbas. Entre las malas hierbas más problemáticas de controlar en plantaciones frutales se encuentran, por ejemplo: cañota (*Sorghun halepense*), bledo (*Amaranthus retroflexus*), juncia o chufa (*Cyperus rotundus)*, grama (*Cynodon dactylon*), malva (*Malva silvestris*), trébol de huerta (*Oxalix spp.*), acedera (*Rumex obtusifolius*), panizo (*Setaria* verticillata), hiedra (*Hedera spp.*), etc.

Las malas hierbas, anuales y perennes, suponen una competencia por el agua y nutrientes para el cultivo, lo que tiene una especial incidencia en cultivos de secano. En condiciones particulares pueden tener un efecto favorable; como, por ejemplo, en el caso de exceso de agua en el suelo para reducir la asfixia radical, o para modificar el microclima al nivel de las plantas al aportar humedad al ambiente.

Las malas hierbas tienen influencia en otros factores del medio biótico y en el manejo de la plantación. Principalmente en la proliferación de microorganismos y de fauna en la plantación, lo que puede resultar favorable o perjudicial dependiendo de los organismos alojados. Además favorecen la presencia de roedores y caracoles en la proximidad de los troncos, influyen en el desarrollo de enfermedades en la zona del cuello al mantenerlo más húmedo, interfieren en la polinización si sus flores son atractivas para los insectos y dificultan la realización de algunas actividades, como la recolección.

En la elección del tipo de mantenimiento del suelo de la plantación debe quedar definido el método de control de malas hierbas. La explotación debe prever los medios para llevar a cabo el control durante el proceso productivo.

Si se van a aplicar herbicidas en la plantación se debe hacer cuidadosamente la elección del producto y la realización del tratamiento para evitar fitotoxicidades. Durante los primeros años de la plantación será conveniente colocar un tubo protector en los troncos de las plantas para no mojarlos con el herbicida aplicado.

2. Biodiversidad y sostenibilidad del medio ecológico

El establecimiento de un cultivo origina una menor biodiversidad en el medio ecológico del terreno respecto a la que presentaría mantenido en condiciones naturales. El impacto que supone sobre la biodiversidad natural una plantación frutal debe atenuarse en lo posible, de forma que puedan coexistir los frutales y los otros organismos sin que suponga un detrimento importante en el medio ambiente ni en los resultados económicos de la explotación; y a su vez que el nuevo equilibrio ecológico establecido racionalmente reporte beneficios para todo el ecosistema.

Los bosquetes, setos, linderos y sotos de ribera (vegetación desarrollada en los bordes de los ríos y arroyos) son constituyentes importantes de la biodiversidad y del paisaje agrario, y proporcionan importantes beneficios medioambientales. Su creación y mantenimiento está recogido en varias disposiciones destinadas a fomentar los métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de la protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural. No obstante, estos espacios también ocupan superficie de la explotación y son refugio de fauna indeseable para la plantación, como conejos, topillos y algunos pájaros que causan daños al cultivo; además de albergar posibles plagas y enfermedades. Se deben conjugar los efectos positivos que presentan estos espacios de vegetación con sus efectos negativos. El balance resulta, en general, positivo para la plantación.

De la misma forma, el establecimiento de setos compuestos en las parcelas de la plantación también contribuye a mantener la biodiversidad, a la vez que pueden ser aprovechados como cortavientos. El cortavientos tiene también otros efectos microclimáticos sobre la plantación, como la incidencia en el balance térmico nocturno y diurno por el efecto de sombreo y el estancamiento del aire. En las zonas próximas al seto el suelo se calienta más pero la evapotranspiración se reduce. En heladas de radiación se incrementarán los riesgos si no se permite un buen drenaje del aire frío.

Los setos también pueden contribuir a disminuir la erosión del suelo en zonas de pendiente si son plantados siguiendo las curvas de nivel.

El interés de los setos es sobre todo biológico, ya que una mayor diversidad de la flora corresponde a una mayor diversidad de la fauna auxiliar o beneficiosa para plantación, aunque también el seto puede albergar plagas y enfermedades del cultivo.

