

TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVOS PROTEGIDOS

(Tomo 1 de 2)

Francisco Camacho Ferre
Coordinador



instituto  cajamar

TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVOS PROTEGIDOS

Francisco Camacho Ferre
Coordinador

TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVOS PROTEGIDOS

Tomo 1

- © Caja Rural Intermediterránea, Cajamar.
- © Los autores que se citan, para cada artículo.

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio, sin previa autorización escrita de la Editorial o los autores afectados.

Edita:

Caja Rural Intermediterránea, Cajamar.
Plaza de Barcelona, 5
04006 Almería
www.cajamar.es

Instituto de estudios de Cajamar.
Tf.: 950 62 25 23 - Fax: 950 22 15 94
www.instituto.cajamar.es

Diseño y maquetación:

Ediciones Agrotécnicas, S.L.
Plaza de España, 10 5º Izq.
28008 Madrid
Tf.: 91 547 35 15 - Fax: 91 547 45 06
C.elec.: agrotecnicas@agrotecnica.com
C.elec.: terralia@terralia.com
<http://www.agrotecnica.com>
<http://www.terralia.com>

Depósito legal: M-
I.S.B.N.: 84-95531-15-1 (Tomo I)
I.S.B.N.: 84-95531-16-X (Tomo II)
I.S.B.N.: 84-95531-17-8 (Obra completa)
Impreso en España
Printed in Spain
Imprime: Eurocolor
Distribuye: Ediciones Agrotécnicas, S.L.

ÍNDICE DE AUTORES

■ Aparicio Salmerón, Vicente

Ingeniero Agrónomo
Jefe del Departamento de Sanidad Vegetal de la Delegación Provincial de Agricultura de la J.A. en Almería.

■ Borja Carrillo, Alicia

Licenciada en Ciencias Biológicas
Departamento de Biología Aplicada de la Universidad de Almería.

■ Bretones Castillo, Francisco

Ingeniero Técnico Agrícola
Ex Director de la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”.

■ Cadenas Tortosa, Francisco

Ingeniero Agrónomo
Director de Producción de la S.A.T. “Las Hortichuelas”.

■ Callejón Ferre, Ángel Jesús

Doctor Ingeniero Agrónomo
Mónsul Ingeniería, S.L. – Profesor Asociado de la Universidad de Almería.

■ Camacho Ferre, Francisco

Doctor Ingeniero Agrónomo
Profesor Titular del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Almería.

■ Cánovas Martínez, Francisco

Ingeniero Agrónomo
Investigador del C.I.F.H. “La Mojonera”.

■ Cantón Ramos, José Manuel

Ingeniero Técnico Agrícola
Departamento Técnico de la S.A.T. “Costa de Almería”.

■ Carreño Sánchez, Juan

Ingeniero Técnico Agrícola
Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”.

■ Casas Castro, Antonio

Químico
Laboratorio de Análisis Agrícolas.

■ Cortés Martínez, María del Mar

Ingeniero Técnico Agrícola
Consultora Agrícola.

■ de la Torre Martínez, Fernando

Ingeniero Técnico Agrícola
Director Técnico de Semilleros “Confimaplant”.

■ Díaz Pérez, Manuel

Ingeniero Técnico Agrícola
Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Almería.

■ Fernández Rodríguez, Eduardo Jesús

Doctor Ingeniero Agrónomo
Catedrático del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Almería.

■ Fernández Sierra, Luis Miguel

Ingeniero Agrónomo
Gerente de “Agrocolor, S.L.”.

■ Galera García, Isabel

Ingeniero Técnico Agrícola
Jefa del Departamento Técnico de la S.C.A. “ Coprohníjar”.

■ González Vargas, Jesús

Ingeniero Técnico Agrícola
Consultor Agrícola.

■ Hernández Jiménez, Martín

Ingeniero Agrónomo
Director Técnico de Fitosanitarios “B. Hernández”.

■ Jurado Ruíz, Antonio

Ingeniero Técnico Agrícola
Consultor Agrícola.

■ López Hernández, Juan Carlos

Doctor Ingeniero Agrónomo
Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”.

■ López Martínez, José Antonio

Ingeniero Aeronáutico
Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería.

■ Lozano Ruíz, Rafael

Doctor en Ciencias Biológicas
Catedrático del Departamento de Biología Aplicada de la Universidad de Almería.

■ Magán Cañadas, Juan José

Ingeniero Agrónomo
Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”.

■ Manzanares Ruíz, Carmen

Ingeniera Técnico Agrícola
Unidad de producción Integrada del Departamento de Sanidad Vegetal de la Delegación Provincial de Agricultura de la J.A. en Almería.



■ **Martínez Martínez, Antonio**

Ingeniero Técnico Agrícola
Servicio Técnico de la S.C.A. “Hortamar”.

■ **Molina Herrera, Jerónimo**

Economista
Director del Instituto de Estudios de Cajamar.

■ **Nieto Quesada, Nieves**

Ingeniero Técnico Agrícola
Directora Técnica de Cultivos. “Mónsul Ingeniería, S.L.”.

■ **Pérez Parra, Jerónimo José**

Doctor Ingeniero Agrónomo
Director de la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas” – Profesor Asociado de la Universidad de Almería.

■ **Rodríguez Rodríguez, María Paz**

Ingeniero Técnico Agrícola
Unidad de producción Integrada del Departamento de Sanidad Vegetal de la Delegación Provincial de Agricultura de la J.A. en Almería.

■ **Salinas Navarro, María**

Licenciada en Ciencias Biológicas
Departamento de Biología Aplicada de la Universidad de Almería.

■ **Tello Marquina, Julio César**

Doctor Ingeniero Agrónomo
Catedrático del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Almería.

■ **Valenzuela Cabrera, José Luis**

Ingeniero Técnico Agrícola
Departamento de Producción de la S.A.T. “Parafrut”.

■ **Valera Martínez, Diego Luis**

Doctor Ingeniero Agrónomo
Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería.

■ **Vasco Morcillo, Rafael**

Ingeniero Técnico Agrícola
Departamento Técnico de la S.A.T. “Costa de Almería”.

■ **Villalobos López, Jesús**

Ingeniero Técnico Agrícola
Jefe del Departamento Técnico de la S.C.A. “Cabasc”.

PRESENTACIÓN

Siempre es motivo de satisfacción la reedición de un libro porque representa un certificado de garantía de su éxito y mucho más, como en este caso, ya que se está convirtiendo en manual de referencia sobre las **“Técnicas de producción en cultivos protegidos”**.

En esta publicación se recogen las lecciones dictadas en el Curso de postgrado que imparte el Instituto de Estudios de Cajamar que este año inicia su sexta edición; persistencia en el tiempo que avala su utilidad para los jóvenes profesionales que ahora se incorporan a la dirección técnica de los cultivos protegidos.

En los procesos de desarrollo económico, lo que diferencia las fases de despegue o inicio, de las de madurez o consolidación, es la acumulación de conocimiento y no cabe duda que este libro ha contribuido a ello. Aquí se analizan, además de cuestiones generales referidas a la producción, mejora genética, investigación, etc., los métodos particulares desarrollados en las diferentes zonas productoras del sureste de la península ibérica para el cultivo de las distintas especies hortícolas. La principal aportación de este manual es que en él se recogen, por primera vez, los trabajos empíricos desarrollados durante años en cultivos protegidos por los más destacados especialistas en cada una de las especies hortícolas.

El gran mérito de este tipo de agricultura, desarrollada principalmente en Almería, ha sido su capacidad para incorporar y adaptar las diferentes tecnologías disponibles en cada momento. No han sido grandes o brillantes investigaciones las que han permitido el espectacular crecimiento de este tipo de agricultura, sino la constante y permanente mejora de las estructuras de producción y de las técnicas de cultivo que durante treinta y cinco años han ido adecuándose a la realidad de la zona. Condiciones que no sólo están determinadas por el medio físico, sino también y sobre todo, por la capacidad de los agricultores para asimilar y aplicar los conocimientos.

Como decíamos en la presentación de la primera edición, este modelo que ha resultado tan fértil, no responde a ningún patrón predeterminado que se haya trasladado a esta provincia, sino que ha ido haciéndose poco a poco, día a día, a medida que iban incorporándose nuevas hectáreas a la producción. Durante años se ha producido un flujo constante de conocimientos que han ido inventándose sobre la marcha para salvar los innumerables obstáculos surgidos y para los que la producción científica y académica convencional, no siempre tenía la respuesta adecuada. Parte de ese conocimiento es lo que se recoge en este libro.

Por último agradecer sinceramente a todos los profesionales que de forma desinteresada han vertido sus conocimientos en esta publicación y en especial a Francisco Camacho Ferre por la magnífica labor realizada para la coordinación de la obra que hoy ofrecemos.

Juan del Águila Molina

Presidente del Instituto de Estudios de Cajamar

PRÓLOGO

¡Cuantos escritos habré leído que llevan la frase “parece que fue ayer”!.

Así quiero empezar este prólogo: parece que fue ayer cuando iniciamos la andadura del curso de “técnicas” como ya le llaman coloquialmente los profesionales y resulta que han pasado cinco años, se han celebrado cinco cursos y estamos con la preparación de la 6ª edición. Cuando un curso se consolida a lo largo del tiempo es porque la labor de las personas e instituciones que participan en él van cumpliendo con los objetivos que se marcaron, de ahí la satisfacción de todos, pero sin autocomplacencia.

Agradezco a todos los autores que participan en esta obra su labor a lo largo de los años, conozco el esfuerzo que vienen haciendo de modo continuado, no sólo en escribir sino en ofrecer al alumnado año tras año la visión actualizada, tanto en clase como en las visitas a las explotaciones, de lo que es la labor del Director Técnico de Cultivo.

Quiero también agradecer a los alumnos, ya más de ciento diez, la valoración anónima que vienen haciendo del curso, ya que su actitud nos ha ayudado a todos.

El objetivo fundamental del curso es la capacitación de titulados en agronomía y biológicas sin experiencia, para realizar el asesoramiento y/o la dirección técnica de cultivos en explotaciones agrícolas intensivas del sureste español.

La articulación del curso está hecha de modo que el alumno se adentra en el sistema protegido desde su importancia económica, los medios y técnicas que se utilizan y su evolución, para terminar con una idea precisa de lo que ocurre en los cultivos que marcan de modo determinante la economía agrícola de Almería, los ocho magníficos (tomate, pimiento, berenjena, calabacín, pepino, melón, sandía y judía), también el cultivo de la lechuga, de tanta importancia en el Este de la provincia de Almería y provincia de Murcia, por último se ha pretendido que el participante conozca las líneas de investigación agrícola de los Centros existentes en Almería dedicadas a este fin.

Quisiera terminar dando las gracias al Instituto de Estudios de Cajamar (Institución y todas las personas que lo componen desde su Presidente al último becario) por su apoyo constante y la dedicación que nos prestan a todos los participantes.

Francisco Camacho Ferre
Coordinador

ÍNDICE GENERAL

TOMO I

TEMA 1 - EL PAPEL DE LA AGRICULTURA INTENSIVA EN LA ECONOMÍA DE LA PROVINCIA DE ALMERÍA

Jerónimo Molina Herrera

1. INTRODUCCIÓN	29
2. BREVE ANÁLISIS DE LA ECONOMÍA ALMERIENSE DURANTE EL SIGLO XX.....	29
3. LA AGRICULTURA EN LA ECONOMÍA PROVINCIAL	36
4. LA PROYECCIÓN EXTERIOR DE LA ECONOMÍA ALMERIENSE	41
5. FASES DEL DESARROLLO HORTÍCOLA	47
6. RETOS FUTUROS DE LA HORTICULTURA ALMERIENSE.....	49

TEMA 2 - SUELOS Y AGUAS UTILIZADOS EN LA HORTICULTURA INTENSIVA. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Antonio Casas Castro

1. INTRODUCCIÓN	53
2. AGUAS	53
2.1 Observaciones a los efectos diversos.....	56
2.2 Soluciones a los problemas de salinidad	57
2.3 Soluciones a los problemas de infiltración.....	60
2.4 Soluciones a los problemas de toxicidad	61
2.5 Ejemplos de diferentes tipos de aguas.....	62
3. SUELOS	65
3.1 Caracterización de suelos	65
3.2 Análisis químico de suelos.....	68
3.3 Interpretación de los resultados	94
3.4 Análisis físico de suelos.....	101
4. BIBLIOGRAFÍA.....	105

TEMA 3 - EL ENARENADO

Francisco Bretones Castillo

1. INTRODUCCIÓN	111
2. ANTECEDENTES	111
3. REALIZACIÓN DEL ENARENADO	112
4. CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA A EMPLEAR	113

5. EXTENDIDO Y ACONDICIONAMIENTO DE LA ARENA	113
6. MANEJO DEL ENARENADO	114
7. PROPIEDADES Y VENTAJAS DEL ENARENADO.....	116

TEMA 4 - EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS Y CUBIERTAS DE INVERNADERO EN EL SURESTE ESPAÑOL

Juan Carlos López Hernández

▲ MATERIALES FLEXIBLES PARA CUBIERTAS DE INVERNADEROS:

1. INTRODUCCIÓN	121
2. MATERIALES FLEXIBLES	121
2.1 Propiedades básicas.....	122
2.2 Policloruro de vinilo (PVC).....	123
2.3 Copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA).....	123
2.4 Polietileno (PE).....	125
3. MATERIAL DE CERRAMIENTO FRENTE A LA RADIACIÓN DE ONDA CORTA.....	126
4. MATERIAL DE CERRAMIENTO FRENTE A LA RADIACIÓN DE ONDA LARGA	127
5. EFECTO ANTIGOTEO	130
6. EFECTO ANTIBOTRYTIS	131
7. EFECTO FLUORESCENTE.....	131

▲ ESTRUCTURAS DE INVERNADEROS Y SU EVOLUCIÓN EN ALMERÍA:

1. INTRODUCCIÓN	132
2. EVOLUCIÓN	133
3. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	133
4. ESTRUCTURAS TIPO INDUSTRIAL.....	134
5. BIBLIOGRAFÍA.....	134

TEMA 5 - EL RIEGO POR GOTEO. MANEJO, CÁLCULOS DE FERTIRRIGACIÓN Y OTROS PRODUCTOS

Juan Carreño / Juan José Magán

1. INTRODUCCIÓN	137
2. EL RIEGO A MANTA EN LOS INVERNADEROS DE ALMERÍA	137
3. INSTALACIONES DE RIEGO POR GOTEO	140
3.1 Componentes de una instalación de riego por goteo.....	140
3.2 Equipos para la fertirrigación.....	142
4. CRITERIOS DE FERTIRRIGACIÓN	148
4.1 Criterio de aporte de fertilizantes en función de las necesidades teóricas del cultivo	149
4.2 Criterio de aporte de fertilizantes en base a una disolución fisiológica equilibrada iónicamente.....	150
5. FERTILIZANTES UTILIZADOS EN FERTIRRIGACIÓN	155
5.1 Fertilizantes que incorporan macronutrientes.....	155
5.2 Fertilizantes que incorporan micronutrientes.....	160
6. OTROS PRODUCTOS APORTADOS A TRAVÉS DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	164
6.1 Sustancias húmicas	164



6.2 Bionutrientes	165
6.3 Ácidos polihidroxicarboxílicos	166
6.4 Productos fitosanitarios	166
6.5 Desinfectantes de suelos	168
7. PROBLEMAS RESUELTOS DE FERTIRRIGACIÓN	169
8. BIBLIOGRAFÍA	181

TEMA 6 - EVOLUCIÓN DE LAS ENFERMEDADES HORTÍCOLAS EN EL SURESTE ESPAÑOL

Julio César Tello Marquina

1. INTRODUCCIÓN	185
2. ESTIMACIÓN MATEMÁTICA DE LAS EPIDEMIAS	188
3. SÍNTESIS Y VALORACIÓN	197
4. LAS ENFERMEDADES EN LOS CULTIVOS BAJO PLÁSTICO	198
4.1 Los cultivos de hortalizas. Una necesaria visión retrospectiva.....	198
4.2 Las enfermedades de las plantas de invernadero. Un enfoque histórico y una valoración actual.....	202
5. ENFERMEDADES DE LAS SOLANÁCEAS.....	204
5.1 Enfermedades de los semilleros.....	204
5.2 Enfermedades causadas por parásitos edáficos en el terreno de asiento.....	205
5.3 Hongos, bacterias y virus que enferman la parte aérea de la planta	208
6. ENFERMEDADES DE LAS CUCURBITÁCEAS	211
6.1 Enfermedades de los semilleros.....	212
6.2 Enfermedades causadas por parásitos edáficos en el terreno de asiento.....	212
6.3 Micosis y bacteriosis de la parte aérea de las plantas.....	215
6.4 Virosis.....	217
6.5 Enfermedades no parasitarias	218
7. ENFERMEDADES DE LA JUDÍA.....	218
7.1 Enfermedades producidas por hongos del suelo.....	218
7.2 Micosis y bacteriosis de la parte aérea	219
7.3 Virosis.....	221
8. ORIENTACIÓN SOBRE NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA	221

TEMA 7 - PRODUCCIÓN INTEGRADA EN CULTIVOS HORTÍCOLAS BAJO ABRIGO. ANDALUCÍA.

Vicente Aparicio / María Paz Rodríguez / Carmen Manzanares

1. INTRODUCCIÓN	227
2. NORMAS O REQUISITOS QUE COMPLETAN EL PROCESO GENERAL DE LA PRODUCCIÓN INTEGRADA	229
2.1 Normas Generales de la Producción Integrada	229
2.2 Normas de Producción Integrada para industrias de transformación	235
2.3 Inscripción, registro y obligaciones de los operadores.....	237
2.4 Control de la Producción Integrada	238
2.5 Agrupaciones de la Producción Integrada.....	239
2.6 Identificaciones de garantía.....	239

2.7 Entidades de certificación	240
2.8 Comisión Nacional de Producción Integrada	241
2.9 Registro General de Producción Integrada	242
2.10 Comercialización de la Producción Integrada de otros países.....	242

3. **BIBLIOGRAFÍA..... 243**

TEMA 8 - PRODUCCIÓN CONTROLADA DE CULTIVOS PROTEGIDOS. LA CERTIFICACIÓN AENOR

Luis Miguel Fernández Sierra

1. INTRODUCCIÓN	247
2. OBJETIVOS DE AENOR	250
3. LA NECESIDAD DE CERTIFICAR UN PRODUCTO DE CALIDAD	251
3.1 Razones por las que se deben certificar los productos.....	252
3.2 Beneficios de la certificación.....	252
4. LA SERIE NORMAS UNE 155 001 “PRODUCCIÓN CONTROLADA DE CULTIVOS. HORTALIZAS PARA CONSUMO EN FRESCO”	252
4.1 Objeto y campo de actividad	253
4.2 Objetivos de esta norma	253
4.3 Actividad futura	255
5. CONTENIDOS DE LA UNE 155 001-1: REQUISITOS GENERALES	255
5.1 Objeto y campo de aplicación.....	255
5.2 Definiciones	255
5.3 Formación necesaria	256
5.4 Condicionantes del suelo	257
5.5 Condiciones climáticas	257
5.6 Instalaciones	257
5.7 Material vegetal.....	258
5.8 Operaciones propias del cultivo	258
5.9 Gestión de residuos sólidos.....	261
5.10 Recolección.....	261
5.11 Cuaderno de explotación.....	261
5.12 Central hortofrutícola.....	262
5.13 Operaciones de postrecolección y comercialización	262
5.14 Reclamaciones de clientes	263
5.15 Protección ambiental.....	263
5.16 Métodos de análisis	263
6. UNE 155 001: REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA CADA CULTIVO	264
6.1 Estructuras de normas específicas.....	264
6.2 Recolección.....	264
6.3 Control de plagas.....	265
6.4 Control de enfermedades producidas por hongos	266
6.5 Control de enfermedades producidas por bacterias	267
6.6 Control de enfermedades producidas por virus	268
6.7 Límite máximo de residuos permitido.....	268
7. LA CERTIFICACIÓN AENOR DE HORTALIZAS.....	271
7.1 Definiciones	272



7.2 Controles	272
7.3 Concesión de licencia de uso de marca.....	274
7.4 Marcado de los productos certificados.....	276
8. BIBLIOGRAFÍA.....	276

TEMA 9 - PROTECCIÓN FITOSANITARIA

Ángel J. Callejón / José A. López / Diego L. Valera

1. INTRODUCCIÓN	281
2. NORMATIVA REFERENTE A LA APLICACIÓN Y MANIPULACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS	281
3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL.....	283
3.1 Clasificación de equipos de protección individuales a efectos de comercialización.....	283
3.2 Evaluación de conformidad de los EPI según su categoría para comercialización	284
3.3 Clasificación de los equipos de protección individual	286
● ANEXO 1: CÓDIGO Y DESCRIPCIÓN DE LOS DISTINTOS PREPARADOS FITOSANITARIOS ...	307
● ANEXO 2: SÍMBOLOS, PICTOGRAMAS E INDICACIONES DE PELIGRO DE SUSTANCIAS Y PREPARADOS PELIGROSOS	308
● ANEXO 3: FRASES DE RIESGO Y SEGURIDAD	308
4. BIBLIOGRAFÍA.....	312

TEMA 10 - MEJORA GENÉTICA DE HORTÍCOLAS MEDIANTE MARCADORES DE ADN

Alicia Borja / María Salinas / Rafael Lozano

1. INTRODUCCIÓN	315
2. MARCADORES MOLECULARES.....	316
2.1 Marcadores obtenidos mediante hibridación de ADN: minisatélites, microsatélites y RFLPs.....	317
2.2 Marcadores desarrollados mediante técnicas de PCR	320
2.3 Comparación de los distintos tipos de marcadores moleculares.....	325
3. UTILIDAD DE LOS MARCADORES MOLECULARES EN MEJORA DE PLANTAS	326
3.1 Análisis de la variabilidad genética: evaluación de germoplasma y relaciones entre genotipos.....	326
3.2 Identificación genética: pureza de híbridos y evaluación de dihaploides.....	328
3.3 Selección asistida por marcadores moleculares	330
3.4 Mapas genéticos	335
4. BIBLIOGRAFÍA.....	338

TEMA 11 - INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRARIO

Jerónimo J. Pérez Parra

1. INTRODUCCIÓN	343
2. INVESTIGACIÓN, DESARROLLO ECONÓMICO, MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA	343
3. EL MARCO INSTITUCIONAL DE LA INVESTIGACIÓN AGRARIA.....	347

4. INVESTIGACIÓN AGRARIA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ALMERÍA.....	347
4.1 Líneas de trabajo principales de los centros y grupos de investigación de Almería en el ámbito de la agricultura	348
5. BIBLIOGRAFÍA.....	355

TEMA 12 - UTILIZACIÓN DE PANTALLAS TÉRMICAS ALUMINIZADAS EN INVERANDEROS MEDITERRANEOS

Eduardo J. Fernández / Manuel Díaz / Ángel J. Callejón

1. INTRODUCCIÓN	361
2. MANEJO DE LAS PANTALLAS TÉRMICAS ALUMINIZADAS EN INVERNADEROS MEDITERRÁNEOS	364
3. MANEJO DIURNO DE LAS PANTALLAS TERMOREFLECTIVAS MÓVILES	365
4. MANEJO NOCTURNO DE LAS PANTALLAS TERMOREFLECTIVAS MÓVILES	370
5. PANTALLAS E INVERSIÓN TÉRMICA	371
6. MANEJO COMBINADO DE LAS PANTALLAS TERMOREFLECTIVAS MÓVILES.....	372
7. BIBLIOGRAFÍA.....	372

TOMO II

TEMA 13 - CULTIVOS SIN SUELO

Francisco Cánovas / Juan José Magán

1. INTRODUCCIÓN	409
1.1 Concepto y definición de cultivo sin suelo.....	409
1.2 Interés y justificación de los cultivos sin suelo como sistemas productivos.....	410
1.3 Antecedentes y evolución.....	411
1.4 Situación actual.....	411
1.5 Los cultivos sin suelo en el sureste español	412
1.6 Perspectivas de los cultivos sin suelo	412
2. SISTEMAS DE CULTIVOS SIN SUELO.....	413
2.1 Principios básicos	413
2.2 Características diferenciales con los cultivos en suelo	413
2.3 Componentes y clasificación de los sistemas de cultivos sin suelo.....	415
3. MANEJO DE CULTIVOS SIN SUELO	425
3.1 Introducción.....	425
3.2 Fertilización	425
3.3 Riegos.....	428
4. ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO. EXPERIENCIAS Y POSIBILIDADES DE ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES DEL SURESTE ESPAÑOL.....	431
4.1 Sistemas abiertos.....	431
4.2 Sistemas cerrados.....	442
5. PRINCIPALES FACTORES A TENER EN CUENTA PARA LA IMPLANTACIÓN DE LOS CULTIVOS SIN SUELO EN EL SURESTE	448



5.1 Calidad del agua.....	448
5.2 Factores climáticos.....	449
5.3 Especies a cultivar.....	450
5.4 Patologías y fisiopatías específicas de los cultivos sin suelo.....	451
5.5 Aspecto medioambiental.....	452
6. BIBLIOGRAFÍA.....	453

TEMA 14 - LOS SEMILLEROS HORTÍCOLAS

Fernando de la Torre Martínez

1. DEFINICIÓN.....	457
2. EVOLUCIÓN.....	457
3. LEGISLACIÓN.....	457
3.1 Semillas.....	457
3.2 Substratos.....	458
3.3 Semilleros.....	458
4. INSTALACIONES.....	460
4.1 Invernaderos.....	460
4.2 Maquinaria de siembra.....	461
4.3 Cámara de germinación.....	463
4.4 Cámara de cultivo.....	463
4.5 Taller de injertos.....	464
4.6 Banquetas de cultivo.....	464
4.7 Sistemas de riego.....	464
4.8 Sistemas de tratamientos fitosanitarios.....	466
4.9 Climatización.....	467
5. MATERIALES.....	468
5.1 Substratos.....	468
5.2 Bandejas y fundas.....	469
5.3 Otros materiales.....	469
6. CULTIVOS.....	470
6.1 Injertos.....	471
7. LABORES DE CULTIVO.....	475
7.3 Riegos.....	475
7.2 Fertilización.....	475
7.3 Tratamientos fitosanitarios.....	476
8. PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	477

TEMA 15 - EL CULTIVO PROTEGIDO DEL TOMATE

Francisco Cadenas / Jesús González / Martín Hernández

1. INTRODUCCIÓN.....	483
2. HISTORIA DEL CULTIVO EN LAS COMARCAS ALMERIENSES MÁS IMPORTANTES, DESDE EL PUNTO DE VISTA PRODUCTIVO DE ESTA HORTALIZA.....	483
2.1 Historia del cultivo del tomate en la Comarca de El Parador - Roquetas de Mar.....	483
2.2 Historia del cultivo del tomate en la Comarca de La Vega de Almería, Los Llanos de la Cañada y El Alquíán.....	485

2.3 Historia del cultivo del tomate en las Comarcas de Cuevas del Almanzora, Pulpí, Águilas, Lorca y Mazarrón	486
3. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DEL TOMATE.....	487
3.1 Taxonomía y origen	487
3.2 Morfología	487
4. FISIOLÓGÍA DEL TOMATE	489
4.1 Adaptación medioambiental.....	492
5. EXIGENCIAS GENERALES DE CLIMA Y SUELOS	492
5.1 Temperaturas críticas para el cultivo del tomate	493
6. LA ELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL.....	494
6.1 El material vegetal en El Parador – Roquetas	495
6.2 El material vegetal en La Vega de Almería – La Cañada	497
6.3 El material vegetal en el Bajo Almanzora y Este de la Provincia de Almería.....	500
7. LABORES Y TÉCNICAS CULTURALES	503
7.1 Preparación del terreno	503
7.2 Preparación del invernadero	505
7.3 Semilla y semillero.....	505
7.4 Trasplante	506
7.5 Poda de formación	507
7.6 Aporcado y rehundido	507
7.7 Entutorado	507
7.8 Podas	508
7.9 Escardas	509
8. EL RIEGO Y LA FERTILIZACIÓN	509
8.1 El riego y la fertilización del tomate en la Comarca de El Parador – Roquetas.....	510
8.2 El riego y la fertilización del tomate en la Comarca de La Vega de Almería – La Cañada	512
8.3 El riego y la fertilización del tomate en el Bajo Almanzora y Este de la provincia de Almería	514
9. EL CUAJADO DEL TOMATE	517
10. PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	520
10.1 Plagas	520
10.2 Enfermedades	525
11. CARENCIAS, FISIOPATÍAS Y ALTERACIONES DE ORIGEN NO PARASITARIO	530
11.1 Carencias	530
11.2 Alteraciones de origen genético	531
11.3 Fitotoxicidades.....	532
11.4 Accidentes climatológicos	533
11.5 Otras alteraciones en fruto	534
11.6 Otras fisiopatías.....	535
12. RECOLECCIÓN, CUIDADOS POSTERIORES, MERCADO.....	536
13. BIBLIOGRAFÍA.....	537



TEMA 16 - EL CULTIVO DE PIMIENTO BAJO INVERNADERO

Antonio Jurado / Nieves Nieto

1. INTRODUCCIÓN	541
2. BOTÁNICA Y FISIOLÓGÍA DE LA PLANTA	541
3. EXIGENCIAS GENERALES DEL CLIMA Y SUELO	544
3.1 Exigencias climáticas	544
3.2 Exigencias del suelo	546
4. INVERNADEROS PARA CULTIVO DE PIMIENTO. CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR	546
5. LABORES CULTURALES DESDE LA SIEMBRA HASTA LA FINALIZACIÓN DEL CULTIVO	547
5.1 Siembra	547
5.2 Retranqueo y preparación del suelo	548
5.3 Desinfección de suelos	548
5.4 Riego de preplantación	550
5.5 Plantación	550
5.6 Riegos iniciales	553
5.7 Binas	553
5.8 Podas	553
5.9 Entutorado	554
5.10 Cuajado de frutos	556
5.11 Aclareo de frutos	556
6. FERTIRRIGACIÓN	557
6.1 Nutrición hídrica	557
6.2 Nutrición mineral	558
7. MATERIAL VEGETAL. ELECCIÓN DE VARIEDADES	559
8. PROBLEMAS FISIOLÓGICOS	561
8.1 Frutos en punta y agalletados	561
8.2 Blossom	561
8.3 Stip	561
8.4 Agrietado de frutos	562
8.5 Manchas en hojas viejas	562
8.6 Asfixia radicular	562
9. PLAGAS Y ENFERMEDADES. MÉTODOS DE LUCHA	562
9.1 Plagas	562
9.2 Enfermedades criptogámicas	565
10. VIRUS	567
11. RECOLECCIÓN	568
11.1 Manipulación	568
11.2 Conservación frigorífica	568
11.3 Transporte	568

TEMA 17 - EL CULTIVO DE LA BERENJENA BAJO INVERNADERO

José Luis Valenzuela Cabrera

1. HISTORIA DEL CULTIVO DE LA BERENJENA	571
2. MORFOLOGÍA DE LOS ÓRGANOS VEGETATIVOS Y PRODUCTIVOS	571

3. FISIOLÓGÍA DEL CRECIMIENTO Y FRUCTIFICACIÓN	572
4. EXIGENCIAS GENERALES DE CLIMA Y SUELOS	573
4.1 Temperatura.....	573
4.2 Humedad.....	574
4.3 Luminosidad	574
4.4 Suelo.....	575
5. ELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL	575
5.1 Variedades más usadas	576
6. LABORES CULTURALES	576
6.1 Preparación del terreno	576
6.2 Plantación	576
6.3 Aporcado.....	577
6.4 Binas y escardas.....	577
6.5 Poda de formación	577
6.6 Entutorado	577
6.7 Poda de hojas.....	578
6.8 Cuajado de frutos	578
6.9 Aclareo de flores y frutos	578
6.10 Poda de regeneración	578
7. MARCOS DE PLANTACIÓN.....	578
8. FECHAS DE PLANTACIÓN.....	579
9. RIEGOS Y FERTILIZANTES.....	579
9.1 Factores que influyen en el riego.....	579
9.2 Calendario de riego	580
9.3 Riegos de lavado.....	580
9.4 Fertilización	580
9.5 Microelementos	580
9.6 Otros nutrientes.....	581
10. PLAGAS, ENFERMEDADES Y OTRAS FISIOPATÍAS	581
10.1 Medidas culturales.....	581
10.2 Plagas	585
10.3 Enfermedades y virosis.....	586
10.4 Fisiopatías	587
11. RECOLECCIÓN.....	587

TEMA 18 - EL CULTIVO PROTEGIDO DEL MELÓN

José Manuel Cantón / Isabel Galera / Antonio Martínez

1. INTRODUCCIÓN	591
2. BREVE DESCRIPCIÓN BOTÁNICA. DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA.....	591
2.1 Formas del fruto.....	592
2.2 Color de la piel	592
2.3 Características de la placenta	593
3. EXIGENCIAS MEDIOAMBIENTALES.....	593



4. NECESIDADES MEDIAS DE AGUA	594
5. FERTILIZACIÓN	596
5.1 Fases del desarrollo fisiológico del melón	598
5.2 Relación entre las fases de crecimiento y la nutrición del melón	599
5.3 Fertilización en suelo	603
5.4 Fertilización en hidroponía.....	604
6. CICLOS DE CULTIVO	604
7. SIEMBRA Y TRANSPLANTE	605
7.1 Transplante con planta hecha en semilleros especializados	605
7.2 Siembra directa	606
7.3 Acolchado.....	606
7.4 Tunelillos.....	607
8. DENSIDAD DE PLANTACIÓN	608
9. SISTEMAS DE PODA EN MELÓN	608
9.1 Poda del melón sin entutorar	609
9.2 Poda del melón entutorado	610
10. POLINIZACIÓN	610
11. MATERIAL VEGETAL	612
11.1 Melón Amarillo.....	613
11.2 Piel de sapo.....	613
11.3 Rochet.....	613
11.4 Tendral	614
11.5 Cantaloup.....	614
11.6 Galia	614
11.7 Melones de larga conservación.....	615
11.8 Listado de variedades.....	616
12. PLAGAS, ENFERMEDADES Y FISOPATÍAS DEL MELÓN	631
12.1 Plagas del melón.....	633
12.2 Nematodos	635
12.3 Enfermedades producidas por bacterias	636
12.4 Enfermedades producidas por hongos	636
12.5 Virus.....	638
12.6 Fisiopatías	641
13. RECOLECCIÓN, CUIDADOS POSTCOSECHA Y MERCADOS	644
13.1 Recolección.....	644
13.2 Normas de calidad relativas a melones.....	646
13.3 Confección.....	646
14. BIBLIOGRAFÍA	648
TEMA 19 - EL CULTIVO DE SANDÍA INVERNADA	
Francisco Camacho Ferre	
1. INTRODUCCIÓN	651
2. MORFOLOGÍA DE LOS ÓRGANOS VEGETATIVOS Y PRODUCTIVOS DE LA PLANTA	653
3. ELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL	654

4. EXIGENCIAS DE LA SANDÍA EN SUELOS.....	657
5. EL RIEGO Y LA FERTILIZACIÓN DE LA SANDÍA.....	657
6. EXIGENCIAS CLIMÁTICAS DE LA SANDÍA.....	670
7. FISIOLÓGÍA DE LA FECUNDACIÓN.....	671
7.1 El empleo de fitorreguladores.....	672
8. FISIOLÓGÍA DEL DESARROLLO DE LOS FRUTOS.....	676
9. LABORES CULTURALES EN LA SANDÍA.....	676
9.1 Preparación del suelo.....	676
9.2 Plantación.....	677
9.3 Poda.....	677
9.4 Escardas.....	677
9.5 Polinización.....	678
9.6 Utilización de sistemas de semiforzado.....	679
9.7 Sombreo de invernaderos.....	679
10. MARCOS DE PLANTACIÓN.....	680
11. PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	680
11.1 Plagas de la sandía.....	681
11.2 Enfermedades de la sandía causadas por hongos.....	684
11.3 Enfermedades de la sandía producidas por bacterias.....	685
11.4 Enfermedades de las sandías producidas por virus.....	685
11.5 Fisiopatías, y daños producidos por mal manejo del cultivo.....	686
12. RECOLECCIÓN, CUIDADOS POSTERIORES Y MERCADOS.....	687
13. BIBLIOGRAFÍA.....	689

TEMA 20 - EL CULTIVO DEL PEPINO BAJO INVERNADERO

Rafael Vasco Morcillo

1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	693
1.1 Sistema radicular.....	693
1.2 Tallo.....	693
1.3 Hojas.....	693
1.4 Flores.....	693
1.5 Fruto.....	693
2. CLIMA Y SUELO.....	694
2.1 Exigencias generales de clima (temperatura y humedad relativa).....	694
2.2 Otros parámetros climáticos.....	696
2.3 Suelo.....	696
3. MATERIAL VEGETAL.....	697
3.1 Elección de variedades.....	697
3.2 Tipos de material vegetal.....	698
3.3 Variedades comerciales.....	698
4. LABORES CULTURALES.....	701
4.1 Siembra.....	701
4.2 Marco de plantación.....	702
4.3 Fecha de siembra.....	702



4.4 Poda y entutorado	703
5. RIEGOS Y FERTILIZACION.....	703
5.1 Necesidades de agua del pepino	703
5.2 Fertirrigación	705
6. CULTIVO DE PEPINO EN SUSTRATO.....	708
7. FISIOPATÍAS, PLAGAS, ENFERMEDADES Y VIRUS	711
7.1 Fisiopatías	711
7.2 Principales plagas del pepino	713
7.3 Enfermedades del pepino.....	717
7.4 Virosis	720
8. RECOLECCION Y COMERCIALIZACIÓN	722
9. BIBLIOGRAFÍA.....	722

TEMA 21 - EL CULTIVO PROTEGIDO DEL CALABACÍN

María del Mar Cortés Martínez

1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	725
2. MORFOLOGÍA DE LOS ÓRGANOS VEGETATIVOS Y PRODUCTIVOS DE LA PLANTA	725
3. CONDICIONES DE CULTIVO (CLIMA, SUELO, SIEMBRA, MARCOS DE PLANTACIÓN, PRÁCTICAS CULTURALES)	726
4. ELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL	728
5. PLAGAS, ENFERMEDADES, FISIOPATÍAS Y VIRUS	730
6. RECOLECCIÓN.....	737
7. MERCADOS.....	738

TEMA 22 - EL CULTIVO DE LA JUDÍA PARA VERDEO

Jesús Villalobos López

1. INTRODUCCIÓN	741
2. MORFOLOGÍA DE LOS ÓRGANOS VEGETATIVOS Y PRODUCTIVOS DE LA PLANTA	741
3. CONDICIONES DE CULTIVO	743
3.1 Climáticas.....	743
3.2 Siembra	744
3.3 Marcos de plantación	744
3.4 Prácticas culturales.....	745
3.5 Recolección.....	745
4. ENTUTORADO	745
5. PROBLEMAS FISIOLÓGICOS.....	746
6. PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	746
6.1 Plagas	746
6.2 Enfermedades fúngicas	747
6.3 Enfermedades viróticas.....	749
7. LA JUDÍA EN CULTIVO HIDROPÓNICO	749
8. LA SALINIDAD EN CULTIVOS DE JUDÍA VERDE	750
9. RECOLECCIÓN, CUIDADOS POSTERIORES Y MERCADOS	750
9.1 Recolección.....	750

9.2 Cuidados posteriores	751
10. SEGUIMIENTO AGRONÓMICO DE UN CULTIVO DE JUDÍA	752
10.1 Datos agronómicos campaña de otoño	752
10.2 Datos agronómicos campaña de primavera.....	753
11. BIBLIOGRAFÍA.....	756
TEMA 23 - EL CULTIVO DE LA LECHUGA ICEBERG	
Martín Hernández Jiménez	
1. INTRODUCCIÓN	759
2. MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA	759
3. FISIOLOGÍA DEL CRECIMIENTO	760
3.1 Crecimiento y desarrollo.....	760
3.2 Adaptación medioambiental.....	762
4. EXIGENCIAS GENERALES DE CLIMAS Y SUELOS	762
4.1 Clima	762
4.2 Suelos	763
5. ELECCIÓN DE VARIEDADES.....	764
5.1 Variedades.....	764
5.2 Programación.....	765
6. LABORES CULTURALES	765
7. MARCOS DE PLANTACIÓN.....	767
8. RIEGOS Y FERTILIZACIÓN.....	768
8.1 Riegos.....	768
8.2 Fertilización	769
9. FISIOPATÍAS, PLAGAS Y ENFERMEDADES. APLICACIONES FITOSANITARIAS.....	770
9.1 Fisiopatías	770
9.2 Plagas	771
9.3 Enfermedades	772
9.4 Aplicaciones fitosanitarias.....	774
10. RECOLECCIÓN, CUIDADOS POSTERIORES, MERCADOS.....	774
11. BIBLIOGRAFÍA.....	775

(TEMA 1)



EL PAPEL DE LA AGRICULTURA INTENSIVA EN LA ECONOMÍA DE LA PROVINCIA DE ALMERÍA

Jerónimo Molina Herrera

Economista

Director del Instituto de Estudios de Cajamar





1. (INTRODUCCIÓN]

Un hecho diferencial de Almería es la gran incidencia que tiene la agricultura sobre el conjunto de la economía provincial hasta el punto que, durante años, la evolución de la renta y el empleo provincial ha estado determinada por la marcha de la campaña hortícola. Hablar de agricultura en la provincia de Almería es hablar de la producción hortícola en cultivos intensivos, lo que popularmente se conoce como “los invernaderos” ya que, como veremos más adelante, la mayoría de la producción final agraria la aporta este subgrupo de productos. Esta realidad de la economía almeriense cuestiona uno de los tradicionales paradigmas de la economía clásica y que vinculaba las posibilidades de desarrollo de un territorio a la industrialización, siendo el componente agrario un lastre y un síntoma de subdesarrollo. En Almería ha sido el sector primario el que ha logrado, en el último tercio del siglo XX, sacar a la provincia de una prolongada situación de pobreza.

En este trabajo vamos a analizar la evolución de la economía provincial durante el pasado siglo, el papel de la agricultura y su evolución, el papel del comercio exterior, las distintas fases o etapas de las producciones hortícolas, así como los retos de futuro a los que se enfrenta la provincia.