Se debe prestar cuidado a la elección de las especies vegetales a implantar. Entre las especies que destacan por albergar a una entomofauna diversa y abundante de depredadores de plagas se tiene: *Viburnum timus*, *Carpinus betulus*, *Alnus glutinosa*, *Tilia platyphylla*, *Buxus sempervirens*, *Hedera helix*, *Corilus avellana*, *Sambucus nigra*, etc. También debe considerarse en la elección del seto la altura y morfología de las plantas, su adaptación al suelo y al clima, y su encaje en el paisaje rural de la zona.

Es conveniente que el seto tenga un mínimo de dos o tres filas de espesor y esté dispuesto en una orientación favorable como cortavientos, que produzca poco sombreo a la plantación y, en su caso, que contribuya a paliar la erosión del suelo.

Se evitarán especies que sean huéspedes de plagas y enfermedades o contribuyan a su desarrollo en la plantación. Sobre todo las que supongan un riesgo fitosanitario, por ejemplo, especies de los géneros *Crataegus*, *Sorbus*, *Phyracantha*, etc., hospedantes de fuego bacteriano.

Como efectos negativos también cabe citar que si las flores de las plantas de estos setos y espacios de vegetación son atractivas para los insectos polinizadores, y la floración es coincidente con la de los frutales, se reduce la eficacia de la polinización en la plantación.

2.1. Normas y requisitos para la explotación

Las nuevas tendencias sociales y, sobre todo, los cambios en la legislación medioambiental y en los requisitos que las explotaciones deben cumplir para recibir ayudas de la Administración, exigen cada vez más que las explotaciones frutícolas desarrollen su actividad de forma respetuosa con el medio ambiente y con la seguridad alimentaria y la salud.

Son muy numerosas las disposiciones legales, así como las normas y recomendaciones, relacionadas con el medio ambiente y que afectan a las explotaciones frutales. En esta regulación se recogen, sobre todo, aspectos de la biodiversidad, del paisaje, de la protección de la flora y fauna, de la conservación del suelo y de la contaminación por productos fitosanitarios.

En el apartado 4 del capítulo 1 se ha comentado el concepto de "Condicionalidad" y las normas generales que se exigen a las explotaciones frutales para su cumplimiento. El incumplimiento de estas normas da lugar a reducciones o anulaciones de las ayudas a percibir. Independientemente de ello, se recuerda que siempre se deben cumplir las disposiciones legales sobre medio ambiente que afectan al establecimiento y al proceso productivo de la explotación, estén incluidas o no como requisitos dentro de la Condicionalidad.

Las normas de la Condicionalidad son una garantía para la conservación y sostenibilidad del medio ecológico. Por un lado comprenden los Requisitos Legales de Gestión que afectan a las explotaciones frutales, y que están establecidos a partir de las directivas y reglamentos de la Unión Europea. Por otro lado incluyen las Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales de la Tierra que establecen los Estados miembros con ámbito nacional o regional. En las guías de la Condicionalidad también se incluyen una serie de recomendaciones que complementan las normas dictadas y que contribuyen a la sostenibilidad del medio y a una mejor planificación y gestión de la explotación frutal.

Los Requisitos Legales de Gestión que afectan a las explotaciones frutales se encuentran en dos ámbitos y regulan en cada ámbito los siguientes aspectos principales:

1. Medio ambiente, cambio climático, buenas condiciones agrícolas de la tierra.

    1.1. Agua.

        - Protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias.

    1.2. Biodiversidad.

        - Conservación de las aves silvestres.
        - Conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

2. Salud pública y fitosanidad (sanidad vegetal).

    2.1. Seguridad alimentaria.

        - Principios y requisitos generales de la legislación alimentaria y procedimientos relativos a la seguridad alimentaria (garantiza que los productos de la explotación destinados a ser comercializados como alimentos deben ser seguros).

2.2. Productos fitosanitarios.

- Utilización adecuada de los productos fitosanitarios mediante la aplicación de las buenas prácticas fitosanitarias en cumplimiento de las condiciones establecidas en la autorización de comercialización del producto fitosanitario y especificadas en la etiqueta.

Las Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales de la Tierra incluyen tres aspectos principales: agua, suelo y reserva de carbono, y paisaje. Las condiciones comprendidas son las siguientes:

- Creación de franjas de protección de los márgenes de los ríos.
- Cumplimiento de los procesos de autorización del uso de agua para riego.
- Protección de las aguas subterráneas contra la contaminación.
- Cobertura mínima del suelo.
- Gestión mínima de las tierras que refleje las condiciones específicas locales para limitar la erosión.
- Mantenimiento del nivel de materia orgánica en suelo mediante prácticas adecuadas.
- Mantenimiento de las particularidades topográficas y prohibición de cortar setos y árboles durante la temporada de cría y reproducción de las aves.

Por los requisitos específicos que conlleva y también para el cumplimiento de las normas citadas anteriormente, el proyectista y el gestor de la explotación frutal deben conocer si la explotación se encuentra situada total o parcialmente en un espacio de la Red Natural 2000; esta incluye las zonas de especial conservación (ZEC), las zonas de especial protección para las aves (ZEPA) y los lugares de importancia comunitaria (LIC).

En Cataluña se deberá conocer si la explotación se encuentra en una zona de las contempladas en el Plan de espacios de interés natural de Cataluña (PEIN). La integración de un espacio en Natura 2000 implica su integración automática en el PEIN.

Asimismo se debe conocer si la explotación se encuentra en una zona declarada como vulnerable por contaminación de nitratos procedentes de fuentes agrarias, ya que ello conlleva condiciones especiales para la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Mención especial cabe hacer también de las múltiples normas referentes a la utilización de productos fitosanitarios, que condicionan la planificación y gestión de la explotación frutal. Estas normas regulan aspectos relacionados con el medio ambiente y

con la salud pública, en el ámbito de la práctica fitosanitaria, la gestión de residuos y el almacenamiento de productos.

Como se ha podido ver son numerosos y diversos los requisitos legales relacionados con el medio ecológico que condicionan tanto la elaboración del proyecto de explotación como las actividades que se llevan a cabo en su proceso productivo. Además deben cumplirse otras normas medioambientales si la estrategia productiva seguida así lo marca.

3. Contaminación del medio ambiente

La contaminación del medio ambiente está adquiriendo cada vez más importancia por los efectos negativos que tiene para las personas y para el ecosistema, y además por la repercusión económica negativa que tiene para la producción agrícola.

Respecto a su acción sobre las plantaciones frutales se puede diferenciar, por un lado, la contaminación atmosférica, y por otro lado la contaminación del suelo y del agua.

3.1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica afecta a determinadas plantaciones localizadas en zonas próximas a complejos industriales, centrales térmicas, fábricas de procesado de materiales, vías de comunicación, núcleos urbanos, etc. Los contaminantes también son desplazados por el viento a zonas muy distantes de su origen, y en este desplazamiento pueden tener lugar también reacciones influidas por la radiación solar y por otros componentes de la atmósfera, transformándose en compuestos oxidantes o ácidos. En la contaminación es importante además de la dosis, el efecto repetitivo y acumulativo de los contaminantes sobre las plantas y el suelo.

La contaminación del aire con productos gaseosos generados o con polvo en suspensión produce efectos negativos en las plantaciones, al originar fitotoxicidades en la vegetación y los frutos, y reducir la radiación recibida e interferir en la fotosíntesis. Además, los contaminantes también se depositan en el suelo modificando sus propiedades.

Uno de los problemas principales es causado por la lluvia o precipitación ácida. Recibe este nombre porque su pH ya es inferior a 5 y llega a alcanzar valores próximos a 3, al contener soluciones diluidas de ácidos. Este es un fenómeno bastante complejo en el que intervienen diferentes emisiones contaminantes o incluso el propio anhídrido carbónico natural contenido en las gotas de lluvia.

Como uno de los principales causantes de la lluvia ácida se tiene al anhídrido sulfuroso (SO_2), éste se oxida con el oxígeno de la atmósfera y pasa a anhídrido sulfúrico y luego con la humedad o la lluvia se transforma en ácido sulfúrico. Un papel similar se le achaca a los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) que reaccionan con el ozono de la atmósfera y con el agua, para dar ácido nítrico. Otro de los contaminantes que también incluye la lluvia ácida es el monóxido de carbono.

También al ozono y a los foto-oxidantes se les achacan daños sobre la vegetación. El ozono se produce, por una parte, a partir del oxígeno del aire y, por otra, a partir de los óxidos de nitrógeno y de la combustión de hidrocarburos, con la influencia de la radiación ultravioleta. El ozono se sitúa en la capa más baja la atmósfera y si supera cierto nivel deja de ser inocuo y se convierte en un peligroso contaminante. También el ozono oxida a los hidrocarburos no saturados con gran facilidad, formando productos más agresivos que el propio ozono.