2. (BREVE ANÁLISIS DE LA ECONOMÍA ALMERIENSE DURANTE EL SIGLO XX]

CUADRO 1. POBLACIÓN DE DERECHO EN ALMERÍA, ANDALUCÍA Y ESPAÑA.

Año	Almería		Andalucía		España	
	Habitantes	1900=100	Habitantes	1900=100	Habitantes	1900=100
1900	366.170	100	3.558.612	100	18.830.649	100
1910	398.221	109	3.824.548	107	20.360.306	108
1920	383.692	105	4.257.139	120	22.012.663	117
1930	360.180	98	4.627.148	130	24.026.571	128
1940	373.702	102	5.254.120	148	26.386.854	140
1950	361.769	99	5.647.244	159	28.172.268	150
1960	369.447	101	5.940.047	167	31.071.747	165
1970	377.639	103	5.991.076	168	34.117.623	181
1981	410.831	112	6.440.985	181	37.682.355	200
1986	442.324	121	6.940.522	195	38.473.418	204
1991	455.496	124	7.234.873	203	38.872.268	206
1995	493.126	135	7.314.644	206	40.460.055	215
1996	501.761	137	7.234.873	203	39.669.394	211
1998	505.448	138	7.236.459	203	39.852.651	212
1999	512.843	140	7.305.117	205	40.202.160	213
2000	518.229	142	7.340.052	206	41.116.842	218
2001	533.168	146	7.403.968	208	41.116.842	218

FUENTE: INE

Tradicionalmente se ha dividido la economía del siglo XX en tres periodos claramente diferenciados entre sí: la etapa de la minería, que tiene su esplendor a finales del XIX y principios del XX; la de la uva y en menor medida la naranja, que ocupan la parte central del siglo y, la actual, vinculada a la agricultura intensiva con importantes aportes del turismo y de manera mas localizada, del mármol.

El indicador más sencillo y más claro que se emplea para conocer la evolución económica de un territorio es analizar el comportamiento de su población, para ello hemos elaborado el cuadro adjunto del que podemos extraer algunas conclusiones.

De un modo general, se puede decir que durante gran parte del siglo XX Almería ha sufrido una gran depresión económica la cual se refleja en la evolución de su población. Mientras en el conjunto de España y en Andalucía la población crece ininterrumpidamente durante todo el período, en esta provincia, ha permanecido estancada e incluso en retroceso, no recuperando el número de habitantes de 1910 hasta 1981. Consecuencia de lo anterior es, que cuando el conjunto de España más que dobla el número de sus habitantes, en Almería sólo aumentan un 46%, crecimiento que además se produce en los últimos veinte años, tal como queda reflejado en los gráficos.

CUADRO 2. POBLACIÓN DE DERECHO EN ALMERÍA, ANDALUCÍA Y ESPAÑA.

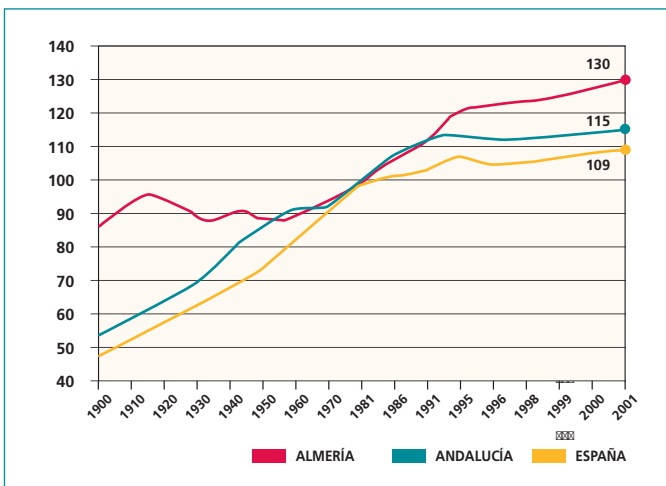
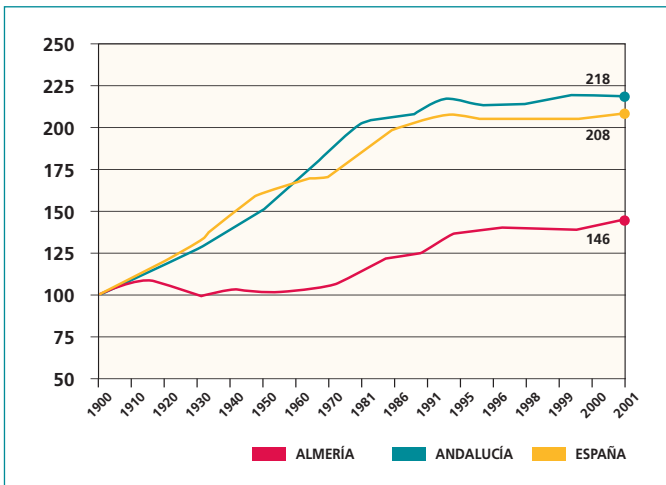
Año	Almería		Andalucía		España	
	Habitantes	1981=100	Habitantes	1981=100	Habitantes	1981=100
1900	366.170	89	3.558.612	55	18.830.649	50
1910	398.221	97	3.824.548	59	20.360.306	54
1920	383.692	93	4.257.139	66	22.012.663	58
1930	360.180	88	4.627.148	72	24.026.571	64
1940	373.702	91	5.254.120	82	26.386.854	70
1950	361.769	88	5.647.244	88	28.172.268	75
1960	369.447	90	5.940.047	92	31.071.747	82
1970	377.639	92	5.991.076	93	34.117.623	91
1981	410.831	100	6.440.985	100	37.682.355	100
1986	442.324	108	6.940.522	108	38.473.418	102
1991	455.496	111	7.234.873	112	38.872.268	103
1995	493.126	120	7.314.644	114	40.460.055	107
1996	501.761	122	7.234.873	112	39.669.394	105
1998	505.448	123	7.236.459	112	39.852.651	106
1999	512.843	125	7.305.117	113	40.202.160	107
2000	518.229	126	7.340.052	114	41.116.842	109
2001	533.168	130	7.403.968	115	41.116.842	109

FUENTE: INE



Si utilizamos como año base 1981, cuadro 2, vemos como Almería en las dos últimas décadas ha tenido un aumento de población del 30%, cifra que dobla la Andalucía que sólo lo hace un 15% y muy superior al crecimiento del conjunto de España que crece un 9%. En los últimos diez años analizados es donde se produce un crecimiento más intenso de la población en la provincia de Almería, debido al gran número de inmigrantes que llegan atraídos por la demanda del mercado laboral, especialmente del sector agrario.

En estos años, el crecimiento anual medio acumulado en la provincia de Almería es el 1,75% frente al 0,25% de Andalucía y el 0,62% de España. Hasta la década de los ochenta no se produce un saldo migratorio positivo en la provincia, que en los últimos años supera incluso el crecimiento vegetativo.



Otra reflexión que se debe extraer de la evolución de la población es la debilidad del desarrollo propiciado por la uva, que fue incapaz de mantener a la población fijada en el territorio durante la parte central del siglo. Y no es porque la producción uvera no creara riqueza, sino porque ésta se concentró en unas pocas comarcas, siendo además, prácticamente y aparte del autoabastecimiento, la única actividad económica de entidad que se realizó en la provincia durante décadas, quizás con la única excepción de la modesta producción naranjera desde finales de los años cincuenta. Una característica muy acusada de la evolución de la población almeriense durante el siglo XX, es como se ha desplazado desde el interior hacia la costa siguiendo, lógicamente, las actividades económicas. Así la minería y los cultivos uveros se desarrollaron en los pueblos del interior, mientras la agricultura intensiva se produce en la franja litoral.

Como resumen, la evolución del siglo la podemos dividir en las siguientes etapas:

- Hasta 1910, crecimiento de población vinculado a la minería.
- De 1910 hasta 1970, disminución de población por declive de la minería y escaso desarrollo del parral y los cítricos.
- Desde 1970, rápido crecimiento propiciado por la agricultura intensiva.

Durante las tres etapas del crecimiento económico de Almería se observan una serie de similitudes y disparidades en las que conviene detenerse, aunque sea de forma breve.

La principal coincidencia es que las actividades económicas desarrolladas han tenido siempre una gran dependencia con el exterior, tanto la minería, como la uva y las hortalizas se han destinado a los mercados exteriores. Esta realidad, sin duda positiva, y tantas veces presentada como reflejo del carácter emprendedor de los almerienses, oculta otra realidad no menos cierta, que es el gran aislamiento interior de nuestra provincia en la Península Ibérica. Nuestra situación periférica, y además en una esquina del cuadrado peninsular; el complejo sistema montañoso y, la aridez casi desértica en gran parte de la provincia, han dificultado las comunicaciones con las demás regiones, e incluso dentro de la propia provincia.

Todo ello, unido a la ausencia de infraestructuras que articulen los distintos núcleos de actividad, ha impedido la creación de un tejido económico relacionado con nuestro entorno peninsular y de ahí, que las escasas posibilidades de desarrollo se hayan dirigido hacia los mercados exteriores. Sirva esta evidencia histórica para recordar el esencial papel que juegan las infraestructuras en la superación de los condicionantes y obstáculos que ofrece la naturaleza a los que haremos referencias más adelante.

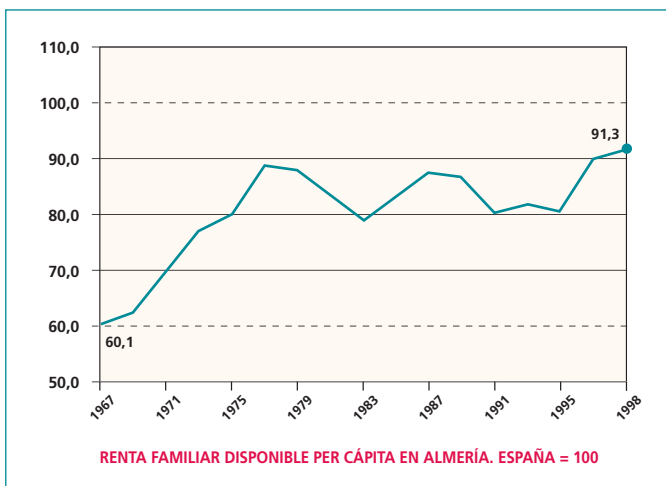
Una divergencia clara entre los tres procesos es, que en las dos primeras etapas no se pudo, o no se supo, desde la riqueza generada por la actividad extractiva, en un caso y la producción uvera en el otro, desarrollar un tejido industrial y de servicios que propiciara un desarrollo estable y menos dependiente. No se le incorporó valor añadido a los productos, ni se desarrollaron economías de escala. Consecuentemente, al tiempo que esas materias primas perdían rentabilidad o se agotaban, se volvía a las situaciones de profunda depresión que las habían precedido. Sin embargo, creemos que esta tercera etapa, presenta unas características muy distintas a las anteriores, e incluso un entorno internacional mucho más favorable como tendremos oportunidad de analizar más adelante.



CUADRO 3. EVOLUCIÓN DE LA RENTA FAMILIAR NETA DISPONIBLE PER CÁPITA EN ALMERÍA Y ESPAÑA.

	RFND pc	% Almería	Tasa varic.	RFND pc	Tasa varic.
Año	Almería	España = 100	anual	España	anual
1.967	23.876	60,1		39.731	
1.969	30.634	62,2	28,3	49.223	23,9
1.971	45.843	70,3	49,6	65.181	32,4
1.973	70.447	76,9	53,7	91.647	40,6
1.975	102.667	80,0	45,7	128.346	40,0
1.977	168.033	88,7	63,7	189.369	47,5
1.979	239.368	87,9	42,5	272.380	43,8
1.981	308.899	83,2	29,0	371.140	36,3
1.983	375.552	78,9	21,6	476.279	28,3
1.985	478.069	82,9	27,3	576.558	21,1
1.987	636.122	87,4	33,1	727.607	26,2
1.989	771.403	86,5	21,3	891.768	22,6
1.991	822.530	80,4	6,6	1.022.900	14,7
1.993	936.391	81,7	13,8	1.145.598	12,0
1.995	920.835	80,6	-1,7	1.142.509	-0,3
1.997	1.324.156	90,0	43,8	1.471.254	28,8
1.998	1.439.357	91,3	8,7	1.576.561	7,2

FUENTE: RENTA NACIONAL DE ESPAÑA. BBV.
ELABORACIÓN SERVICIO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS. CÁMARA OFICIAL DE COMERCIO DE ALMERÍA



FUENTE: RENTA NACIONAL DE ESPAÑA. BBV.

Desde un punto de vista más estrictamente económico como es producción y renta, sí observamos la evolución de la Renta Familiar Neta Disponible per cápita de Almería desde 1967, según los datos del Servicio de Estudios del BBV, y los comparamos con los del conjunto de España, tal como aparecen recogidos en el Cuadro 3, se pueden apreciar claramente tres etapas: en los años setenta se produce el gran despegue de la economía almeriense, manteniendo tasas de crecimiento superiores a la española y por lo tanto, aproximándose de manera considerable a la renta media, alcanzando al final de la década un ochenta y ocho por ciento de la media nacional; en los años ochenta y hasta la crisis del 93, Almería crece en términos per cápita a un nivel muy similar al conjunto de España manteniéndose, por tanto, el diferencial respecto a los valores medios.

Desde 1993, año que coincide con la creación del Mercado Único Europeo, Almería vuelve a crecer a un ritmo superior a la media española hasta situarse por encima del noventa por ciento de la renta familiar disponible en España.

Lo expuesto también queda reflejado en el Cuadro 4 Indicadores Macroeconómicos de las Provincias Andaluzas, aunque en él se analice, sin distinguir fases intermedias, el último cuarto del siglo XX, se puede observar el mayor dinamismo de Almería respecto a las demás provincias andaluzas. En este período la población de Almería pasa de representar el 6,3% del total de la Comunidad Autónoma al 7,4%; por otra parte, la aportación al Valor Añadido Bruto del conjunto de la región pasa del 5,9% al 8,5% en idéntico período de tiempo siendo la provincia que obtiene un mayor crecimiento.

CUADRO 4. INDICADORES MACROECONÓMICOS DE ANDALUCÍA. AÑOS 1975 Y 1999. ANDALUCÍA = 100.

Concepto	Almería	Cádiz	Córdoba	Granada	Huelva
Población en 1975	6,30	15,46	11,73	12,03	6,54
Población en 1999	7,04	15,25	10,51	10,99	6,24
V.A.B. 1975*	5,92	15,66	10,33	9,26	10,31
V.A.B. 1999	8,49	14,52	9,95	9,89	6,69
R.F.N. en 1975*	6,55	15,48	10,88	10,48	7,04
R.F.N. en 1998	8,40	14,08	11,08	10,22	6,71
V.A.B. per cápita 1975	93,87	101,23	88,02	76,95	157,60
V.A.B. per cápita 1999	120,51	95,22	94,64	89,98	107,25
R.F.N.D. per cápita 1975	103,84	100,10	92,70	87,12	107,69
R.F.N.D. per cápita 1998	119,21	92,32	105,40	92,95	107,47
Índice PIB por hab. 1975	66,03	71,20	61,91	54,12	110,85
Índice PIB por hab. 1999	81,70	64,59	64,04	60,78	71,89
Índice R.F.N.D. por hab. 1975	80,50	77,60	71,87	67,54	83,49
Índice R.F.N.D. por hab. 1998	89,76	69,52	79,36	69,99	80,92

* Millones de pesetas. Deflactor V.A.B.=7.057

Media española del PIB por habitante: 1975 = 1.160.086; 1999 = 2.284.261

Renta familiar neta por habitante: 1975 = 896.931; 1998 = 1.576.561



Concepto	Jaén	Málaga	Sevilla	Andalucía
Población en 1975	10,58	14,94	22,41	100,00
Población en 1999	8,81	17,34	23,81	100,00
V.A.B. 1975*	8,58	15,06	24,89	100,00
V.A.B. 1999	7,96	20,06	22,44	100,00
R.F.N. en 1975*	9,57	15,41	24,60	100,00
R.F.N. en 1998	9,31	18,64	21,57	100,00
V.A.B. per cápita 1975	81,03	100,74	111,01	100,00
V.A.B. per cápita 1999	90,31	115,69	94,25	100,00
R.F.N.D. per cápita 1975	90,49	103,10	109,77	100,00
R.F.N.D. per cápita 1998	105,70	107,52	90,57	100,00
Índice PIB por hab. 1975	56,99	70,86	78,08	70,34
Índice PIB por hab. 1999	60,99	78,45	63,69	67,65
Índice R.F.N.D. por hab. 1975	70,16	79,93	85,10	77,52
Índice R.F.N.D. por hab. 1998	79,59	80,96	68,20	75,30

* Millones de pesetas. Deflactor V.A.B.=7.057

Media española del PIB por habitante: 1975.= 1.160.086; 1999.= 2.284.261

Renta familiar neta por habitante: 1975.= 896.931; 1998.= 1.576.561

FUENTE: RENTA NACIONAL DE ESPAÑA. BBV. ELABORACIÓN INSTITUTO DE ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS DE CAJAMAR.

Esta evolución tiene su reflejo en el índice de PIB por habitante considerando el valor medio de España igual a 100, en él la provincia de Almería gana más de quince puntos porcentuales pasando de representar el 66% de la media española en 1975 a superar el 81% al final del período, siendo con mucho la provincia andaluza que mejor se comporta en este indicador donde, por cierto, el conjunto de Andalucía no sólo no ha avanzado, sino que incluso ha retrocedido ligeramente.

El avance de la economía almeriense también queda patente en la evolución del V.A.B. per cápita en relación con las demás provincias andaluzas. Así, mientras la provincia almeriense era la quinta de Andalucía con valores inferiores a la media de la región, en 1999 es la provincia de mayor V.A.B. p.c. superando en un 20% el valor medio de Andalucía

Para comprender las causas de esta favorable evolución hay que descender al análisis de los distintos sectores que componen el PIB provincial. Analizando éstos, como rasgos más característicos destacan el fuerte componente agrario, así como la rápida evolución de los servicios y la escasez de actividad industrial. Este último sector y la construcción, son los que menor participación tienen en la economía de Almería, siendo su evolución, aunque no su tamaño, muy similar a la del conjunto de España, por lo que difícilmente estos sectores podrían explicar el mayor crecimiento de la provincia almeriense.

Por su parte, el sector servicios sí ha tenido una evolución más rápida que la española, sobre todo en aquellas ramas de actividad que atienden las demandas del sector agra-

rio como son los servicios comerciales, el transporte y las comunicaciones, manteniendo las demás un comportamiento muy similar al conjunto de España.

El sector que tiene un comportamiento claramente diferenciado es el sector agro-pesquero, que mantiene un elevadísimo porcentaje tanto en la producción, como en el empleo provincial que se sitúa por encima del 20%, multiplicando por cinco los valores alcanzados para el conjunto de España. La elevada participación que mantiene el sector primario en la provincia se debe al gran desarrollo de la producción hortícola, realizada en su mayoría en cultivos protegidos. La importancia de este tipo de agricultura, muy intensiva en trabajo y capital, junto con la evolución de los servicios comerciales, que en su mayoría están vinculados a ella, es lo que explica los avances en producción y renta superiores a la media nacional, así como la recuperación de la población en el último tercio del siglo. El aumento del comercio y el transporte, señalado con anterioridad, se debe tanto a la propia comercialización de la producción hortícola, como a la venta de los numerosos inputs y suministros demandados en el proceso de producción y de comercialización.

En definitiva, podemos afirmar que han sido la agricultura intensiva y, en menor medida, el turismo, los motores de arrastre de la economía provincial. Es necesario, pues, detenerse en el estudio del sector agrario para poder delimitar su influencia en el conjunto de la sociedad almeriense.

CUADRO 5. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA SECTORIAL DEL VAB C/F EN ALMERÍA Y ESPAÑA.

VAB c.f. (% sobre el Total)	Almería			España		
	1955	1975	1995	1955	1975	1995
S. Agropesquero	34,5	30,7	23,8	20,5	9,7	4,8
Industria	17,4	17,4	9,8	31,5	31,8	21,8
Construcción	6,7	9,2	8,7	6,4	7,3	8,0
Servicios	41,4	42,7	57,7	41,6	51,2	65,4
Total	100	100	100,0	100	100	100,0

FUENTE: RENTA NACIONAL Y SU DISTRIBUCIÓN PROVINCIAL. BBV

3. (LA AGRICULTURA EN LA ECONOMÍA PROVINCIAL)

La producción agrícola en 2002 representa en la provincia de Almería el 89,8% del total del sector agro-pesquero, estando representado el resto por la producción ganadera con el 8,8% y la pesquera, que apenas alcanza el 1,4% del total, porcentajes que, con ligeras alteraciones, se mantienen de forma estable en el tiempo. Este importante volumen de participación de la agricultura ha generado en 2000 la nada despreciable cifra de 1.848 millones de euros.

Desglosando la producción agrícola por tipos de productos, Cuadro 7, se puede observar como los cultivos hortícolas, con un 21,8% de la superficie cultivada en la pro-

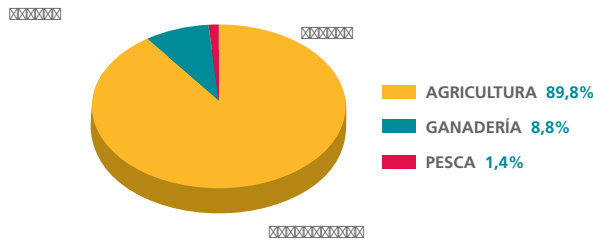


vincia, generan un 86,2% de la producción total y, lo que es más importante, el 91,9% del valor de esa producción. Otras producciones, que ocupan más del doble de la superficie cultivada por las hortalizas, como es el caso de los frutales (básicamente almendra en secano), apenas alcanzan el 2,3% de los ingresos; otros como los cereales, con una ocupación de tierras del 9,7%, sólo alcanzan el 0,3% del valor de la producción.

CUADRO 6. PRODUCCIÓN FINAL AGRARIA EN ALMERÍA. 2002.

(Miles de euros y % sobre total)						
Sector	1998	%	2000	%	2002	%
Agricultura	1.377.261	90,0	1.334.169	88,8	1.659.703	89,8
Ganadería	127.913	8,4	140.060	9,3	163.038	8,8
Pesca	24.521	1,6	28.788	1,9	25.147	1,4
Total	1.529.695	100,0	1.503.017	100,0	1.847.888	100,0

FUENTE: CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. DELEGACIÓN PROVINCIAL DE ALMERÍA.



CUADRO 7. PRODUCCIÓN FINAL AGRÍCOLA EN ALMERÍA. 2002.

Producto	Superficie Hectáreas	%	Producción Toneladas	%	Valor producción Miles Euros.	%
Cereales	20.187	9,7	35.266	1,2	4.262	0,3
Leguminosas	897	0,4	454	0,0	87	0,0
Tubérculos	570	0,3	13.670	0,5	2.864	0,2
Forrajeras	260	0,1	11.545	0,4	1.255	0,1
Hortalizas	45.260	21,8	2.492.928	86,2	1.524.711	91,9
Flor y Ornam.	126	0,1	0	0,0	20.162	1,2
Cítricos	11.363	5,5	211.072	7,3	41.332	2,5
Frutales	90.171	43,4	55.984	1,9	37.951	2,3
Viñedo	1.645	0,8	12.797	0,4	4.042	0,2
Olivar	15.900	7,7	59.550	2,1	22.920	1,4
Otros Cult. Leñosos	3.515	1,7	71	0,0	117	0,0
Barbechos	17.721	8,5	0	0,0	0	0,0
Total	207.615	100	2.893.337	100	1.659.703	100

FUENTE: CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. DELEGACIÓN PROVINCIAL DE ALMERÍA

Esta rápida panorámica sobre la composición del sector primario de la provincia, añadida a la realizada en el apartado anterior sobre la aportación de la agricultura al PIB provincial, es suficiente para comprender la significación de los cultivos hortícolas y, en definitiva, la gran dependencia que tiene la economía de la provincia de los invernaderos. Si el peso del sector agrario en la economía de la provincia se basara en cultivos tradicionales de secano se podría afirmar, sin temor a equivocación, que Almería era una zona económicamente deprimida y atrasada, donde no hubieran podido realizarse los incrementos de renta de los últimos veinte años. Es precisamente el carácter intensivo en la utilización de factores de producción, tanto de trabajo como de capital, de sus cultivos bajo plástico lo que explica dicho desarrollo. Un aspecto destacadísimo de este tipo de agricultura es la gran dinamicidad que ha mostrado el modelo para la incorporación de tecnología.

CUADRO 8. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA DE ALMERÍA Y SU VALORACIÓN.

Año	Superficie	Producción	Valor cte 1975	Índice 1975=100			Índice en euros ctes 1975		
	Hectáreas	Toneladas	Miles euros	Superficie	Producción	Valor cte	euro/kg	Tm/ha	euro/ha
1975	24.221	669.218	53.880,72	100	100	100	100	100	100
1976	26.698	829.584	64.091,72	110	124	119	96	112	108
1977	26.767	827.604	79.798,18	111	124	148	120	112	134
1978	27.153	882.683	79.792,18	112	132	148	112	118	132
1979	27.844	959.752	76.648,49	115	143	142	99	125	124
1980	28.469	977.484	58.812,24	118	146	109	75	124	93
1981	27.881	938.142	71.518,99	115	140	133	95	122	115
1982	28.875	976.789	64.511,68	119	146	120	82	122	100
1983	29.000	996.988	72.892,86	120	149	135	91	124	113
1984	29.460	974.905	70.457,10	122	146	131	90	120	108
1985	27.159	995.405	63.047,82	112	149	117	79	133	104
1986	30.102	1.147.398	55.026,61	124	171	102	60	138	82
1987	31.197	1.120.735	61.745,95	129	167	115	68	130	89
1988	31.293	1.216.076	72.070,94	129	182	134	74	141	104
1989	35.586	1.374.615	79.438,22	147	205	147	72	140	100
1990	37.495	1.258.317	79.468,21	155	188	147	78	121	95
1991	37.297	1.321.110	74.656,68	154	197	139	70	128	90
1992	35.426	1.336.212	72.454,90	146	200	134	67	137	92
1993	36.460	1.384.240	70.085,13	151	207	130	63	137	86
1994	37.186	1.550.528	100.616,14	154	232	187	81	151	122
1995	38.470	1.979.270	105.439,67	159	296	196	66	186	123
1996	40.117	2.173.431	132.365,03	166	325	246	76	196	148
1997	46.719	2.604.474	130.223,24	193	389	242	62	202	125
1998	48.145	2.676.887	152.823,02	199	400	284	71	201	143
1999	48.599	2.583.912	131.237,14	201	386	244	63	192	121
2000	48.992	2.489.852	141.076,17	202	372	262	70	184	129
2001	46.750	2.497.140	130.385,22	193	373	242	65	193	125
2002	45.260	2.492.928	163.423,98	187	373	303	81	199	162

FUENTE: INE. CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. DELEGACIÓN PROVINCIAL DE ALMERÍA.



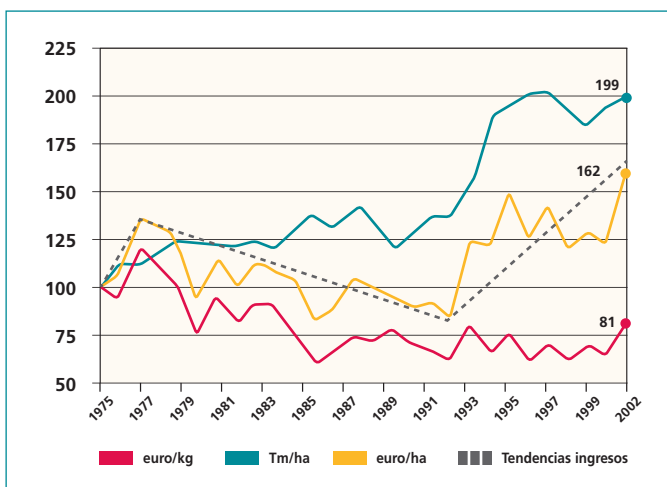
Efectivamente, desde que se inicia la generalización de la producción de hortalizas a mediados de los años sesenta, no han dejado de evolucionar las estructuras de producción y las técnicas de cultivo.

Ha existido y existe una permanente incorporación de innovaciones que permiten mejorar la productividad y la calidad de los productos. De forma muy telegráfica y para ilustrar lo antedicho, baste citar las siguientes aportaciones tecnológicas: la incorporación de arena, las cubiertas de plástico, los sistemas de riego por goteo, las semillas híbridas, los cultivos sin suelo, los programas de riego, las nuevas estructuras de los invernaderos donde se controlan las condiciones ambientales del interior, etc. Tecnologías, todas ellas, que han ido incorporándose de forma ininterrumpida, permitiendo una mejora de la productividad y de los calendarios de comercialización que han asegurado la rentabilidad de los cultivos y la competitividad en los mercados. Desde 1975, la producción hortícola almeriense se ha incrementado en un 273%.

En el Cuadro 8 se ha representado la evolución de la horticultura almeriense medida a través de la superficie de cultivo, la producción hortícola y el valor de la misma. A los efectos de comparación se han elaborado los correspondientes números índices haciendo 100 el valor de 1975, igualmente se han deflactado los precios para expresarlos en euros constantes de 1975.

Se observa como el valor de la producción en euros crece menos de lo que lo hace la producción en toneladas, lo cual se explica por la pérdida del precio unitario en euros constantes que en 2002 había perdido casi un 20% respecto al de 1975.

Esta pérdida de precio viene a ratificar la teoría que explica como los incrementos de los precios percibidos por los agricultores crecen menos que los precios que estos pagan por sus insumos; estos últimos hemos supuesto que evolucionaron en paralelo con el índice general de precios al consumo que hemos utilizado como deflactor.



RENTABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA. ÍNDICE 1975=100.

En las tres últimas columnas del Cuadro 8, se recogen en números índices la evolución, en euros constantes, del precio medio anual del kilo producido de hortalizas, de las toneladas producidas por hectárea y de los ingresos generados cada año por una hectárea de cultivo, las cuales se reproducen en el cuadro anterior.

Del Cuadro 8 se desprende que el aumento de la producción viene explicado, casi al cincuenta por ciento, por el incremento de la superficie de cultivo y de los rendimientos por unidad de superficie. Analizando el valor de la producción de una hectárea a precios constantes, se comprueba como son los incrementos de las toneladas producidas por hectárea lo que permite mantener la rentabilidad de las explotaciones, compensando la lógica caída de los precios percibidos. En definitiva los ingresos del agricultor en euros constantes por hectárea se han mantenido durante el periodo analizado e incluso han aumentado en los últimos años donde parece existir un cierto sostenimiento de los precios. Se puede apreciar como entre 1975 y 1988 al doblarse la producción se produjo una caída del 25% de los precios y sin embargo al mismo aumento de producción desde 1990 a 2002 no ha supuesto una reducción de los precios unitarios, los cuales se han mantenido con una cierta estabilidad.

En el cuadro 9 se aprecia con claridad como el comportamiento de la agricultura almeriense no ha sido homogéneo durante todo el período de tiempo analizado.

CUADRO 9. TASAS DE VARIACIÓN POR PERÍODO DE TIEMPO.

Variables	1975-84	1984-92	1992-98	1998-2002
Superficie (Ha)	22%	20%	36%	-6%
Producción (t)	46%	37%	100%	-7%
Ingresos (Euros ctes)	31%	2%	112%	7%
t/ha	20%	14%	46%	-1%
Euros/ha	8%	-15%	55%	13%
Euros/kg	-10%	-26%	6%	14%
Precio medio período	0,58	0,44	0,41	0,42

FUENTE: CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. DELEGACIÓN PROVINCIAL DE ALMERÍA.

En las dos primeras etapas, se produce un crecimiento similar de la superficie de cultivo y de las toneladas producidas, disminuyendo los ingresos por hectárea en la segunda fase debido a la caída de los precios. En la tercera fase, entre 1992 y 1998, se produce un crecimiento espectacular en todas las variables que originan el periodo más próspero de nuestra agricultura. En sólo seis años se dobla la producción en toneladas y en valor, debido a: un aumento de la superficie cultivada del 36%, un incremento de los rendimientos medidos en t/ha del 46% y un aumento de los precios de un 6%. En el último periodo analizado se produce, por primera vez, un freno en la evolución de la superficie cultivada, de las toneladas producidas y de los rendimientos por hectárea, manteniéndose los ingresos de la explotación gracias a la mejora de los precios de los productos.



De la observación de las distintas magnitudes en su evolución histórica podemos sacar tres conclusiones básicas:

■ **Hasta 1992** el continuado aumento de la superficie de cultivo y de los rendimientos compensan la progresiva caída de precios manteniéndose el nivel de ingresos de los agricultores.

■ **Desde 1992 a 1998** se produce la época dorada de la agricultura almeriense, esta situación viene explicada, desde el punto de vista de los cultivos, por la mejora de las estructuras de producción que han permitido incorporar nuevas tecnologías en el proceso de producción y, por la utilización de nuevas variedades que se adaptan mejor a las condiciones de producción de Almería. Caso particular de esto último es el tomate que estaba en claro retroceso y desde la aparición de nuevas variedades, ha incrementado su producción y sus exportaciones de forma muy intensa. Por último, un factor que ha sido decisivo en este salto cualitativo de la agricultura de Almería es la incorporación de una nueva generación de agricultores con un mejor nivel de formación y una mayor amplitud de objetivos. Desde el punto de vista de la demanda, se produce un aumento de la misma por la incorporación al consumo de las países PECOS y por la incorporación de hecho de las frutas y hortalizas españolas a la UE tras el fin del periodo transitorio, ambos hechos determinan que se coloquen fácilmente en los mercados los incrementos de producción.

■ **Desde 1998** se interrumpe el acelerado proceso de crecimiento y parece que se inicia una nueva fase que será, en nuestra opinión, de consolidación del modelo como corresponde a una actividad madura. En estos años se ha reducido el número de hectáreas cultivadas, las toneladas producidas e incluso los rendimientos por hectárea aunque ligeramente. Sólo el aumento de los precios ha permitido mantener el nivel de ingresos de los agricultores.

Con independencia, y paralelamente a la evolución de los cultivos, se ha producido un desarrollo similar en el proceso de comercialización que ha facilitado la salida de los mismos y que, a su vez, ha contribuido de forma notable a aumentar el valor añadido del conjunto de la provincia. De existir una dependencia total de estructuras comerciales ajenas a la provincia en los años setenta, se ha pasado a comercializar directamente desde Almería la casi totalidad de los productos que acuden a los distintos mercados de consumo, tanto españoles como del resto del mundo. Para ello, se han desarrollado dos modos de comercialización, que se complementan entre ellos: inicialmente, la venta en origen mediante el sistema de subastas y, posteriormente, la venta directa a los mercados consumidores mediante agrupaciones de agricultores en cooperativas o sociedades agrarias de transformación.

4. (LA PROYECCIÓN EXTERIOR DE LA ECONOMÍA ALMERIENSE]

Si tuviéramos que señalar un momento o una circunstancia que haya propiciado el despegue de la economía de la provincia, no nos cabe la menor duda de que éste se produce cuando parte de los agricultores abandonan las normas de comportamiento del campesino tradicional que espera paciente, con cierta indolencia, a que vengan a comprarle su cosecha y deciden ir a venderla ellos mismos a los mercados consumidores.

Esta decisión, de parte de los agricultores, de acudir a los mercados consumidores en vez de seguir vendiendo en los de origen, supuso un cambio cualitativo en los comportamientos de la agricultura almeriense que, a la postre, iba a repercutir favorablemente en toda la estructura económica de la provincia. La incorporación de la agricultura a la comercialización de sus propios productos supuso, como principales aportaciones, las siguientes:

■ Facilitó información directa de los mercados sobre:

- Los tipos de productos más demandados y variedades preferidas por los consumidores, lo que permitió adecuar año tras año las producciones a los cambios de la demanda.
- Las formas de presentación de los productos y las preferencias en lo relativo a tamaños y grados de madurez.
- Las épocas del año donde se obtienen mejores cotizaciones.
- La forma de actuar de los países competidores, así como las épocas en que concentran sus exportaciones.

■ Al estar generalizada la venta de los productos normalizados en los mercados de exportación, es decir clasificados por tamaños y categorías, se discrimina positivamente a aquellos agricultores que obtienen en sus cultivos mayores porcentajes de primeras categorías, lo cual no ocurre en el mercado de origen, salvo algunas excepciones. También permite, si la empresa de exportación tiene el tamaño suficiente, distribuir los envíos a los mercados según los tamaños y/o grado de madurez que obtengan mejores cotizaciones en cada uno de ellos.

■ El conocimiento por parte de los agricultores de los mercados de exportación, principalmente del Europeo, supuso la ruptura de su mentalidad tradicional del campesino. Efectivamente, la salida al exterior les permitió ver la forma de trabajo y el nivel de organización de los agricultores en otras zonas, particularmente de Holanda. Ello les llevó a utilizar criterios y comportamientos innovadores y vanguardistas respecto a la agricultura tradicional. Rápidamente, la agricultura intensiva almeriense va adaptando nuevas variedades y técnicas de producción que le permiten mejorar sus rendimientos. También, aprenden del exterior la importancia de contar con un soporte técnico, y empiezan a contratar a profesionales que van elevando el nivel general de los cultivos. No cabe la menor duda que ésta aproximación al mundo exterior ha sido el factor fundamental en la consolidación de lo que un día fue el milagro de la agricultura almeriense. Y lo ha sido, porque ha permitido generar y acumular un capital humano y tecnológico superior a lo habitual en el mundo agrario.

■ La incorporación a la comercialización supuso, igualmente, reducir la dependencia de la producción almeriense respecto de comerciantes de otras regiones, la cual ha ido disminuyendo, como se ha comentado anteriormente, hasta llegar a ser prácticamente nula en la actualidad. No se dice con ello que no existan operadores de otras procedencias que compren en Almería, sino que hoy ya existen estructuras comerciales autóctonas suficientes para dar salida a la totalidad de la producción.



Por último, para el conjunto de la economía almeriense, asumir la comercialización implicó un importante incremento del Valor Añadido Bruto de la provincia al incorporar a la producción agraria el valor generado por: la manipulación, los sistemas de frío, el envasado, el transporte, las compras de materiales, las inversiones en instalaciones, etc.

En el Cuadro 10, se observa la rápida y constante incorporación de la producción hortícola a la exportación. Como es lógico, la comercialización empezó por el mercado interior español, siendo ya muy avanzada la década de los setenta cuando se inician las ventas en los mercados exteriores, los cuales van absorbiendo los incrementos de producción que anualmente no cesan de producirse. Como se ha comentado anteriormente, destaca la vigorosa aceleración que se produce a finales de los ochenta como consecuencia de la incorporación de España a la Unión Europea, la cual se consolida con la firma del Acta Única en 1992. En estos años también ha influido de manera notable, en los incrementos de las exportaciones, la apertura de los antiguos mercados del Este europeo. En la actualidad en torno al 55% de la producción hortícola de Almería se comercializa fuera de España, situación que de momento parece consolidada.

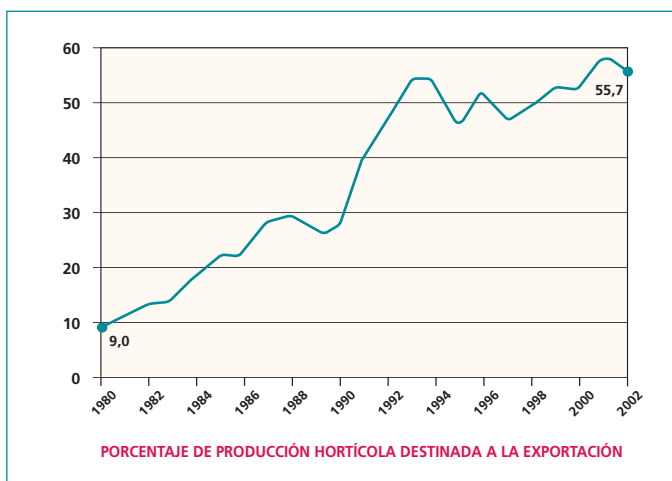
CUADRO 10. EXPORTACIÓN SOBRE PRODUCCIÓN. TONELADAS Y PORCENTAJES.

Año	Producción Toneladas	Exportación Toneladas	Relación Exp/Prod	Año	Producción Toneladas	Exportación Toneladas	Relación Exp/Prod
1980	977.484	87.872	8,99	1992	1.336.212	628.057	47,00
1981	938.142	102.253	10,90	1993	1.384.240	749.023	54,11
1982	976.789	128.952	13,20	1994	1.550.528	828.432	53,43
1983	996.988	137.845	13,83	1995	1.979.270	913.965	46,18
1984	974.905	178.761	18,34	1996	2.173.431	1.133.777	52,17
1985	995.405	218.801	21,98	1997	2.604.474	1.220.651	46,87
1986	1.147.398	254.367	22,17	1998	2.676.887	1.303.967	48,71
1987	1.120.735	320.327	28,58	1999	2.583.912	1.363.117	52,75
1988	1.216.076	354.217	29,13	2000	2.489.852	1.308.478	52,55
1989	1.374.615	358.053	26,05	2001	2.497.140	1.451.462	58,12
1990	1.258.317	344.335	27,36	2002	2.492.928	1.389.081	55,72
1991	1.321.110	527.000	39,89				

FUENTE: CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. DELEGACIÓN PROVINCIAL Y DIRECCIÓN GENERAL DE ADUANAS.

Igual que la producción ha vivido un proceso continuado y que aún perdura, de adaptación tecnológica y de capitalización de las explotaciones, en la comercialización ha ocurrido un proceso similar. Las primeras experiencias fueron realizadas por grupos informales de agricultores que se agrupaban para enviar mercancía a los mercados mayoristas de Madrid o Barcelona. Posteriormente, y tras la constitución de Mercoalmería, fueron surgiendo los primeros grupos y cooperativas que avanzaron un poquito más, iniciando las primeras exportaciones a Perpignan. Pasar la frontera existente en aquella época, no sólo supuso acudir a un nuevo mercado, sino que abrió las puertas

a una nueva cultura, a una nueva forma de tratar la mercancía y a una nueva forma de gestión. Perpignan supuso clasificar el género por categorías, grado de madurez y calibres; supuso envasar los productos en cajas de cartón o madera; contratar transportes internacionales; obtener registros y licencias de exportación; registrar marcas comerciales; someter la mercancía a controles sanitarios y aduaneros; acudir a los mercados de divisas. En definitiva, y como decíamos anteriormente, cruzar los pocos kilómetros que separan La Junquera de Le Bolou, representó un cambio de cultura para la agricultura almeriense que incorporó valor añadido en el proceso de producción al tiempo que la vinculaba definitivamente con los consumidores.