La fuente principal, no natural, de estos contaminantes es la quema de combustibles fósiles en centrales generadoras de electricidad, fábricas, motores de máquinas y vehículos, calderas de calefacción, etc.

Los síntomas en la vegetación se manifiestan, en general, mediante clorosis y necrosis en el borde y punta de la hoja, y posterior necrosis total y caída de hojas. Los síntomas de contaminación por SO_2 son característicos por las pigmentaciones rojizas entre los nervios de las hojas.

En la atmósfera también puede haber otros contaminantes que afectan a la vegetación como cloro, flúor, metales pesados, etc. En zonas próximas a las vías de comunicación con gran tráfico puede haber contaminación por plomo, aunque en los carburantes actuales se ha tratado de reducir o eliminar este contaminante.

Algunas industrias (refinerías, cerámicas y acerías) producen flúor y sus derivados, los cuales resultan muy tóxicos para las plantas. Si además hay dióxido de azufre, como es frecuente, se superponen sus consecuencias. Aunque con poca probabilidad, también existe la posibilidad que en zonas próximas a centrales nucleares se produzcan escapes radiactivos que afecten a las plantaciones del entorno.

En algunas plantas y fábricas de procesado de materiales calizos o de otro tipo (canteras, yeserías, fábricas de cemento, etc.) se produce desprendimiento de polvo que afecta a las plantaciones próximas, al depositarse sobre las hojas, causando un descenso de la fotosíntesis y fitotoxicidades.

3.2. Contaminación del suelo y del agua

La contaminación del suelo de la plantación y del agua de riego también tiene efectos negativos para las plantas. En ocasiones, esta contaminación va ligada a la contaminación atmosférica.

La contaminación del suelo está originada por el aporte de sustancias no deseables o por la acumulación en exceso de algunos elementos, de forma que resultan tóxicos para las plantas y los organismos del suelo, o bien tienen efectos negativos sobre las propiedades suelo. Esta contaminación es más persistente que la contaminación del agua o la atmosférica y tiene un mayor riesgo por la acumulación en el tiempo de los contaminantes.

El riego con aguas contaminadas ocasiona que los elementos contaminantes pasen al suelo, y este efecto es también acumulativo. Para la utilización de aguas residuales, purines y lodos de depuradora se requiere conocer su composición para evitar posibles contaminaciones químicas y microbiológicas del suelo, y debe tenerse en cuenta la normativa vigente para el empleo de dichas aguas y productos.

Los problemas principales de todas estas contaminaciones son debidos a la acumulación de metales pesados (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Zn, Ni, etc.), a los riesgos de salinización y de alcalinización, a la acumulación de nitratos o de otros fertilizantes, y a la acumulación de agroquímicos (herbicidas y fitosanitarios) o de sus productos de descomposición.

4. La huella de carbono

Las explotaciones frutales tienen un gran valor ambiental y contribuyen de forma importante en la mitigación del cambio climático. En los últimos años se han preconizado evaluaciones ambientales que tienen en cuenta, por un lado, el impacto potencial asociado al sistema productivo y, por otro, la fijación de CO_2 por el cultivo.

Existen herramientas generalizadas, como la denominada ACV (Análisis del Ciclo de la Vida), para evaluar el impacto ambiental de un producto desde el inicio de su producción hasta la eliminación de sus residuos. Dentro de estos análisis adquieren especial importancia el CO_2 y otros gases de efecto invernadero (GEI) asociados al producto, por su contribución al cambio climático. Estas herramientas de evaluación también se aplican a la agricultura, pero deben adaptarse a las particularidades de los productos agrícolas, dado que las plantas y el suelo contribuyen a capturar y secuestrar el CO_2 atmosférico; y también a recuperar o remediar sistemas contaminados.

El principal gas de efecto invernadero es el CO_2. Una parte importante se emite a la atmósfera por el consumo de combustibles fósiles en las actividades humanas, aunque también es producido por los seres vivos y por procesos naturales.