FUENTE: CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA Y DIRECCIÓN GENERAL DE ADUANAS.

Esa cultura que se formó y que aún continúa formándose día a día, hizo que de enviar a Perpignan la mayoría de las exportaciones, tal como ocurría en los años setenta; se pasará primero a compartir con Holanda la distribución en Europa para, posteriormente, ir llegando directamente a la mayoría de los países consumidores, tal como ocurre en la actualidad.

Observando la distribución de las exportaciones por países (Cuadro 11), se comprueba la correlación existente entre el número de habitantes y el volumen de mercancías recibidas. Este dato avala el gran esfuerzo de distribución realizado para aproximar la mercancía al consumidor final. Así comprobamos como Alemania es el primer importador de hortalizas de Almería, seguido de Francia con unos porcentajes del total importado que rebasan el 30% y el 20% respectivamente. Lógicamente existen algunas discordancias como es el caso de Italia cuyo porcentaje de envíos, el 5,0%, no se corresponde con la importancia de su población, dato que está explicado por ser éste un país productor de frutas y hortalizas que abastece su mercado interior con producción propia. Otro caso particular es el de Holanda, que con un reducido número de habitantes recibe un considerable volumen de exportación, el 12,3%; esto es debido al destacado papel que siempre ha cumplido este país en la distribución y que en gran medida sirve de complemento a la labor realizada desde Almería.



CUADRO 11. EXPORTACIONES HORTOFRUTÍCOLAS POR PAÍSES 2001.

País	Toneladas	% s/total	País	Toneladas	% s/total
Alemania	461.322	31,62	Aspirantes UE	74.840	5,13
Austria	29.983	2,05	Resto de Europa	37.812	2,59
Bélgica	38.613	2,65	Canadá/USA	14.944	1,02
Dinamarca	18.313	1,26	Resto de países	907	0,06
Finlandia	14.327	0,98	Total resto países	128.503	8,81
Francia	297.809	20,41			
Grecia	114	0,01			
Holanda	179.496	12,30			
Irlanda	4.227	0,29			
Italia	55.418	3,80			
Luxemburgo	87	0,01			
Portugal	34.008	2,33			
Reino Unido	162.242	11,12			
Suecia	34.618	2,37			
Total UE	1.330.577	91,19			

UE y resto de países	Toneladas	% s/total
TOTAL	1.459.080	100,00

FUENTE: DIRECCIÓN GENERAL DE ADUANAS.

Como queda expreso las exportaciones de Almería van dirigidas mayoritariamente al mercado de la Unión Europea el cual recibe más del 90% de las mismas. Esta situación está siendo muy beneficiada por la puesta en marcha de la Unión Económica y Monetaria que da una gran estabilidad a las transacciones, el euro ha hecho desaparecer los riesgos de las variaciones en el tipo de cambio de las monedas y los gastos derivados de las conversiones. Por otra parte, cada vez van ganando importancia los mercados de los futuros miembros de la U.E. y en particular la República Checa y Polonia.

Pero que no se piense que esta evolución ha sido fácil, los problemas salvados han sido enormes, pero se fueron superando a base de esfuerzo, abordando directamente las cuestiones y sin apenas apoyos de las administraciones. Dicha problemática la podemos agrupar de la siguiente forma:

■ Problemas internos del propio sector

- Las dificultades propias de la creación de nuevas empresas sin disponer de formación adecuada, ni de profesionales, ni tradición.
- Dificultades para la creación de cooperativas y las relaciones entre los socios.
- Desconocimiento de los mercados exteriores y de la forma de operar en ellos.
- Dificultades en la producción, para la selección de variedades, en el manejo de los cultivos, que daba como resultado un producto que no siempre era el más adecuado para la exportación.

■ Problemas con la administración española

- Régimen de Comercio de Estado fuertemente intervencionista que dificultaba la incorporación de nuevas zonas exportadoras
- Cuando Almería inició sus exportaciones a finales de los años setenta, existía una gran protección a las Islas Canarias por parte del gobierno español, que en determinadas situaciones mantenía posiciones de monopolio, como era el caso de las exportaciones de tomates y pepinos en las épocas de invierno
- Las fechas de inicio de las campañas de exportación no consideraban el ciclo adelantado de las producciones en Almería, lo cual dificultaba la obtención de licencias de exportación.
- Existencia de cupos de exportación, que generaban grandes tensiones tanto para su reparto entre provincias como para su distribución entre las empresas de Almería. Los cupos de exportación eran un grave obstáculo para el nacimiento de nuevas empresas, aunque posteriormente la titularidad de los derechos de exportación ayudará a la consolidación de las mismas.

■ Problemas con la política agrícola común

- España como país tercero tenía que aceptar el principio de preferencia comunitaria que condicionaba los calendarios y las cantidades a exportar, a la situación de las producciones de los países que componían el Mercado Común.
- Los acuerdos preferenciales que mantenía el Mercado Común con los países competidores principalmente con los del Magreb y con Israel, eran más favorables que el arancel de 1970 por el que España regía sus relaciones comerciales.

■ Problemas derivados de la adhesión de España a la UE

- El largo periodo transitorio impuesto a las exportaciones españolas de frutas y hortalizas que afortunadamente se eliminó en 1992 por la entrada en vigor del Acta Única en 1992. No obstante, entre 1986 y 1992 y como consecuencia de la aplicación de la primera fase del periodo transitorio acordado en el Acta de Adhesión de España a la Unión Europea, se desarticuló la organización del sector exportador español, mientras que la CEE mantuvo casi intactos sus mecanismos de protección frente a nuestras exportaciones.

Pero afortunadamente todas estas dificultades han ido superándose y precisamente en ese afán de avanzar, de superar los obstáculos, se ha ido forjando el carácter inconformista e innovador del agricultor almeriense que le ha permitido introducir sus productos en los mercados consumidores y acrecentando el grado de internacionalización de la economía almeriense. Esta situación reflejada en los ratios de comercio exterior aparecen en el Cuadro 12. La importancia de las exportaciones en la economía provincial se ratifica observando los indicadores de comercio exterior elaborados para las provincias andaluzas y para el conjunto de España. De ellos podemos destacar los siguientes rasgos:

- > Almería es la provincia de Andalucía con mayor PIB/habitante debido, sin duda a la evolución de su agricultura intensiva, a su efecto multiplicar sobre el conjunto de la economía provincial y al grado de ocupación de la población activa que es el mayor de la región.
- > La balanza comercial tuvo en 2001 un saldo comercial superior a 884 millones de euros y un índice de cobertura del 3,14, cifras que se viene repitiendo en los últimos años y



que contrasta con los indicadores relativos al conjunto de España y de Andalucía que no llegan a la unidad.

> El grado de internacionalización de la economía, medido por la relación exportaciones/PIB, es del 20,54% muy superior a la media de Andalucía que sólo alcanza el 13,73%.

> También, la provincia de Almería, mantiene una elevada cifra en la ratio exportaciones por habitante, con valores muy superiores a la media de Andalucía y sólo superados por Huelva y Cádiz, debido a los polos industriales existentes en estas provincias y, particularmente, a las refinerías de crudo.

CUADRO 12. RATIOS DE COMERCIO EXTERIOR POR PROVINCIAS ANDALUZAS. 2001. EUROS.

Provincia	M (miles €)	X (miles €)	M/Hab. (€)	X/Hab.(€)	%X/PIB	%X+M/PIB	I.C.	PIB/Hab.
Almería	413.831	1.298.444	776	2.435	20,54	27,09	3,14	11.217
Cádiz	4.903.609	3.342.258	4.334	2.954	30,87	76,16	0,68	8.867
Córdoba	329.274	682.762	428	887	9,09	13,47	2,07	8.791
Granada	348.226	473.353	429	582	6,45	11,20	1,36	8.345
Huelva	3.083.493	1.472.578	6.678	3.189	29,57	91,50	0,48	9.869
Jaén	371.616	532.177	575	824	9,20	15,63	1,43	8.374
Málaga	1.027.716	830.474	789	638	5,37	12,02	0,81	10.770
Sevilla	1.498.805	1.488.625	858	852	9,61	19,28	0,99	8.743
Andalucía	11.976.570	10.120.671	1.618	1.367	13,73	29,98	0,85	9.287
España	171.690.791	128.671.957	4.176	3.129	21,49	50,16	0,75	13.729

Esta favorable evolución de la agricultura y su comercialización, no deben ocultarnos las dificultades existentes en la actualidad y que habrá que abordar con vistas a un futuro próximo. Pero antes de señalar las cuestiones pendientes conviene recordar de forma sintética las distintas fases por las que ha pasado la agricultura intensiva en la provincia de Almería

5. (FASES DEL DESARROLLO HORTÍCOLA]

La evolución del sector, aunque no ha parado de crecer en todo el periodo, no ha sido homogénea y presenta distintas fases con unas características muy específicas que pasamos a detallar. Lógicamente las fechas de inicio y término de las fases no son rígidas, sino que se invaden unas a otras en los extremos.

■ **Inicio** de la producción hortícola que se produce en los años sesenta. Es una fase de **agricultura tradicional**, son los primeros enarenados, con pocas necesidades de capital (poca tecnología) y mucho trabajo y con unas débiles estructuras comerciales y muy dependientes de comerciantes levantinos.

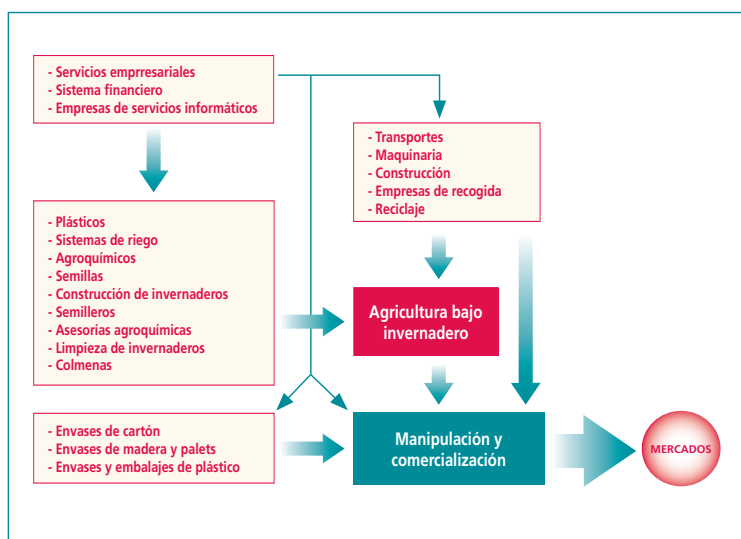
■ **Despegue**. Se produce desde mediados de los setenta y culmina a principios de los noventa coincidiendo con el proceso de creación del Mercado Único Europeo. En

este período se inicia de forma progresiva la sustitución de trabajo por capital y se aborda la comercialización directa de los productos por parte de los agricultores mediante cooperativas. En esta fase se supera la agricultura tradicional y se llega a lo que conocemos como **agricultura intensiva**.

■ **Madurez.** Se pasa de la agricultura intensiva a un modelo **agroindustrial**, esto sucede en los años noventa, donde hay una masiva incorporación de tecnología que demanda una gran capitalización de las estructuras de producción, así como una mayor formación para llevar los cultivos y una gestión claramente empresarial de las explotaciones. Amplio desarrollo de las estructuras comerciales e inicio de la industria y servicios auxiliares de la agricultura.

■ **Desbordamiento,** que se está produciendo en la actual década, y que hará que el peso de la industria y servicios auxiliares a la agricultura sea mayor que el de la propia producción agraria en la generación del valor añadido provincial. Es la fase de consolidación del **Sistema Productivo Local**.

Hasta aquí se ha puesto de manifiesto la importancia directa de la agricultura intensiva en el desarrollo económico de Almería, pero como señala F. Ferraro y otros en el **Sistema Productivo Almeriense y los Condicionamientos Hidrológicos**, lo realmente trascendente de la agricultura intensiva es que en su entorno han ido surgiendo una gran diversidad de actividades industriales y de servicios que aparte de aumentar el valor añadido provincial, enriquecen la economía hasta caracterizarla como un sistema productivo más complejo y por tanto más desarrollado. La trascendencia para la economía de la provincia de las interrelaciones productivas es evidente, ya que en la medida en que las empresas provinciales se abastezcan de materias primas, productos intermedios, bienes de capital o servicios en la misma provincia generará mayor actividad económica, más empleo, renta y consumo.





Almería tiene en la actualidad un importante reto de diversificación económica a través del fomento y desarrollo de la industria y servicios auxiliares de la agricultura. La tendencia a la concentración de actividades económicas vinculadas por nexos comerciales, de cooperación y de competencia aprovechando las externalidades producidas, facilita el desarrollo de las empresas, la difusión y aplicación de tecnologías, el intercambio de profesionales y en definitiva facilita el desarrollo del Sistema Productivo Local.

En el gráfico se relacionan todas las actividades vinculadas a la agricultura intensiva que conforman el Sistema Productivo Local. De todas ellas las que mayor valor añadido aportan son la manipulación y comercialización seguida del transporte, en un segundo escalón se encontrarían los servicios financieros, la construcción de invernaderos, la construcción de naves y los plásticos.

6. (RETOS FUTUROS DE LA HORTICULTURA ALMERIENSE]

Sin ser exhaustivos, vamos a enumerar algunos de los condicionantes que es necesario tener en cuenta de cara al futuro de la agricultura y de la economía de la provincia.

▲ Marco internacional:

- La apertura de mercados debida a la globalización que afectará tanto a la reducción de las medidas proteccionistas en los mercados internacionales, como a la reducción de las ayudas a la agricultura en el marco de la Unión Europea.
- La incorporación de nuevos países a la UE que no son productores de hortalizas y sí consumidores, lo cual representa una gran oportunidad para Almería.
- Liberalización paulatina de los intercambios comerciales con países del mediterráneo sur que aumentarán la competencia en los mercados.

▲ Situación de mercados:

- Aumento de la competencia.
- Mayores exigencias por las formas de cultivo: agricultura integrada, normas Aenor.
- Concentración de la demanda frente a una oferta atomizada
- Aumento de la demanda de cuarta gama y transformados.
- Aumento de la demanda de producto ecológico

▲ Respecto de las empresas:

- En producción es necesario cambiar la mentalidad del agricultor para incorporar criterios de gestión empresarial en el desarrollo de su actividad.
- Referenciar los precios percibidos por los agricultores a las ventas en los mercados de destino.
- Orientar la actividad de las empresas y sobre todo de las cooperativas hacia el mercado (clientes) y no hacia el proveedor (agricultor-socio).

▲ En el terreno institucional:

- Afrontar el desorden territorial producido por el desarrollo anárquico y sin planifi-

cación de los invernaderos.

- Mejorar los mecanismos de recogida y gestión de los residuos producidos por la agricultura intensiva.
- Organizar la representatividad del sector diferenciando las actividades socio políticas de las de mercado.

En definitiva, podemos afirmar que el modelo económico almeriense que se ha caracterizado por su capacidad para adaptarse tecnológica y comercialmente, en la medida en que mantenga este dinamismo podrá seguir evolucionando positivamente. No obstante, el sector de la producción agraria presenta en la actualidad los rasgos propios de un sector maduro, por lo que los impulsos motores del desarrollo provincial habrá que buscarlos en los valores añadidos que pueda generar la comercialización y las empresas de industrias y servicios auxiliares de la agricultura.

(TEMA 2]



SUELOS Y AGUAS UTILIZADOS EN LA HORTICULTURA INTENSIVA. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Antonio Casas Castro

Químico

Laboratorio de Análisis Agrícolas





1. (INTRODUCCIÓN]

Los suelos y las aguas que se utilizan en el cultivo intensivo de la provincia de Almería se deben estudiar, desde el punto de vista nutricional y de la salinidad, en función del cultivo que va a ser implantado y de la época de plantación.

Las aguas están enmarcadas en cuatro grandes zonas: Valle del Almanzora, Campo de Níjar, El Alquíán-La Cañada y Poniente-Adra. Los suelos se complican en su clasificación dependiendo de si son naturales del lugar o aportados de canteras de zonas adyacentes.

A continuación se expone la metodología a seguir para el estudio de las aguas de uso agrícola, su interpretación y ejemplos de diferentes tipos de aguas. En el apartado de suelos se verán los datos recopilados en los últimos años, en las diferentes zonas y su aplicación a los cultivos hortícolas aquí existentes. El apartado de suelos y análisis físico forma parte de un libro cuyo título es **“El análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en los cultivos hortícolas en la zona del SE Peninsular”**, de A. Casas y E. Casas, publicado por la Caja Rural de Almería. El apartado de aguas es un resumen del existente en el libro comentado anteriormente.

2. (AGUAS]

Mediante el análisis químico de una muestra de agua se puede conocer su composición iónica. En función de las concentraciones presentes se podrá evaluar su calidad para uso agrícola. Los criterios de clasificación de estas aguas tienen su origen en las pautas que marcó el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos. Su publicación **“Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils”**, Handbook 60, Richards, 1954, sirvió para marcar las características de las aguas. Las aguas se clasificaron en función de su salinidad y de su alcalinidad. En el primer caso mediante la conductividad eléctrica, CE, y la relación de ésta con la presión osmótica, PO. Ambos parámetros están relacionados por la ecuación:

$$PO = 0,36 \cdot CE \cdot 10^3$$

La presión osmótica indicará la capacidad de absorción de agua por la raíz de la planta. En el segundo caso, la alcalinidad se relacionaba con los efectos de determinados iones del agua sobre la estructura del suelo. Se definió para ello un índice denominado RAS o SAR, relación de adsorción de sodio. Se expresa mediante la ecuación:

$$SAR = Na \left[\frac{(Ca + Mg)}{2} \right]^{-1/2}$$

Este índice, SAR, está relacionado con el porcentaje de sodio intercambiable de un suelo, PSI, mediante la ecuación empírica:

$$PSI = [100 (- 0,0126 + 0,01475 SAR) \times [1 + (- 0,0126 + 0,01475 SAR)]^{-1}$$

Entre los dos criterios anteriores, salinidad y alcalinidad, se estableció una clasificación para las aguas de riego. Esta se denominó C-S y englobaba a dieciséis tipos diferentes. Este sistema se utilizó durante bastantes años pero hoy en día ha quedado anticuado por ser muy restrictivo en su aplicación práctica en el campo.

Ayers y Westcot, 1976, en su estudio “**La Calidad del Agua en la Agricultura**”, Riegos y Drenaje, 29, FAO, replantean lo publicado anteriormente sobre la aplicación y uso del agua de riego. En las nuevas directrices las aguas pasan a clasificarse en función de la CE, pero utilizando valores menos restrictivos que los de Richards, 1954. Se sustituye el SAR por el SAR_{ajustado}. Este último fue propuesto por Bower, 1968, para clasificar la permeabilidad o tasa de infiltración de agua en el suelo.

Se calcula mediante una modificación del SAR inicial. Para ello se incluyen las variaciones en la precipitación o disolución del calcio en el suelo, en función de los valores de los iones carbonato y bicarbonato. Por este motivo se introduce el concepto de $pH_{\text{calculado}}$ o pH_c . Este valor representa la tendencia de un agua de riego para disolver o precipitar carbonato cálcico en el suelo. Se calcula mediante la ecuación:

$$pH_c = (pK'_2 - pK'_c) + p(Ca + Mg) + p(Alk)$$

Los diferentes términos de esta ecuación se obtienen a partir de las concentraciones de sodio, calcio, magnesio, carbonatos y bicarbonatos aportados por el análisis químico del suelo.

El SAR ajustado se obtiene de la ecuación siguiente:

$$SAR_{\text{ajustado}} = SAR [1 + (8,4 - pH_c)]$$

Los valores utilizados por Ayers y Westcot, 1976, tuvieron que ser modificados a raíz de los trabajos de Miyamoto, 1980. La razón de dichas modificaciones fue que únicamente el SAR_{ajustado} representaría al SAR de la solución del suelo, SAR_{ss}, si las concentraciones de ion bicarbonato y calcio en el agua de riego son similares.

Si esta relación es mayor de uno el SAR_{ajustado} es inferior al SAR_{ss}, pero si la relación es menor que uno el SAR_{ajustado} será mayor al SAR_{ss}. Según Miyamoto, 1980, la influencia del ion bicarbonato es mucho menor que la propuesta por Ayers y Westcot, 1976. Estas conclusiones dieron como resultado una revisión de las directrices de 1976 y su publicación en Riegos y Drenaje, 29, 1ª rev., en 1987.

Los criterios de salinidad, toxicidad iónica y efectos diversos quedan inalterados con respecto a los de 1976 y la permeabilidad es sustituida por la infiltración. La permeabilidad se refería a la conductividad hidráulica del suelo. Esta es función del tamaño de poro del suelo y de la cantidad de agua en el mismo. Se usa para definir el flujo de agua en el suelo.

El término infiltración se utiliza para indicar el efecto de la salinidad en relación con el agua que entra en el suelo y se desplaza en los centímetros superficiales del mismo. Este concepto tiene una gran importancia en los cultivos en enarenado.



Los problemas de infiltración aparecen en función de la calidad del agua de riego, CE y SAR, y del tipo de arcilla del suelo. La infiltración aumenta cuando lo hace la CE y disminuye cuando aumenta el SAR. Las aguas de baja salinidad, con conductividad eléctrica inferior a $0,2 \text{ dSm}^{-1}$, crean graves problemas de infiltración debido a su gran poder de disolución. Estas aguas pueden llegar a disolver las arcillas de un suelo. Igualmente, altas relaciones sodio/calcio, que dan origen a SAR elevados, afectan a la infiltración por el hinchamiento de las arcillas del suelo que producen. Esto origina una clara disminución de la porosidad del suelo. Figura 1.

Tomando como referencia los trabajos de Miyamoto, 1980, Oster y Rhoades, 1977, Oster y Schroer, 1979 y Suárez, 1981, se llegó a la conclusión de que los niveles de calcio que se utilizaban en el cálculo del SAR no eran reales. El calcio no permanece siempre soluble en el suelo como ocurre con el sodio, que se encuentra soluble y en equilibrio con el sodio del complejo de cambio. El ion calcio puede precipitarse en forma de carbonato cálcico o sulfato cálcico, cuando se alcanza su producto de solubilidad. Puede posteriormente redisolverse. La conclusión que se obtuvo fue que el SAR_{a-}justado sobrestimaba el peligro del sodio y que los valores reales eran aproximadamente un cincuenta por ciento del determinado en las directrices de 1976.

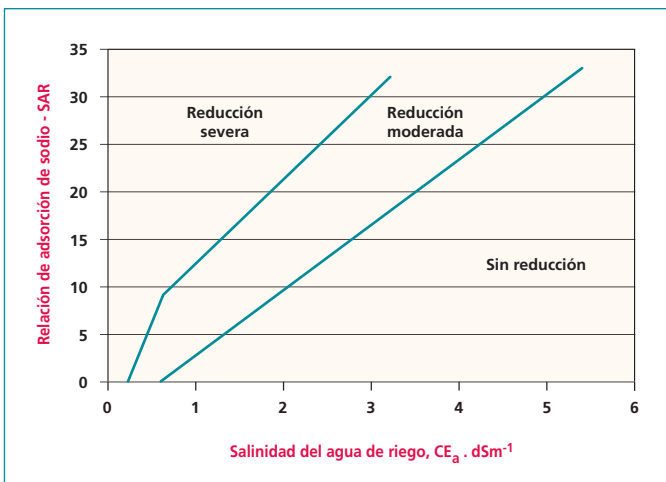


FIGURA 1. REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN PROVOCADA POR LA SALINIDAD Y EL SAR. FAO. RIEGO Y DRENAJE 29. REV. 1.

En las directrices de 1987 el SAR de Richards, 1954, se modifica dando lugar al SAR⁰ o SAR_{corregido}. Para ello es necesario calcular el Ca⁰ o Ca_{corregido}. Este nuevo valor del calcio se determina a partir del aumento o disminución del que contiene inicialmente el agua de riego. Este valor depende del contenido de bicarbonatos, carbonatos y conductividad eléctrica del agua de riego. En la publicación Riegos y Drenaje n° 29, 1ª rev., se encuentra la tabla que permite calcular el Ca⁰ a partir de la relación $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3 / \text{Ca}$ en función de la CE_a , conductividad eléctrica del agua de riego.

TABLA 1. DIRECTRICES DE AYERS Y WESTCOT, 1987. RIEGO Y DRENAJE N° 29, 1ª REV., FAO.

		No hay problema	Problema creciente	Problema grave	
Salinidad	CE_a dSm^{-1}	<0,7	0,7-3,0	>3,0	
Infiltración	SAR = 0-3	$CE_a = >0,7$	0,7-0,2	<0,2	
	= 3-6	= >1,2	1,2-0,3	<0,3	
	= 6-12	= >1,9	1,9-0,5	<0,5	
	= 12-20	= >2,9	2,9-1,3	<1,3	
	= 20-40	= >5,0	5,0-2,9	<2,9	
Toxicidad iónica específica	Sodio meL^{-1}	R. Superficie	<3,0	3,0-9,0	>9,0
		R. Aspersión	<3,0	>3,0	
	Cloruros "	R. Superficie	<4,0	4,0-10,0	>10,0
	Boro mgL^{-1}		<0,7	0,7-2,0	>2,0
Efectos diversos	Nitrógeno (N) mgL^{-1}		<5,0	5,0-30,0	>30,0
	Bicarbonatos meL^{-1}	R. Aspersión	<1,5	1,5-8,5	>8,5

2.1. (Observaciones a los efectos diversos)

- **Nitrógeno:** es un elemento esencial para la nutrición de las plantas, pero cuando es aportado de manera continuada, porque se encuentre en el agua de riego, deberá de conocerse para así restarlo en la fertilización. Valores elevados inducen, sobre todo en frutales, problemas de vejería. Es la denominada producción alternada, debido a altas relaciones N/P que afectan a la floración. En el caso de los cultivos hortícolas se deberá tener en cuenta únicamente la fertilización.

- **Bicarbonatos:** pueden inducir clorosis férrica en frutales. En cultivos de hoja, lechuga, col china, etc., el exceso de bicarbonato, unido a niveles de calcio ligeramente altos, puede originar depósitos de carbonato cálcico sobre la superficie de la hoja. Esto es normal que ocurra cuando se utilizan sistemas de riego por aspersión. El producto se deprecia comercialmente y al mismo tiempo hay una pérdida de calcio en la fertilización. El índice de Langellier puede predecir problemas de precipitación por carbonato cálcico. Se define este índice como la diferencia entre el pH del agua y el pH calculado, pH_c . Valores positivos indican tendencia a precipitar y los negativos sugieren que el carbonato cálcico se mantiene en disolución.

- **Sulfatos:** el exceso de este ion puede originar pérdidas de ion calcio por precipitación de sulfato cálcico, yeso, y provocar un aumento en la absorción de sodio.

- **Calcio:** su exceso puede inducir problemas de antagonismo frente al potasio y/o magnesio.



- **Magnesio:** un exceso de este ion o una relación $\text{Ca/Mg} < 1$, expresados en meL^{-1} podrá inducir problemas de absorción de calcio y originar blossom-end rot en tomate, berenjena y pimiento. Parece ser que los efectos de bajas relaciones Ca/Mg originan problemas con el SAR, que hacen que este sea más peligroso conforme más baja es la relación anterior. Rahman y Rowel, 1979.

2.2. (Soluciones a los problemas de salinidad]

La utilización de aguas de salinidad media-alta origina una clara acumulación de sales en el suelo, afectándose por ello la absorción de agua por la planta. Esto se debe a un aumento de la presión osmótica de la solución del suelo. Dos formas de paliar este problema son: en primer lugar el uso de cultivos tolerantes para una determinada CE del agua de riego y en segundo lugar unos niveles de lixiviación que permitan mantener los valores justos de estas sales en el suelo.

- **Tolerancia del cultivo:** los cultivos tolerantes a la salinidad serán los que sometidos a una determinada presión osmótica son capaces de absorber una mayor cantidad de agua y al mismo tiempo no disminuir su rendimiento o producción. En la siguiente tabla se incluyen los valores de tolerancia para determinados cultivos según FAO 1987.

TABLA 2. TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE CULTIVOS EN RELACIÓN CON SU RENDIMIENTO POTENCIAL.

Cultivos	Rendimiento potencial				
	$\text{CE}_{\text{es}} 100\%$	$\text{CE}_{\text{es}} 90\%$	$\text{CE}_{\text{es}} 75\%$	$\text{CE}_{\text{es}} 50\%$	$\text{CE}_{\text{es}} 0\%$
Calabaza (<i>Cucurbita pepo melopepo</i>)	3,2	3,8	4,8	6,3	9,4
Brócoli (<i>Brassica oleracea botrytis</i>)	2,8	3,9	5,5	8,2	14,0
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	2,5	3,5	5,0	7,6	13,0
Pepino (<i>Cucumis sativos</i>)	2,5	3,3	4,4	6,3	10,0
Apio (<i>Apium graveolens</i>)	1,8	3,4	5,8	9,9	18,0
Col (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	1,8	2,8	4,4	7,0	12,0
Maíz dulce (<i>Zea mays</i>)	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Pimiento (<i>Capsicum annum</i>)	1,5	2,2	3,3	5,1	8,6
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	1,3	2,1	3,2	5,1	9,0
Judía (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1,0	1,5	2,3	3,6	6,3

La CE_{es} simboliza la conductividad eléctrica del extracto saturado en dSm^{-1} .

TABLA 3. PRODUCCIÓN RELATIVA DE PLANTAS HORTÍCOLAS EN FUNCIÓN DE LA SALINIDAD EN LA ZONA RADICULAR. LA SALINIDAD EXPRESADA COMO CE_{es} . CARTER, 1981.

Producción en función de la CE_{es}						
CE_{es} dSm^{-1}	Pimiento	Tomate	Judía	Apio	Pepino	Lechuga
1	100	100	100	100	100	100
2	93	100	81	90	100	91
3	79	95	62	75	94	78
4	65	85	43	64	81	65
5	51	75	25	51	68	52
6	37	65	6	38	55	39
7	23	55	0	25	42	26
8	8	46		12	29	13
9	0	36		0	16	0
10		26			3	
11		16			0	
12		6				
13		0				
(a)	1,5	2,5	1,0	1,2	2,5	1,3
(b)	14,1	9,9	18,9	13,0	13,0	13,0

donde (a) es el valor de CE_{es} a partir del cual existe pérdida de producción.

(b) es el porcentaje de descenso de producción por incremento de CE_{es} en una unidad de conductividad.

A medida que la conductividad eléctrica aumenta los rendimientos de los cultivos disminuyen. Una de las formas de paliarlo será aumentando las dosis de lavado o lixiviado. Esta puede estar limitada por la textura del suelo en el caso de los suelos arcillosos pero no el caso de los suelos ligeros. Se denomina salinidad umbral al nivel máximo de salinidad de la zona radicular que puede ser tolerada por una planta sin afectar a su desarrollo. En la salinidad umbral, S_u , el rendimiento potencial del cultivo es del 100%, FAO 1987.

Maas y Hoffman, 1977 y Maas, 1984 establecen una relación lineal con el aumento de la salinidad por encima de la S_u y el descenso de producción. Esta relación deja de ser lineal cuando el rendimiento es menor del 50%. El rendimiento, Y , viene expresado por la ecuación siguiente:

$$Y = 100 - b (CE_{es} - S_u) (*)$$

donde Y se expresa en porcentaje, CE_{es} es la conductividad del extracto saturado expresada en dSm^{-1} , S_u es la salinidad umbral del extracto saturado y b expresa la dis-



minución de rendimiento por aumento de un dSm^{-1} en la salinidad. Los valores de S_u se encuentran en la Tabla 2 y corresponden a los valores de CE del extracto saturado para un rendimiento del 100%. La ecuación que define el parámetro b es la siguiente:

$$b = 100 / (CE_{es}^{-1} - S_u)$$

CE_{es}^{-1} es la conductividad eléctrica del extracto saturado para un rendimiento $Y = 0\%$.

En la tabla se representan valores de Y para 100, 90, 75 y 0%, y está calculada para $CE_{es} = 1,5CE_a$ y $FL = 0,15$, fracción de lavado del 15%.

La ecuación (*) no permite trabajar con rendimientos inferiores al 50%. El rendimiento nulo, 0%, se calcula prolongando la recta resultante de la ecuación (*) hasta el rendimiento 0%.

RESUMEN DE LA TOLERANCIA RELATIVA DE LOS CULTIVOS FAO 1987.
LOS VALORES DE S_u SE REFIEREN A 100% DE PRODUCCIÓN.

	S_u
Sensibles	< 1,3 dSm^{-1}
Moderadamente sensibles	1,3-3,0 "
Moderadamente tolerantes	3,0-6,0 "
Tolerantes	6,0-10 "
Muy tolerantes	> 10 "

Hay que tener en cuenta que los valores de la Tabla 2 están referidos a cultivos en producción. Durante la germinación y etapas iniciales del cultivo, la tolerancia es menor. El clima es un factor que influye en la tolerancia de las plantas a la salinidad. Los cultivos en épocas invernales son más tolerantes que en épocas cálidas debido a la menor demanda de agua en ese momento. La fertilización no tiene en principio efecto sobre la tolerancia, ya que si es adecuada para una buena producción no influye en la salinidad. Si la fertilización es excesiva si aparecerán problemas debido a un aumento en la CE del suelo.

Las sales que contiene el agua de riego se van acumulando en el suelo en función de la evapotranspiración del cultivo, ET_c . Estas irán aumentando conforme la demanda de agua crece y por lo tanto se acumula. Estas sales en exceso se pueden eliminar por lavado.

Se denomina Fracción de Lavado a la cantidad de agua de riego que atraviesa la zona radicular y drena. $FL = L_s/L_r$ en donde L_s es el agua que drena fuera de la zona radicular y L_r es la cantidad de agua de riego para mantener la ET_c . En el equilibrio el nivel de sales en el suelo dependerá de la FL y de la CE_a . Con FL altas se acumularán menos sales y a la inversa con fracciones bajas. La CE del agua de drenaje, CE_d , se puede estimar por la ecuación $CE_d = CE_a/FL$

Donde CE_d se considera igual a la CE media del agua contenida en la zona radicular cuando se inicia el drenaje.

Las tablas de tolerancia anteriores están calculadas según la ecuación de Rhoades y Merrill, 1976. En esta ecuación la conductividad eléctrica en el extracto saturado es función de la conductividad eléctrica del agua de riego y de la fracción de lavado.

$$CE_{es} = 0,2 CE_a (1 + 1 / FL)$$

Para fracciones de lavado del 15% será de esperar, en el suelo, una conductividad del extracto saturado un 53% mayor de la CE del agua de riego.

Con sistemas de riego localizado, goteo, y en cultivos tipo enarenado de la zona de Almería se puede trabajar con fracciones de lavado que oscilen entre el 20-22%, consiguiéndose así que las conductividades en el extracto saturado estén entre un 20-10% por encima de la conductividad eléctrica del agua. Por lo tanto las tablas de la FAO que están referidas a acumulaciones del 53% deberán de modificarse para fracciones de lavado superiores. En suelos de textura muy pesada podrá existir el inconveniente de posibles encharcamientos que imposibilitará estos valores de FL.

2.3. (Soluciones a los problemas de infiltración)

La disminución de la infiltración origina problemas de encharcamiento en los suelos por pérdida de drenaje e imposibilidad de lavar las sales acumuladas en estos. En el primer caso se favorece la formación de costras en el suelo originando la pudrición del sistema radicular por falta de aireación y desajustes nutricionales del tipo blossom-end rot. La imposibilidad de lavar incide a su vez en un aumento de la salinidad.

Ayers y Westcot, 1987 distinguen entre tratamientos químicos, tipo enmienda, y tratamientos físicos para solucionar los problemas de infiltración.

- **Enmiendas:** consisten en la aplicación al suelo de productos químicos que aumenten la proporción de calcio frente al sodio en el suelo. Así se disminuye el SAR y aumenta la infiltración. Un ejemplo de enmienda es el yeso, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Otra forma de aportar calcio al suelo es la utilización de un generador de calcio que actúe sobre la caliza del suelo proporcionándonos calcio soluble. Dentro de este tipo se encuentran productos como el ácido sulfúrico, H_2SO_4 , el azufre, S, o los modernos correctores del grupo de los ácidos polihidroxicarboxílicos. Para el cálculo de la necesidad de enmienda y la utilización de distintos productos para ello se pueden consultar los Métodos Oficiales de Análisis tomo 3 del MAPA 1994.

La aplicación de productos como el yeso en el agua de riego sólo es factible en sistemas de riego por gravedad y no con sistemas de riego por goteo. La utilización de ácidos en las aguas de riego es comúnmente utilizada en la zona de Almería mediante los modernos cabezales de riego que controlan el pH y la CE. Si el agua contiene iones carbonato éstos deberán eliminarse para evitar pérdidas de calcio en la solución del suelo. El nivel de bicarbonatos de deberá ajustar para que el agua de riego entre en el suelo con un pH próximo a 6,0-6,2. Para ello deberán destruirse estos bicarbonatos hasta que su contenido en el agua de riego sea aproximadamente de 2,0-2,5 meL⁻¹. Los ácidos más comúnmente utilizados son el nítrico y el fosfórico. En otras zonas se utiliza también el ácido sulfúrico.



En el primer caso hay que tener en cuenta la dosis de nutrientes que estamos aportando al suelo. La aplicación de materias orgánicas puede ser de forma sólida, como estiércol de ganado, compost de residuos agrícolas, etc., o de forma líquida, como los ácidos húmicos. Estos pueden obtenerse de carbones, leonarditas, o de materias orgánicas, estiércol.

- **Tratamientos físicos:** son de tipo mecánico, el empleo de arados permite romper las costras superficiales del suelo y en los perfiles inferiores la compactación del mismo. Si el problema que origina la disminución en la infiltración es debida al agua de riego la solución que aportan estos métodos será sólo pasajera. Pero potencia la efectividad de la enmienda química.

2.4. (Soluciones a los problemas de toxicidad]

Los niveles de sodio, cloro y boro afectan como se vio anteriormente a los niveles de producción. Por ello el cultivo se implantará en función de su tolerancia a estos tres iones. Una de las formas de control es mediante el uso de unas tasas de riego unido a unas fracciones de lavado que permita el control de estos iones en el suelo.

En el caso del sodio el problema es complicado debido a su intercambio en el suelo, el cual a su vez depende de la capacidad de intercambio catiónico de éste.

Para los cloruros su control es más fácil debido a que no se intercambia en el suelo. La ecuación de Rhoades y Merrill, 1976 se puede expresar también de la forma siguiente:

$$FL = CE_a / (5 CE_{es} - CE_a)$$

Esta ecuación se puede modificar y expresarse de la siguiente forma, FAO 1987:

$$FL_{(Cl)} = Cl_a / (5 Cl_{es} - Cl_a)$$

En donde $FL_{(Cl)}$ es el lavado mínimo necesario para controlar el nivel de cloruros; Cl_a es el contenido de cloruros en el agua de riego expresado en meL^{-1} y Cl_{es} es el contenido de cloruros en el extracto saturado y representa la concentración tolerable para un determinado cultivo. Los niveles de cloruros en el extracto saturado podrán oscilar para cultivos sensibles desde $5-7 meL^{-1}$ hasta $25 meL^{-1}$ de un cultivo tolerante como el tomate.

El boro es más difícil de lavar que el sodio o los cloruros, ya que se desplaza más lentamente en la disolución del suelo. Se requiere aproximadamente una dosis tres veces mayor que la necesaria para lavar una cantidad equivalente de cloruros o de sales en general. Debido a que la concentración de boro en el extracto saturado de la parte superior de la zona radicular se aproxima a la concentración de boro en el agua de riego, es posible mantenerlo en concentraciones adecuadas mediante un control en la fracción de lavado.

Según la FAO 1987, aplicaciones de ácido sulfúrico al suelo pueden acelerar el proceso de recuperación de éstos cuando están afectados por excesos de boro.

La tolerancia relativa al boro de algunos cultivos según Maas, 1984 es como sigue: los valores están expresados en mgL^{-1} de boro en el extracto saturado.

Muy sensible	< 0,5 (limonero)
Sensible	0,5 - 0,75 (aguacate, naranjo y vid)
Sensible	0,75 - 0,1 (fresa y judía)
Moderadamente sensible	1,0 - 2,0 (pimiento, patata y pepino)
Moderadamente tolerante	2,0 - 4,0 (lechuga, col, apio, maíz y melón)
Tolerante	4,0 - 6,0 (tomate)
Muy tolerante	6,0 - 15,0 (espárrago)

Además de los sistemas de lavado como manera de solucionar los problemas de toxicidad también se podrá contrarrestar sus efectos mediante una adecuada fertilización. El aumento de las dosis de nitrógeno nítrico en el cultivo de tomate permite paliar los efectos del ion cloruro, debido a una competencia por la absorción entre nitratos y cloruros. Kafkafi, 1982. En cambio, la fertilización amoniacal incide agravando el problema por acumulación de este cloruro en la planta. Kafkafi y Bar-Yosef, 1980. Una fertilización adecuada en potasio permite controlar el ion sodio. En suelos ligeramente ácidos o neutros el ion fosfato tiene el mismo efecto sobre el boro.

2.5. (Ejemplos de diferentes tipos de aguas]

• **Zona de El Ejido:** vamos a exponer dos tipos de aguas, una de ellas de conductividad $0,490 \text{ dSm}^{-1}$ y otra de $3,17 \text{ dSm}^{-1}$, que pueden representar a dos aguas características de la zona.

CE	0,490 dSm⁻¹	CE	3,17 dSm⁻¹
pH	8,41	pH	7,40
Na	0,64 meL⁻¹	Na	17,39 meL⁻¹
K	0,40 "	K	0,43 "
Ca	1,81 "	Ca	5,99 "
Mg	2,30 "	Mg	8,55 "
CO₃	0,56 "	CO₃	0
HCO₃	3,58 "	HCO₃	5,09 "
Cl	0,60 "	Cl	21,26 "
NO₃	0	NO₃	0,99 "
SO₄	0,46 "	SO₄	4,68 "
SAR	0,44	SAR	6,45
RSC	+0,03	RSC	-9,45
pH_c	7,28	pH_c	6,82
I_L	1,13	I_L	0,58
SAR⁰	0,49	SAR⁰	7,29



• **Zona de El Alquíán-La Cañada:** a continuación veremos dos tipos de aguas de esta zona, de salinidad moderadas.

CE	2,51 dSm ⁻¹	CE	3,77 dSm ⁻¹
pH	7,84	pH	8,13
Na	19,39 meL ⁻¹	Na	21,73 meL ⁻¹
K	0,20 "	K	0,51 "
Ca	2,74 "	Ca	9,43 "
Mg	3,61 "	Mg	10,36 "
CO₃	0	CO₃	0,19 "
HCO₃	11,68 "	HCO₃	3,20 "
Cl	10,75 "	Cl	13,97 "
NO₃	0	NO₃	0,42 "
SO₄	3,50 "	SO₄	23,05 "
B	0,72 mgL ⁻¹	B	1,73 mgL ⁻¹
SAR	10,88	SAR	6,91
RSC	+5,33	RSC	-16,40
pH_c	6,82	pH_c	6,92
I_L	1,02	I_L	1,21
SAR⁰	13,0	SAR⁰	7,86

• **Zona de Níjar:** incluimos en este apartado dos aguas no características de la zona, ya que aquellas son similares a las de la zona anterior. Las características especiales de estas dos aguas se pueden resumir en dos puntos, 1) altos niveles de bicarbonatos y boro, que hacen a una de ellas extraordinariamente peligrosa y 2) alta salinidad.

CE	4,66 dSm ⁻¹	CE	13,79 dSm ⁻¹
pH	7,28	pH	7,11
Na	42,60 meL ⁻¹	Na	106,95 meL ⁻¹
K	1,48 "	K	0,23 "
Ca	2,44	Ca	16,21 "
Mg	4,19 "	Mg	25,09 "
CO₃	0	CO₃	0
HCO₃	17,24 "	HCO₃	5,15 "
Cl	27,94 meL ⁻¹	Cl	128,00 meL ⁻¹
NO₃	0	NO₃	0
SO₄	5,95 "	SO₄	14,74 "
B	11,13 mgL ⁻¹	B	0,87 mgL ⁻¹

SAR	23,40	SAR	23,53
RSC	+10,61	RSC	-13,15
pH _c	6,72	pH _c	6,48
I _L	0,56	I _L	0,63
SAR ⁰	27,33	SAR ⁰	26,91 (1)

(1) Este valor se SAR⁰ es un valor estimado.

- **Zona de Adra:** se expone un agua de características medias.

CE	2,16 dSm ⁻¹	CO ₃	0
pH	7,91	HCO ₃	5,10 "
Na	8,91 meL ⁻¹	Cl	9,56 "
K	0,16 "	NO ₃	0,30 "
Ca	9,13 "	SO ₄	10,40 "
Mg	7,23 "		
SAR	3,11	I _L	1,15
RSC	-11,26	SAR ⁰	3,84
pH _c	6,76		

- **Zona de Vera y Cuevas de Almanzora:** los ejemplos que se exponen representan la media de la zona. La primera tiene una CE = 3,11 dSm⁻¹ y la segunda, CE = 2,41 dSm⁻¹.

CE	3,11 dSm ⁻¹	CE	2,41 dSm ⁻¹
pH	7,40	pH	7,76
Na	14,34 meL ⁻¹	Na	6,95 meL ⁻¹
K	0,27 "	K	0,37 "
Ca	11,98 "	Ca	14,02 "
Mg	7,57 "	Mg	8,22 "
CO ₃	0	CO ₃	0
HCO ₃	3,20 "	HCO ₃	2,04 "
Cl	13,97 "	Cl	5,21 "
NO ₃	0,39 "	NO ₃	0
SO ₄	17,03 "	SO ₄	22,06 "
B	0,46 mgL ⁻¹	B	0,32 mgL ⁻¹
SAR	4,59	SAR	2,08



RSC	-16,35	RSC	-20,20
pH _c	6,91	pH _c	7,05
I _L	0,49	I _L	0,65
SAR ⁰	5,52	SAR ⁰	2,43

• **Zona de La Rábita (Granada):** incluimos este agua por sus características en cuanto a composición química.

CE	2,63 dSm ⁻¹	CO ₃	0
pH	7,09	HCO ₃	3,97 "
Na	3,91 meL ⁻¹	Cl	2,37 "
K	0,22 "	NO ₃	28,52 "
Ca	21,00 "	SO ₄	0,20 "
Mg	9,78 "		
SAR	1,0	I _L	0,47
RSC	-26,81	SAR ⁰	1,36
pH _c	6,62		

3. (SUELOS]

El Handbook nº 60 define al suelo como un cuerpo tridimensional con forma, superficie y profundidad. Los suelos se pueden clasificar desde el punto de vista químico en no salinos, salinos, salino-sódicos y sódicos no salinos.

3.1. (Caracterización de suelos]

■ Suelos no salinos:

Son aquellos que no presentan problemas, cuyo pH en extracto saturado es inferior a 8,5 y su CE_{es} es inferior a 4 dSm⁻¹.

Ejemplo de suelo no salino:

pH	8,07	PS	36,79
CE	0,780 dSm ⁻¹		
Extracto Saturado		Cationes de Cambio	
Na	1,54 meL ⁻¹	me100g ⁻¹	%

K	0,20	"	Na	0,43	4,13
Ca	6,18	"	K	0,37	3,55
Mg	1,60	"	Ca	7,49	72,02
NO₃	0,24	"	Mg	2,11	20,29
Cl	1,67	"	CIC	10,40	
SAR	0,78				

■ Suelos salinos:

Son los que generalmente tienen un pH menor de 8,5, $CE_{es} > 4 \text{ dSm}^{-1}$ y un porcentaje de sodio intercambiable, PSI, menor de 15. Antiguamente se les denominó álcali blanco. Se pueden recuperar sin problemas mediante lavado, si el agua es de buena calidad y el suelo no presenta problemas de drenaje. A nivel de las sales solubles, expresado en meL^{-1} , el $Na^+ \leq Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$. Los aniones suelen estar constituidos por Cl^- y SO_4^{2-} en igual concentración, bajos niveles de HCO_3^- y ausencia de CO_3^{2-} . Los suelos con altos niveles de sales cuyo origen es un frente salino de riego por goteo presentan también altos niveles de K^+ y NO_3^- . Si se aprecian valores altos de Ca^{2+} y SO_4^{2-} , superiores a 28 meL^{-1} , se puede pensar en la existencia de yeso soluble en el suelo. Deberá detectarse por el método Bower y Huss, 1948, en Richards, 1954. Este método permite detectar la presencia de yeso por precipitación con acetona. Si es positivo se confirmará la presencia de yeso y por tanto la existencia de Ca^{2+} soluble, en el extracto saturado, cuya procedencia es de yeso. No todo este calcio será soluble en capacidad de campo. Por ello se deberá restar a la CE_{es} dos unidades de CE expresadas en dSm^{-1} correspondientes a la solubilidad del yeso en agua, aproximadamente $2,2 \text{ gL}^{-1}$. Los suelos salinos, por lo general, suelen estar floculados debido al exceso de sales y el nivel de sodio en el complejo de cambio suele ser bajo. Por esto su infiltración suele ser igual a la de los suelos no salinos.

Ej.: suelo salino correspondiente a un frente salino de un sistema de riego por goteo.

pH	7,68	PS	57,02	
CE	6,00 dSm^{-1}			
Extracto Saturado		Cationes de Cambio		
Na	15,43 meL^{-1}		me100g⁻¹	%
K	13,04	Na	0,69	4,56
Ca	14,84 "	K	2,79	18,47
Mg	16,04 "	Ca	8,22	54,44
NO₃	34,20 "	Mg	3,40	22,51
Cl	17,18 "	CIC	15,10	
SAR	3,92			



■ Suelos salino-sódicos:

Son aquellos cuya $CE_{es} > 4dSm^{-1}$, el $PSI > 15$ y el $pH < 8,5$. Son de propiedades similares a los salinos y debido al exceso de sales las partículas permanecen floculadas. La diferencia de éstos con respecto a los anteriores estriba en que si son lavados sólo con agua se convertirán en suelos sódicos no salinos. Esto es consecuencia de que en el proceso de lavado se pierden en proporciones similares Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} por drenaje y las posiciones de calcio en el complejo se pierden al tratar de restablecer el equilibrio con los iones solubles. Debido a que en este tipo de suelos existen niveles altos de sodio, éste pasará a ocupar las posiciones dejadas por el calcio en el complejo. Por tanto, dejará de ser salino para ser sódico. Esta transformación del suelo de un tipo en otro ocasiona que el pH aumente a niveles superiores a 8,5. También sufre un aumento el PSI y las partículas de suelo se dispersan haciendo disminuir la infiltración del suelo. Si el suelo original contiene yeso, no existirán problemas para lavarlo directamente, en caso contrario será necesaria una enmienda cálcica previa al lavado.

Ej.: suelo salino-sódico de origen natural, zona de Nijar.

pH	8,03	PS	60,15	
CE	6,94 dSm^{-1}			
Extracto Saturado		Cationes de Cambio		
Na	57,17 meL^{-1}	me100g⁻¹	%	
K	1,36 "	Na	4,78	26,85
Ca	3,04 "	K	1,92	10,78
Mg	9,04 "	Ca	2,22	12,47
NO₃	0 "	Mg	8,88	49,89
Cl	54,51 "	CIC	17,80	
SAR	23,26			

■ Suelos sódicos:

Su $Ce_{es} < 4dSm^{-1}$, el $PSI > 10-15$ y su pH es generalmente superior a 8,5. Antiguamente se les denominaba álcalis negros. Debido a la fuerte dispersión de las partículas del suelo su drenaje está muy restringido e imposibilita la entrada de agua en él. A causa de esta dispersión las partículas se depositan en capas inferiores donde se acumularán, originando una franja impermeable que será preciso romper mediante medios mecánicos para poder ser rehabilitado. Estos suelos sódicos tienen un pH generalmente alto y por ello contienen cantidades apreciables de CO_3^{2-} libre. Esto ocasiona que las pequeñas cantidades de calcio soluble que contiene la solución del suelo, unido al aportado por el agua de riego, se pierda por precipitación en forma de carbonato cálcico cuando se alcanza su producto de solubilidad. Cuando el nivel de sodio es tan alto, la materia orgánica se dispersa y en forma disuelta se deposita en la superficie del suelo,

dando origen a la denominación de estos suelos como álcali negro. Para regenerar estos suelos será preciso aportar una enmienda cálcica o ácida si el suelo contiene caliza, así como un posterior lavado.

Ej.: suelo sódico correspondiente a una tierra de cañada, de una cantera, de la zona de El Ejido.

pH	8,49	PS	128,95	
CE	2,78 dSm⁻¹			
Extracto Saturado		Cationes de Cambio		
Na	20,43 meL⁻¹		me100g⁻¹	%
K	2,22 "	Na	2,57	10,58
Ca	1,07 "	K	1,99	8,19
Mg	2,55 "	Ca	12,60	51,85
NO₃	0,29 "	Mg	7,14	29,38
Cl	18,22 "	CIC	24,30	
SAR	15,18			

3.2. (Análisis químico de suelos]

Los análisis nos permiten conocer las características químicas y físicas de un suelo de cultivo, así como tomar las medidas adecuadas sobre él. Si éste se efectúa antes de la plantación, nos posibilita el poder rehabilitarlo, en caso de que sea necesario, o hacer un aporte en forma de abonado de fondo. Durante el cultivo, para tratar de diagnosticar problemas de salinidad o nutricionales.

• Muestreo:

Cuando tratamos de relacionar las condiciones del cultivo con los niveles de sales del suelo, siempre se deberá de tomar la muestra de la zona activa de las raíces. Por ello, se debe seguir éste método cuando se trate de diagnosticar un posible problema. En suelos donde no existe cultivo aún, se deberá abrir una calicata para así poder observar los distintos perfiles de éste. En cultivos hortícolas nos centraremos en los primeros 40-60 cm primeros. Tomar una muestra de cada perfil si se aprecian diferencias en cuanto a color o textura. Si no se aprecian, se debe tomar una muestra a 20-40 cm de profundidad y otra de 0-20 cm, eliminando los dos o tres cm de la capa superficial. En suelos de cultivo en invernadero es conveniente tomar una muestra, si se trata de diagnosticar un problema determinado, centrándonos en la zona radicular de las plantas afectadas. Por cada 5.000 m² se deben tomar unas diez submuestras, mezclarlas bien y de esta mezcla se toma una muestra que se envía al laboratorio de análisis.

Si lo que se busca es conocer el estado inicial del suelo, antes del cultivo, se deben tomar unas diez submuestras/5.000 m², eliminando siempre los primeros centímetros de suelo y siguiendo un recorrido superficial de la parcela en forma de X p Z. Como



en el caso anterior, todas las porciones se mezclarán bien para tomar una muestra representativa de ellas. En el caso de cultivos en invernadero, con sistemas de riego por goteo, se deberá tener mucho cuidado a la hora de muestrear el suelo.

Tenemos que conocer lo más exactamente posible dónde se harán las nuevas líneas de plantación, para así tomar las muestras en ese lugar. Si se muestrea al azar, sin tener en cuenta esta consideración, se podrán tomar las muestras en los pasillos del cultivo anterior, o lo que es lo mismo, en su frente salino. El riesgo de error, cuando no se toman las precauciones necesarias, puede ser alto. Debido a que la proporción de suelo entre la zona húmeda, bulbo, y la zona seca, frente salino, suele ser del orden de 60-40% de la superficie total. Esto hace que sea posible que tengamos suelos con conductividad CE_{es} 2,5 dSm^{-1} en la zona de bulbo y CE_{es} 10 dSm^{-1} en la de pasillo. Al tomar las muestras y mezclarlas se obtendrá un suelo de CE_{es} de aproximadamente 6 dSm^{-1} , que no es real, ya que no existe un suelo con ese nivel de sales. Por ello, se deben tomar las muestras donde se implantará el nuevo cultivo en función de su marco de plantación. A esta muestra se le determinará la CE_{es} y estableceremos la relación que existe con la CE_a , agua de riego. Si esta es inferior a 1,5 estaremos dentro de los límites adecuados de acumulación de sales y se continuará con su análisis. Si la relación es mayor, se suspenderá la analítica, se lavará el suelo y después se volverá a analizar.

Si en el agua de riego los niveles de salinidad son altos o los índices de sodio y cloruro, no será aplicable el método anterior, aunque la relación de conductividades sea mayor de 1,5. Esto se debe a que no se puede lavar un suelo sin aportar una enmienda cálcica si no se conocen los valores de SAR y PSI, ya que podrían empeorarse las condiciones de infiltración del suelo. La existencia de yeso en el suelo se puede comprobar de forma rápida en un laboratorio y en caso de confirmarse se puede lavar sin aplicar una enmienda. Cuando existe yeso en el suelo es normal encontrar eflorescencias blancas debidas a depósitos del mismo.

Si se trata de detectar un problema desconocido en una zona concreta del invernadero nos centraremos en dicha zona y desecharemos el resto de la superficie cultivada. En estos casos es conveniente efectuar una cata hasta aproximarnos a un metro de profundidad y observar si existe algún impedimento al drenaje. Este puede ser de dos tipos: la típica “lastra” caliza no porosa, a 20-30 cm de profundidad, que impide el lavado de las sales, provocando la acumulación de las mismas y la segunda causa es debida a la dispersión de las partículas de arcilla de las capas inferiores, que las hace totalmente impermeables al drenaje.

El sistema de muestreo en los suelos enarenados de la zona de Almería es diferente en cuanto a que la raíz de la planta se encuentra en la interfase formada por una capa de arena, otra de materia orgánica, generalmente estiércol, y la denominada “tierra de cañada”. Para la toma de la muestra se eliminarán las capas de arena y materia orgánica y nos centraremos en la capa de tierra. Si esta es arcillosa, con un contenido de un 40% de arcilla, muestrearemos a 5-10 cm de profundidad. Si es de tipo franco arcilloso, las denominadas “greas”, deberemos de profundizar hasta los 15-20 cm. Se debe seguir siempre la pauta de muestreo que será el tomar la muestra en la zona donde se encuentren la mayor cantidad de raíces. Se están detectando en los últimos años problemas a la hora de muestrear en suelos enarenados debido a la compactación

de las arenas, que impide la entrada de agua en el suelo. Esto ocurre por una excesiva fertilización fosforada en aguas de riego con valores altos de calcio, que originan la formación de precipitados de CaHPO_4 , que cementa las arenas cuando el pH del suelo es mayor de 7,3.

En zonas como Almería, donde generalmente se construyen los invernaderos sobre suelos aportados de canteras, es conveniente realizar un análisis del mismo antes de su construcción, ya que conocer el estado inicial del suelo es imprescindible para evitar problemas posteriores. Cuando ya está realizado el enarenado, las actuaciones sobre el suelo son muy complicadas y costosas.

> Ej. de tierra de cañada. Clasificación por el sistema USDA y SI	
Sist. USDA	arcilla 41,7%
	limo 36,1%
	arena 22,2%
	clasificación: arcillosa
Sist. SI	arcilla 41,7%
	limo 24,8%
	arena 33,5%
	clasificación: arcillosa - gruesa

• **Extracto saturado:**

Para determinar las sales solubles y CE en un suelo se emplea el método del extracto de la pasta saturada del suelo.

Este método se ha seguido a partir de las directrices marcadas por el Laboratorio de Salinidad de EE.UU., Richards, 1954. La humedad de la pasta saturada, porcentaje de saturación, PS, se relaciona directamente con los valores de humedad en capacidad de campo, CC. Esta es aproximadamente 1,8-2 veces la capacidad de campo y a su vez es el doble de la humedad en punto de marchitez, límite inferior de humedad aprovechable.

Por esta razón el extracto saturado frente a otras relaciones en peso, como los extractos 1:1 o 1:5, son más fiables por su relación con la humedad del suelo. En los suelos de la zona de Almería los niveles de PS varían desde < 20%, que corresponden a arenas, 20-25% que poseen los suelos arenosos, 25-35% de los suelos medios y 35-60% los suelos finos o pesados.

Los suelos medios suelen ser de tipo franco-arcillo-arenoso a franco, y los suelos finos, tierras de cañada, del tipo franco-arcilloso a arcilloso. Dentro de los suelos medios hay que englobar a las denominadas greas, de color amarillo o gris, con valores de PS que oscilan entre 45-70% y son de tipo franco-limoso. Este nivel alto en limo en las greas hace aumentar de manera considerable la capacidad de retención de agua, teniendo un PS típico de un suelo de textura fina. En la zona costera de Almería no aparecen por lo general suelos con textura arcillo-limoso.

El PS de un suelo aumenta en función de los contenidos de arcilla y limos finos.



Por ello es importante efectuar el análisis de textura de aquellos que presenten un valor de PS elevado. Si la textura se determina por el método Bouyoucos es conveniente hacer lecturas del densímetro para determinar las fracciones de limo entre 2-20 micras y 20-50 micras, en el primer caso por el Sistema Internacional y en el segundo por el sistema USDA. Esto permite conocer la fracción de limos próxima a las arcillas que tienen una mayor capacidad de retención de agua.

El contenido de materia orgánica de un suelo incrementa considerablemente el PS y con ello la capacidad de retención de agua. Los suelos de tipo medio, con un PS del orden de un 35%, pueden incrementarlo hasta un 50-60% cuando su contenido en materia orgánica se eleva hasta un 7-9% y al mismo tiempo aumentando su capacidad de intercambio catiónico.

- **Conductividad eléctrica:**

La medida de la conductividad eléctrica del extracto saturado nos dará el contenido de sales totales disueltas en el suelo. Esta dependerá del tipo de ion en la solución. Los iones Cl^- , correspondientes al MgCl_2 , son los que más aumentarán la conductividad a igualdad de concentración. Les siguen el CaCl_2 y NaCl , muy similares. Son intermedios SO_4^{2-} ligados a Na_2SO_4 y los que menos aumentan la conductividad son el MgSO_4 , CaSO_4 y NaHCO_3 .

Valores de las CE de las diferentes sales, Richards, 1954:

Conc. 1gL^{-1}	CE (dSm^{-1} 25 °C)
MgCl_2	2,4
CaCl_2	2,1
NaCl	2,0
Na_2SO_4	1,55
MgSO_4	1,35
CaSO_4	1,2
NaHCO_3	1,05

El contenido de sales, expresado en forma de CE_{es} (en dSm^{-1}), se relaciona con la presión osmótica de la solución del suelo según la fórmula:

$$\text{PO} = 0,36 \cdot \text{CE}_{\text{es}} \quad \text{donde } \text{PO} = \text{atm}$$

La PO se relaciona con la velocidad de absorción de agua por la planta y por lo tanto con el desarrollo de la misma. Valores umbral de CE en extracto saturado para diferentes cultivos hortícolas y con producciones estimadas del 100%, según Ayers y Westcot, 1987.

Calabaza	4,1 dSm^{-1}	Apio	1,8 "
"	3,2 "	Col	1,8 "
Brócoli	2,8 "	Pimiento	1,5 "
Tomate	2,5 "	Lechuga	1,3 "
Pepino	2,5 "	Judía	1,0 "

Según Carter, 1981.

Judía	1,0 dSm ⁻¹	Melón	2,5 "
Apio	1,0 "	Guisante	2,5 "
Coliflor	2,5 "	Pimiento	1,5 "
Col	1,8 "	Tomate	2,5 "
Pepino	2,5 "	Brócoli	2,8 "
Lechuga	1,3 "		

Los valores de referencia anteriores hay que manejarlos con cuidado debido a dos factores fundamentales. En primer lugar, por condiciones medioambientales, luz, temperatura y en segundo lugar, porque a igualdad de CE_{es} podemos tener niveles de iones considerados tóxicos, como es el caso de sodio y cloruros para un cultivo determinado, frente a valores de calcio y magnesio, iones que no son tóxicos para ese mismo cultivo. Altos niveles de luz, radiación y temperatura obligan a trabajar con unos niveles de CE_{es} más bajos que en el caso inverso. Un claro ejemplo es el cultivo de la judía, que en meses invernales soporta CE_{es} de 3-3,5 dSm⁻¹ sin problemas, frente a la primavera-verano, donde es normal tener unos valores de CE_{es} de 1,8-2,2 dSm⁻¹.

En el segundo caso, dos suelos con niveles de cationes iguales, por ejemplo: uno con Na=15 meL⁻¹, K=2 meL⁻¹, Ca = 5 meL⁻¹, Mg = 3 meL⁻¹ y otro con Na= 5 meL⁻¹, K=2 meL⁻¹, Ca =15 meL⁻¹ y Mg = 3 meL⁻¹ tienen conductividades próximas a 2,5 dSm⁻¹. Si el cultivo es de judía, el primer suelo del ejemplo sería tóxico por los niveles de Na, pero no el segundo. Por tanto, en una primera aproximación la CE_{es} es un buen dato de partida, que deberá ser interpretado en función de las condiciones ambientales y de su composición iónica.

Las referencias en cuanto a los valores de CE_{es} para los cultivos en la zona de Almería pueden ser los siguientes:

- **Pimiento.** Prácticamente todos los cultivos se inician entre junio-septiembre. Lo ideal es mantener en sus inicios niveles de CE_{es} que oscilen entre 1,8-2,2 dSm⁻¹. En este cultivo y con aguas de CE_a de 0,3 dSm⁻¹, a veces es difícil llegar a los niveles de CE_{es} anteriores si tenemos unos niveles iniciales de CE_{es} bajos en el suelo. Por ejemplo: si es de 0,50 a 0,8 dSm⁻¹, se debe elevar la CE de la solución de riego por encima de los 2,5 dSm⁻¹, hasta conseguir que el nivel de CE_{es} se aproxime al 1,8-2,2 dSm⁻¹ deseado. En el momento que se alcance iremos disminuyendo paulatinamente la CE de entrada de la solución nutritiva hasta que $CE_{es} \approx 1,2-1,5 CE_a$. Es imprescindible llegar a alcanzar los niveles anteriores para evitar tener problemas de floración motivados por los bajos niveles de radiación debido a los encalados de los invernaderos en pleno verano. En producción, los niveles de CE_{es} se mantienen próximos a 2,5 dSm⁻¹ y se pueden elevar en los meses fríos, con niveles bajos de luz, hasta 3 dSm⁻¹.

Hay que tener cuidado con el exceso de salinidad en el suelo, que puede incidir en la aparición de blossom-end rot en los frutos.



- **Pepino.** Los cultivos se suelen iniciar entre agosto y septiembre. Por ello, aunque es menos sensible a la salinidad que el pimiento, se deberá tener mucho cuidado en no subir la CE_{es} para evitar tener impedimentos de absorción de agua por la planta cuando las temperaturas en el interior de los invernaderos supera los 40 °C. En los estados iniciales del cultivo hay que mantener la CE_{es} próxima a 2 dSm^{-1} e ir elevándola hasta 2,5 dSm^{-1} en producción. En invierno conviene subirla hasta 3 dSm^{-1} . Debido a que es un cultivo muy sensible al encharcamiento en los suelos tipo cañada se deberá vigilar que estos niveles de CE_{es} no se eleven, porque se tendrán serios problemas para lavarlos. El exceso de salinidad en el suelo, puede provocar la aparición de frutos curvados, denominados “pillow” en la bibliografía inglesa.

- **Judía.** Es un cultivo que se puede iniciar prácticamente en cualquier momento del año. Al principio es conveniente mantener niveles de CE_{es} próximos a 1,5-1,8 dSm^{-1} en las épocas de más temperatura. Si es en invierno hay que elevarlos a 2,0-2,2 dSm^{-1} . En el primer caso y en producción, se debe mantener una CE_{es} de 2,0-2,2 dSm^{-1} y en el segundo de 2,5-2,7 dSm^{-1} . Debido a que es un cultivo muy sensible a los iones Na y Cl se deberá de conocer cual es la composición de las sales que nos da una CE_{es} determinada. Al mismo tiempo, niveles altos de CE_{es} origina vainas en donde el grano se aprecia a simple vista, resalta, lo que hace disminuir su valor comercial. Con motivo de la cambiante climatología de los últimos inviernos, se tendrá que vigilar la CE_{es} , para evitar problemas de salinidad en los meses como febrero-marzo, donde se han alcanzado temperaturas de hasta 25 °C y niveles de radiación de 550 $wm^{-2} día^{-1}$, más propios de mayo. Por ello, la CE_{es} de los meses invernales, próxima a 3,0 dSm^{-1} deberá disminuirse a 2,2 dSm^{-1} , más cercana al valor de verano.

- **Tomate.** Su plantación se inicia a finales de verano, entre agosto y septiembre, al aire libre o en invernadero. Es la denominada campaña de otoño-invierno. Las plantaciones al aire libre permanecerán hasta el comienzo del frío y las de invernadero hasta la primavera. La campaña llamada de primavera-verano se inicia en febrero y se mantendrá hasta julio-agosto. En el inicio de las plantaciones a final de verano, se deberá tener en cuenta la calidad del agua de riego que se va a utilizar. En la zona del Poniente Almeriense, con aguas por lo general de buena calidad, los niveles de CE_{es} oscilarán entre 2,0-2,5 dSm^{-1} para ir elevándolo hasta 3,5-4,0 dSm^{-1} en los meses invernales. Con motivo de que estas aguas tienen una CE_a entre 0,5-1,0 dSm^{-1} obligará a mantener unos niveles de fertilización altos para poder conseguir una CE_{es} adecuada. Lo ideal es mantener niveles de riego cortos, controlados por tensiómetros, y unas fracciones de lavado próximas a 0,05-0,1. El exceso de humedad en el suelo y por consiguiente el encharcamiento tienen una clara incidencia sobre la aparición de blossom-end rot en los frutos.

En la zona tomatera de Almería, El Alquíán-La Cañada, con aguas de salinidad media-alta y niveles de CE_a que oscilan entre 2,0-5,0 dSm^{-1} se encuentran en algunos casos por encima de la salinidad umbral del tomate, estimada en 3 dSm^{-1} . La CE_{es} oscilará, para aguas de CE_a de 3,0 dSm^{-1} , entre 3,5-4 dSm^{-1} . Este valor se considera normal y sin problema para éste cultivo. Hay que hacer notar en que existen a su vez dos tipos diferentes de aguas. Unas con concentraciones altas en Cl⁻ y Na⁺, frente a otras que tie-

nen valores altos de Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} . Por ello será imprescindible conocer el análisis químico del agua a utilizar, para así predecir si un suelo de $\text{CE}_{\text{es}} = 4,0 \text{ dSm}^{-1}$ dará o no problemas de salinidad, en función de los iones que contenga.

En producción y con una demanda de agua para la planta menor, debido al descenso de la temperatura, se mantendrán niveles de CE_{es} de 4,5-5,0 dSm^{-1} . Este aumento de conductividad permitirá paliar en parte los problemas originados por la disminución de luz. En los cultivos de primavera-verano y con aguas de riego de buena calidad, se deberán mantener CE_{es} próximas a 3,5 dSm^{-1} para ir disminuyéndolas en el inicio del verano hasta $\text{CE}_{\text{es}} = 3 \text{ dSm}^{-1}$. Aparecerán claros problemas de salinidad, con limitación de la absorción de agua por parte de la planta, con $\text{CE}_{\text{es}} > 4 \text{ dSm}^{-1}$ y muy graves con $\text{CE}_{\text{es}} = 7,0 \text{ dSm}^{-1}$, que motivarán la aparición de blossom-end rot. Una precaución importante que se deberá tener en cuenta es el posible descenso brusco de la CE_{es} , por lluvia en plantaciones al aire libre o por condensación en invernadero, que provocará el rajado de los frutos.

- **Berenjena.** Se inicia la plantación entre agosto y septiembre y se mantiene, por lo general, hasta el verano. Teniendo en cuenta que la mayoría de las plantaciones se encuentran en la zona del Poniente, no es de esperar un problema de salinidad. La tolerancia de ésta es moderada. La CE_{es} estará próxima en el inicio del cultivo a 2,0 dSm^{-1} y se irá elevando hasta 2,7-3,2 dSm^{-1} en plena producción. Hay que evitar CE_{es} altas, entre 5,0-6,0 dSm^{-1} , que provocarán problemas en la absorción de agua por parte del sistema radicular de la planta y aumentará la aparición de blossom-end rot en los frutos.

- **Melón.** Es un cultivo que se implanta por lo general para la temporada de primavera-verano. Es importante conocer los valores de CE_{es} , ya que al ser un cultivo que proviene de otro efectuado antes, generalmente pimiento o pepino, se podrán encontrar niveles altos de sales en el suelo. El origen de éstas son los frentes salinos del sistema de riego por variación de los marcos de plantación. El conocimiento de la CE_{es} previo es importante porque si se implanta en suelos con gran contenido en sales y de características arcillosas, existirán graves problemas para su lavado. El melón en época invernal presenta una gran sensibilidad a las enfermedades de raíz provocadas por excesos de humedad en el suelo. La CE_{es} óptima oscilará entre 2,5-3,0 dSm^{-1} y se elevará a 3,5-4,0 dSm^{-1} desde el inicio de la floración hasta el cuajado. Se bajará a 3,0-3,5 dSm^{-1} en producción.

Este cultivo presenta una buena tolerancia a la salinidad, muy similar a la del tomate, con la ventaja que no presenta problemas de blossom-end rot. En la zona costera de Murcia se cultiva con aguas cuya CE_a varía entre 2,5-3,0 dSm^{-1} , para tener en el suelo una CE_{es} entre 4,0-5,0 dSm^{-1} . No existen problemas con estos valores en la primavera. La única salvedad es que este tipo de aguas no contienen niveles en NaCl superiores a 10-12 meL^{-1} . El resto de las sales estarán en forma de sulfatos cálcicos y magnésicos, que no representan problemas de toxicidad para el cultivo. Los descensos de CE en el suelo provocan rajados en los frutos debido a la condensación en el interior de los invernaderos. Es conveniente una buena ventilación para evitar estos desajustes.

- **Sandía.** Es un cultivo similar al del melón y que coincide en época de plantación. Su tolerancia a la salinidad es ligeramente inferior, por lo que se tendrán que reducir



los valores de CE_{es} entre un 10-15%. A diferencia del melón, la sandía no suele presentar problemas de rajado. Si se debe tener en cuenta que con plantas injertadas es necesario mantener niveles de conductividad eléctrica en el suelo más altos, para inducir una buena floración. Las variedades de sandía de tipo esférico no presentan problemas de blossom-end rot y si en cambio en las de tipo cilíndrico.

- **Calabacín.** Su ciclo de cultivo es similar al del pepino. En los estados iniciales del mismo es conveniente mantener una CE_{es} entre 2,2-2,5 dSm^{-1} y se elevará progresivamente hasta 3,0-3,5 dSm^{-1} , pudiendo llegar a 4,0-4,5 dSm^{-1} en la época invernal. Es una planta moderadamente tolerante a la salinidad y no será preocupante si se detectan CE_{es} que puedan superar el valor máximo anterior en épocas frías.

- **Col china.** En la zona del Poniente Almeriense su plantación se realiza desde noviembre hasta febrero, manteniéndose de manera escalonada hasta terminar el cultivo, entre abril y mayo. Si éste se efectúa en invernadero, se deberán tener en cuenta las mismas consideraciones que para el melón en cuanto a posibles valores de CE_{es} elevadas. Estos valores oscilarán entre 1,5-1,7 dSm^{-1} al principio de la plantación, hasta 2,0-2,5 dSm^{-1} como máximo. Es ligeramente sensible a la salinidad y niveles altos de ésta pueden inducir fisiopatías como el tip-burn, provocado por problemas de absorción y movilidad del calcio. Valores de CE_{es} superiores a 4,0 dSm^{-1} pueden dar lugar a problemas de este tipo.

- **Lechuga.** La época de plantación suele ser escalonada a lo largo de todo el año. Los niveles de CE_{es} son similares a los de la col china, lo mismo que su tolerancia a la salinidad. Al igual que ésta presenta problemas de tip-burn.

pH:

Se define como el $-\log[H^+]$ y expresa la acidez o la alcalinidad de un suelo. Se determina mediante un pH-metro y su lectura se efectúa con el electrodo introducido en la pasta saturada del suelo. Los principales factores que afectan al pH de un suelo son la temperatura, la presión, la fuerza iónica y los carbonatos en equilibrio en él.

Los niveles de pH superiores a 8,5 pueden indicar la existencia de un suelo de características sódicas o suelos naturales con altos índices de caliza, > 50%, y caliza activa, > 15%. Entre 7,0-8,5 estarán aquellos con valores de conductividad en extracto saturado entre 2,0-6,0 dSm^{-1} y niveles de caliza entre 10-20%. La existencia de cantidades apreciables de nitratos así como de conductividades eléctricas elevadas, hace disminuir de manera apreciable el pH. Este volverá a subir cuando la conductividad eléctrica del suelo disminuya, después de ser lavado. Cuando los valores de la CE_{es} son superiores a 10-15 dSm^{-1} es frecuente encontrar pH menores de siete. En los suelos neutros, sin caliza, estos suelen oscilar entre 6,8-7,2 y en los suelos ácidos, los valores son inferiores a 6,5-6,8. En el Poniente Almeriense sólo se conoce una zona, llamada El Solanillo, con suelos rojos ácidos con pH próximos a 5,5 y fitotóxicos en manganeso. En el resto de las zonas los suelos suelen ser neutros o calcáreos, Casas, 1995.

Análisis del extracto saturado. Cationes y aniones solubles:

En el filtrado de la pasta saturada del suelo se analizan los iones solubles. Los ca-

tiones que nos encontraremos serán: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y NH_4^+ ; los aniones: Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , H_2PO_4^- ; y como microelementos el B.

▲ **Sodio:** se puede tomar como valor inicial de referencia el existente en el agua de riego, ya que para fracciones de lavado de 0,2 es de esperar una acumulación de sodio del 20% con respecto al sodio del agua. Esto se puede expresar de la forma siguiente:

$$\text{Na}_{\text{es}} = 1,2 \text{ Na}_a$$

Para los diferentes cultivos hortícolas los niveles máximos y óptimos serán:

Cultivo	Máximo (meL^{-1})	Óptimo (meL^{-1})
Pimiento	10	<7
Pepino	10-12	<8
Judía	9	<6
Tomate	20-25	<15
Berenjena	13	<10
Melón	20	<15
Sandía	15	<10
Calabacín	15	<12
Col china	10	<7
Lechuga	10	<7

La tolerancia al sodio dependerá de las condiciones medioambientales y su evaluación dependerá de la época del año. Al mismo tiempo este elemento afecta a la estructura del suelo, por lo que su efecto negativo es doble. No es un ion indispensable para la planta, pero ayuda a mantener unos niveles adecuados de CE_{es} que de no existir tendrían que suplirse con un mayor aporte en la fertilización. Lo anteriormente comentado será aplicable si no se sobrepasan los límites óptimos de tolerancia. Un exceso en sodio puede causar deficiencias en calcio e inducir problemas de blossom-end rot en pimiento, tomate y berenjena. Al mismo tiempo, provoca curvamientos en los frutos de pepino. En el cultivo de la col china y la lechuga puede afectar a la absorción de calcio y originar tip-burn.

▲ **Cloruros:** en el caso de este ion se podrá aplicar lo dicho para el sodio, aunque a diferencia de este si es un elemento indispensable para la nutrición de las plantas. Se considera como nivel mínimo, por debajo del cual no es de esperar problemas de toxicidad, unos 5 meL^{-1} . En los cultivos hortícolas tratados antes, los valores de los cloruros podrán ser un 10% superiores a los del sodio y en el caso concreto del tomate y el melón se podrá llegar hasta un 20%. El problema que puede aparecer en el uso de las referencias anteriores estriba en si están a su vez asociados a niveles altos de el resto de los iones. La conductividad eléctrica en este caso será alta y aparecerán problemas de presión osmótica. Los valores de cloruros, como los de sodio, se ven muy afectados



por las condiciones medioambientales. Existe un claro antagonismo $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ y a niveles bajos de NO_3^- tiene lugar el fenómeno contrario, sinergismo. En concentraciones normales de NO_3^- existe una clara competencia en la absorción radicular de estos iones, reemplazando a los Cl^- . Weigel, 1973 para el cultivo de la judía y Kafkafi, 1982 en el tomate. Es conveniente mantener unos niveles adecuados en la fertilización nítrica cuando existen contenidos apreciables de cloruros en el suelo.

Existe una relación clara entre los niveles de fósforo en la planta y los valores de NaCl en el extracto saturado. Así, en el caso concreto del tomate, aparece una respuesta negativa ante la concentración de fósforo foliar. En cambio la respuesta es positiva en el maíz y en otros cultivos no se aprecia ningún efecto, como con la judía. Ravikovitch y Yates, 1971, Champagnol, 1979, Cerdá y Bingham, 1978.

▲ **Potasio:** es un elemento clave en la nutrición vegetal. Por ello es preciso mantener unos niveles adecuados para obtener una buena producción. Hay que tener en cuenta que puede existir una sustitución a nivel radicular del ion potasio por el sodio cuando el potasio es muy bajo. Esto crea problemas de salinidad al acumularse el sodio en la planta. Al mismo tiempo, niveles altos de potasio no parecen influir sobre la tolerancia a la salinidad de los cultivos. Bernstein, 1974. Los niveles normales de potasio variarán en función del cultivo, el estado de desarrollo de éste y de las condiciones climáticas.

- **Pimiento.** Se mantendrán, en los inicios de la plantación, valores en el extracto saturado de $1,5 \text{ meL}^{-1}$, que se irán aumentando conforme se desarrolla la planta hasta llegar a $2,5 \text{ meL}^{-1}$, en plena producción. Contenidos inferiores a $0,5 \text{ meL}^{-1}$ indicarán la posibilidad de la existencia de una carencia de éste elemento, que puede ser confundida con un exceso de salinidad o con quemaduras provocadas por la gutación. Valores superiores a $3,0\text{-}3,5 \text{ meL}^{-1}$ pueden provocar carencias inducidas en calcio y magnesio. Este cultivo es muy sensible a la carencia de magnesio, que suele estar causada por excesos de potasio para elevar la CE_{es} y así inducir una buena floración. El origen de esta mala práctica viene motivada por los problemas que presentan las plantaciones en los meses de verano, cuando los invernaderos están encalados y los niveles de CE_{es} son bajos. Este exceso en la fertilización potásica, si los niveles de magnesio en el suelo son bajos, provoca una carencia inducida en este elemento.

- **Pepino.** Los valores en el extracto saturado deberán oscilar, en el inicio del cultivo, entre $1,5\text{-}1,75 \text{ meL}^{-1}$. Este nivel irá aumentándose hasta $2,5\text{-}2,75 \text{ meL}^{-1}$ en producción. Excesos en el abonado potásico, $>4\text{-}5 \text{ meL}^{-1}$, pueden inducir carencias de calcio con síntomas muy claros en hoja y en fruto. Este problema puede agravarse por un exceso de salinidad. Al mismo tiempo puede originar carencias en magnesio, aunque es menos frecuente. Todos los excesos de potasio en época invernal y en suelos de estructura pesada darán lugar a desajustes por la imposibilidad de su eliminación por lavado. Valores inferiores a $0,75 \text{ meL}^{-1}$ en el extracto saturado pueden ser causantes de carencias de potasio.

- **Judía.** En los comienzos del cultivo se consideran normales niveles de $1,5 \text{ meL}^{-1}$ en el extracto saturado y se elevarán hasta $2\text{-}2,25 \text{ meL}^{-1}$ en producción. Valores superiores a $3\text{-}3,5 \text{ meL}^{-1}$ podrán inducir una carencia del calcio con síntomas visibles en la hoja pero

sobre todo en el fruto. En la zona del Poniente es posible encontrar niveles de potasio en el extracto saturado $>4 \text{ meL}^{-1}$, en suelos de $\text{CE}_{\text{es}} = 3,5 \text{ dSm}^{-1}$. Esto ocurre en los meses invernales, cuando la demanda de agua de la planta es baja y siempre y cuando los valores de calcio sean los adecuados. Es común la carencia de magnesio provocada por un exceso de potasio, al tratar de inducir la floración de la planta. Estas carencias de magnesio están apareciendo con más frecuencia en los últimos años provocadas por los bajos niveles de éste elemento en las aguas de riego. Con valores de potasio en el extracto saturado $<0,5\text{-}0,75 \text{ meL}^{-1}$ puede aparecer la carencia, si en el suelo es elevado el contenido en calcio y/o magnesio. La carencia de potasio puede causar la sustitución de potasio por sodio, con acumulación de este último a nivel foliar.