Una medida de la contribución a la emisión de CO_2 por una actividad o un producto es la denominada huella de carbono. En este concepto se incluyen todas las fuentes relevantes de emisión, sumidero y almacenamiento. Se aplica tanto a nivel individual como a nivel colectivo y global. En general, la huella de carbono se refiere a la cantidad total de gases de efecto invernadero emitida, medida en emisiones de CO_2 equivalente y expresada en kg de CO_2.

Cuando se hace esta medida en el sector agrario y agroalimentario se debe tener en cuenta el importante papel de la fotosíntesis de las plantas en la captura y secuestro de carbono, lo que es aún más importante en los cultivos leñosos. Muchos consideran la actividad agrícola solo como contaminante, ignorando la contribución que las plantas y el suelo tienen para neutralizar las emisiones de CO_2 que, principalmente, generan otras actividades. Además, en este mismo sentido ambiental, también desconocen que la mayor parte del agua consumida por la agricultura se devuelve a la atmósfera "depurada" para que vuelva a iniciar su ciclo en la naturaleza. Por otro lado, tampoco debe olvidarse el papel estratégico que tiene la producción de alimentos y su contribución a la sostenibilidad del territorio, aunque esto último no suele ser tenido en cuenta en las evaluaciones ambientales. Se insiste en que en el cálculo de la huella de carbono en el sector agrario no se debe ignorar el secuestro de carbono por las plantas y el suelo, y su contribución a la reducción del CO_2.

La metodología de evaluación de la huella de carbono en las explotaciones frutales incluye las siguientes determinaciones:

- Determinación de la biomasa de la plantación (parte aérea y radical) y el contenido de carbono de las plantas.
- Determinación de la acumulación neta anual de biomasa.

- Determinación del carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades y del aporte de la cubierta vegetal, en su caso.
- Determinación de las emisiones de GEI (expresadas como CO_2) debidas a las actividades culturales, según los consumos energéticos de la actividad y los factores de emisión establecidos.
- Determinación del balance final de carbono, expresado como la tasa anual de secuestro de carbono.

Si la diferencia entre el carbono acumulado en las plantas y en el suelo, y el carbono emitido por las actividades del proceso productivo es positiva, la plantación actuará como un sumidero de carbono contribuyendo a reducir la acumulación de CO_2.

Para plantaciones frutales adultas se obtienen, en general, valores netos favorables que se encuentran alrededor de las 5 t/ha de CO_2 fijadas anualmente (incluso algo superiores); en olivar se han obtenido valores entre 2 y 4 t/ha. Por lo tanto, los cultivos leñosos contribuyen muy positivamente a mitigar el cambio climático.

5. Otras características y condicionamientos ecológicos

En explotaciones frutales concretas, las actuaciones que se realizan sobre el medio ecológico pueden llegar a una modificación importante de sus características, como es el caso de los sistemas de cultivo forzado en invernadero, con un medio productivo más o menos artificial, sobre todo con condiciones climáticas controladas, aunque también el suelo puede ser modificado o realizar el cultivo en contenedor. También se modifican las características biológicas del medio; y el manejo de la planta debe adaptarse a las nuevas condiciones de cultivo.

Este medio forzado origina una modificación temporal de los procesos fisiológicos de la planta, con la finalidad de adelantar la recolección, o incluso conseguir recolecciones fuera de su época normal. Estos cultivos forzados se llevan a cabo con melocotonero, cerezo, mandarino, níspero, etc.

La estrategia de producción forzada está basada fundamentalmente en el control climático, interviniendo sobre la planta y obligándole a desarrollar su ciclo vegetativo y fructífero de forma no natural en esa zona. Las variedades utilizadas deben estar adaptadas a las condiciones climáticas del cultivo en invernadero, principalmente en cuanto a necesidades de frío, y tolerar las intervenciones que requiere su proceso

productivo (podas fuera de época, tratamientos con fitorreguladores, etc.). Las producciones obtenidas siempre tienden a ser más bajas en un medio forzado.

Esta modificación del medio ecológico conlleva ciertos problemas para las plantas, y su manejo, como ocurre con la polinización y con en el control del crecimiento y los tratamientos fitosanitarios. Además, en ciertos casos, origina que los problemas fitosanitarios se vean ampliados por las condiciones ambientales de mayor temperatura y humedad que se dan en el invernadero.