- **Tomate.** Los niveles de potasio en el extracto saturado no son tan fijos como en los cultivos anteriores. Esto se debe a que para regar este cultivo se pueden utilizar aguas de muy diferente calidad. Por ello se necesitarán mantener distintos niveles de potasio en el suelo, en función de la CE_{a} y de los valores de calcio y magnesio. Con aguas de buena calidad se mantendrán, en el comienzo del cultivo, valores de $2,5 \text{ meL}^{-1}$ y se aumentarán a $3,5\text{-}4,0 \text{ meL}^{-1}$ cuando entren en producción. Con aguas moderadamente salinas, con $\text{CE}_{\text{a}} = 3,0\text{-}3,5 \text{ dSm}^{-1}$, el nivel en el extracto saturado debe ser de $2,5\text{-}3,0 \text{ meL}^{-1}$ en el principio para pasar a $4,0\text{-}5,0 \text{ meL}^{-1}$ en producción. Para aguas de buena calidad, con concentraciones de sodio y cloruros menores de 10 meL^{-1} y en cultivos de primavera-verano, el potasio de partida oscilará entre $2,0\text{-}2,5 \text{ meL}^{-1}$. Con temperaturas moderadamente altas este valor no debe superar los $3,0\text{-}3,5 \text{ meL}^{-1}$ y la CE_{es} máxima será de $4,0 \text{ dSm}^{-1}$. Excesos de potasio mayores de 6 meL^{-1} , cuando las temperaturas y la radiación son bajas, no suelen ocasionar problemas con el calcio. Estos si aparecen en épocas más cálidas, con valores de potasio próximos a $5,0 \text{ meL}^{-1}$ y $\text{CE}_{\text{es}} > 6,0 \text{ dSm}^{-1}$. En aguas de buena calidad, con concentraciones de magnesio bajas en el suelo, es posible inducir su carencia para valores de potasio mayores de $4,0 \text{ meL}^{-1}$. Cuando los niveles de magnesio son altos este problema no aparece. Si la planta presentara unos síntomas similares, bajo estas condiciones, se tendrá que considerar una posible carencia de zinc. Se consideran deficientes los valores de potasio inferiores a $1,0 \text{ meL}^{-1}$ en el extracto saturado. En caso de carencia los frutos pueden presentar una coloración irregular denominada “ripening”.

- **Berenjena.** En la zona del Poniente es un cultivo de ciclo largo, septiembre-junio. Los valores de potasio variarán en función de las condiciones de luz/temperatura y del estado de la planta en cuanto al número de frutos. El nivel normal en el extracto saturado debe ser de $2,0 \text{ meL}^{-1}$ y se aumentará hasta $3,0 \text{ meL}^{-1}$ en producción. Valores superiores a $4,0\text{-}4,5 \text{ meL}^{-1}$ pueden inducir la aparición de blossom-end rot en los frutos si los valores de calcio son bajos. Este desajuste viene motivado por excesos en la fertilización potásica cuando se tratan de corregir desequilibrios en el abonado nitrogenado. La carencia de magnesio puede aparecer cuando el potasio en el suelo es mayor de $5,0 \text{ meL}^{-1}$. Valores inferiores a $1,0 \text{ meL}^{-1}$ de potasio en el extracto saturado pueden causar problemas de carencia y se puede ver agravada cuando exista acumulación de calcio-magnesio.

- **Melón.** En la zona del Poniente se inicia su cultivo en febrero-marzo, generalmente después de otra plantación. Como ya se comentó antes, se podrá tener por ello acumulación de sales en el suelo, incluido el potasio. Será imprescindible por tanto conocer su valor de



partida en el suelo para ajustar el abonado. Es adecuado tener 2,0-2,25 meL⁻¹, que se elevará con el desarrollo de los frutos hasta 4,0-4,5 meL⁻¹ y en la maduración se disminuirá a 3,5 meL⁻¹. No es frecuente la aparición de síntomas carenciales en calcio y magnesio. Esta es una planta con buena resistencia a la salinidad. Valores inferiores a 1,0-1,5 meL⁻¹ de potasio en el extracto saturado se consideran bajos y pueden ser causa de la aparición de frutos con pequeño grosor de pared así como un contenido bajo en azúcares. Bajos niveles de potasio asociados a CE_{es} igualmente bajas ocasionan problemas de falta de escriturado en los frutos de melón tipo galia.

- **Sandía.** Se inicia su cultivo en la misma época que el del melón, por lo que se puede aplicar lo comentado anteriormente antes de su inicio. Como valor de partida es adecuado mantener 2,0 meL⁻¹ que se subirá a 2,75-3,0 meL⁻¹ en el extracto saturado al entrar en producción. No es común la aparición de carencias de calcio. Las de magnesio pueden aparecer cuando es preciso elevar la CE_{es} mediante fertilización potásica, en el caso concreto de las plantas injertadas.

- **Calabacín.** En el estado inicial del cultivo, se deberá mantener valores próximos a 2,0 meL⁻¹. Se irán aumentando de manera progresiva hasta los 3,0-3,25 meL⁻¹. El valor por debajo de 1,0 meL⁻¹ es claramente deficitario. Su carencia es poco frecuente, aunque se detectan casos del denominado “chupado” de frutos, relacionado con valores bajos de potasio y boro a nivel de hoja.

- **Col china.** En la zona del Poniente su plantación se realiza entre noviembre-abril y de manera escalonada. Se cultiva tanto en invernadero como al aire libre. Es fundamental conocer el contenido de potasio en el suelo para no fertilizar con este elemento y si fuese excesivo, para lavar previamente el suelo. El nivel normal de partida está en 1,5 meL⁻¹ en el extracto saturado y en el desarrollo de la cabeza en 2,0-2,25 meL⁻¹. Hay que evitar los excesos de potasio en el suelo, > 3 meL⁻¹, ya que pueden provocar antagonismo frente al calcio e inducir problemas de “tip-burn interno”, de imposible corrección. Así mismo puede originar carencias de magnesio.

- **Lechuga.** Como en el caso de la col china, se deben vigilar los niveles de partida de potasio en el suelo. Los contenidos óptimos son similares a los de la col china aunque la lechuga no presente problemas de pudrición interna. La carencia de magnesio es mucho más frecuente en este cultivo y está provocada generalmente por excesos de potasio o calcio.

▲ **Calcio:** es uno de los elementos que más problemas causa en la zona del Poniente Almeriense. Aunque los suelos son calizos, con valores que oscilan entre 5-25% de CaCO₃ total, los valores de calcio soluble en el suelo son bajos. Esto se debe a la muy baja solubilidad del CaCO₃ y a los bajos contenidos de este elemento en las aguas de riego. En las aguas de baja salinidad, CE_a < 1 dSm⁻¹, las concentraciones de calcio varían entre 1,0-2,5 meL⁻¹. Conforme aumenta la conductividad eléctrica, los valores de calcio aumentan relativamente poco. Así, en aguas de CE_a = 2 dSm⁻¹, el calcio oscila entre 3,0-4,0 meL⁻¹. En algunas aguas de la zona de Adra, con CE_a = 2,3 dSm⁻¹, se llegan a alcanzar valores próximos a 8,0-10 meL⁻¹ pero son una excepción de la generalidad. En la zona de El Alquíán-La Cañada las aguas por lo general contienen niveles de salinidad altos asociados a valores igualmente

altos de calcio, 10-15 meL⁻¹. En el Levante Almeriense se mantienen por lo general niveles de calcio mayores de 5,0 meL⁻¹, llegando hasta los 15 meL⁻¹ en el agua del pantano de Cuevas de Almanzora. En la Vega de Motril estos valores de calcio suelen estar próximos a 7 meL⁻¹ en aguas de $C_e = 1,6$ dSm⁻¹. Queda claro que en el Poniente Almeriense el calcio es un elemento que escasea tanto en el agua de riego como a nivel soluble en el suelo. Al mismo tiempo la relación que mantiene frente al magnesio, estos iones expresados en meL⁻¹, es inferior a la unidad. Esto agrava los problemas de este elemento en el suelo ya que por un lado es inferior al mínimo necesario para la nutrición de la planta y por otro existe el antagonismo frente al magnesio. En el resto de las zonas antes mencionadas la relación calcio-magnesio es siempre mayor de la unidad. Los niveles de calcio en el suelo variarán en función del cultivo, de las condiciones ambientales: luz, temperatura y humedad ambiente, y de los niveles de salinidad en el suelo.

- **Pimiento.** Este cultivo se inicia, en la zona del Poniente, entre julio-septiembre. La temperatura y nivel de radiación en ese periodo suelen ser elevados, lo que obliga a encalar los invernaderos para controlarlos. Como este cultivo posee poca tolerancia a la salinidad, las aguas de riego deben ser de baja conductividad eléctrica y por tanto contienen bajos niveles de calcio. El forzado de la fertilización es imprescindible para conseguir un adecuado nivel de conductividad en el suelo que favorezca la floración y posterior cuajado de los frutos. Se puede conseguir aumentando el nivel de potasio en el suelo, pero puede provocar un fuerte antagonismo frente al calcio si el nivel de este es bajo. Por ello es adecuado mantener en el suelo concentraciones próximas a 8-10 meL⁻¹ en el extracto saturado. Valores inferiores a 4,0 meL⁻¹ se consideran bajos. La relación óptima K/Ca, expresados ambos iones en meL⁻¹, deberá estar entre 0,17-0,20. Valores superiores a 0,4 pueden inducir deficiencias de calcio con síntoma visual en la hoja y puede estar asociado con la aparición de BER en los frutos. Esta fisiopatía en el verano suele estar más asociada a problemas de salinidad en el suelo por tasas bajas de riego o por haber efectuado la plantación en zonas correspondientes a los frentes salinos del anterior cultivo. En los meses de otoño-invierno se pueden mantener relaciones K/Ca en el suelo próximas a 0,3-0,35 sin problemas, cuando se aumenta la fertilización potásica al valor 2,5 meL⁻¹ y se disminuye la de calcio a 7-8 meL⁻¹. Riegos inadecuados por exceso en suelos de tipo arcilloso pueden provocar carencias de calcio por encharcamiento. La solución está en el control adecuado de estos riegos para lo cual se pueden utilizar las pautas de la Estación Experimental de Las Palmerillas de la Caja Rural de Almería para el consumo de agua y los datos meteorológicos, 1997. La instalación de tensiómetros en el suelo ayudará a controlar posibles excesos de humedad, sobre todo en suelos de características arcillosas. La utilización inadecuada de calcio por exceso puede inducir problemas de absorción de potasio, magnesio e incluso de salinidad, que deberán ser controlados mediante análisis del suelo. Por ello es imprescindible conocer si el problema de BER en el fruto está provocado por un exceso de potasio, déficit hídrico, encharcamiento, exceso de salinidad o falta de calcio.

- **Pepino.** Los problemas causados por el calcio se acusan en este cultivo aún más que en el del pimiento. Como su plantación se efectúa en verano-otoño, se tendrán los mismos problemas comentados anteriormente. Los valores óptimos de calcio oscilarán entre 8-10 meL⁻¹ en el extracto saturado. Se mantendrá una relación K/Ca entre 0,25-0,30, que podrá aumentar en el invierno a valores próximos a 0,4. Relaciones superiores a 0,45-0,50 pueden



causar carencias de calcio con síntomas visibles muy característicos. Las hojas de la parte superior de la planta se asemejan al sombrero de una seta, con los bordes necrosados y vueltos hacia el envés de la hoja. Niveles bajos de calcio en el extracto saturado, $<5 \text{ meL}^{-1}$, unido a una humedad relativa excesiva, inciden en la aparición de frutos curvados, “pillow”, Casas, 1995. Este problema se puede incrementar si la planta está sometida a estrés hídrico por exceso de salinidad. Relaciones $\text{K/Ca} > 0,5$ tienen una clara incidencia en la aparición de frutos curvos y disminuye conforme nos aproximamos a 0,4. La fertilización alta en calcio, tratando de corregir este tipo de problema, puede traer consigo, de manera indirecta, carencias de potasio o magnesio. La aplicación de determinadas enmiendas orgánicas al suelo puede ser el causante de este incremento en calcio. Esto se debe a que han sido acondicionadas con sulfato ferroso para así acelerar su descomposición. La acidez de este producto genera calcio del carbonato cálcico del suelo. Por tanto, se puede resumir que es fundamental conocer la causa que origina este tipo de problema. El análisis del suelo permitirá tomar las medidas adecuadas.

- **Judía.** Los problemas con el calcio son mucho menos acusados en este cultivo. Debido a que en la zona de Almería su plantación es muy variable, no sujeta a épocas fijas, como por lo general lo están el resto de los cultivos anteriores, los niveles de calcio son igualmente variables. Como norma es conveniente en verano-otoño mantener valores próximos a 9 meL^{-1} en el extracto saturado, que se podrán disminuir a $7-9 \text{ meL}^{-1}$ en invierno y volver a aumentarse a 9 meL^{-1} en primavera-verano. Las relaciones óptimas K/Ca son similares a las del pimiento. En verano-otoño, entre 0,17-0,20 y se aumentará hasta un máximo de 0,35 en los meses invernales. Como es un cultivo muy sensible a la salinidad, se deberá controlar, sobre todo en épocas de gran demanda de agua por la planta, el no sobrepasar 0,17. Relaciones altas asociadas a salinidad en el suelo originan el que los granos de la vaina queden en relieve y que la propia vaina se curve. Los síntomas visuales de la carencia de calcio son similares a los del pepino, pero menos pronunciados. Se deberá tener sumo cuidado con esta sintomatología, pues es prácticamente idéntica a la de la carencia de boro. El análisis foliar en este caso sirve de manera muy efectiva para dilucidar el problema. Excesos de calcio en el suelo originan antagonismos frente a potasio y magnesio. Si ocurre en épocas de fuerte demanda hídrica puede provocar estrés a la planta, el cual a su vez puede afectar a la calidad de los frutos.

- **Tomate.** En la zona del Poniente Almeriense, los valores de calcio en las aguas y suelos son relativamente bajos. En El Alquíán-La Cañada, zona de cultivo de tomate por excelencia, los niveles de calcio suelen ser por lo general suficientes tanto en el suelo como en las aguas de riego. Las aportaciones de calcio en el Poniente deberán mantener en el suelo unos niveles próximos a $10-12 \text{ meL}^{-1}$ en el extracto saturado. Posteriormente se aumentarán a $12-15 \text{ meL}^{-1}$, como en toda la fertilización, para conseguir unos valores mínimos de CE_{es} de 4 dSm^{-1} de cara a los meses invernales. La relación K/Ca deberá mantenerse próxima a 0,2, ($\text{K}=2,5 \text{ meL}^{-1}$, $\text{Ca}=12 \text{ meL}^{-1}$). Se aumentará hasta 0,35 en el invierno, ($\text{K}=4-5 \text{ meL}^{-1}$, $\text{Ca}=12-15 \text{ meL}^{-1}$). Esta relación se mantendrá menor de 0,4 ya que puede inducir problemas en la absorción del Ca, provocar carencias e incluso la aparición de BER. En la zona de El Alquíán-La Cañada, en cultivos de otoño-invierno, la acumulación de Ca en el suelo puede ser la causa de posibles carencias de K, las cuales provocan los conocidos ripening, coloraciones irregulares de los frutos. Esta acumulación puede llegar

a alcanzar niveles próximos a 20-25 meL⁻¹ en el extracto saturado. Esto obliga a mantener en el suelo 8 meL⁻¹ de K. Es un problema frecuente el abuso de fertilización cálcica en esta zona, para tratar de controlar excesos de sodio en el agua de riego, sin tener en consideración el calcio ya existente en el agua de riego y en el propio suelo. Las acumulaciones de calcio están asociadas, en el suelo, a valores elevados de sulfatos que a su vez originan problemas en la absorción del molibdeno. La carencia de calcio sin síntoma de BER en los frutos, en esta zona y en los meses invernales, suele ser la manifestación de una típica fisiopatía causada por factores ambientales como bajos niveles de luz y alta humedad relativa, >90%, durante periodos de 10-12 días. Se puede observar también en La Cañada de Gallego, Mazarrón, Murcia, en la misma época y con aguas de riego y suelos con abundante calcio, Casas, 1996. En primavera-verano se deberá mantener una relación K/Ca próxima a 0,17-0,20, procurando que la $CE_{es} \leq 4 \text{ dSm}^{-1}$. Valores de $CE_{es} \geq 7 \text{ dSm}^{-1}$ inducirán problemas de BER aunque los niveles de calcio estén próximos a 15-20 meL⁻¹. Es frecuente observar este tipo de problema en La Vega de Motril, Granada, y en el Levante Almeriense. Otro ion causante de graves problemas de BER es el NH_4^+ , por ello se tendrá especial cuidado con la fertilización amoniacal en aquellos suelos con niveles de calcio bajos.

- **Berenjena.** Los niveles normales de calcio en el suelo oscilarán entre 10-12 meL⁻¹, manteniendo una relación K/Ca próxima a 0,25-0,30. No se observan síntomas de carencia de calcio en la hoja, aunque si es frecuente la aparición de BER en los frutos. Este inicialmente es interno, no apreciable a simple vista si no se abre el fruto y posteriormente mostrará la típica mancha apical. La relación K/Ca, en estos casos, es superior a 0,5. Generalmente estos excesos de potasio provienen de abonados inadecuados. En éste cultivo, los excesos de nitrógeno y la falta de luz provocan en los frutos coloraciones rosáceas. Disminuyendo la relación N/K se puede paliar este desajuste. Para ello se eleva el potasio en forma de sulfato, pero este aumento de la relación K/Ca suele llevar consigo la aparición de BER. El exceso de nitrógeno amoniacal y su antagonismo frente al calcio es otro de los causantes de esta fisiopatía.

- **Melón.** No es un cultivo que presente problemas con el calcio. En el inicio de la plantación, en invierno-primavera, los valores en el suelo oscilan entre 8-12 meL⁻¹, manteniéndose una relación K/Ca de 0,25. Esta se elevará posteriormente hasta un máximo de 0,35. No es conveniente sobrepasar la relación de 0,5. Tiene una buena tolerancia a la salinidad y en primavera-verano esta puede ser incluso superior a la de cultivos muy tolerantes, como el tomate, en cuanto a los problemas de calcio. En zonas como Mazarrón, en donde los problemas de estrés hídrico provocan BER en el tomate, el melón no presenta problemas. El exceso de nitrógeno amoniacal puede provocar problemas en la absorción de calcio, aunque la planta no muestre síntomas visibles. La acumulación de calcio en el suelo inducirá deficiencias en la absorción de potasio, disminuyendo así su contenido en azúcares, Casas, 1996.

- **Sandía.** Al igual que el melón, no suele ser un cultivo problemático en cuanto al calcio. Los valores óptimos de calcio en el suelo están próximos a 10 meL⁻¹ y la relación K/Ca debe ser 0,3. A diferencia del melón, sí puede presentar problemas de BER, aunque son muy raros en la zona del Poniente. Parece ser que las variedades de tipo cilíndrico



son más susceptibles que las de tipo esférico a ésta fisiopatía. Frente al BER del tomate, esta fisiopatía en la sandía no se ve agravado por altos índices de nitrógeno amoniacal, Snowden, 1991.

- **Calabacín.** Al comienzo del cultivo se mantendrán en el suelo niveles de $8,0-10 \text{ meL}^{-1}$ y una relación K/Ca de 0,25. Más tarde, al elevar el nivel de potasio se mantendrán relaciones de 0,30-0,35. No es normal hallar problemas relacionados con la carencia de calcio.

- **Col china.** Es posiblemente en la zona del Poniente donde se presentan más problemas con éste elemento. A diferencia del resto de los cultivos, en éste la deficiencia de calcio puede provocar la pérdida de toda la plantación. Los desajustes nutricionales en este cultivo están relacionados, por lo general, con el calcio, tanto con su absorción por parte del sistema radicular, como por su posterior transporte dentro de la planta. Son los denominados tip-burn, o pudrición apical. Estos pueden ser externos o internos y en ambos casos el calcio siempre está involucrado. El externo está inducido por exceso de nitrógeno, fundamentalmente amoniacal, que inhibe su absorción. Es un problema fácilmente visible y es posible controlarlo mediante aportaciones de calcio vía foliar. La pudrición interna es mucho más peligrosa, ya que no es observable si no es rajando la col por la mitad. Suele estar relacionado con excesos de potasio. Su corrección es prácticamente imposible por no poder actuarse sobre el corazón de la col. Se suele detectar posteriormente la aparición de una bacteriosis, erwinia, motivada por la pudrición del tejido interno. Por ello, en éste cultivo es imprescindible conocer, mediante el análisis previo del suelo, los niveles de partida. Se consideran óptimos valores entre $8-10 \text{ meL}^{-1}$. La relación K/Ca inicial debe estar próxima a 0,17-0,19 y en el desarrollo de la cabeza a 0,22-0,25. Valores superiores a 0,4 pueden bloquear la absorción del calcio. Debido a que no es una planta tolerante a la salinidad, los excesos de sodio unidos a $\text{CE}_{\text{es}} > 3-4 \text{ dSm}^{-1}$ inducirán problemas en la absorción del calcio. Al mismo tiempo, humedades relativas bajas impiden el movimiento del calcio en la planta, provocando translocaciones del calcio de la zona de la cabeza hacia las hojas externas, dando origen a la pudrición interna. El análisis del extracto saturado se deberá complementar con el foliar. Esto nos permitirá conocer los niveles que tenemos en la planta en el momento de formarse la cabeza y actuar en consecuencia, Casas, 1986.

Otro de los problemas que suelen aparecer en éste cultivo es el exceso de calcio en el suelo, $>20 \text{ meL}^{-1}$, cuyo origen surge tratando de prevenir el problema explicado anteriormente. Si el calcio proviene de aportaciones elevadas en nitrato cálcico, se podrá presentar además otro tipo de problema adicional, toxicidad por exceso de nitratos, Casas, 1996. Los contenidos altos de calcio en el suelo, suelen ir asociados a CE_{es} también altas, que pueden provocar problemas en la absorción de agua. Si se mantiene una fertilización reducida en potasio y alta en calcio, $\text{K/Ca} < 0,1$, se puede inducir una deficiencia en potasio. En menor medida, un nivel bajo de potasio originará una col que no terminará de formarse, presentará poco peso y no será viable comercialmente.

- **Lechuga.** Al igual que el anterior cultivo éste puede presentar también tip-burn, aunque de tipo externo. El denominado “corazón negro” suele estar asociado a carencias de boro y no debe ser confundido. El tip-burn suele estar relacionado con problemas de anta-

gonismo NH_4/Ca o Na, K/Ca . Por ello, se deben mantener unos niveles mínimos de 8 meL^{-1} de calcio en el extracto saturado y controlar los niveles de humedad y CE en el suelo. Es preciso evitar encharcamientos que originen problemas con la absorción del calcio. La deficiencia en calcio hace a la lechuga muy susceptible a *Botrytis cinerea*. Los excesos de calcio originan los mismos desajustes en la absorción de potasio que en el anterior cultivo.

▲ **Magnesio:** hasta hace unos años era uno de los elementos que originaba más problemas en la zona del Poniente Almeriense. Esto era debido a que las aguas de la zona, de $\text{CE}_a = 0,4 \text{ dSm}^{-1}$, contienen unos niveles en magnesio inferiores a los 2 meL^{-1} . Los niveles mínimos que deberán tener las aguas de riego estarán entre $3,0\text{-}3,3 \text{ meL}^{-1}$. Por ello es imprescindible el aporte de este ion en la fertilización de los cultivos. En las aguas de CE_a entre $0,4\text{-}1,0 \text{ dSm}^{-1}$ el magnesio oscila entre los $3,0\text{-}4,0 \text{ meL}^{-1}$, por encima del nivel mínimo, por lo que se puede obviar su fertilización. Las $\text{CE}_a > 1 \text{ dSm}^{-1}$ contienen niveles de magnesio del orden de 6 meL^{-1} . En zonas como El Alquíán-La Cañada, los niveles son aún superiores, lo mismo ocurre en el Levante Almeriense y zona de Motril, donde prácticamente no es preciso la fertilización con este elemento.

- **Pimiento.** Era posiblemente el cultivo en donde se diagnosticaban mayores problemas de deficiencia de este elemento, motivadas por lo general por tener niveles de magnesio inadecuados en la fertilización. Otra posible causa es debida a la utilización de abonado alto en potasio, nitrato o sulfato, para así aumentar los niveles de CE de la solución nutritiva de riego. De esta manera se elevan los valores de CE del suelo, consiguiendo así frenar el crecimiento de la planta e inducir la floración y cuajado de los frutos. La causa de esto se debe a la dificultad de controlar el desarrollo de la planta cuando los niveles de luz son bajos, por un excesivo encalado del invernadero. La acumulación de potasio en el suelo, unido a bajas concentraciones de magnesio, induce una carencia de este elemento en el momento de engorde de los frutos. Este problema provoca una fuerte defoliación de las hojas basales y si no se actúa de manera inmediata, a la aparición de los primeros síntomas, se podrá perder el cultivo en un plazo no superior a diez días. El valor mínimo del magnesio en el extracto saturado deberá ser de $4,0\text{-}5,0 \text{ meL}^{-1}$ y mantener una relación K/Mg de $0,25\text{-}0,30$. Cuando entran en producción, con valores de potasio en el suelo de $2,5 \text{ meL}^{-1}$, es conveniente que el magnesio esté próximo a $8,0\text{-}9,0 \text{ meL}^{-1}$. Relaciones $\text{K/Mg} > 0,5$ pueden inducir la carencia de magnesio, por un exceso de potasio. El nivel óptimo, en el extracto saturado, del calcio frente al magnesio debe ser de 1,5. En producción los valores adecuados serán: $\text{K} = 2,5 \text{ meL}^{-1}$, $\text{Ca} = 12 \text{ meL}^{-1}$, $\text{Mg} = 8 \text{ meL}^{-1}$ y si en el suelo tenemos un valor de sodio de 5 meL^{-1} , la CE_{es} será de $2,5\text{-}2,6 \text{ dSm}^{-1}$, valor considerado correcto.

La relación $\text{Ca/Mg} < 1$ es claramente deficitaria en calcio y deberá ser corregida y si la relación $\text{K/Ca} > 0,40$, el problema se agrava doblemente por el potasio y el magnesio, produciendo carencia de calcio y posiblemente BER en los frutos. El análisis de suelo complementado con el análisis foliar permitirá conocer en qué niveles se encuentra la plantación y de esta manera, actuar sobre la fertilización. Para diagnosticar la carencia de magnesio el análisis foliar es la mejor herramienta y el análisis de suelo permitirá ajustar el abonado con posterioridad, Casas, 1995. La relación $\text{Ca/Mg} > 2,75\text{-}3,0$ se considera excesiva en calcio y puede inducir una deficiencia en magnesio.



- **Pepino.** La época de plantación y la calidad de las aguas son similares a las empleadas en el cultivo del pimiento. Por ello es aplicable lo comentado anteriormente. Los niveles en el suelo varían ligeramente, considerándose óptimos entre 5,0-6,0 meL^{-1} , manteniendo una relación K/Mg de 0,35-0,40. Valores superiores a 0,60 pueden inducir carencia de magnesio. La relación Ca/Mg deberá ser mayor o igual a 1,5 y se mantendrá inferior a 3,0. En los problemas detectados en este cultivo, en cuanto a magnesio, suelen estar involucrados o el calcio por exceso, tratando de corregir problemas de curvado o de carencia, o el potasio, cuando se detecta un cierto estrangulamiento en la zona del pedúnculo del fruto. En ambos casos si los niveles de magnesio en el suelo son bajos o no se mantienen las relaciones anteriores pueden dar lugar a su carencia. El análisis foliar es el mejor método de diagnóstico de la carencia, Casas, 1995.

- **Judía.** Al ser las aguas que se utilizan en este cultivo de muy buena calidad, debido a su poca tolerancia a la salinidad, es normal que su contenido en magnesio sea bajo. Por ello, se deberá aportar como norma magnesio en la solución nutritiva de riego. La concentración de entrada deberá ser de 3,3 meL^{-1} , para mantener en el extracto saturado del suelo un nivel de 4,0-5,0 meL^{-1} . La relación K/Mg deberá ser de 0,30-0,35. Con un nivel de $K = 2,25 \text{ meL}^{-1}$ será preciso aumentar el nivel del magnesio hasta 6,5 meL^{-1} . La relación Ca/Mg > 1,2-1,5 e inferior a 2,5-2,75. En este cultivo las carencias de potasio y magnesio pueden ser confundidas entre sí, como ocurre también en el caso del pimiento. En la judía es más problemático, ya que las hojas inferiores de la planta presentan en ambas carencias, cuando estas son muy acusadas, una coloración rojiza que las hace difíciles de distinguir. El análisis del suelo, así como el foliar, permiten la aclaración.

- **Tomate.** Los valores de magnesio en el suelo variarán en función de la calidad de las aguas. En la zona del Poniente se mantienen valores que oscilan, en el extracto saturado, entre 10-12 meL^{-1} . La relación óptima K/Mg se encuentra entre 0,25-0,35 y no debe superar el valor 0,50. Existe un fuerte antagonismo entre los dos iones, que puede inducir su carencia, sobre todo en invierno, cuando se fuerza la fertilización potásica. En aguas salinas se pueden tener valores superiores a 15 meL^{-1} y por lo tanto en el suelo estarán próximos a los 20 meL^{-1} . Se deben mantener unos valores de potasio en el extracto saturado entre 5,0-7,0 meL^{-1} y una relación K/Mg entre 0,25-0,35. En estos casos es importante que esta concentración de potasio no bloquee la de calcio y que este último mantenga una relación Ca/Mg > 1. Valores inferiores en la relación pueden ser motivo de la aparición de BER en los frutos. El valor idóneo en la relación Ca/Mg se encuentra entre 1,2-1,5. Valores superiores a 3,0 pueden afectar gravemente al magnesio, apareciendo problemas de carencia. En las zonas anteriormente citadas no existen aguas de riego con valores elevados en calcio. En cambio, en la zona del Valle del Almanzora (Levante Almeriense) y en Castell de Ferro-La Rábida (Costa de Granada), estas pueden superar los 20 meL^{-1} . En estos casos es práctica habitual la utilización de parte del aporte magnésico por vía foliar, para así tratar de contrarrestar estos excesos. En los últimos años se detectan carencias aparentemente de magnesio en zonas de cultivo en donde el nivel de éste es alto.

Se estará, posiblemente, ante una carencia de cinc. El análisis foliar es el mejor método en este caso para diagnosticar la carencia, Casas, 1993 y Casas, 1996.

- **Berenjena.** No suele ser un cultivo que presente problemas con este elemento. Con aguas de baja salinidad, que no lleguen al mínimo de 3,0-4,0 meL⁻¹, será imprescindible su aporte en la fertilización. Se deben mantener en el extracto saturado contenidos de magnesio del orden de 10 meL⁻¹ y la relación K/Mg = 0,4. Relaciones superiores a 0,6 podrán originar problemas de absorción de magnesio. La relación Ca/Mg debe ser próxima a 1,5.

- **Melón.** Como en el caso de la berenjena, este cultivo no suele presentar problemas con este elemento. Se deben mantener niveles en el extracto saturado de 8-10 meL⁻¹. Es fundamental que se mantenga una relación K/Mg = 0,35-0,45 y no debe sobrepasar el valor de 0,6. El valor del potasio en el suelo, unido a la conductividad eléctrica de éste, nos dará el índice de sólidos totales en el fruto. Por lo tanto, en la primavera, durante la maduración de los frutos, es fácil superar niveles de potasio en el suelo de 5,0-6,0 meL⁻¹ y superar la relación de 0,6. En estos casos es fundamental conocer el nivel de los distintos iones en el extracto saturado, para así, en el momento del forzado con potasio, no desequilibrar el suelo.

- **Sandía.** Es más frecuente que en el cultivo anterior la aparición de problemas con el magnesio. Se deben mantener los valores y relaciones comentados para el melón.

- **Calabacín.** Los niveles se mantendrán entre 5,0-6,0 meL⁻¹, conservando una relación K/Mg de 0,35-0,5. No es frecuente la aparición de carencias en magnesio, aún con relaciones superiores a 0,5. La relación Ca/Mg se mantendrá mayor o igual a 1,5.

- **Col china.** Se deben tener en el suelo contenidos entre 5-7 meL⁻¹ en el extracto saturado y una relación K/Mg = 0,30-0,35. Relaciones superiores pueden dar lugar a problemas de antagonismo frente al magnesio y si ocurre, lo más seguro es que esté afectando este exceso de potasio también al calcio. En este cultivo la fertilización potásica se lleva siempre muy controlada, no así la de calcio, de la que se abusa en exceso. Este puede ser motivo de que aparezcan problemas con el magnesio. Es frecuente encontrar relaciones Ca/Mg > 3, que bloquean claramente su absorción.

- **Lechuga.** Suele presentar más problemas de magnesio que la col china. Mantener los mismos niveles y relaciones y procurar no aumentar en exceso los niveles de calcio.

▲ **Nitrógeno:** es uno de los elementos fundamentales en la nutrición de las plantas, por lo tanto, mantener unos niveles adecuados en la fertilización será clave para la obtención de rendimientos adecuados en el cultivo. A diferencia del potasio o el fósforo, de los que las aguas de riego prácticamente no tienen niveles apreciables, si es normal encontrar cantidades considerables de nitrógeno, fundamentalmente en forma nítrica. El nitrógeno amoniacal únicamente aparece en aguas residuales o en aguas de riego contaminadas con éstas, las cuales suelen ir acompañadas de valores superiores a 0,5 meL⁻¹ de fosfatos. Las concentraciones de nitratos en las aguas de riego oscilan entre los 0,1-0,2 meL⁻¹ hasta 6,0-8,0 meL⁻¹, en zonas como El Maresme (Barcelona) o Sanlúcar de Barrameda (Cádiz). Siempre están asociadas a contaminación por los drenajes de los suelos y suelen aparecer en pozos de poca profundidad. En la zona del Poniente, los contenidos son muy bajos,



menores de $0,5 \text{ meL}^{-1}$. En El Alquián-La Cañada pueden llegar a $1,0 \text{ meL}^{-1}$ y en La Vega de Motril hasta $2,0 \text{ meL}^{-1}$. Será conveniente conocer los niveles de nitratos que contienen las aguas de riego, para restárselos a la fertilización nitrogenada que se haga del cultivo.

A nivel del suelo, es imprescindible el conocimiento de los valores de nitratos de partida. Debido a que no se intercambian en el complejo húmico-arcilla, si aparecen acumulaciones, se podrán eliminar por lavado sin problema alguno. Independientemente de la concentración de nitratos en el suelo, será adecuado mantener unos valores mínimos que permitan controlar niveles altos de cloruros, si existieran en el suelo. Se puede considerar como valor mínimo aceptable de nitratos, de las especies hortícolas a las que nos estamos refiriendo, en el extracto saturado, a $4,0 \text{ meL}^{-1}$, y como nivel máximo a 18 meL^{-1} , Kafkafi, 1978.

- **Pimiento.** Los niveles de nitratos en el extracto saturado del suelo oscilan entre $7,0\text{-}8,0 \text{ meL}^{-1}$ en plena producción. En el inicio de la floración se consideran valores adecuados $4,0\text{-}6,0 \text{ meL}^{-1}$ y una relación N/K entre $2,2\text{-}2,4$, que se elevará a $3,0\text{-}3,2$ en producción. Mantener relaciones elevadas en el inicio del cultivo conlleva graves problemas en la floración, si además el valor de la CE_{es} es menor a 2 dSm^{-1} . Excesos en la fertilización nitrogenada asociado al sombreo del invernadero, en la época estival, pueden originar una fisiopatía denominada “colour spots”, una mancha amarillenta que aparece sobre la superficie de los frutos. Parece ser que existe una componente varietal importante en este desorden fisiológico, Aloni, 1994. La incidencia de este problema es nula cuando el nivel de fertilización en nitratos no supera los $7,0 \text{ meL}^{-1}$ y se eleva hasta un 30% cuando se aumenta a 17 meL^{-1} . Excesos en la fertilización nitrogenada aumentan la incidencia de enfermedades fúngicas en los meses invernales, con bajos niveles de luz y alta humedad relativa. Cuando este exceso es debido a nitrógeno amoniacal, aumenta de manera clara la aparición en los frutos de BER, debido al fuerte antagonismo NH_4/Ca , Roorda Van Eysinga, 1981.

- **Pepino.** El contenido de nitratos en el suelo estará en función de la época de plantación. En meses como agosto-septiembre, es normal mantener en el extracto saturado del suelo, valores próximos a 12 meL^{-1} , que irán disminuyendo conforme los niveles de luz disminuyan, hasta valores de $8,0\text{-}10 \text{ meL}^{-1}$. Excesos en los contenidos en nitratos del suelo pueden llegar a provocar quemaduras en el borde de las hojas, similares a las causadas por exceso de NaCl. La relación N/K en el inicio de la plantación estará próxima a $3,5\text{-}4,0$ y disminuirá hasta $2,75\text{-}3,0$ cuando disminuyan los niveles de luz. El nivel de fertilización oscilará entre $16\text{-}18 \text{ meL}^{-1}$ con altos niveles de radiación solar, pero evitando siempre que la CE_{es} sea superior a $2,5 \text{ dSm}^{-1}$. Es fundamental en este caso que los niveles de salinidad en el agua de riego sean muy bajos. Excesos en la fertilización nitrogenada pueden provocar amarillez en los frutos y una rápida senescencia de la planta.

- **Judía.** Debido a que se puede plantar en diversas épocas del año, su fertilización nitrogenada variará en función de los niveles de luz. El contenido en nitratos puede oscilar en el suelo entre $8,0 \text{ meL}^{-1}$, para altos niveles de luz, hasta los $6,0 \text{ meL}^{-1}$ para los bajos. Se mantendrá en el primer caso una relación N/K igual a $3,5$ y de $2,5$ en el segundo. En el inicio del cultivo, de cara al invierno, septiembre, es frecuente forzar el nitrógeno para conseguir un

desarrollo rápido de la planta antes de la llegada de los fríos. Es normal en estos casos llegar a tener en el suelo valores de 12 meL^{-1} y una relación N/K igual a 6,0. La supresión total del nitrógeno, en el momento en que la cabeza de la planta llega al alambre y el aumento del potasio en forma de K_2SO_4 , induce la floración y frena el desarrollo de la planta. Cuando el porcentaje de nitrógeno es alto frente al resto de los iones, existe una mayor incidencia de enfermedades fúngicas. La utilización de cantidades elevadas de estiércol en los sistemas de cultivo en enarenado origina una elevada liberación de nitrógeno amoniacal, que puede provocar una toxicidad en la planta. También puede afectar a la absorción de calcio.

- **Tomate.** Los valores en la zona tomatera de Almería, El Alquíán-La Cañada, en las plantaciones de primavera-verano, oscilan entre $8,0\text{-}12 \text{ meL}^{-1}$. Niveles altos en la fertilización nitrogenada, unidos a temperaturas relativamente elevadas, suelen originar el denominado “corrimiento de la flor”. La relación N/K oscila entre 2,25-2,5, aunque con niveles altos en potasio se han llegado a mantener valores de nitratos de 18 meL^{-1} y relaciones N/K de 2,5-3,0. Mantener valores altos de nitratos, unido a relaciones superiores a la anterior, puede inducir la aparición en los frutos de el denominado “blotchy ripening”, decoloración irregular de los frutos. Al mismo tiempo, los efectos del exceso de nitrógeno harán que los frutos pierdan consistencia y predispone a la planta a ataques fúngicos. Niveles altos en nitrógeno amoniacal producen una depresión en la absorción de potasio, calcio y magnesio, e induce la aparición de BER en los frutos, Kirkby, 1967. Este problema es de aparición frecuente después de enmiendas orgánicas excesivas. La liberación de NH_4^+ proveniente de los nitrógenos orgánicos induce problemas en la absorción de calcio, no así de potasio o magnesio, ya que los estiércoles contienen cantidades considerables de estos iones. Se detecta con frecuencia, después de lluvias copiosas, la aparición de carencias de nitrógeno con claros síntomas visuales, cuyo origen es el lavado del suelo. El análisis de éste y de la planta, en estos casos, es primordial para así ajustar el abonado en nitrógeno y no producir excesos que provoquen la aparición de *Botrytis cinerea*. La coloración pálida de las hojas, con los clásicos síntomas de las carencias de nitrógeno, puede estar motivada por una carencia de molibdeno.

- **Berenjena.** Los niveles de nitratos en el extracto saturado oscilan entre $7,0\text{-}8,0 \text{ meL}^{-1}$ y una relación N/K de 2,3-2,5. La acumulación de nitrógeno en el suelo puede originar la aparición de frutos con coloración rosácea en vez de negra. En estos casos es fundamental conocer, a nivel del suelo, los valores de nitrógeno, potasio y calcio, para de esta manera y forzando el potasio, hacer disminuir la relación N/K sin afectar al calcio.

- **Melón.** Como se trata de un cultivo que se suele plantar con posterioridad a uno de pepino o pimiento, es normal que puedan encontrarse en el suelo valores altos de nitratos. Como la época de plantación es en invierno, éste exceso de nitrógeno podrá provocar problemas de toxicidad en las plantas pequeñas. Si el nivel inicial supera los 10 meL^{-1} , es conveniente lavar el suelo previamente. El valor de partida deberá de ser de $6,0 \text{ meL}^{-1}$ en el extracto saturado y se irá aumentando hasta $10\text{-}12 \text{ meL}^{-1}$ conforme se desarrollen los frutos. Se mantendrá una relación N/K de 2,5-3,0 que se disminuirá en la maduración de los frutos a 2,2-2,5. Valores altos en la relación pueden causar problemas de acidez en los frutos, así como un aumento en la oquedad de éstos.



- **Sandía.** Se tendrá en cuenta lo comentado en el inicio del apartado del melón anterior. En este cultivo, sobre todo en las plantaciones injertadas, conductividades eléctricas bajas unidas a nitratos relativamente altos, suelen inducir problemas en la floración. Es primordial conocer el estado inicial de nitrógeno en el suelo para evitar problemas de este tipo. Se considera adecuado mantener, en el inicio del cultivo, valores de nitratos entre 5,0-6,0 meL^{-1} , que se elevarán hasta 8,0-10 meL^{-1} en el desarrollo de los frutos. En la maduración se mantendrán entre 7,0-9,0 meL^{-1} . La relación en el primer caso oscila entre 3,0-3,5, para disminuir hasta 2,75-3,0.

- **Calabacín.** En los inicios del cultivo se mantendrán valores próximos a 6,0 meL^{-1} y seguirán aumentando hasta 8,0-9,0 meL^{-1} . La relación N/K se mantendrá en los comienzos a 3,0 y se disminuirá en invierno a 2,5.

- **Col china.** Los valores iniciales deben de estar entre 4,0-5,0 meL^{-1} y se elevarán en el momento de la formación de la cabeza hasta 6,0-7,0 meL^{-1} . La relación N/K no es significativa en este cultivo, sí lo es la N/Ca, pues a nivel foliar es una de las causas de posibles problemas de pudrición externa. La relación normal oscila entre 0,75-0,9. Valores superiores a 1,5 indicarán de forma clara la existencia de un exceso de nitrógeno en el suelo. Si éste coincide durante periodos de baja luminosidad y un tiempo prolongado, puede ocasionar la fisiopatía denominada “gomasho”. Presenta un punteado negro a lo largo de los meristemos de crecimiento de la hoja, debido a la presencia de nitritos que atacan al citoplasma de las células. Este desorden nutricional se agrava si el valor de la conductividad eléctrica del suelo es ligeramente alto, Takahashy, 1981. Casas, 1996.

- **Lechuga.** Es aplicable en este apartado lo dicho para la col china, con la excepción de la fisiopatía “gomasho”, que no se ha observado. Sí se debe tener sumo cuidado en la aportación de nitrógeno amoniacal durante la época invernal, debido a los problemas de competencia que presenta frente al calcio. El exceso de nitratos, frente al calcio bajo como en el caso de la col china, es una de las posibles causas del tip-burn, Ashkar, 1971.

▲ **Fósforo:** siempre ha sido un elemento complicado en cuanto a los métodos de extracción e interpretación de los resultados. En suelos calcáreos, neutros o ligeramente ácidos, el método de Olsen, extracción con NaHCO_3 0,5 M a $\text{pH} = 8,5$, siempre marcará la pauta a la hora de interpretación de los resultados. El problema que se presenta con este método, desarrollado por Olsen, es que los hidróxidos y los bicarbonatos compiten en la desorción de los fosfatos de las partículas del suelo, originándose formas lábiles asimilables, pero también algunos fosfatos no lábiles son también desorbidos. El aumento del pH , junto a la solubilidad del calcio, hacen precipitar parte de este fósforo y por tanto, reducir su valor, Olsen, 1965. En zonas como el Poniente Almeriense los abonados de fondo en forma de superfosfato de cal se aproximan a los 500 Kg/ha/año. En el abonado de cobertera se aporta entre 3,3-5,0 L de ácido fosfórico del 75% por hectárea y riego, equivalente a 1,0-1,5 meL^{-1} . En estos casos los valores que se suelen obtener por el método de Olsen oscilan entre 50-150 mg/Kg de suelo, valores más que suficientes e incluso excesivos para cualquier cultivo hortícola. Por ello, se optó hace unos años a determinar el fósforo en forma de fósforo soluble en el extracto saturado del suelo.

Únicamente es aplicable en aquellos suelos que constantemente están siendo fertilizados con este elemento, Paauw, 1971; Olsen y Sommers, 1982; Fixen y Grove, 1990.

Durante las épocas frías suelen presentarse carencias de este elemento en cultivos como el pimiento, berenjena o tomate, con síntomas visuales claros y con niveles de fósforo normales en el suelo. El análisis foliar en estos casos dará unos resultados mucho más fiables. Se considera como nivel normal a los comprendidos entre 2,0-3,0 mgL⁻¹ de fósforo en el extracto saturado, pudiendo llegar hasta un máximo de 5,0 mgL⁻¹. Los niveles por encima de 7,5 mgL⁻¹ son claramente excesivos y los inferiores a 1,0 mgL⁻¹, deficitarios.

No se establecerá, como en los elementos comentados anteriormente, unos baremos de alto o bajo y unas relaciones para cada uno de ellos. Si los valores se encuentran dentro del rango de normalidad, no es de esperar problemas con este elemento. Si existen dudas, lo más efectivo será realizar un análisis foliar y establecer las oportunas conclusiones. Con temperaturas bajas en el suelo, la capacidad de absorción de fósforo por parte del sistema radicular es mínima. Por ello, en función del análisis foliar, se tratará su corrección, pero no por vía suelo, sino foliarmente.

Uno de los problemas que se pueden presentar es la acumulación de fósforo soluble en el suelo, el cual estará a disposición de la planta al aumentar la temperatura del suelo. Estos excesos >10 mgL⁻¹ de fósforo en el extracto saturado, pueden ser los causantes de carencias inducidas de zinc en cultivos como el tomate o la berenjena, o de boro en pimiento o judía en suelos neutros o ligeramente ácidos.

▲ **Sulfatos:** es un ion que siempre se acumula en el suelo y su nivel estará en función del contenido que tenga el agua de riego, así como de los aportes de fertilizantes en forma de sulfatos. Las enmiendas, tanto de yeso como de azufre, también incrementarán estos valores. Referirnos a valores mínimos en cuanto a las necesidades nutricionales de un determinado cultivo, no es necesario ya que se superan. Los excesos de sulfatos son generalmente el mayor problema y no su deficiencia, ya que afortunadamente la tolerancia a los niveles altos de sulfatos son muy superiores a los de cloruros, Bunt, 1988. Se deberá tener muy en cuenta, a la hora de interpretar los resultados analíticos de ion sulfato, que los valores de estos iones pueden ser superiores a los que existen realmente en capacidad de campo.

Concentración total de sales / meL ⁻¹	Solubilidad meL ⁻¹ (1)
32	32 (2)
60	39 (3)
120	50
240	63
480	71

(1) ESTIMADA USANDO LA ECUACIÓN AMPLIADA DE DEBYE-HÜCKEL SEGÚN EL MÉTODO DE TANJI, 1969.

(2) SOLUCIÓN SATURADA DE YESO EN AGUA DESTILADA, SIN AÑADIR NINGUNA OTRA SAL.

(3) PARA UNA SOLUCIÓN CONTENIENDO 1/3 NA⁺, 1/6 CA²⁺, 1/3 CL⁻ Y 1/6 SO₄²⁻.



El motivo es la posible solubilidad de CaSO_4 cuando se satura el suelo al hacer la pasta saturada, que no estarían solubles en capacidad de campo. En el caso de suelos ricos en yeso y no en otras sales, se puede estimar que la CE_{es} se puede incrementar en 2 dSm^{-1} . Ayers y Westcot, 1987. La solubilidad del CaSO_4 aumenta en función de la salinidad del suelo, o lo que es lo mismo, de la concentración total de sales. En la siguiente tabla se puede observar esta influencia. Solubilidad del yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, en función de la concentración total de sales, Bresler, 1982.

La precipitación de calcio en fracciones de lavado, $\text{FL} = 0,1$, es función del producto de la concentración del calcio por el sulfato en el agua de riego, expresado en meL^{-1} . Oster y Rhoades, 1977, estudiaron que la precipitación relativa de calcio expresado en porcentaje de calcio precipitado para aquellas aguas en que $[\text{Ca}][\text{SO}_4] > 30$ y $[\text{HCO}_3] < [\text{Ca}]$ se obtiene de la expresión siguiente:

$$\% \text{Ca}_{\text{ppdo}} = -0,001 ([\text{Ca}][\text{SO}_4])^2 \pm 0,13 ([\text{Ca}][\text{SO}_4]) + 44,3$$

Para un producto de las concentraciones $[\text{Ca}][\text{SO}_4] = 100$, nos predice que más del 50% del calcio debe estar precipitado. Esta precipitación se incrementa hasta un 75-80% para productos de concentraciones de 300-550, respectivamente. En la zona del Poniente Almeriense los niveles de sulfatos en suelos no salinos oscilan entre $4,0\text{-}10 \text{ meL}^{-1}$, debido al escaso contenido que tienen las aguas de riego. En zonas como el Levante Almeriense, El Alquíán-La Cañada y Adra, los valores suelen ser muy superiores, ya que las aguas de riego suelen tener concentraciones mayores de 10 meL^{-1} . Por tanto, en el extracto saturado los valores son mayores de 15 meL^{-1} . En los suelos salinos y no enarenados, es normal el observar una fina costra blanquecina por depósitos de yeso. En estos casos, los niveles de sulfatos suelen ser mayores de 30 meL^{-1} . En aquellos suelos con elevados contenidos en sulfatos y pH próximo a 7 (bajos en caliza o neutros) se pueden detectar carencias de molibdeno en tomate y melón, debido al fuerte antagonismo existente entre $\text{SO}_4^{2-}/\text{MoO}_4^{2-}$. Martin-Prével, 1984.

▲ **Bicarbonatos y carbonatos:** no es frecuente encontrar iones carbonato, CO_3^{2-} , en los suelos, ya que este aparece cuando el pH es mayor de 8,2. La existencia de pequeñas concentraciones de calcio hace precipitar al ion carbonato en forma de carbonato cálcico. Si el pH del suelo es superior a 8,5 se pueden encontrar cantidades considerables de este ion y generalmente estará ligado al ion sodio. Las características de estos suelos, por lo general naturales, estarían encuadrados en el grupo de los suelos sódicos, que como se vio anteriormente, presentan graves problemas de estructura. A veces la existencia de pH elevados y por tanto de la presencia de iones carbonato en el suelo, viene motivada por la aplicación de enmiendas orgánicas, estiércoles, que ya de por sí poseen un pH elevado, mayor de 8,5-9,0.

En ocasiones la existencia de $\text{pH} > 9,0$ no nos indica la presencia de suelos sódicos y es debida únicamente a la existencia de niveles altos de caliza, con contenidos muy elevados en caliza activa. Este problema se suele detectar en suelos no cultivados y en perfiles profundos, mayores de un metro. Las concentraciones normales de ion bicarbonato en el extracto saturado oscilan entre $0,5\text{-}1,5 \text{ meL}^{-1}$. Se consideran altas por encima de $5,0 \text{ meL}^{-1}$, en este último caso es conveniente la utilización de una enmienda ácida, tipo azufre, para que disminuya.

▲ **Boro:** en los suelos de cultivo el contenido en boro es, por lo general, función del existente en el agua de riego. Por ello, es fundamental conocer los niveles de partida de éste. En la zona del Poniente son bajos, no llegando a superar $1,0 \text{ mgL}^{-1}$. En El Alquíán-La Cañada si se encuentran niveles superiores y en el Campo de Níjar se han llegado a detectar aguas con valor de 10 mgL^{-1} . Por esta razón es conveniente consultar los trabajos de Porta, 1980; Cervantes, 1991 y Martínez Vidal, 1991, sobre los contenidos de boro en las aguas y suelos de distintas zonas de la provincia de Almería.

Manteniendo fracciones de lavado entre 0,22-0,25 es posible mantener en el extracto saturado valores próximos al del agua de riego. Hay que tener en cuenta que para lavar el boro de un suelo se necesita el triple del volumen de agua que para lavar una cantidad equivalente de cloruros o de sales en general, Ayers y Westcot, 1987.

La tolerancia varía en función del cultivo, variedad, clima y suelo. Los niveles máximos en el extracto saturado sin pérdida de rendimiento de los cultivos son, según Ayers y Westcot, 1987, los siguientes:

Judía	Sensible	0,75-1,0 mgL^{-1}
Pepino	Moderadamente sensible	1,0-2,0 "
Pimiento	Moderadamente sensible	1,0-2,0 "
Lechuga	Moderadamente tolerante	2,0-4,0 "
Melón	Moderadamente tolerante	2,0-4,0 "
Tomate	Tolerante	4,0-6,0 "

Según Bresler, 1982:

Judía	Sensible	0,75 mgL^{-1}
Pimiento	Semitolerante	1,25 "
Tomate	Semitolerante	1,75 "
Lechuga	Tolerante	3,0 "

Se observan claras discrepancias entre ambos sistemas de clasificación. Es evidente que se tendrá que utilizar como base, pero adaptándola a las zonas de cultivo de este trabajo.

- **Pimiento.** Las aguas con que se riega este cultivo contienen por lo general valores inferiores a $0,5 \text{ mgL}^{-1}$. Se detectan carencias con relativa frecuencia y no se han observado cultivos con problemas de toxicidad.

- **Pepino.** Las aguas contienen menos de $0,5 \text{ mgL}^{-1}$. La carencia es menos frecuente que en el cultivo anterior. No se observa problema de toxicidad.

- **Judía.** Es igual que en los dos cultivos anteriores, aunque si se detectan con frecuencia carencias de boro, sobre todo con aquellas aguas con índices de $0,075 \text{ mgL}^{-1}$.



Únicamente se ha detectado una plantación con síntomas claros de toxicidad a nivel foliar. El contenido de boro en el extracto saturado era de $2,2 \text{ mgL}^{-1}$. No fue debida al empleo de un agua con niveles altos, sino a una aplicación excesiva de boro al suelo.

- **Tomate.** En la zona del Poniente no es frecuente encontrar plantaciones con deficiencias o toxicidades por boro. En la zona de El Alquíán-La Cañada y Campo de Níjar la carencia es muy rara, ya que el nivel mínimo de las aguas supera los $0,5 \text{ mgL}^{-1}$, suficiente para las necesidades del cultivo. La toxicidad suele aparecer en aquellas aguas con valores superiores a los $3,5\text{-}4,0 \text{ mgL}^{-1}$.

- **Berenjena.** No se detectan plantaciones con síntomas de carencia o toxicidad.

- **Melón.** Igual que la berenjena.

- **Sandía.** Si aparecen, aunque raramente, plantaciones con síntomas de carencia cuando se utilizan aguas de riego con bajos índices de boro, menor de $0,1 \text{ mgL}^{-1}$. La toxicidad es también muy rara y siempre debida a aplicaciones altas de boro al suelo.

- **Calabacín.** Es relativamente frecuente la aparición de la carencia. Esta se muestra de manera clara, afectando la calidad del fruto.

- **Lechuga y col china.** Estos son dos cultivos que necesitan cantidades apreciables de boro y como es un dato bien conocido, no suelen presentarse problemas de carencia o toxicidad.

El origen de las carencias en todos los casos es la utilización de aguas con bajos contenidos en boro y no hacer los aportes necesarios en la fertilización.

Cationes de cambio y capacidad de intercambio catiónico de un suelo:

El suelo consta de dos fases, una líquida, formada por cationes y aniones solubles en disolución y otra sólida, constituida por coloides, arcillas, limos y arenas. La característica más importante de la fase sólida es su electronegatividad, debida sobre todo a las arcillas y a las partículas coloidales. Esta electronegatividad permite la retención o adsorción de cationes sobre la superficie sólida. Estos cationes son asimilables para la planta, por ejemplo mediante el intercambio de protones, H^+ , liberados por la raíz de la planta.

En la fertirrigación, iones como el potasio, amonio, calcio, etc., pasan a la solución del suelo. De ésta, una parte pasará a la fase sólida por intercambio. Una de las ventajas de la adsorción es la retención de nutrientes, evitando así las pérdidas por drenaje. Uno de sus inconvenientes es la posibilidad de que un catión no deseable, por ejemplo el sodio, sea intercambiado por el suelo cuando se utilizan aguas salinas. Este intercambio originará graves problemas a la estructura física del suelo.

El intercambio entre un suelo X y los cationes M^{m+} y N^{n+} se puede representar por la reacción:



Esta es una reacción reversible y para evitar desequilibrios en las cargas y mantener la neutralidad deberá ser químicamente equivalente, ejemplo: dos cationes monovalentes serán intercambiados por un catión divalente.

La suma total de los cationes de cambio se denomina capacidad de intercambio catiónico, CIC. Se expresa en me/100 g de suelo seco o en cmolkg⁻¹ en unidades SI. La CIC se puede expresar en función de la densidad de carga de la superficie, Γ y de S, el área de la superficie específica de la fase sólida. Bolt, 1976.

$$CIC = 10^5 S \times \Gamma (*)$$

$$S = m^2 \text{ kg}^{-1}; \Gamma = \text{kem}^{-2} \text{ y } CIC = \text{me} / 100 \text{ g ó cmolkg}^{-1}$$

Para los diferentes tipos de arcillas, Γ y S son las siguientes:

Tipo de arcilla	Γ (kem ⁻²)	S (m ² kg ⁻¹)
Montmorillonita	10 ⁻⁹	(60 a 80)·10 ⁴
Caolinita	2·10 ⁻⁹	(0,1 a 2·4)·10 ⁴
Ilita	3·10 ⁻⁹	(5 a 20)·10 ⁴

En la zona del Poniente, las partículas inferiores a 0,002 mm, en las que están incluidas las arcillas y los coloides, están constituidas fundamentalmente por: ilitas, cloritas y caolinitas, en orden decreciente de cantidad. Por ejemplo: el suelo de la zona de Las Palmerillas, El Ejido, tiene la siguiente composición mineralógica: ilita 82%, clorita 8%, caolinita 6%, paragonita 4% y esmectita, trazas. Martínez-Raya, 1987.

Para la materia orgánica, humus, la CIC puede oscilar entre 150-200 me/100 g. Mediante la ecuación anterior (*) y el porcentaje de materia orgánica se puede estimar la capacidad de intercambio catiónico de un suelo. En el laboratorio se determina la CIC por el método AcONa-EtOH-AcONH₄ y los cationes de cambio por el método del AcONH₄. Según los Métodos Oficiales de Análisis, Tomo III del MAPA, 1994.

Los resultados de los cationes de cambio se pueden expresar en me/100 g, cmolkg⁻¹, mgkg⁻¹ o en porcentaje sobre la CIC. A la suma de los cationes de cambio, sodio, potasio, calcio y magnesio, se le denomina suma de bases. Si el suelo fuera de características ácidas, tendría también en el complejo de cambio Al³⁺ o H⁺. Se denomina porcentaje de bases a la suma de los cationes de cambio con respecto a la CIC. El porcentaje de diferencia será debido a la acidez de cambio. En las zonas de cultivo a las que nos estamos refiriendo son prácticamente inexistentes este tipo de suelos. La única excepción la constituye una zona muy limitada en El Solanillo en donde existen suelos rojos ácidos, con altos niveles de Mn²⁺ de cambio, muy fitotóxicos para el cultivo del pimiento. Casas, 1995.

3.3. (Interpretación de los resultados]

- **Sodio.** Este ion se evalúa en porcentaje, PSI, del complejo de cambio y en función



del tipo de suelo. Niveles altos afectan a la infiltración y estructura en suelos arcillosos, mientras que en suelos de estructura gruesa no se aprecian los efectos.

La bibliografía es extensa en cuanto a la tolerancia de los cultivos al sodio. Los problemas se asocian entre salinidad y sodio intercambiable. Así aparecen las clásicas relaciones entre el SAR y el PSI. Se deberá tener en cuenta que el valor del sodio en el extracto saturado es, por lo general, entre el 30-50% del sodio del complejo de cambio. Se diferencia de otros iones, como el potasio, en el que es normal que el del extracto saturado sea sólo el 10% del existente en el complejo de cambio.

Los datos son escasos cuando sólo se tiene en cuenta la tolerancia del cultivo al PSI, bajo condiciones no salinas. Bresler, 1982.

Sensibilidad	PSI	Cultivo
Extremadamente sensible	2-10	Cítricos, aguacate
Sensibles	10-20	Judía (1)
Moderadamente tolerante	20-40	Arroz (2)
Tolerante	40-60	Tomate (3)
Muy tolerantes	>60	? (3)

- (1) IMPIDE EL CRECIMIENTO PARA BAJOS VALORES DE PSI, AUNQUE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SUELO SEAN BUENAS.
 (2) IMPIDE EL CRECIMIENTO DEBIDO A FACTORES NUTRICIONALES Y CONDICIONES ADVERSAS DEL SUELO.
 (3) IMPIDE EL CRECIMIENTO DEBIDO A LAS CONDICIONES ADVERSAS DEL SUELO.

En la zona del Poniente los valores de PSI son bajos, por lo general menores del 8%, sin ningún tipo de problema. En la zona de El Alquíán-La Cañada y Campo de Níjar, estas oscilan entre 8-15%, que se pueden considerar entre moderado y alto. Niveles superiores al 15%, considerados altos, son raros en suelos en cultivo. No así en suelos naturales, en donde es normal encontrar suelos limosos, tipo grea, con características sódicas y PSI > 25%. Suelos con textura fina y PSI > 20% resultan peligrosos.

• **Potasio.** Generalmente este se evalúa en me/100 g, mgkg^{-1} , o porcentaje. Según López-Ritas, 1978, los valores de potasio cambiante, en función de la estructura del suelo son, para los cultivos intensivos de hortalizas, los siguientes:

Textura del suelo	Muy bajo (mgkg^{-1})	Bajo (mgkg^{-1})	Medio (mgkg^{-1})	Alto (mgkg^{-1})	Muy alto (mgkg^{-1})
Gruesa	50	51-100	101-200	201-400	>400
Media	75	76-150	151-300	301-600	>600
Fina	100	101-200	201-400	401-800	>800

Según Hernández-Abreu, 1980, se considera como valor mínimo de potasio cambia-

ble, en cultivos hortícolas, 150 mgkg^{-1} . Benton, 1985, estima este valor en 200 mgkg^{-1} . En la zona del Poniente Almeriense los valores de potasio intercambiables oscilan, en función de la textura del suelo, entre $100\text{--}500 \text{ mgkg}^{-1}$. El primer valor corresponde a un suelo de estructura gruesa, tipo franco arenoso y el segundo a los franco-arcillosos, suelos de textura fina denominados comúnmente de cañada. Los franco-arenosos tienen una CIC del orden de $6 \text{ me}/100 \text{ g}$ y en este caso, un porcentaje de potasio de cambio del 4%.

Los franco-arcillosos contienen un 8% del potasio de cambio y una CIC de $15 \text{ me}/100\text{g}$. Se considera como nivel óptimo de partida, antes de iniciar el cultivo y después de aportar el abonado de fondo, valores entre 7-8% de potasio intercambiable. Así, en el primero de los casos anteriores, estaríamos frente a un valor bajo y en el segundo ante uno normal. El nivel final en potasio estará en función del magnesio existente en el complejo de cambio y de las relaciones que mantienen entre ellos.

- **Magnesio.** Se considera como nivel mínimo de magnesio cambiante y para cultivos hortícolas, a $1,2 \text{ me}/100 \text{ g}$. López-Ritas, 1978. Para Hernández-Abreu, 1980, valores inferiores al 10% son inadecuados, entre 10-20% adecuados y entre 20-30%, para cultivos muy exigentes en magnesio. Valores superiores al 50% han mostrado un efecto depresivo en algunos cultivos.

En la zona del Poniente los valores de magnesio cambiante oscilan entre $1,5 \text{ me}/100 \text{ g}$, en suelos de textura gruesa, y $4,5 \text{ me}/100 \text{ g}$ en los de estructura fina. En el resto de las zonas los niveles de magnesio superan los $2 \text{ me}/100 \text{ g}$. Por tanto se mantienen siempre valores superiores al mínimo. Niveles mayores de $5 \text{ me}/100 \text{ g}$ de magnesio cambiante, sólo son detectables en algunos suelos muy pesados. Esto se debe, por lo general, a que son deficitarios en potasio y las posiciones libres de complejo de cambio han sido ocupadas por el magnesio.

El magnesio intercambiable sufre variaciones a lo largo del tiempo de cultivo. La razón es que su capacidad de retención en el complejo es muy similar a la del potasio. Conforme el sistema radicular de la planta extrae de la solución del suelo el potasio necesario, el complejo cederá potasio para restablecer el equilibrio. Si los niveles de sodio no son altos en la solución del suelo, las posiciones libres serán ocupadas por el magnesio. El valor inicial para calcular el abonado de fondo a aportar al suelo, dependerá de las relaciones K/Mg, teniendo siempre en cuenta que en estas zonas no se abona en fondo con magnesio. La relación variará, según sea la estructura del suelo, entre 0,5 para los gruesos, para los medios 0,4 y 0,35 para los finos, (estos valores corresponden a las relaciones K/Mg en donde los iones se expresan en $\text{me}/100 \text{ g}$). Si la relación es inferior, en función de la estructura del suelo, se aportará el potasio necesario. Si es superior, no se efectuará la aportación. Es conveniente, en ambos casos, estudiar las relaciones existentes entre K/Mg, K/Ca y Ca/Mg a nivel de la solución del suelo.

El motivo de esto es que un aporte de potasio, necesario para equilibrar el complejo de cambio, puede ser contraproducente si a nivel del extracto saturado el calcio y el magnesio son bajos. Este es un problema frecuente en cultivos como el pimiento y el pepino. Es conveniente aportar menos potasio en el abonado de fondo, o llegar a suprimirlo, para evitar estos desequilibrios. Esto es posible hacerlo, ya que con buenos sistemas de fertirri-



gación las posibles deficiencias iniciales de potasio en el suelo se podrán corregir mediante el sistema de riego.

Otro de los problemas que se pueden presentar, en la interpretación de los valores de potasio y magnesio del complejo de cambio, está motivada por los fuertes desequilibrios de los suelos naturales. Es normal en ellos, si son de características pesadas, encontrar valores de magnesio superiores a 6 me/100 g y en porcentaje >35%, con relaciones K/Mg = 0,05. En estos casos, si se trata de equilibrar el suelo y llegar a una relación final de 0,35, nos podemos encontrar con valores de potasio, en forma de sulfato potásico, superiores a los 2.000 kg ha^{-1} . Esto puede causar problemas de CE_{es} altos y fuertes antagonismos frente al calcio y magnesio de la solución del suelo. Por ello, es conveniente en estos casos, aportar sólo el 50% del potasio al suelo.

- **Calcio.** Al ser prácticamente la casi totalidad de los suelos de tipo calcáreo, los valores de calcio en el complejo de cambio suelen ser altos. Esto no quiere decir que los suelos no sean deficitarios en este elemento en la solución del suelo. Por lo general este calcio del complejo está fuertemente retenido y es difícil que pueda estar disponible para la planta de manera inmediata. Únicamente se observan valores bajos en calcio en aquellos suelos de características sódicas o salinosódicas, en el que ha sido reemplazado el calcio por sodio. En estos casos será necesario efectuar una enmienda cálcica al suelo.

La relación ideal Ca/Mg deberá ser mayor o igual a 3 (expresados los iones en me/100 g). Valores menores de uno son claramente deficitarios en calcio y las mayores de diez lo son en magnesio. En las zonas comentadas anteriormente, si no existen problemas de alcalinidad, la relación Ca/Mg oscila entre 2,5-4,0. Valores inferiores a 2,5 suelen ir acompañados por relaciones K/Mg bajas. En suelos ligeramente ácidos o neutros, la relación idónea K/Ca es de 0,10.

- **Microelementos.** Nos vamos a referir en este apartado a la influencia del suelo en los mecanismos de absorción del hierro, manganeso, cobre, zinc, boro y molibdeno por las plantas. Para Harter, 1991, los micronutrientes anteriores se pueden dividir en tres grupos: Fe-Mn, Cu-Zn y Mo-B. La adsorción juega un papel mínimo en la asimilación de hierro y manganeso, ya que muchos suelos contienen cantidades relativamente elevadas de estos elementos. En este caso, las reacciones de precipitación y oxidación son las que controlan la asimilación. Estos óxidos y óxidos hidratados sirven de sustrato para retener otros microelementos en el suelo. El cobre y el zinc son similares en sus reacciones y el boro y molibdeno se encuentran en forma de aniones oxiácidos.

- ▲ **Hierro:** se encuentra en la solución del suelo en forma de Fe^{2+} , Fe^{3+} y sus productos solubles de hidrólisis $Fe(OH)_2^+$ y $Fe(OH)_4^-$. La forma más soluble es la ferrosa (II) y la menos la férrica (III). Con valores de pH en el suelo entre 6,0-8,0 la forma (II) se oxida a (III), que es la dominante. Parte de este hierro en solución está acomplejado con ligandos orgánicos solubles. El origen de estos ligandos se debe, en parte, a la degradación de la materia orgánica, como los ácidos fúlvicos. Así mismo, aparecen compuestos de hierro quelatado provenientes de los hongos y bacterias del suelo. Los complejos del ion Fe^{3+} son la formas dominantes del hierro disponibles para la absorción por parte del sistema radicular en suelos bien aireados.

En principio las plantas siguen dos caminos para solubilizar y absorber el hierro del suelo. Pueden reducir los complejos de hierro (III), en la superficie de la raíz, rizosfera, y absorber los iones Fe^{2+} originados. El segundo camino es la secreción de ligandos específicos para el hierro (III), tipo quelato, de bajo peso molecular. Estos solubilizan los iones Fe^{3+} y hacen factible su absorción.

La aparición de síntomas carenciales se ve afectada por las bajas temperaturas del suelo, debido a que inhiben el crecimiento y la actividad radicular. Al mismo tiempo, el exceso de humedad en el suelo intensifica la carencia por acumulación de CO_2 causada por una mayor solubilidad del gas a baja temperatura. Esta acumulación incrementa la concentración de ion bicarbonato en el suelo. Debido a que el intercambio a través de la raíz sigue el siguiente mecanismo: los cationes son intercambiados por iones H^+ y los aniones por iones HCO_3^- o OH^- , la tolerancia de la planta a la clorosis férrica estará en función del balance $\text{H}^+/\text{HCO}_3^-$. De esta manera, las plantas con menos incidencia de carencia serán aquellas en las que el balance esté a favor del H^+ . La acumulación del ion HCO_3^- , en el entorno de la raíz, hará disminuir la relación $\text{H}^+/\text{HCO}_3^-$ e incidirá en la clorosis. Igualmente, el exceso de riego en la época invernal puede provocar un aumento en la acumulación de etileno, que afecta al sistema radicular haciéndolo disminuir. Los mismos síntomas se presentan por la destrucción de pequeñas raíces por falta de oxigenación.

Las temperaturas altas en el suelo incrementan la clorosis férrica como resultado de las mayores tasas de respiración. Estas tasas restringen los aportes de fotoasimilados para el buen funcionamiento de la raíz. Al mismo tiempo el aumento de la temperatura en el suelo estimula la actividad bacteriana y por ello el incremento de gas carbónico en el mismo. Esto se traduce en mayores concentraciones de ion bicarbonato que disminuyen la absorción del hierro. Es frecuente en la zona del Poniente cuando se desencalan los invernaderos en el mes de septiembre. El aumento de la temperatura en la zona radicular favorece la absorción de fósforo por la planta. Este aumento de fósforo puede inducir la clorosis férrica debido al antagonismo existente entre los dos elementos. El exceso de luz es otro de los causantes de la clorosis, ya que disminuye la transformación de Fe^{3+} a Fe^{2+} , Moraghan, 1991.

El hierro asimilable se determina en el laboratorio mediante el método Lindsay-Norvell, 1978, en Olson, 1982. Este consiste en la extracción con un agente quelante, DTPA, junto a CaCl_2 tamponado a $\text{pH}=7,3$ con trietanolamina. Los valores menores de $2,5 \text{ mgkg}^{-1}$ se consideran bajos, entre $2,5-4,5 \text{ mgkg}^{-1}$ moderados y los $>4,5 \text{ mgkg}^{-1}$ normales. En las zonas mencionadas anteriormente, los niveles suelen oscilar entre $3,5-7,0 \text{ mgkg}^{-1}$. Los compuestos utilizados para su corrección varían entre el Fe-EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), el Fe-DTPA (ácido dietiltri Aminopentaacético) y el Fe-EDDHA (ácido etilen-di-o hidroxifenilacético). Las riquezas en hierro son para el primer caso del 12%, para el segundo del 10% y de 6% para el tercero. Estos agentes quelantes forman complejos bastante estables con el hierro, pero en suelos calizos, con niveles apreciables de calcio soluble, es posible que el quelante se intercambie con el calcio y quede libre el hierro. El motivo es que los complejos de calcio son mucho más estables que los de hierro. En este caso, el hierro es inmediatamente precipitado en el suelo y por tanto, no asimilable para la planta. El Fe-EDDHA forma un complejo mucho más estable que el anterior y además en un amplio rango de pH en suelos calcáreos.



De todas formas hay que tener en cuenta que en los actuales sistemas de riego, con control de pH de la solución nutritiva, en el momento de la fertirrigación el pH del suelo estará próximo al pH de la solución. Por tanto, la utilización de otros quelatos de hierro, como por ejemplo el EDTA, son también aplicables. Las correcciones para controlar una clorosis férrica deberán efectuarse siempre por vía radicular.

▲ **Manganeso:** la plantas lo absorben como ion Mn^{2+} libre o en forma de quelato. También se pueden formar complejos en la rizosfera con ligandos de origen orgánico. El origen de estos ligandos, como en el caso del hierro, será de tipo microbiano. Incrementan la movilidad del manganeso en la superficie de la raíz. Este mecanismo facilita su difusión entre la raíz y las membranas celulares.

El antagonismo existente entre Fe/Mn es muy notorio por las interacciones químicas en la interfase suelo-raíz. Juega un papel decisivo en este antagonismo la acidificación de la rizosfera. Esta se debe al aumento de la actividad reductasa cuyo origen es la deficiencia de hierro. El descenso de pH en el suelo favorece la absorción de Mn^{2+} e incrementa la reducción de Mn (IV) a Mn (II). En los suelos calizos típicos de Almería el aumento de la clorosis férrica puede ir acompañado de una disminución en la deficiencia de manganeso.

La temperatura, nivel de humedad en el suelo y la luz inciden de manera importante tanto en la deficiencia como en la toxicidad de manganeso. El aumento de la temperatura del suelo incrementa la solubilidad del manganeso y por tanto su absorción. Esto se debe a la estimulación de la actividad bacteriana, que hace aumentar los exudados por parte de la raíz. Permite en este caso solubilizar fracciones bastante insolubles de manganeso como el MnO_2 . El aumento de la temperatura incide muy negativamente en los casos de toxicidad de manganeso por el incremento que se produce de Mn^{2+} . Se observa muy claramente en la zona de El Solanillo, en verano, en plantaciones de pimiento sobre suelos rojos ácidos. En plantaciones más tardías, con valores de temperatura en el suelo inferiores, el efecto está mucho más amortiguado.

El exceso de humedad en el suelo restringe los niveles de oxígeno, favoreciendo la reducción de compuestos de Mn (IV). Por esta razón la deficiencia de manganeso disminuye en estos casos, pero siempre y cuando el cultivo no sea sensible a los efectos del exceso de humedad en el suelo, caso de las cucurbitáceas. La toxicidad de manganeso se favorece con la disminución de la aireación del suelo.

La influencia de la luz sobre la absorción de manganeso indica que: 1) la toxicidad se intensifica cuando la luz aumenta y 2) la deficiencia aumenta cuando la luz disminuye, Moraghan, 1991. Esta deficiencia es fácilmente observable en la zona del Poniente en los meses de invierno, sobre todo en cultivos de pepino.

El manganeso asimilable se puede determinar mediante la extracción con $AcNH_4$ 1N, o con DTPA, en Gambrell, 1982. Para este último, se consideran bajos los valores menores de $1,0 \text{ mgkg}^{-1}$ y normales los mayores de $1,0 \text{ mgkg}^{-1}$. En Almería estas carencias son normales, aún con niveles ligeramente superiores a la unidad en cultivos como el pimiento o el pepino. Esto se debe fundamentalmente a las temperaturas bajas del suelo en los meses invernales. La corrección de la carencia debe de hacerse en invierno, mediante el empleo de un Mn-EDTA, vía foliar. Con temperaturas más altas en el suelo por vía radicular, siempre y cuando el suelo no tenga un pH elevado.

▲ **Cobre:** se encuentra en la solución del suelo acomplejado en un 98% por compuestos orgánicos de bajo peso molecular. Puede ser absorbido por el sistema radicular como ion Cu^{2+} o en forma de quelato. Parece ser que la absorción es más rápida como Cu^{2+} que en forma quelatada tipo DTPA o EDTA. Esto se debe a problemas de disociación del cobre del complejo Cu (II)-EDTA .

El ion cobre presenta problemas de absorción frente al zinc, por la competencia que existe entre ambos. La interacción $\text{K}^+/\text{Cu}^{2+}$ hace que decrezca la absorción del cobre. Igualmente, existe una interacción entre cobre y nitrógeno desde el punto de vista nutricional, sobre todo cuando se hacen aportes elevados en N. El exceso de fósforo en el suelo disminuye también la absorción de cobre. El aumento de la temperatura del suelo mejora la absorción de cobre, pero no se ve afectada por las variaciones de luz. Así mismo, el contenido de humedad del suelo no parece ser un factor limitante pero si es un factor negativo el encharcamiento del suelo.

El cobre asimilable se determina, en el laboratorio, por el método de DTPA, en Baker, 1982. Se consideran bajos los valores menores de $0,2 \text{ mgkg}^{-1}$ y normales los mayores de $0,2 \text{ mgkg}^{-1}$. En Almería, los niveles de cobre oscilan entre $0,5-2,0 \text{ mgkg}^{-1}$. Este aumento se debe fundamentalmente al empleo de cobre, en forma de sulfato de cobre, en las balsas de riego. Esto se hace para evitar la proliferación de algas en el agua. El empleo de fungicidas a base de sales de cobre, es otra de las fuentes de este aumento. Su corrección se realizará mediante la utilización de cobre en forma quelatada, por ejemplo, Cu-EDTA por vía foliar o radicular.

▲ **Zinc:** es absorbido en forma de ion Zn^{2+} y transportado en forma iónica a través de la membrana celular. La absorción de Zn^{2+} está muy limitada por el contenido del ion Cu^{2+} . Este último ejerce una clara competencia frente al zinc. Los aportes elevados de estiércol originan niveles altos de ion bicarbonato en el suelo. Estos afectan a la absorción y traslocación del zinc desde la raíz a la parte superior de la planta.

El zinc incrementa su absorción y el contenido foliar conforme aumenta la temperatura de la zona radicular. La deficiencia se acentúa, en cultivos como el tomate, cuando desciende la temperatura del suelo. Se verá agravada la deficiencia si unido al descenso de temperatura se aumenta la fertilización fosforada al suelo. La temperatura ambiente influye menos que a nivel radicular. En invierno es conveniente corregir las carencias de zinc mediante tratamientos por vía foliar. Los bajos niveles de luz afectan de forma negativa a la absorción y el efecto es multiplicativo si la temperatura es igualmente baja.

Los niveles normales de humedad en el suelo no tienen efectos significativos sobre la absorción de este elemento. El encharcamiento si favorece la carencia. El motivo puede estar en el aumento de los contenidos de Mn^{2+} que antagonizan al Zn^{2+} .

El zinc asimilable se determina en el laboratorio mediante el método del DTPA, en Baker, 1982. Por lo general, se consideran niveles inferiores a $0,5 \text{ mgkg}^{-1}$ como bajos, entre $0,5-1,0 \text{ mgkg}^{-1}$ moderados y por encima de $1,0 \text{ mgkg}^{-1}$ normales. En Almería, los contenidos de Zn en los suelos oscilan entre $0,5-2,5 \text{ mgkg}^{-1}$. El valor máximo corresponde a las zonas tomateras de El Alquíán-La Cañada. La corrección de la carencia se efectúa mediante la aplicación de zinc en forma quelatada, tipo EDTA, DTPA o EDDHA, por vía radicular o foliar.



▲ **Boro:** en la solución del suelo el boro se encuentra en forma de ácido bórico, H_3BO_3 o $B(OH)_3$ y se disocia en:



La absorción se realiza en forma de $B(OH)_4^-$. A pH 6,0 la absorción es del 100% y decrece conforme aumenta el pH. Este efecto está más acentuado a partir de pH superiores a 7,4. Existen evidencias, aunque no muy claras, sobre el papel de la materia orgánica en la absorción del boro. Se pueden considerar despreciables los fenómenos de adsorción del boro sobre los coloides orgánicos.

Existe un claro antagonismo entre el calcio y el boro. La relación entre ellos se puede utilizar para establecer una posible deficiencia en boro. El aumento en la fertilización en boro incrementa la efectividad de la fertilización nitrogenada. La absorción de boro es menor conforme aumenta la aplicación de zinc. La acumulación de boro en la planta disminuye en los casos de toxicidad cuando se incrementa la fertilización en zinc.

La absorción de boro aumenta cuando se eleva la temperatura ambiente. Por ello está asociada a las tasas de transpiración. En cambio, el aumento de la temperatura de la solución del suelo no incrementa el contenido de boro foliar. El estrés hídrico incide negativamente en la absorción. El efecto es multiplicativo, ya que la deficiencia inhibe el sistema radicular, haciendo disminuir la absorción de agua. En los casos de toxicidad de boro el aumento de las tasas de transpiración, debido al aumento de la temperatura y al descenso de la humedad, aumentan la toxicidad. Al mismo tiempo, la intensidad elevada de luz acentúa la deficiencia y puede amortiguar la toxicidad. En los meses de verano, de largos días, puede aumentar la deficiencia de este elemento, Moraghan, 1991.

▲ **Molibdeno:** se absorbe como ion MoO_4^{2-} y es el único microelemento cuya absorción se incrementa cuando se eleva el pH del suelo. Su carencia se detecta principalmente en cultivos como el melón y el tomate. La causa ha sido, por lo general, excesos de ion sulfato que antagonizan la absorción de molibdeno en forma de ion molibdato.

Los factores ambientales tienen poca influencia en la deficiencia de este elemento. En suelos ácidos las temperaturas elevadas acentúan la fijación del molibdato, disminuyendo su absorción. En las leguminosas el aumento de la fertilización de molibdeno incrementa la fijación de N_2 en los nódulos. Si la temperatura del suelo disminuye puede llegar a suprimir la fijación de nitrógeno y por tanto los requerimientos de molibdeno para el cultivo. La asimilación del ion molibdato disminuye cuando bajan los niveles de humedad del suelo.