Finalmente, cabe citar también que las explotaciones frutales pueden tener condicionamientos ecológicos determinados por estrategias productivo-comerciales, o establecidos por contratos con los clientes a los que se vende la fruta. Por ejemplo, la explotación puede estar incluida en una estrategia de Producción Ecológica o de Producción Integrada, las cuales le exigen el cumplimiento de unas normas específicas en relación con el medio ecológico; o bien, la explotación puede estar acogida a una certificación de empresa o de producto (GlobalGAP, UNE 155.000, etc.) que le exige también el cumplimiento de ciertos requisitos y controles medioambientales. Estas estrategias están, normalmente, en concordancia con las normas y requisitos citados en el apartado 2.1.

También puede haber plantaciones con unas condiciones de cultivo muy específicas y concretas que se desarrollan en un medio ecológico muy particular; por ejemplo, las viñas cultivadas en suelos volcánicos en Lanzarote con unas condiciones microclimáticas especiales. En estos casos también se trata de buscar un equilibrio ecológico que permita rentabilizar la explotación y conservar el medio en unas condiciones ambientales aceptables y asegurar su sostenibilidad.

6. Bibliografía (Capítulo 8. Otras características y requisitos del medio ecológico)

Relación de libros y artículos de interés que tratan aspectos generales y específicos sobre el tema; para los libros se indican, entre corchetes, las páginas concretas que se recomienda su lectura:

Baldini, E. 1992. *Arboricultura General*. Mundi-Prensa. Madrid. 382 pp. [204-205].

Baudry, O. 2000. *Les haies composites, facteurs de biodiversité*. Infos - Ctifl, 161: 39-41.

Baudry, O., Bourgery, C., Guyot, G. Rieux, R. 2000. *Les haies composites réservoirs d'auxiliaires*. CTIFL. París. 116 pp., [7-99].

Gil Salaya, G.F. 2000. *Fruticultura. La producción de fruta*. Universidad Católica de Chile. Santiago. 583 pp. [561-567].

Iglesias, D.J., Quiñones, A.; Martínez-Alcántara, B.; Legaz, F. Forner-Giner, M.A.; Primo-Millo, E. 2012. *La huella de carbono de las plantaciones de cítricos*. Vida Rural, 15/octubre/2012: 30-35.

López, L.; Fernández, Mª. P.; López-Bellido, P.J. 2014. *Balance y huella de carbono del olivar*. Vida Rural, 1/marzo/2014 (suplemento 3-2014): 3-14.

Magnani, F; Raddi, S.; Tonon, G. 2007. *Il protocolo di Kyoto e il ruolo delle foreste nel bilancio del carbonio.* En *Nuove Frontiere dell'arboricultura italiana.* Edit. Sansavini, S. Oasi Alberto Perdisa. Bologna. 562 pp., [505-515].

Olalla, L.; Díaz, M. 1999. *Utilización de aguas residuales y lodos de depuración en agricultura*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Comunicaciones I+D 27/99. Sevilla. 39 pp., [9-36].

Porta, J. López-Acevedo, M., Roquero, C. 1994. *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp. [738-763].

Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M. 2011 (4ª Ed). *Introducción a la Edafología. Uso y protección de suelos.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 535 pp. [273-274, 314-320].

Seoánez, M. 1972. *El medio ambiente. La contaminación atmosférica y la vegetación*. Mariano Seoánez Calvo. Madrid, 115 pp., [55-73].

Seoánez, M. 1999. *Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 352 pp., [141-335].

Tarazona, J. 1985. *La lluvia ácida, sus consecuencias en bosques y lagos*. Agricultura, 12/1985: 944-947.

Urbina, V., Dalmases, J., Nolla, J.M. 2009. *Guia de la Condicionalitat per a les explotacions fruiteres de fruita dolça*. Departament d'Agricultura Alimentació i Acció Rural. Generalitat de Catalunya. 102 pp. Web: http://hdl.handle.net/10459.1/47104.

Actividades prácticas recomendadas

Capítulo 8. Otras características y requisitos del medio ecológico

1 [Campo]. Identificar en una plantación frutal las posibles acciones que tiene el medio biológico sobre los árboles y el suelo.

2 [Campo]. Observar e identificar en las plantaciones del Campo de Prácticas la acción de plagas y enfermedades y establecer la importancia de sus efectos para la plantación.

3 [Campo]. Observar y analizar en una plantación joven y en una adulta los efectos que tienen las malas hierbas: Comparar las dificultades de control entre ambas plantaciones.