La carencia no se suele detectar mediante el análisis de suelo y sí a través del análisis de la hoja. La corrección se efectúa mediante la sal amónica o sódica del ácido molibdico. Su aplicación se efectúa vía foliar.

3.4. (Análisis físico de suelos)

Dentro de este apartado incluiremos la caracterización de un suelo desde el punto de vista de sus propiedades físicas. Se incluyen los conceptos de densidad aparente, densidad real, porosidad y tamaño de partícula o textura.

- **Densidad aparente:**

Se denomina así a la relación entre la masa seca de un suelo y el volumen aparente de este. El volumen aparente incluye el volumen de los sólidos y los espacios de los poros. La masa se determina después de un secado, a peso constante, a 105 °C. El volumen de la muestra se determinará sobre terrones de muestras inalteradas de suelo, según el método de la parafina. Blake, 1986. Esto permite convertir el porcentaje de agua de un suelo en peso a su porcentaje en volumen. Unido a la densidad real de un suelo nos permite calcular la porosidad de éste. Los valores de densidad aparente, en función de la textura del suelo y expresado en gcm^{-3} , son aproximadamente los siguientes:

Textura	Densidad
Arcillosa	1,12-1,20
Franco-arcillosa	1,20-1,28
Franca	1,28-1,44
Franco-arenosa	1,44-1,60
Arenosa	1,60-1,76

La densidad aparente se puede expresar también en Tmm^{-3} o en Mgm^{-3} , las cuales son numéricamente equivalentes a gcm^{-3} . En unidades SI, la densidad viene expresada en kgm^{-3} . Por ello, los valores anteriores se deberán multiplicar por mil.

- **Densidad real:**

Se denomina también densidad de las partículas sólidas. Se expresa como la relación de la masa total de estas a su volumen total, quedando excluidos los espacios de poro entre ellas. La masa se determina mediante pesada y el volumen se calcula por el peso del volumen desplazado por la muestra. Para ello se puede utilizar agua u otro fluido. Por lo general se suele recurrir al éter de petróleo. El método del picnómetro es el más comúnmente utilizado. Los valores de densidad real oscilan entre 2,65 gcm^{-3} para cuarzos, 2,5-2,8 gcm^{-3} para feldespatos, 2,7-3,3 gcm^{-3} para micas y 3,1-3,3 gcm^{-3} para apatitos. La densidad del humus es, generalmente, menor de 1,5 gcm^{-3} .

- **Porosidad:**

La estructura de un suelo es una de las propiedades más importantes de éste, especialmente relacionada con la retención y transporte de soluciones, gases y calor. Dentro de la estructura del suelo, el conocimiento del porcentaje de poros permite caracterizarlo como soporte para el cultivo de las plantas. Danielson, 1986. La porosidad se define como el volumen de espacios vacíos del suelo expresado en tanto por ciento del volumen total. Se calcula a través de los datos de densidad aparente y densidad real, mediante la ecuación siguiente:

$$P_t = \left[1 - \frac{d_a}{d_r} \right] \times 100$$



Cuando no se precisa una gran exactitud, se puede utilizar como densidad real de un suelo mineral el valor $2,65 \text{ gcm}^{-3}$, para el cálculo de la porosidad.

La porosidad total se subdivide en porosidad no capilar o macroporosidad y porosidad capilar o microporosidad. La primera corresponde a los poros más grandes, ocupados por el aire después de drenar el agua de riego. Es la denominada capacidad de aire. Los poros son mayores de ocho micras. La segunda corresponde al volumen de poros que retienen el agua después de drenar. Los poros son menores de ocho micras. La suma de la macro y microporosidad es la porosidad total.

Relación entre densidad aparente y porosidad, Duchaufour, 1975.

d_a / gcm^{-3}	$P_r \%$
1,0-1,2	55-62
1,2-1,4	46-54
1,4-1,6	40-46
1,6-1,8	<40

Se observa claramente que las arenas presentan una porosidad menor frente a las arcillas. Se puede estimar que la porosidad total de un suelo medio es alrededor del 50%. Dentro de la porosidad total, la macroporosidad es la que contribuye a la capacidad de aireación del suelo. Valores inferiores al 10% restringen claramente la proliferación de raíces, Baver, 1973.

- **Tamaño de partícula. Textura.**

El análisis del tamaño de partícula es la medida de la distribución de partículas individuales en una muestra de suelo. Estas se dividen en partículas inferiores a 2mm de diámetro y las superiores, Gee, 1986.

- **Partículas inferiores a 2mm de diámetro.**

Dentro de las partículas inferiores a 2mm de diámetro existen dos sistemas de clasificación denominados USDA y SI. En el primer caso las partículas se subdividen a su vez en arenas (2,0-0,05 mm), limos (0,05-0,002 mm) y arcillas (< 0,002 mm). En el sistema SI la clasificación es diferente: arenas (2,0-0,02 mm), limos (0,02-0,002 mm) y arcillas (<0,002 mm). Utilizando los dos sistemas anteriores de determinación conseguimos un dato adicional, los limos gruesos, cuyo tamaño de partícula oscila entre 0,02-0,05 mm de diámetro.

En la bibliografía aparecen los diagramas triangulares típicos para el cálculo de la textura. En cada uno de los lados del triángulo se encuentran los porcentajes de arcilla, limo y arena. Mediante la determinación en el laboratorio (método del densímetro o método de la pipeta) se calculan los porcentajes de arcilla y limo. Por diferencia a 100 se calcula la arena. La clasificación más utilizada es la denominada USDA. Los suelos quedan agrupados en textura gruesa, media y fina. Dentro de estos, se subdividen a su vez en:

Textura gruesa: arenoso, arenoso-franco, franco-arenoso.

Textura media: franco, franco-arcillo-arenoso, arcillo-arenoso, franco-limoso y limoso.

Textura fina: franco-arcilloso, franco-arcillo-limoso, arcilloso-limoso, arcilloso.

• **Partículas superiores a 2mm de diámetro.**

Se denominan partículas gruesas y se clasifican según la FAO, 1977, en:

% Partículas gruesas	Diámetro máximo		
	0,2-7,5 cm	7,5-25 cm	>25 cm
2-15	con poca grava	ligeramente pedregoso	con pedregones
15-20	con grava	pedregoso	con pedregones
50-90	con mucha grava	muy pedregoso	con muchos pedregones
>90	grava (1)	piedra (1)	pedregones (1)

(1) USADO SIN CLASIFICACIÓN TEXTURAL ADICIONAL.

> Ej. de diferentes texturas de suelos de la zona de Almería

Textura arenosa (cantera zona El Ejido)

Sist. USDA	arcilla	14,4%
	limo	16,4%
	arena	69,2%
	clasificación: franco-arenosa	
Sist. SI	arcilla	14,4%
	limo	8,2%
	arena	77,4%
	clasificación: franco-arenosa	

Textura media (cantera zona El Ejido)

Sist. USDA	arcilla	27,4%
	limo	25,9%
	arena	46,7%
	clasificación: franco-arcillo-arenosa	
Sist. SI	arcilla	27,4%
	limo	14,2%
	arena	57,9%
	clasificación: franco-arcillo-arenosa	



Textura media (grea amarilla, El Ejido)

Sist. USDA	arcilla	16,7%
	limo	46,6%
	arena	36,7%
	clasificación: franco	
Sist. SI	arcilla	16,7%
	limo	17,1%
	arena	66,2%
	clasificación: franco-arcillo-arenosa	

Textura fina (tierra de cañada, El Ejido)

Sist. USDA	arcilla	27,8%
	limo	32,0%
	arena	40,2%
	clasificación: franco-arcillosa	
Sist. SI	arcilla	27,8%
	limo	21,3%
	arena	50,9%
	clasificación: arcillosa-gruesa	

Textura fina (cantera zona El Ejido de características muy arcillosas)

Sist. USDA	arcilla	55,1%
	limo	44,9%
	arena	0%
	clasificación: arcilloso	
Sist. SI	arcilla	55,1%
	limo	31,1%
	arena	13,8%
	clasificación: arcilloso-fino	

4. (BIBLIOGRAFÍA)

■ Aloni, B., L. Kami, I. Rylski y Z. Zaidman. 1994. The Effect of Nitrogen Fertilization and Shading on the Incidence of "Coluor Spots" in Sweet Peper (*Capsicum annuum*) Fruit. Journal of Horticultural Science. 69 (4) 767-773.

■ Ashkar, S. A. y S. K. Ries. 1971. Lettuce Tip Burn as Related to Nutrient Inbalance and Nitrogen Composition. J. Am. Soc. Hort. Sci. 96, 298-300.

■ Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1976. Calidad del Agua de Riego para la Agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. N° 29. Roma. 85 p.

- **Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1987.** Calidad del Agua de Riego para la Agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Nº 29. Rev. 1. Roma. 174 p.
- **Baker, D. E. y M. C. Amacher. 1982.** Nickel, Copper, Zinc and Cadmium en Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA- SSSA. Agronomy Monograph Nº 9.
- **Baver, L. D., W. H. Gardiner. y W. R. Gardner. 1973.** Física de Suelos. UTEHA. Méjico.
- **Benton-Jones, J. 1985.** Soil Testing and Plant Analysis: Guide to the Fertilisation of Horticultural Crops. Horticultural Reviews, vol. 7.
- **Bernstein, L., L.E. Francois y R.A. Clark. 1974.** Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. Agronomy Journal, 66:412-421.
- **Blake, G. R. y K. H. Hartge. 1986.** Bulk Density en Methods of Soil Analysis. Part. I. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph. Nº 9 (2º Ed.) Am. Soc. of Agrom.-Soil. Sci. Soc. of Am. USA.
- **Blake, G. R. y K. H. Hartge. 1986.** Particle Density en Methods of Soil Analysis. Part. I. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph. Nº 9 (2º Ed.) Am. Soc. of Agrom.-Soil. Sci. Soc. of Am. USA.
- **Bolt, G. H., M. G. M. Bruggenwert y A. Kamphorst. 1976.** Absortion of Cations by Soil en Soil Chemistry. A. Basic Elements, Ed. G. H. Bolt y M. G. M. Bruggenwert Elsevier. Holanda.
- **Bower, C.A., G. Ogata y J.M. Tucker. 1968.** Sodium Hazard of Irrigation Waters as Influenced by Leaching Fraction and by Precipitation or Solution of Calcium Carbonate. Soil Sci. 10:29-34.
- **Bresler, E., B. L. McNeal y D. L. Carter. 1982.** Saline and Sodic Soils. Springer-Verlag. Nueva York.
- **Bunt, A. C. 1988.** Media and Mixes for Container-Grown Plant. Unwin Hyman. Londres.
- **Caja Rural de Almería. 1997.** Datos Meteorológicos. Estación Experimental. Campañas Agrícolas 76/77-94/95.
- **Caja Rural de Almería.** Necesidades de agua de los principales cultivos en invernadero plástico en la zona de Almería. Con riego por goteo y con enarenado. Estación Experimental Las Palmerillas.
- **Carter, D.L. 1981.** Salinity and Plant Productivity en Handbook Series in Nutrition and Food. Chemical Rubber. Co.
- **Casas, A. 1993.** Formulación de la Solución Nutritiva. Parámetros de Ajuste. Características de la zona que condicionan la solución nutritiva. Ajustes específicos en Cultivos sin suelo. F. Cánovas y J. R. Díaz. FIAPA. Almería.
- **Casas, A. 1995.** El Diagnóstico Foliar del Pimiento. H. F. Hortoinformación. 9. 46-49.
- **Casas, A. 1995.** El Análisis Foliar del Pepino. H. F. Hortoinformación. 11. 42-46.
- **Casas, A. 1996.** El Diagnóstico Foliar Sobre Hojas de melón. H. F. Hortoinformación, 80:30-33.
- **Casas, A. 1996.** El Análisis Foliar del Tomate. H. F. Hortoinformación. 70: 41-46.
- **Casas, A y A. Beledo. 1986.** El Análisis Foliar como Indicativo del Estado Nutricional de la Col China. Ponencia 1ª Jornadas Nacionales de Cultivos Protegidos. COITPA. Almería.
- **Casas, A. y E. Casas. 1996.** Fisiopatías Originadas por el Calcio en Cultivos Hortícolas. H. F. Hortoinformación. 81. 17-21.
- **Cerdá, A. y F.T. Bingham. 1978.** Yield, mineral composition and salt tolerance of tomato and wheat, as affected by NaCl and P nutrition. Agrochimica 22:140-148.
- **Cervantes, D. 1991.** Estudio Hidroquímico de las Aguas Subterráneas del Campo de Níjar. 1990. Boletín Instituto de Estudios Almerienses. Nº 9/10.



- **Champagnol, F. 1979.** Relationships between phosphate nutrition of plant and salts toxicities. *Phosphorus Agric.* 76:35-43.
- **Danielson, R. E. y P. L. Sutherland. 1986.** Porosity en *Methods of Soil Analysis. Part. I. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph. N° 9 (2º Ed.) Am. Soc. of Agrom.-Soil. Sci. Soc. of Am. USA.*
- **Duchaufour, P. 1975.** *Manual de Edafología. Ed. Toray-Masson.*
- **FAO. 1977.** *Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos. 2ª Ed. Roma.*
- **Fixen, P. E. y J. H. Grove. 1990.** Testing Soil for Phosphorus. en *Soil Testing and Plant Analysis. 3ª Ed. SSSA. USA.*
- **Gambrell, R. P. y W. H. Patrick. 1982.** Manganese. en *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph N° 9. ASA-SSSA.*
- **Gee, G. W. y J. W. Bauder. 1986.** Particle-Size Analysis. en *Methods of Soil Analysis. Part. I. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph. N° 9 (2º Ed.) Am. Soc. of Agrom.-Soil. Sci. Soc. of Am. USA.*
- **Harter, R. D. 1991.** Micronutrient Adsorption-Desorption Reactions in Soils. en *Micronutrients in Agriculture. 2ª Ed. SSSA. Book Series N° 4.*
- **Hernández-Abreu, J. M. y J. Mascarel. 1980.** I Seminario de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas. Cabildo Insular de G.C. y CRIDA 11. Las Palmas.
- **Kafkafi, U., B. Bar Yosef y A. Hadas. 1978.** Fertilization Decision Model-Syntesis of Soil and Plant Parameters in a Computerized Program. *Soil. Sci.*125: 261-268.
- **Kafkafi, U. y B. Bar Yosef. 1980.** Trickle Irrigation and Fertilization of Tomatoes in Highly Calcareous Soils. *Agron. J.* 72: 893 - 897.
- **Kafkafi, U., N. Valoras y J. Letey. 1982.** Chloride Interaction with Nitrate and Phosphate Nutrition in Tomato. *J. Plant Nutri.* 5:1369-1385.
- **Kirkby, E.A. y K. Mengel. 1967.** Ionic Balance in Different Tissues of the Tomato Plant in Relation to Nitrate, Urea or Ammonium Nutrition. *Plant Physiol.* 42: 6-14
- **Lindsay, W.L. 1991.** Inorganic Equilibria Effecting Micronutrients in Soil en *Micronutrients in Agriculture, 2ª Ed. SSSA. Book Series nº 4.*
- **López Ritas, J. y J. López Mérida. 1978.** *El Diagnóstico de Suelos y Plantas. Mundi-Prensa. Madrid.*
- **Mass, E.V. 1984.** Salt tolerance of plants. en *The Handbook of Plant Science in Agriculture. B.R. Christie. CRC Press. USA.*
- **Maas, E.V. y G.J. Hoffman. 1977.** Crop salt tolerance. Current assessment. *J. Irrigation and Drainage. Division. Proceeding Paper 12993. USA.*
- **MAPA. 1994.** *Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III. Madrid.*
- **Martin-Prével, P. J., Gagnard y P. Gautier. 1984.** *Environmental Effects on Plants Composition en Plant Analysis. Lavoisier. Nueva York.*
- **Martínez Raya. 1987.** Tesis Doctorales. UPM. Comportamiento del Riego Bajo Enarenado en Invernadero. Balances de Salinidad y Fertilizantes, en Especial en Cultivos de Pimiento y Judía. Caja Rural de Almería.
- **Martínez Vidal, J.L., D. Cervantes Ocaña, E. Gonzalez Pradas y A. Valverde García. 1991.** Estudio de la Contaminación por Boro de las Aguas de los Campos de Níjar y de Dalias y de las Cuencas Bajas de los Ríos Adra y Andarax. *Boletín Instituto de Estudios Almerienses nº 9/10.*
- **Miyamoto, S. 1980.** Effects of Bicarbonate on Sodium Hazard of Irrigation Water; Alternative

Formulation. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:1079-1984.

■ **Moraghan, J.T. y H.J. Mascagni. 1991.** Envirometal and Soil Factor Affecting Micronutrient Deficiencies and Toxicities. en *Micronutrients in Agriculture*, 2ª Ed. SSSA. Book Series n° 4 USA.

■ **Olsen, S.R. y L.A. Dean. 1965.** Phosphorus en *Methods of Soil Analysis, Part. 2 Chemical and Microbiological Properties*. ASA-SSSA. USA.

■ **Olsen, S.R. y L.E. Sommers. 1982.** Phosphorus en *Methods of Soil Analysis, Part. 2 Chemical and Microbiological Properties*. ASA-SSSA. USA.

■ **Olson, R.V. y R. Elli. 1982.** Iron en *Methods of Soil Analysis, Part. 2 Chemical and Microbiological Properties*. ASA-SSSA. Agronomy Monograf n° 9.

■ **Oster, J.D. y J.D. Rhoades. 1977.** Various indices for evaluating the effective salinity and sodicity of irrigation waters. en *Proc. International Conference*. Texas. USA.

■ **Oster, J.D. y F.W. Schroer. 1979.** Infiltration as Influenced by Irrigation Water Quality. SSSAJ. 43:444-447.

■ **Paauw, Van der F. 1971.** An Effective Water Extraction Methods for the Determination of Plant-Available Soil Phosphorous. *Plant Soil* 34: 467 - 481.

■ **Porta-Casanellas, J., M. López-Acevedo y R. Danes Ribalta. 1980.** Los Suelos del Campo de Níjar. Caja Rural Provincial de Almería.

■ **Rahman, W.A. y Rowell, D.L. 1979.** The influence of magnesium in saline and sodic soils, A specific effect or a problem of cation exchange. *J. Soil Sci.* 30:535-546.

■ **Ravikovitch, S. y D. Yates. 1971.** The influence of phosphorus and nitrogen on millet and clover growing in soils affected by salinity. I. Plant development. *Plant Soil.* 35:555-567.

■ **Rhoades, J.D. 1982.** Cation Exchange Capacity en *Methods of Soil Analysis, Part. 2 Ed. A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeny*. ASA y SSSA. USA.

■ **Rhoades, J.D. y S.D. Merrill. 1976.** Assessing the suitability of water for irrigation. Theoretical and empirical approaches. en *Prognosis of Salinity and Alkalinity*. FAO Soils Bulletin 31.

■ **Richards, L.A. 1954.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA. Agric. Handbook, n° 60. USA.

■ **Roorda Van Eysinga, J. P. N. L. y K.W. Smilde. 1981.** Nutritional Disorders in Glasshouse Tomatoes, Cucumbers and Lettuce. *Cent. Agr. Publ. Documn. Wageningen*. The Netherlands.

■ **Roorda Van Eysinga y Van der Meijs. 1981.** en *Diag. of Min. Disorders in Plants*. Vol. 3. ADAS-ARC. U.K.

■ **Snowdon, A.L. 1991.** A Colour Atlas of Post Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Vol 2 Vegetables. Wolfe Scientific. U.K.

■ **Suarez, D.L. 1981.** Relation Between pH_c and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage waters. SSSAJ. 45:469-475.

■ **Takahashi, K. 1981.** Physiological Disorders in Chinese Cabbage en *Chinese Cabbage*, Proceeding of the First International Symposium. Taiwan.

■ **Tanji, K.K. 1969.** Predicting specific conductance from electrolytic properties and ion association in some aqueous solutions. SSSA Proc. USA.

■ **Weigel, R.C., J.A. Schillinger, B.A. McCaw, H.G. Gauch y E. Hsiao. 1973.** Nutrient-nitrate levels and the accumulation of chloride in leaves of snapbeans and roots of soybeans. *Crop Sci.* 13:411-412.

(TEMA 3]



EL ENARENADO

Francisco Bretones Castillo

Ingeniero Técnico Agrícola

Ex-director de la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”





1. (INTRODUCCIÓN]

El desarrollo alcanzado en la horticultura intensiva en el sureste español, en las últimas décadas, se debe en gran parte a la adopción del arenado en los cultivos en las zonas en que, aún contando con condiciones un tanto limitadas para el cultivo de hortalizas, sí tenían otras condiciones o características climáticas, de suelos o calidades de agua, que pudieran potenciarse con la utilización del enarenado.

2. (ANTECEDENTES]

Esta técnica, según nos relata el Dr. D. Manuel Mendizábal, en su trabajo: “La agricultura de Almería entre la tradición y el progreso” (1987), la vio por primera vez en la década de los años 30 en la zona de los arenales costeros del término municipal de Berja, en la localidad de Balanegra, donde encontró una plantación de tomate que era regada manualmente con agua acarreada por un jumento y aplicada a pie de planta por un mozalbete, con un recipiente de lata que le servía de medida. Jocosamente el Dr. Mendizábal decía que había nacido el riego “lata a lata” y después vendría el “gota a gota”.

Buscando el origen de este sistema de cultivo se adentró en los pueblos costeros de la provincia de Granada, en los que había recibido información de que esa técnica venía realizándose desde hacía bastante tiempo.

Nos relata que “hablando con viejos agricultores de la zona, estos recordaban que allá por el año 1880 un agricultor de La Rábita: Manuel Romero Rivas, observó que en un bancal de tomates, justo al pie de una planta se abría un hormiguero en el que los solícitos insectos habían desarrollado una gran actividad, sacando granitos de arena y formando con ellos un pequeño montículo alrededor de la planta”

La narración continúa diciendo que “infinidad de veces se habían visto hechos como éste sin darle ninguna importancia, pero cuando semanas más tarde inició la recolección de sus tomates, su sorpresa fue grande al observar que esta planta, no sólo presentaba mejor aspecto sino también mayor número de frutos, que, además habían madurado bastante antes que el resto de la plantación”.

Cuantas veces la observación de un hecho fortuito ha llevado a encontrar nuevas soluciones o caminos para resolver problemas o mejorar técnicas.

Así es como comenzó el enarenado, o así nos lo cuentan, hace más de 100 años en la zona de La Rábita y El Pozuelo, en la provincia de Granada, lo que hoy es el enarenado de los cultivos hortícolas: imitando el trabajo de las hormigas.

Cuando en los años cincuenta se inició la transformación en regadío y puesta en cultivo por el I.N.C. de toda la zona del poniente almeriense, y después también en otras zonas, como el campo de Nijar, una de las primeras medidas que se tomaron, pensando en el uso hortícola de estos suelos, fue transformar en terreno enarenado 40 parcelas de 0,5 ha, en la zona de Roquetas de Mar-El Parador (año 1957), para estudiar el comportamiento de diferentes especies hortícolas, variedades y ciclos, así como las posibilidades que la técnica del enarenado podía aportar a la nueva agricultura que se quería desarrollar en la zona.

Esta nueva técnica proporcionaba una serie de ventajas y cualidades que la hacía atractiva para el desarrollo de la agricultura que se iba a implantar buscando potenciar el desarrollo hortícola a favor de una climatología benigna y de la superación de algunos factores limitantes, como la cantidad y calidad de las aguas para riego, así como la salinidad de los suelos.

3. (REALIZACIÓN DEL ENARENADO]

Modernamente se viene hablando de una infinidad de sistemas, métodos o variables del enarenado, pero aquí vamos a tratar del sistema de realización del que vamos a llamar “enarenado tradicional”.

Uno de los grandes errores conceptuales que se cometen al describir las fases de que consta la ejecución, es generalizar la necesidad de aporte de tierra de “buena calidad” sobre el suelo original. Esto sólo será necesario cuando, dentro del terreno a transformar exista una gran variabilidad en la calidad o cantidad de suelo disponible o que sus características fisicoquímicas no sean adecuadas para los cultivos que se vayan a implantar, no siendo necesario el aporte de nuevo suelo en los casos de suelos cultivados con anterioridad o de nueva preparación, con buen perfil, drenaje y fertilidad.

Si fuera necesario el aporte de tierra, ésta deberá estar libre de malas hierbas tipo *Cyperus* (juncia), *Cynodon* (grama), *Convolvulus* (correhuela) y otras malezas de difícil erradicación. Se deberá considerar el volumen de la tierra a aportar en base al esponjamiento que ha de perder una vez puesta en cultivo, debiendo quedar en un mínimo de 30-40 centímetros de espesor.

Se aprovecharán las labores previas a la ejecución del enarenado para hacer las correcciones de suelo que sean necesarias a la vista del análisis químico del mismo, especialmente aquellas mejoras o correcciones que requieran ser localizadas en profundidad.

Una vez nivelada la parcela, bien sea con o sin aporte de suelo, se procederá al extendido e incorporación, mediante una labor cruzada, de unas 50 t/ha de estiércol, siendo mejor para esta aplicación en concreto, que tenga una textura larga, con bastante fibra, y a media fermentación, al objeto de mejorar con preferencia, físicamente el suelo.

Tras estas labores se refinará y nivelará el terreno con las pendientes necesarias o convenientes, quedando el suelo preparado para recibir una capa de estiércol, en este caso, más fino, siendo el más apropiado el de oveja con “cama”, que sin llegar a ser pulverulento será repartido de forma homogénea en una capa de un espesor de unos dos centímetros.

La cantidad incorporada en este segundo aporte será de otras 50 t/ha.

No son de aplicación para ninguno de los dos aportes señalados, los estiércoles procedentes de explotaciones avícolas o porcinas por estar compuestos mayoritariamente por deyecciones sin inclusión de paja u otros residuos vegetales (camas) que ayuden a la mejora física de los suelos.

Queda finalmente la labor más delicada en la preparación del arenado: la del aporte de la capa de arena sobre el suelo ya preparado en la forma que hemos descrito.



4. (CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA A EMPLEAR)

En el inicio de los cultivos arenados, las arenas utilizadas eran en su totalidad de procedencia marina, retiradas de las playas por recuas de caballerías, que en “serones” de esparto, cargados manualmente con palas transportaban la arena directamente hasta las parcelas. Las cantidades extraídas eran pequeñas pero se requería el pertinente permiso de la Comandancia de Marina para su retirada que además fijaba la cantidad que podía extraerse y el punto del litoral de donde debía de retirarse.

En la actualidad está prohibida la extracción de áridos de todo el litoral. Hoy día sólo pueden utilizarse arenas procedentes de “canteras” o bolsas de arena de procedencia fluvial o marina en zonas fuera de la demarcación marítima, siempre con informe favorable respecto al impacto medioambiental que pudiera provocar su extracción. La granulometría ideal para las arenas de uso agrícola está entre los 2 y los 5 mm de diámetro.

A medida que disminuye este tamaño de los granos de la arena, también disminuye el tamaño de los poros entre los granos lo cual hace aumentar la capilaridad y consecuentemente favorece la evaporación del agua que asciende con el consiguiente enfriamiento del suelo subyacente y a la vez del entorno del sistema radicular de los cultivos. Ello condiciona también la precocidad del cultivo.

Todo esto es especialmente patente cuando se utilizan arenas procedentes de dunas interiores, conocidas como “arenas voladas” con una granulometría igual o menor de 0,2 mm de diámetro. Entre los inconvenientes que tienen este tipo de arenas destaca, especialmente cuando se cultiva al aire libre, su facilidad de ser arrastrada por los vientos, dejando desprotegido el suelo, a la vez que las plantas pueden sufrir daños mecánicos, especialmente los cultivos de hoja como lechuga, escarola, acelga y otros.

También esta arena volada puede, por la misma causa anterior, quedar alojada entre las hojas y cogollos de las brásicas, lechugas, escarolas, etc. restándoles aceptación y valor comercial.

No son de aplicación agrícola las arenas procedentes de plantas de machaqueo, tanto por el objetivo de su mayor costo como por presentar aristas cortantes que pueden lesionar los tallos de las plantas al engrosar estos o moverse su tronco por el viento, labores de cultivo, recolección, etc.

La composición química de las arenas utilizadas en agricultura suelen ser en un alto porcentaje silíceas (cuarzo y cuarcita) seguidas de carbonatos y arcillas metamórficas (pizarras). Estas arenas tienen escasa actividad química.

5. (EXTENDIDO Y ACONDICIONAMIENTO DE LA ARENA)

El aporte de la arena se hará depositando, convenientemente espaciadas, las cargas de arena calculando un espesor medio de la carga a esparcir, de unos 10 centímetros (10 m³ cada 100 m²). El extendido puede hacerse con herramientas de mano, si la distancia es corta o con motocultor articulado, provisto de pala frontal o trasera.

Hay que cuidar el recorrido de los vehículos que transportan la arena dentro de la parcela, de forma que la superficie compactada por las ruedas sea mínima y, se tendrá

dispuesto un tractor o motocultor con arado o rotovator, para una vez que no haya de volver a pasar por esa huella, labrarla y dejarla nivelada antes de extender sobre ella la capa del estiércol necesario y la correspondiente capa de arena, evitando así la depresión que en el transcurso del cultivo se producirá y provocará encharcamientos y compactación de ese suelo, que limitará el crecimiento radicular de las plantas que tengan esa localización.

Con esto queda finalizada la faena del enarenado, faltando algunos detalles para dejar la parcela en disposición de ser cultivada. Lo primero que hay que hacer es proceder al riego de la misma. Este riego debe ser por inundación, nunca por goteo, dado que hay que mojar por completo todo el perfil de la parcela, de una forma homogénea con un alto volumen de agua, pudiéndose aprovechar para hacer la desinfección química de la parcela.

Para que el reparto del agua de riego sea homogéneo se hará una parcelación en eras, de dimensiones “manejables”, de forma que se pueda manejar cómodamente el caudal instantáneo disponible, que no debe ser muy alto, para evitar arrastres de arena y tierra.

Dado que el suelo está muy mullido no se entrará en la parcela ni durante ni después del riego, manejando y dirigiendo éste desde el borde de la parcela, hasta que haya transcurrido el tiempo suficiente para que el suelo se haya endurecido lo bastante para no dejar huellas de pisadas profundas, que posteriormente darían problemas en el cultivo.

6. (MANEJO DEL ENARENADO)

Las siembras o plantaciones a efectuar en las parcelas así preparadas requieren el empleo de herramientas y sistemas de trabajo muy específicos o especiales. Así por ejemplo para hacer la siembra de cualquier semilla, por ejemplo: judía, melón, sandía, calabacín o pepino, hay que dar un riego previo para procurar el tempero necesario para la germinación y emergencia de la plántula. Este riego puede hacerse con la red de riego localizado o por inundación, acordonando la arena para ahorrar agua y conducir esta solamente a las líneas que se van a sembrar.

La siembra se hará al día siguiente, si se trata de cucurbitáceas, con semillas pregerminadas o, sin pregerminar en los casos restantes. Para depositar la semilla se apartará con una herramienta la arena en el punto de siembra, depositando la semilla sobre el suelo original o aportado. Se volverá a cubrir el punto de la siembra con la misma arena que se había retirado.

No se debe repetir el riego hasta que haya emergido toda la siembra.

Hay veces que para asegurar un contacto más perfecto de la semilla con el suelo en que la depositamos y, al mismo tiempo una mejor y más rápida emergencia de la plántula, se recomienda depositar sobre la semilla un poco de turba húmeda o substrato antes de volver a cubrir con su arena.

Cuando la plantación se hace con plántulas procedentes de semilleros, en taco de substrato a base de mezclas de turbas, se hace después de haber dado un riego de pre-plantación y apartando la arena del punto donde irá la planta.



A continuación se va marcando el terreno con una barra terminada en un tronco de pirámide invertida, de la misma forma y medida que el taco en que se ha criado la plántula, depositando ésta en dicho hoyo, volviendo a reponer la arena retirada previamente y regando a continuación para que haya un mayor y mejor contacto entre el taco de siembra y el suelo.

El enarenado es una mejora semipermanente ya que transcurrido un cierto tiempo hay que proceder a la faena denominada localmente “retranqueo”. El intervalo entre la realización del arenado y la necesidad de reponer la materia orgánica varía en función del número de cosechas y de las alternativas o sucesión de cultivos que se hayan realizado, sobre todo si se hacen cultivos de altos rendimientos como tomate, pimiento o berenjena, etc, y suele variar entre tres y cuatro años.

Para proceder al “retranqueo”, se dejará transcurrir un cierto tiempo desde la terminación del cultivo anterior, pero sin arrancarlo, de forma que el suelo vaya perdiendo la mayor parte de su tempero, extraído por la transpiración del cultivo, y se procederá entonces a su arranque y limpieza de la arena (barrido de la hojarasca y restos de la cosecha) y, a continuación se apartará y acordonará la arena, dejando la tierra subyacente al descubierto.

El acordonado de la arena se hará con las mismas herramientas manuales o maquinaria citadas al hablar de la realización de arenado, dejando “calles” alternadas con y sin arena, que se laborearán, recibirán aporte de nuevo estiércol tanto enterrado en la capa arable, como, entresuelo y arena, en las mismas cantidades que al inicio-implantación de enarenado, se extenderá nuevamente su arena y así sucesivamente, una franja tras otra, terminando con un riego para asentamiento.

A partir del segundo retranqueo de una parcela enarenada, se hace necesario reponer una cierta cantidad de arena, que se habrá perdido, mezclándose con el suelo de soporte, en el transcurso de las labores de cultivo y faenas de retranqueo.

En los últimos años se está imponiendo la moda de reemplazar el “retranqueo” por lo que llaman “carillas”, que consiste en laborear e incorporar el estiércol localizándolo solamente en una franja muy estrecha, justo la que va a ocupar la línea de plantación. De acuerdo que hay argumentos de economía de materiales, tiempo y mano de obra, pero todo ello tiene una contrapartida en la que no se imputa la degradación del sustrato sobre el que estamos trabajando el suelo enarenado y la pérdida de importantes cualidades agronómicas y merma en los rendimientos, si los comparamos con un retranqueo integral.

Un factor importante es la disminución de las tasas de infiltración de agua y la caracterización de la distribución del sistema radicular de un cultivo de tomate en suelo “retranqueado” y en suelo “sin retranquear” ponen de manifiesto unas notables diferencias.

Respecto a la tasa de infiltración, medida con doble anillo de Muntz, Castilla Prados N. (1986) en la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”, obtuvo los siguientes valores:

Suelo “retranqueado”: 8,28 cm / hora (A)
Suelo “no retranqueado”: 0,38 cm / hora (B)

La relación A/B: $8,28 / 0,38 = 21,789$ nos indica la altísima proporción y cantidad de agua que es capaz de absorber un suelo retranqueado comparado con otro que no lo ha sido. Visto ya como se realiza el enarenado, los materiales, condiciones de la realización, técnicas auxiliares, cuantificación de algunos efectos, bases o conocimientos (algunos meramente empíricos), en las que se asientan algunas de las bondades del sistema, vamos a pasar revista a algunas de sus particularidades

El periodo comprendido entre el establecimiento del enarenado y el “retranqueo” fue de tres años. Estos datos, que aquí se citan, justifican la importancia y necesidad de esta técnica para restablecer la fertilidad de los suelos enarenados.

7. (PROPIEDADES Y VENTAJAS DEL ENARENADO)

• Ahorro de agua:

El complejo de evapotranspiración, reúne la cantidad de agua que pierde un campo por evaporación desde la superficie del suelo regado y del agua transpirada a través de los órganos vegetales de la vegetación que soporta.

La cobertura del suelo con la capa de arena, actúa como mulching o acolchado permanente evitando la ascensión del agua por capilaridad y la evaporación de la misma en la superficie. Por lo tanto la pérdida de agua de ese campo, además de la que pueda perder por gravedad, debida al exceso de aporte por riego o lluvia, será la que pueda perder el cultivo por transpiración a través de los estomas. En los cultivos bajo invernadero esta cualidad del arenado representa otra ventaja añadida, pues el menor contenido de humedad ambiental facilitará mucho el manejo de las condiciones climáticas cuando sean de temer problemas fitosanitarios a causa de una alta higrometría.

• Mejora en la estabilidad térmica de los suelos:

Suaviza las oscilaciones térmicas de los suelos actuando la arena como intercambiador de energía, aumentando la inercia pues tampoco se pierde energía al no existir un proceso evaporativo en la superficie del terreno que la exija. Por otra parte la capa de estiércol situada inmediatamente debajo de la arena actúa como una cama caliente aumentando la temperatura del suelo.

• Favorece la movilidad y absorción de algunos elementos fertilizantes:

La movilidad de algunos elementos, como el fósforo, está ligada al nivel térmico del suelo. La cobertura de arena, a la vez que mantiene el tempero, proporciona una estabilidad e inercia térmica que permite la disponibilidad y asimilación de este elemento aún en épocas frías. Es muy difícil encontrar carencias de este elemento, en suelos enarenados, por causa de frío.

• Posibilidad de empleo de aguas medianamente salinas:

Al ser mínima o nula ascensión de la solución del suelo por capilaridad, las sales que se puedan aportar en cada riego no se suman a las que ascenderían por capilaridad, sino que el nuevo riego las arrastrará en profundidad.



Este efecto es persistente y continuo, consiguiéndose desalinizar suelos salinos, en esto está la gran diferencia con los acolchados o mulching con láminas plásticas, en las que también se produce este efecto; pero si el acolchado se rompe o se levanta al terminar el cultivo, inmediatamente las sales que habían descendido a perfiles inferiores remontan nuevamente hasta la capa arable.

- **Dificulta la emergencia y desarrollo de malas hierbas de semilla:**

Las semillas que eventualmente puedan encontrarse en la parcela enarenada pueden germinar por la humedad que reciban de un riego, pero dado que la arena cuando está bien cuidada y mantenida limpia sin adherencias de limo o arcilla, que puedan propiciar el arraigo de malezas, perecerían al no conseguir enraizar.

- **Propicia el crecimiento del sistema radicular superficial:**

Los cultivos establecidos tendrán localizada su cabellera radicular en la zona situada inmediatamente debajo de la capa de arena, en donde tendrá todas las facilidades para un mejor desarrollo, a saber:

- Una capa de estiércol fino en la que poder fijarse y nutrirse.
- Humedad continua y homogénea, espacial y temporal.
- Temperatura óptima, por estar en contacto con la capa de arena calentada por el sol.
- Disponibilidad inmediata de los nutrientes aportados por la red de riego.

- **Simplificación y economía de las labores:**

Una vez establecido el enarenado, las labores de cultivo se realizan, casi en su totalidad, manualmente y de una forma muy ágil. No hay labores de suelo como escardas, aporcados, etc.

- **Aumento del contenido en CO₂ bajo túnel plástico en cultivo enarenado:**

El aporte de 5 + 5 kg/m² de estiércol, como ya se dijo al hablar de la confección de enarenado, mitad incorporada en la capa arable del suelo y otros tantos situados a modo de sandwich entre el suelo y la arena van sufriendo en el transcurso de su actividad una descomposición, en la que se libera una gran cantidad de CO₂.


Siempre nos había llamado la atención la rapidez de crecimiento de algunos cultivos (generalmente cucurbitáceas: melón, sandía, pepino, calabacín) en las primeras fases del forzado de los mismos mediante el uso de tunelillos de plástico, mientras estos permanecían herméticamente cerrados, no encontrábamos un paralelismo entre temperatura o integral térmica y el desarrollo de dichos cultivos.

Pensando que la descomposición del estiércol y la consiguiente liberación de CO₂ estuvieran relacionadas con el hecho observado, hicimos mediciones de CO₂ en el ambiente confinado bajo los túneles de plástico utilizados para el forzado del cultivo. Empleamos para ello ampollas específicas y jeringa específica así como las ampollas para determinación por colorimetría del contenido de CO₂.

Los valores encontrados bajo túnel plástico cerrado daban un alto incremento por-

centual del orden del 15 al 20%, con la imprecisión que el aparato de medida empleado nos daba, en comparación con las mediciones efectuadas en el exterior de los invernaderos. Este hecho que citamos nos puede indicar que la emisión de CO₂ desde el suelo en los cultivos enarenados debe ser tomada en cuenta dentro de la sinergia que puede representar dentro de todos y cada uno de los inputs que entran a formar parte de los factores de producción.

(TEMA 4)



EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS Y CUBIERTAS DE INVERNADERO EN EL SURESTE ESPAÑOL

Juan Carlos López Hernández

Doctor Ingeniero Agrónomo
Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”





▲ Materiales flexibles para cubiertas de invernaderos

1. (INTRODUCCIÓN]

El material de cerramiento de un invernadero condiciona el microclima que se genera en su interior y consecuentemente la respuesta de los cultivos, modificando la cantidad y calidad de la radiación, tanto de onda corta como de onda larga, que influye directamente sobre el balance de energía de un invernadero. Los procesos fisiológicos de las plantas están afectados por la radiación comprendida entre las longitudes de onda de 300 nm-100 μ m, que incluyen la radiación ultravioleta (UV), fotosintéticamente activa (PAR) e infrarroja (IR) (Jones G.,1983). Willians (1965) y Monteith (1977) demostraron que la producción de materia seca está relacionada con la cantidad de radiación interceptada por los cultivos. Las plantas absorben, transmiten y reflejan la radiación en diferentes proporciones para las distintas longitudes de onda. Así, para la radiación PAR (400 nm-700 nm) el espectro de absorción de la hoja es del 90% de la radiación incidente, mientras que en la región del infrarrojo cercano (700 nm-3.000 nm) transmite la casi totalidad de la radiación, para reducir el calor almacenado producido por las longitudes de onda que no se utilizan en la fotosíntesis. Sin embargo, en el infrarrojo lejano las hojas están capacitadas para absorber importantes cantidades y por tanto para emitir las facilitando la eliminación del exceso de calor (Jones M.R., 1985). McCree (1972), correlacionó la tasa de fotosíntesis con diferentes flujos de luz y concluyó que la franja de 400nm-700nm mostraba ser el mejor indicador de la respuesta fotosintética, siendo esta franja de especial interés a la hora de estudiar un material de cerramiento.