4 [Campo]. Analizar en una plantación frutal, con una superficie grande, que incidencia ha tenido su establecimiento sobre los diferentes aspectos de la biodiversidad del medio.

5 [Taller]. Consultar los diferentes apartados de la Guía de la Condicionalidad de una Comunidad Autónoma y observar los requisitos y las recomendaciones complementarias que afectan a las explotaciones frutales.

6 [Campo]. Observar y analizar en una plantación frutal afectada por alguna contaminación atmosférica, o por contaminación del suelo o del agua, la posible incidencia sobre las plantas.

7 [Taller]. Consultar una norma Técnica para la Producción Integrada en frutales de pepita o de hueso y observar los requisitos relacionados con el medio ecológico de la plantación.

8 [Taller]. Consultar un Cuaderno de Normas Técnicas de Producción Agraria Ecológica y observar los requisitos que afectan al medio ecológico de una plantación frutal.

Cuestionario de evaluación

Capítulo 8. Otras características y requisitos del medio ecológico

1. ¿Qué influencia tiene el medio biótico en una plantación frutal?

2. ¿Qué efectos positivos tienen algunos organismos para suelo y las plantas?

3. ¿Qué organismos tienen efectos negativos para la plantación, cómo se agrupan y qué organismos comprende cada grupo?

4. ¿Qué roedores causan daños en una plantación y cuáles son los daños más frecuentes?

5. ¿Qué pájaros causan daños con más frecuencia en las plantaciones frutales y qué tipo de daños originan?

6. ¿Qué plagas y enfermedades son, en general, limitantes para el cultivo de frutales?

7. ¿Qué importancia tienen las malas hierbas y cómo condicionan el cultivo de frutales?

8. ¿Qué incidencia tiene una plantación frutal en la biodiversidad de medio ecológico y qué medidas pueden tomarse para paliar dicha incidencia?

9. ¿Qué persiguen las normas de la Condicionalidad, cuándo se exige su aplicación y cómo se estructuran dichas normas?

10. Citar algunos requisitos que se exigen en las Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales de la Tierra, dentro de la Condicionalidad.

11. ¿Qué condiciones conlleva para el proyectista y para el gestor de una explotación frutal que se encuentre ubicada en un espacio de la Red Natura 2000?

12. ¿Qué tipos de contaminantes atmosféricos afectan a las plantaciones frutales?

13. ¿Qué es la lluvia o precipitación ácida y que repercusiones tiene para una plantación frutal?

14. ¿Qué estrategias productivo-comerciales imponen requisitos ecológicos más restrictivos a una explotación frutal y en qué están basados dichos requisitos?

15. ¿Qué es la huella de carbono y cómo se evalúa en una explotación frutal?

TÍTULOS PUBLICADOS DE LA COLECCIÓN

MONOGRAFÍAS DE FRUTICULTURA

N.º 1. Urbina, V. : *Legislación y aspectos básicos sobre planta de vivero de frutales.* 108 págs. 1999.- 2.ª edición, actualizada y ampliada. 121 págs. 2008.

N.º 2. Urbina, V. : *Viveros de frutales, cítricos y vid*. 182 págs. 1999. - 2.ª edición, actualizada y ampliada. 210 págs. 2009.

N.º 3. Urbina, V. : *El sistema productivo en explotaciones frutales*. 205 págs. 2000.

N.º 4. Urbina, V. : *Guía para la elaboración de proyectos de explotaciones frutales*. 220 págs. 2000.

N.º 5. Urbina, V. : *Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales.* 211 págs. 2001.

N.º 6. Urbina, V. : *La fructificación de los frutales.* 223 págs. 2002.

N.º 7. Urbina, V. : *Propagación de los frutales.* 252 págs. 2005.

N.º 8. Urbina, V. : *Prácticas de Fruticultura General.* 133 págs. 2011.

N.º 9. Urbina, V. : *El medio ecológico en plantaciones frutales.* 301 págs. 2015.

En preparación: N.º 10. Urbina, V. : *Establecimiento de una plantación frutal.*

Para pedidos o suministros: Papers - Copistería Técnica S.A.; Vallcalent, 7-Bajos; 25006 - Lleida
E-mail: papers@papers.cat - Tel.: 973-273232 - Fax: 973-273863
www.papers.cat