Existen evidencias de que la producción de materia seca, particularmente durante la fase vegetativa del crecimiento de la planta, es una función lineal de la cantidad de radiación interceptada (Hamlym, 1982), por ello la transmisividad del material de cubierta es una propiedad importante.

La radiación, dependiendo de la longitud de onda se puede clasificar como:

UV	300-380 nm
Visible	380-760 nm
IR cercano	760-2.500 nm
IR lejano	2.500-40.000 nm
PAR	400-700 nm
Solar Total	300-2.500 nm

2. (MATERIALES FLEXIBLES]

Son materiales sintéticos, compuestos generalmente por moléculas orgánicas con un elevado peso molecular. Son termoplásticos, es decir, permiten ser sometidos a diferentes ciclos térmicos pudiendo ser fundidos y solidificados tantas veces sea necesario. Son materiales ligeros, de fácil transporte y manipulación.

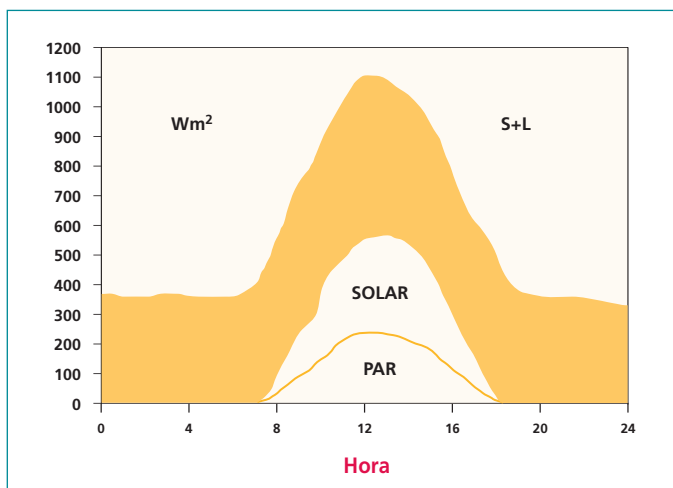


FIGURA 1. RADIACIÓN PAR, SOLAR Y TOTAL (S + L) DENTRO DE INVERNADERO DURANTE EL 02/04/94.

2.1. (Propiedades básicas]

- **Índice de fluidez:** informa sobre la procesabilidad del polímero, así como de las futuras propiedades mecánicas y ópticas. Está relacionado con el peso molecular y por ello con la viscosidad.

- **Densidad:** informa sobre la cristalinidad de los polímeros. Esta modifica la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero.

- **Distribución del peso molecular:** amplitud de pesos moleculares que constituyen el polímero.

- **Tipo y contenido de comonómeros:** con el PE se pueden polimerizar distintos monómeros. Uno muy común es el Acetato de Vinilo, para conseguir el copolímero EVA. El contenido de los comonómeros afecta a las propiedades mecánicas, ópticas y de soldadura.

- **TRANSFORMACIÓN:** El proceso de extrusión consiste en aplicar calor y presión con el fin de fundir la resina y forzarla a pasar por un orificio de dimensiones determinadas. Es un proceso continuo que permite la fabricación de láminas y tuberías. Las condiciones de transformación afectan directamente a las propiedades de los filmes: temperatura, velocidad de enfriamiento, orientación del film (dirección en el sentido de la máquina). La técnica más extendida en agricultura es el soplado, donde el orificio tiene forma circular dando lugar al globo de salida.

La coextrusión es la técnica utilizada para fabricación de filmes multicapa. Cada una de las capas puede ser compuesta de distintos polímeros. Es una técnica que permite combinar varias propiedades en una sola lámina. La mayoría de los filmes multicapa para agricultura están formados por 3 capas.



TRANSFORMACIÓN DE LA GRANZA EN PELÍCULA PLÁSTICA.

El primer síntoma de degradación del plástico es la disminución de la radiación que llega al cultivo. Las principales causas son: las agresiones procedentes de elementos químicos utilizados como fitosanitarios, agresiones provocadas por la acción del viento y temperaturas elevadas, extracción de los aditivos por continuas condensaciones y la agresión por radiación UV procedente del Sol (ésta tiene suficiente energía como para romper los enlaces entre las moléculas).

2.2. (Policloruro de vinilo (PVC))

Es un material rígido que mediante plastificantes se consigue transformar en flexible. Las láminas se fabrican por calandrado lo que limita el ancho de lámina a 2 m, llegando hasta 8 m mediante sucesivas soldaduras. Su densidad es de 1.250-1.500 kg/m³, siendo más pesado que el PE. Su resistencia al rasgado es muy baja, por lo que requiere de estructuras poco agresivas que mantengan bien sujeta la película. También se le añaden antioxidantes, estabilizantes y absorbentes UV. Transmite la luz visible en porcentajes elevados, pero con baja dispersión. Su elevada electricidad estática hace que el polvo se adhiera fácilmente, restándole transmisividad. Su elevado contenido en cloro le proporciona un buen efecto barrera al IR.

2.3. (Copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA))

Otro de los materiales que se empezó a utilizar fue el EVA. Éste, presenta mayor transmisividad en onda corta y menor en onda larga que el PEbd, dependiendo del porcentaje de Acetato de Vinilo que incorpore. Sin embargo, debido a las cargas electrostáticas presentes en su superficie, la adherencia del polvo es elevada (Figura 2), lo que provoca reducciones en la transmisividad importantes. Además, por la misma causa la

limpieza de polvo y del blanqueo (utilizado para sombrear en periodos calurosos) se hace difícil, por ello, su uso fue limitado.

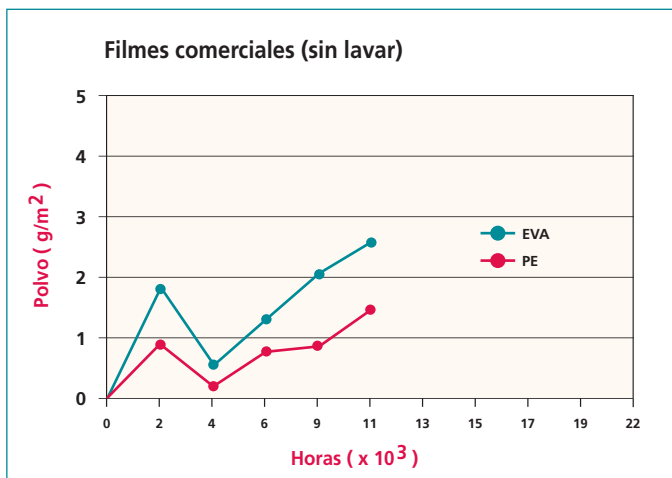


FIGURA 2. ACUMULACIÓN DE POLVO PARA DOS MATERIALES DE CUBIERTA DE INVERNADERO (PE Y EVA).

En la actualidad, la industria transformadora está dirigiendo sus productos a materiales tricapas los cuales permiten la incorporación de una lámina de EVA en la parte central o interna con lo que se eliminan los inconvenientes anteriores. Estos nuevos materiales pueden incluso superar en transmisividad a los actuales conformados únicamente con PEbd.



ACUMULACIÓN DE POLVO EN DOS MATERIALES EVA (DERECHA) Y PE (IZQUIERDA), PARA UNA MISMA FECHA DE COLOCACIÓN.



El EVA se obtiene por sintetizado, realizando un calentamiento suave de etileno y AV en presencia de peróxidos. La proporción usual en AV para agricultura oscila entre el 6% y el 18%. Mayor contenido en AV aumenta su opacidad al IR pero disminuye su resistencia mecánica. Los problemas más importantes que presentan son: su plasticidad (cuando se estiran no recuperan), quedan flácidos; gran adherencia al polvo lo cual en zonas secas y de vientos constantes (como Almería) donde el polvo en el aire es abundante, pueden provocar reducciones en más de un 15% en transmisividad a la radiación solar. Además, son más difíciles de lavar por las lluvias debido a su alta carga electrostática. Otro uso es como doble techo en concentraciones de hasta un 6% en AV y espesores de 75-100 μm . Las propiedades de los copolímeros EVA dependen fundamentalmente de dos factores: peso molecular y contenido en acetato de vinilo. El peso molecular determina el comportamiento del flujo en estado fundido y las características mecánicas y resistencia química en general, se mide a través del índice de fluidez. La introducción del AV en la cadena de PE causa una reducción en cristalinidad y un aumento de la polaridad.

2.4. (Polietileno]

Es el material plástico más extendido, debido a su precio, a sus buenas propiedades mecánicas, y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones. El PE junto al polipropileno (PP) y al PVC, son los termoplásticos de más consumo. El PE se obtiene mediante la polimerización del etileno utilizándose en su fabricación varios procesos y sistemas catalíticos. La mayor parte del PE para invernaderos se fabrica por el proceso de alta presión y catálisis de radicales libres mediante peróxidos.

Atendiendo a su densidad los PE se clasifican:

baja densidad	< 930 kg/m³
media densidad	930-940 kg/m³
alta densidad	>940 kg/m³

Para cerramiento de invernaderos se utiliza sólo el de baja densidad (baja cristalinidad) y alto peso molecular (bajo índice de fluidez). Una de las características del PE es que su alargamiento en el punto de rotura es cercano al 500%. Un material se considera degradado cuando su alargamiento se ha reducido en un 50% de su valor inicial. El polietileno, al igual que todas las poliolefinas es degradado por la radiación UV y el oxígeno. La exposición a la intemperie provoca su rotura al perder las propiedades mecánicas. Los filmes de PE normal, sin aditivar, tienen una vida corta en zonas con elevada radiación. Esto se mejora añadiendo aditivos que limitan la acción de la radiación UV, consiguiendo aumentar la vida del plástico, es el PE Larga Duración. Esto se corrige añadiendo:

- absorbentes de radiación UV (derivados de benzotriazoles y benzofenonas)
- secuestradores de radicales libres
- desactivadores (sales orgánicas de níquel)
- estabilizantes (Hindered Amines Light Stabilizers)

Se pueden hacer dos grandes grupos de aditivos:

- **Aditivos de proceso:** destinados a evitar la degradación térmica durante la extrusión (antioxidantes) o para mejorar la procesabilidad del polímero.
- **Aditivos de aplicación:** se añaden al polímero con el fin de obtener las cualidades deseadas: deslizantes, antibloqueo, estabilizantes frente a UV, aditivos térmicos, pigmentos, etc.

Los desarrollos de las nuevas formulaciones se dirigen hacia una mejora de las propiedades mecánicas y ópticas, las cuales pueden reducir el volumen de residuos (mediante materiales más duraderos) y el uso de fitosanitarios (a través de plásticos fotoselectivos). Los nuevos materiales tratan de mejorar los aspectos de: duración, humedad (efecto antigoteo), temperatura (efecto termoaislante) y transmisividad. La eficacia de estos materiales va a depender en parte de la geometría de la cubierta del invernadero y de la localización del mismo.

Las propiedades más utilizadas con los materiales son:

- alta transmisividad a onda corta
- baja transmisividad a onda larga
- efecto térmico
- efecto antigoteo
- efecto antibotrytis
- monocapa
- tricapa
- una campaña
- dos campañas: larga duración
- tres campañas
- fotodegradables
- biodegradables

3. (MATERIAL DE CERRAMIENTO FRENTE A LA RADIACIÓN DE ONDA CORTA)

La radiación solar (onda corta) cuando incide sobre una superficie se descompone en tres fracciones: reflejada, transmitida y absorbida. La distribución cuantitativa va a depender del ángulo de incidencia y de las propiedades del material (espesor, superficie, aditivos, etc.).

Un material de cubierta debe de transmitir la máxima radiación de onda corta, ya que es en ésta donde se encuentra la fracción de radiación PAR.

De la radiación transmitida, parte será difusa y parte directa, dependiendo del material de cubierta. Una proporción elevada de radiación difusa evitará posibles quemaduras y especialmente en cultivos de porte alto permitirá que las hojas localizadas en niveles inferiores reciban más radiación, ya que las hojas del primer nivel interceptan la mayor parte. La radiación difusa cuando incide sobre un objeto lo hace en todas las



direcciones (como una bóveda) con lo que a penas se producen sombras. Una forma sencilla de identificar un material con elevada proporción de radiación difusa, es simplemente observando si existen sombras bien definidas dentro del invernadero.

Los valores de transmisividad que proporcionan las casas comerciales están referidos a condiciones que no se presentan en la práctica, es decir, cuando la luz incide perpendicularmente sobre la cubierta, así, son valores normales de más del 90% en transmisividad a la luz visible.

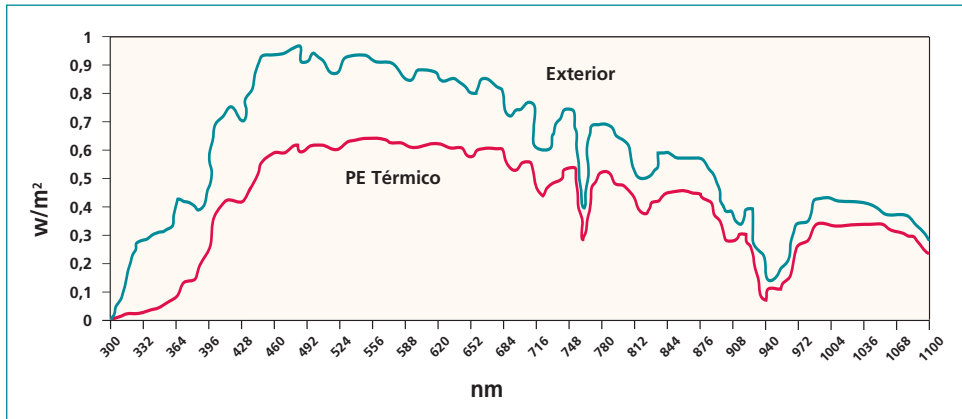


FIGURA 3. RADIACIÓN PARA LAS DISTINTAS LONGITUDES DE ONDA FUERA Y DENTRO DEL INVERNADERO.

La Figura 3, muestra cómo se reduce la radiación por el efecto de un material de cubierta para las distintas longitudes de onda de la radiación solar. Es importante resaltar que en la franja PAR (400-700 nm) la transmisividad se reduce fuertemente.

En el Cuadro 1 se muestran los valores medios de transmisividad Solar y PAR de un invernadero simétrico con orientación E-O y pendiente de 8°. La radiación Solar media durante todo el ciclo fue del 61%, oscilando entre el 68% y el 54%. Para el mismo período la transmisividad media de la radiación PAR fue del 52%, es decir, un 9% inferior a la Solar, variando entre el 63% y el 44%. Los valores reales son muy inferiores a los valores máximos ‘teóricos’ de ahí que debamos de buscar materiales con la mayor transmisividad posible.

CUADRO 1. TRANSMISIVIDAD (G) MEDIA MENSUAL (%) DE LA RADIACIÓN SOLAR Y PAR EN INVERNADERO DURANTE LA CAMPAÑA 93-94.

G	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
SOLAR	67	68	60	62	64	61	65	59	58	54	58	57
PAR	61	63	49	52	54	53	57	51	49	44	47	46

4. (MATERIAL DE CERRAMIENTO FRENTE A LA RADIACIÓN DE ONDA LARGA)

La radiación recibida sobre la tierra es una fracción de la recibida fuera de la at-

mósfera y dependerá de la masa de aire, turbidez de la atmósfera y contenido de agua en el aire. Esta fracción es la responsable del calentamiento del invernadero, siendo absorbido por las plantas y suelo. También éstos, al ser cuerpos negros se comportan como tales y emiten radiación a diferentes longitudes de onda. La atmósfera ejerce de barrera a gran parte de la longitud de onda larga, sin embargo, hay una banda entre 7 y 14 μm , donde se encuentra la denominada Ventana de la Atmósfera, ya que por ella se pierde “inevitablemente” parte de energía emitida por los cuerpos negros, y que puede dar lugar a las inversiones térmicas. Precisamente es en esa franja donde se actúa para reducir las pérdidas desde el invernadero. La diferencia en temperaturas provocado por el efecto térmico puede variar en varios grados centígrados dependiendo de las condiciones atmosféricas. El PE tiene buena transmisividad a la radiación solar pero baja opacidad al infrarrojo (>70%) lo que provoca un escaso efecto invernadero. Mediante el uso de aditivos se consigue que el material absorba en esa franja la radiación, es el llamado PE térmico. Se asume que un plástico tiene efecto térmico cuando transmite menos del 20% de radiación de onda larga.

La cubierta puede modificar la entrada y salida de radiación térmica. Ésta, es producida por los cuerpos negros (suelo, estructura, atmósfera, cubierta vegetal, etc.) y es función de la temperatura de ese cuerpo. Los cultivos para su desarrollo necesitan mantener una temperatura óptima, por debajo de la cual se aprecian mermas en producción. Durante el período nocturno, el invernadero como cuerpo negro emite y recibe radiación de onda larga. Este balance es negativo, es decir, el invernadero se enfría durante la noche. Mediante el uso de aditivos se puede reducir la radiación de onda larga que abandona el invernadero. En realidad lo que ocurre con un material térmico es que cuando éste absorbe total o parcialmente la radiación de onda larga aumenta de temperatura y emite hacia dentro y hacia fuera radiación de onda larga.

Los procesos de transferencia de calor entre el exterior y el interior de un invernadero proceden de:

- Radiación solar
- Radiación térmica
- Flujos de calor sensible y latente
- Flujo de calor y acumulación procedentes del suelo
- Conducción en la cubierta
- Ventilación natural
- Flujos de calor externo: calefacción

En el equilibrio las entradas y salidas de calor se igualan.

El aporte de calor durante determinados períodos, aumenta la producción y calidad de las hortalizas. La tasa de combustible utilizado llega a ser un factor económico importante a la hora de mantener un salto térmico adecuado entre el exterior y el interior del invernadero, siendo mayor durante el período nocturno, debido a la ausencia de aporte de calor desde el Sol. Los plásticos térmicos reducen el consumo de combustible al reducir las pérdidas de calor por radiación (Figura 4).

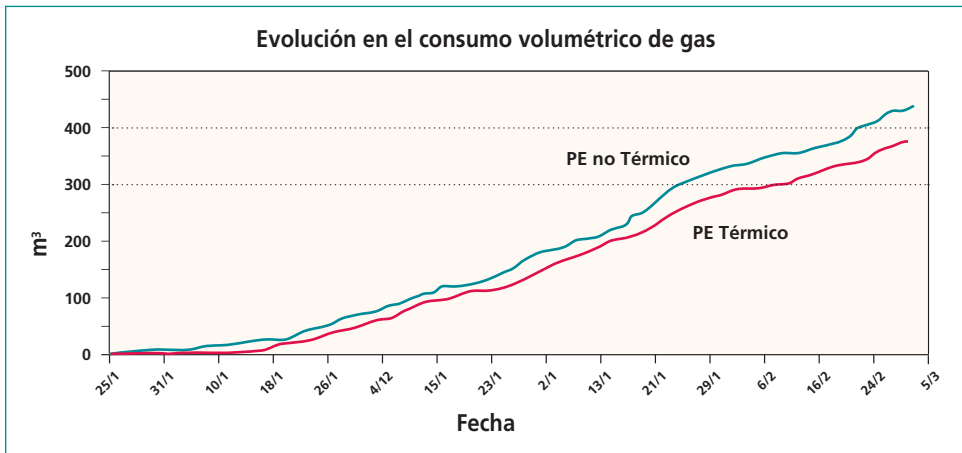


FIGURA 4. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE (PROPANO) PARA UN MATERIAL TÉRMICO Y OTRO NO TÉRMICO.

Para los diferentes materiales existe un coeficiente global de transferencia de calor (U), que nos indica la capacidad de cada material para conservar la energía, en él se engloban los distintos procesos de transferencia de calor:

Material de cubierta	U (W m ⁻² k ⁻¹)
Cristal	6,0-8,8
Doble cristal	4,2-5,2
Doble policarbonato	4,8
Polietileno	6,0-7,8
Doble polietileno	4,2-5,5

U COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR

Cuanta más radiación absorba el material, el invernadero se enfriará menos. Datos de ensayos muestran valores de temperatura de aire de hasta 2° C de diferencia de un plástico térmico frente a un no térmico.

En el Cuadro 2, se muestran valores de radiación durante el período nocturno (radiación de onda larga). A partir de dichos valores podemos evaluar el ‘efecto invernadero’ que provoca la cubierta termoaislante de PE: si no existiera la cubierta de plástico (a las 03:00 h), el balance neto sería de -64 W m⁻² (BNE = REI - RIR).

El uso de la cubierta modifica el balance, tal que, el balance neto sobre invernadero (BNSI = REI - RER) es de -51 W m⁻², lo que supone una reducción en un 20% respecto a la situación sin cubierta. Pero aún más, debido al efecto termoaislante del plástico el balance neto sobre la cubierta vegetal dentro de invernadero es de -13 W m⁻² (BNDI = RII - RIR), lo que supone una reducción en un 80% frente al balance neto sin la cubierta de plástico (BNE).

CUADRO 2. VALORES DE LA RADIACIÓN (WH M-2) DURANTE LAS HORAS NOCTURNAS DEL DÍA 02.04.94, TEMPERATURA DE PLÁSTICO Y RADIACIÓN TEÓRICA EMITIDA (F) POR EL PLÁSTICO DONDE:

HORA	REI	RER	RII	RIR	Tª plástico	F=ís(Tª)4
01:00	329	381	380	393	12.2	375
02:00	324	372	369	385	10.5	366
03:00	323	374	374	387	11.9	374
04:00	318	370	369	383	10.3	365
05:00	322	372	372	384	11.9	374
06:00	320	372	370	384	10.9	368

REI= RADIACIÓN EXTERIOR INCIDENTE SOBRE LA CUBIERTA DE INVERNADERO.
RER = RADIACIÓN EXTERIOR REFLEJADA DESDE LA CUBIERTA DE INVERNADERO.
RII= RADIACIÓN EN INVERNADERO INCIDENTE SOBRE LA CUBIERTA VEGETAL.
RIR= RADIACIÓN EN INVERNADERO REFLEJADA DESDE LA CUBIERTA VEGETAL.
Tª = TEMPERATURA DEL PLÁSTICO.

La Figura 5 muestra los balances de radiación en exterior sobre invernadero y dentro de invernadero. Para períodos nublados, la temperatura del cielo es mayor y por ello la radiación exterior incidente (REI) aumenta, lo que conduce a una reducción del balance neto de radiación durante la noche, aproximándose a valores de 0 W m⁻². En esta situación, la temperatura de radiación del cielo se aproxima a la temperatura del aire exterior, disminuyendo el riesgo de inversión térmica.

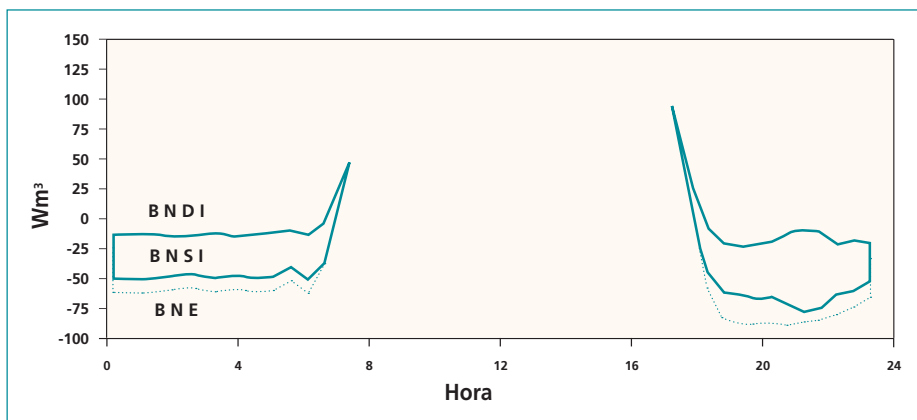


FIGURA 5. BALANCE DE ONDA LARGA SIN PLÁSTICO (BNE), CON PLÁSTICO SOBRE INVERNADERO (BNSI) Y DENTRO DE INVERNADERO (BNDI).

5. [EFECTO ANTIGOTEO]

El agua de condensación en la cara interna del material de cubierta reduce la radiación de onda corta, aumenta el riesgo de enfermedades al caer sobre los cultivos y favorece las quemaduras de los mismos.



La luz cuando incide sobre una gota de agua, debido a su forma, refleja parte de la radiación (Figura 6) provocando pérdidas en la transmisividad. Mediante aditivos, se consigue que las gotas tiendan a ser planas y con una pendiente determinada de la cubierta retirar la lámina de agua. Los aditivos utilizados facilitan la adherencia de polvo sobre la superficie, lo que reduce la transmisividad del material. Además dichos aditivos son extraídos con rapidez por el agua condensada, reduciendo el efecto antigoteo a pocos meses.

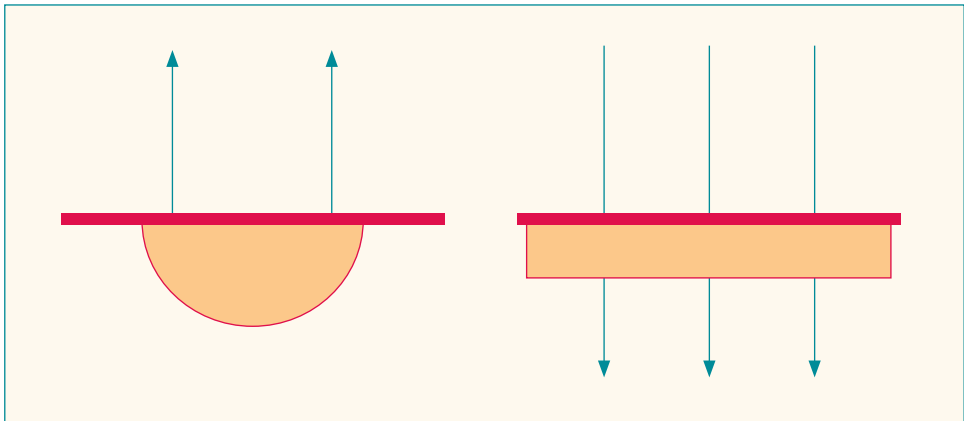


FIGURA 6. EFECTO DE LA FORMA DEL AGUA DE CONDENSACIÓN EN LA CUBIERTA DEL INVERNADERO SOBRE LA RADIACIÓN.

El uso de aditivos antigoteo puede en ocasiones no estar recomendado, como es el caso de la estructura tipo parral. Ya que la presencia de la malla de alambre interna, al estar en contacto con el plástico provoca que por dichos alambres gotee el agua. Así, es fácil observar en invernaderos tipo parral con plásticos antigoteo cómo los cultivos se mojan más que en uno sin antigoteo. Este efecto, es recomendable en estructuras de arco, donde los elementos en contacto con la cubierta son escasos.

6. (EFECTO ANTIBOTRYTIS]

En los últimos años, las investigaciones están apuntando hacia materiales con características fotoselectivas capaces de interrumpir el ciclo vital de los hongos y otros organismos. La esporulación y el crecimiento micelial de los hongos pueden, en parte, ser limitados mediante el uso de aditivos que absorban la franja de radiación vital para su desarrollo. Las experiencias en laboratorio han sido satisfactorias, aunque en campo, los resultados están más limitados, ya que existen muchas más interacciones de otros parámetros como son las variaciones de temperatura, la humedad relativa, la radiación (la presencia de ventanas provoca que la radiación en el interior del invernadero no esté totalmente filtrada), etc.

7. (EFECTO FLUORESCENTE]

Otra propiedad que se está explorando con los materiales plásticos es la fluorescencia.

El objetivo es absorber la radiación solar en las longitudes menos ‘útiles’ para la planta y reemitir la radiación en otras más eficientes para la fotosíntesis (próximas a los 650 nm), de esta forma sería posible aumentar la fotosíntesis global.

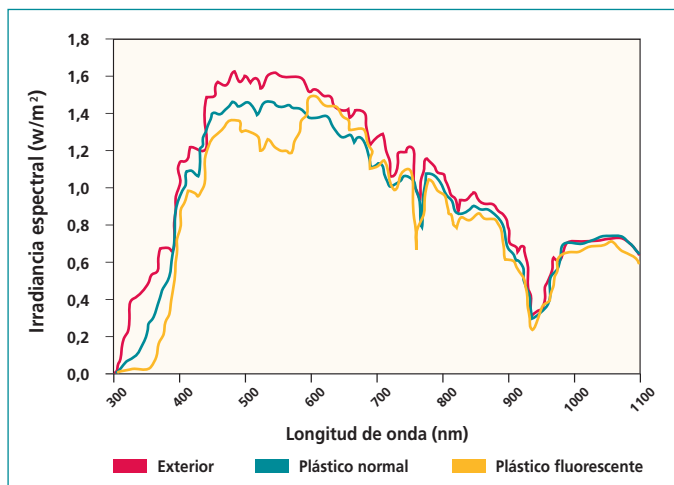


FIGURA 7. ESPECTRO DE TRANSMISIVIDAD PARA PLÁSTICO NORMAL (POLIETILENO) Y FLUORESCENTE.

Hay que tener especial cuidado ya que en la mayoría de los casos esos aditivos provocan también una reducción de la transmisividad en gran parte del espectro solar (Figura 7).

▲ Estructuras de invernadero y su evolución en Almería

1. (INTRODUCCIÓN)

La buena situación en la que se encontraba el cultivo de uva de mesa durante la década de los 50, debido a sus buenas cualidades para resistir los envíos a grandes distancias, se desvaneció con el desarrollo de los medios de transporte (se redujeron en tiempo las distancias) y la aparición de aranceles (Arancel Aduanero Común). En el año 1958, se construyó el primer invernadero de plástico en España, concretamente en las Islas Canarias. Cinco años más tarde, se iniciaron los primeros ensayos en la zona costera de Almería (Roquetas de Mar). Se adoptó el sistema ‘enarenado’, procedente de la costa granadina (Pozuelo y La Rábida), donde se utilizaba una capa de arena en superficie que conseguía aumentar las producciones. Fue a partir de 1970 cuando los invernaderos experimentan su gran expansión. Así, apareció el invernadero tipo ‘Parral’, desarrollado a partir de la estructura procedente del cultivo de uva de mesa a base de postes de madera y un tejido de alambre, al cual se le añadió un segundo tejido de alambre para sujetar las láminas de plástico que formaban el material de cubierta. Desde entonces la expansión de los invernaderos ha sido continua en extensión y calidad de los mismos.



2. (EVOLUCIÓN]

El invernadero parral, hoy día, sigue siendo una construcción sencilla que ha ido incorporando pequeñas mejoras, manteniendo su carácter artesanal y sobretodo la forma de sujeción del plástico (entre dos mallas de alambre). Se han mejorado aspectos tan importantes como:

- mayor captación de radiación
- mejor ventilación
- mayor estanqueidad
- mayor volumen del invernadero

La incorporación de sistemas de ventilación pasiva (ventanas laterales y cenitales) han mejorado las condiciones térmicas del invernadero, especialmente en las épocas de calor. Atendiendo a diferentes criterios los invernaderos tipo parral podemos clasificarlos (Pérez Parra, J.) por:

■ Geometría de la estructura:

- Plana
- Capilla simple o raspa larga
- Multicapilla o raspa y amagado
- Asimétrico

■ Materiales empleados como soportes perimetrales e interiores:

- Madera
- Metálicos
- Hormigón

Según A. Cuadrado (1997), respecto al invernadero parral podemos decir:

- La geometría de la cubierta más frecuente, es la multicapilla o de raspa y amagado, persistiendo aún una presencia importante de invernaderos planos.
- El material más empleado en la construcción de soportes perimetrales es la madera, seguido del tubo hueco de acero galvanizado y los perfiles de acero laminado.
- Como material para soportes interiores, la madera es el material más utilizado, seguido del tubo hueco de acero galvanizado, siendo el hormigón de uso minoritario.
- La dimensión media de los invernaderos se sitúa entre 0,5-1 ha. El 88% de los invernaderos tiene menos de 1 ha.
- La antigüedad de las estructuras de invernadero: el 66% tiene menos de 10 años, el 16% entre 10 y 15 años y un 18% supera los 15 años.

3. (PROCESO CONSTRUCTIVO]

Las etapas principales son:

- Replanteo y ejecución de muros de cerramiento de la parcela.
- Cimentación: zunchos perimetrales, muertos y bloques de apoyo para soportes.
- Colocación de esquineros.
- Soportes perimetrales y cordadas de la malla estructural.
- Elaboración del tejido superior.
- Elaboración del tejido inferior.
- Colocación de apoyos interiores.
- Construcción de los amagados.
- Elaboración de bandas y ventanas.
- Colocación del plástico y punteo final.

4. (ESTRUCTURAS TIPO INDUSTRIAL)

Siendo mayoritaria la estructura tipo parral, desde hace años se encuentran presentes otras estructuras, las cuales en los últimos años están experimentando un crecimiento en superficie destacable. Son estructuras metálicas con perfiles redondos o rectangulares, donde el material de cubierta se sujeta en las correas mediante tacos, dejando el material tenso y sin perforaciones, proporcionando al invernadero un mayor hermetismo. Este tipo de estructura suele ir acompañada de sistemas de control de clima más o menos sofisticados. Las dimensiones varían de unas casas a otras, siendo lo más común arcos de 8 m de luz. La geometría mayoritariamente es circular, existiendo también asimétrica. La diferencia en cuanto a posibilidad de controlar el clima es clara a su favor, sin embargo como principal desventaja se encuentra su precio, superando en más de dos veces al parral.

5. (BIBLIOGRAFÍA)

- Jones, G., 1983. Plants and microclimate. Cambrige University Press.
- López Hernández, J.C. y López Gálvez, L., 1993. Comparación de dos materiales de cubierta para invernadero: uno de polietilenotermoaislante y otro un copolímero EVA con efecto antigoteo. Actas II Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas, Abril 1993.
- López Hernández, J.C., 1994. Radiación de onda corta y larga bajo una cubierta de polietileno termoaislante.
- McCree, K.J., 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data Agric. Meteorol., 10: 443-453
- Nijskens, J., J. Deltour, S. Coutisse y A. Nisen, 1985. Radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouses. Agricultural and Forest Meteorology 35 pg: 229-242
- Ting, K.C. y Gene A. Giacomelli, 1987. Solar photosynthetically active radiation transmission through greenhouse glazings. Energy in Agriculture, 6 pg: 121-132.

(TEMA 5]



EL RIEGO POR GOTEO. MANEJO, CÁLCULOS DE FERTIRRIGACIÓN Y OTROS PRODUCTOS

Juan Carreño Sánchez
Ingeniero Técnico Agrícola
Juan José Magán Cañadas
Ingeniero Agrónomo

Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”





1. (INTRODUCCIÓN]

El riego por goteo consiste en la aplicación localizada del agua de riego al cultivo a través de unos emisores denominados goteros desde unas tuberías de distribución por las que circula a una cierta presión.

Dado que el caudal de emisión de los goteros es bajo (de 2 a 4 litros por hora en cultivos intensivos), es posible aplicar dotaciones de riego pequeñas y frecuentes, por lo que se puede mantener el nivel de humedad del suelo próximo a la capacidad de campo sin grandes fluctuaciones. En esta situación, la planta tiene el agua a su disposición fácilmente y es menos costosa su absorción desde un punto de vista energético que en sistemas de riego de baja frecuencia, en donde los niveles de agotamiento hídrico del suelo son mucho mayores. Por tanto, con el riego por goteo pueden utilizarse aguas de peor calidad agronómica.

Por otro lado, el riego por goteo permite aportar y localizar en las raíces de las plantas los fertilizantes que éstas necesitan para su desarrollo. Así, mediante un correcto manejo, es posible conseguir un alto aprovechamiento de esos abonos, minimizando las pérdidas que se producirían por lixiviación si se empleasen en sistemas no localizados. Del mismo modo, permite ahorrar agua y fertilizantes y fraccionar mejor el aporte de éstos, de acuerdo a las necesidades del cultivo en cada momento. Otra ventaja importante del riego por goteo es el ahorro de mano de obra que conlleva, lo cual viene a compensar el mayor coste inicial de infraestructura que requiere. Así mismo, no es necesaria una nivelación del terreno tan exacta como en el riego a manta.

Todas estas ventajas han hecho que en los cultivos hortícolas bajo invernadero de la provincia de Almería se imponga este sistema de riego, el cual ha desplazado casi en su totalidad al riego a manta desde que se introdujo allá por los años 70 procedente de Israel. No obstante, todavía es posible encontrar algunos invernaderos en la zona de La Cañada y el Campo de Níjar en los que persiste el riego a manta. Por ello, parece interesante indicar algunas nociones sobre el manejo de este sistema antes de abordar el riego por goteo.

2. (EL RIEGO A MANTA EN LOS INVERNADEROS DE ALMERÍA]

El riego a manta consiste en la aplicación sobre la superficie del terreno de un cierto caudal de agua o «regante» en forma de lámina, que va escurriendo por gravedad a favor de la pendiente. De este modo, se trata de humedecer el suelo de la manera más uniforme posible.

En suelos enarenados el terreno se divide en amelgas mediante caballones de arena, con el fin de distribuir mejor el agua. No obstante, en tomate, antes de realizar el aporcado, los primeros riegos se dan sobre la misma línea de cultivo, aprovechando que se ha abierto una regata en la arena para plantar el cultivo en la tierra. Cuando se aporcan las plantas, se hacen los caballones a lo largo de cada una de las líneas de cultivo. A partir de entonces, el agua se aplica en el espacio que hay entre dos líneas, pero normalmente sólo se riega cada dos arroyos, es decir, la mitad de la superficie, con el fin de evitar problemas de encharcamiento y de exceso de humedad en el ambiente.

En otros cultivos como pepino, judía, etc, que no requieren de aporcado, se riegan las amelgas iniciales alternas en las que no está plantado el cultivo, con el fin de evitar el contacto directo del agua sobre el cuello de las plantas y que de este modo se produzca la instalación de agentes patógenos sobre esa parte vegetal.

En la cabeza de las amelgas, a todo lo largo del invernadero, existe un surco igualmente de arena que sirve de acequia para distribuir el agua desde la balsa o pozo a cada una de las amelgas. Conforme éstas se van regando, se aporta arena en la cabeza para cerrarlas y evitar que entre más agua, pasando ésta a la siguiente amelga.

La dotación de riego va a ser variable en función del tipo de suelo y de la época del año. Normalmente, el agricultor conoce bien el suelo que tiene y sabe el agua que admite. Así por ejemplo, si se trata de un suelo pesado de difícil drenaje, dará riegos más ligeros ya que, de lo contrario, al retener más el agua y percolar peor que en suelos de granulometría gruesa, podría originar problemas de asfixia radicular. Incluso, dentro de un mismo invernadero, puede haber zonas que requieran un tratamiento especial; esto es bien conocido por el agricultor. En épocas calurosas se admiten, lógicamente, dotaciones más altas debido a las mayores necesidades hídricas del cultivo, que van a hacer que el suelo se seque con mayor rapidez.

En lo que se refiere a la frecuencia de riego, ésta va a ser muy variable según la etapa de desarrollo del cultivo y la época del año de la que se trate. El riego de plantación debe ser abundante y ha de mojar toda la superficie, con el fin de que la tierra alcance un tempero adecuado tras haberse encontrado un cierto tiempo seca. Tras la plantación se da un riego de secunde para evitar que las plantas acusen el estrés que supone el trasplante. Los riegos posteriores en plantaciones de verano de cara a ciclo de otoño, se suelen distanciar una semana, aunque puede ser aconsejable alargarlos más cuando el cultivo se encuentra demasiado exuberante y es necesario controlar su crecimiento y desarrollo con el fin de evitar que vegete excesivamente y vaya en perjuicio de la fructificación.

En tomate, el riego anterior al aporcado debe ser abundante con el fin de humedecer bien toda la arena; de esta forma, al pegarla al tronco de la planta, favorecerá el desarrollo de una abundante cabellera radicular en esta zona, que va a ayudar al cultivo a nutrir la futura carga de fruto. Tras esta operación no es conveniente volver a regar durante un largo periodo de tiempo (al menos dos semanas), para evitar que se alcance en el tronco una alta humedad antes del enraizamiento, que podría originar la aparición de podredumbres de cuello, y para favorecer dicho enraizamiento.

Una vez que el cultivo ha entrado en fructificación, los riegos se regularizan y, conforme se aproxima la época invernal, será necesario alargar el periodo entre riegos. En periodos lluviosos o de alta humedad ambiental, puede ser necesario distanciar los riegos más de un mes, por encontrarse la arena excesivamente mojada. En cualquier caso, el tempero del suelo nos indicará cuando regar.

Posteriormente, al llegar la primavera, nuevamente las necesidades hídricas del cultivo aumentan, con lo cual los riegos son necesarios más frecuentemente (cada semana). Incluso puede resultar beneficioso dar un riego a toda la superficie de cultivo con el fin de mejorar la humedad ambiente en el interior del invernadero.



En lo que se refiere al abonado, en riego a manta es frecuente fraccionar el aporte de fertilizantes entre fondo y cobertera. Normalmente, el abonado de fondo se aplica sobre la superficie de la arena previo al riego de plantación, de forma que, al dar éste, dicho abono se disuelve y llega a la tierra. Dada la existencia de la capa de arena, no resulta normal mezclar el abonado de fondo con la tierra; sólo se hace en el caso de que se realice el retranqueo del suelo. En tomate, lo normal es aportar el abonado de fondo durante el aporcado, de manera que a lo largo de la línea de cultivo se echa un «chorrillo» de estiércol procesado y/o fertilizantes minerales, que queda enterrado al voltear la arena sobre el tronco de las plantas.

Se suelen emplear unas cantidades de fertilizantes minerales que oscilan entre 500 y 2.000 kg·ha⁻¹ y de fertilizantes orgánicos entre 1.000 y 1.500 kg·ha⁻¹. Los primeros pueden ser una mezcla de abonos simples tales como sulfato amónico, superfosfato de cal y sulfato potásico, pero lo normal es que se empleen abonos complejos como el 15-15-15 por su mayor comodidad. Incluso, últimamente es frecuente el uso de fertilizantes de liberación lenta con el fin de ralentizar su solubilización, lo que permite disminuir las pérdidas por lixiviación y evitar daños sobre el cultivo debidos a una excesiva acumulación de sales en la rizosfera. En cuanto a los abonos orgánicos, en la actualidad está muy extendido el uso de estiércoles procesados, sueltos o peletizados, que se suministran en sacos de 25 ó 50 kg, utilizándose normalmente el estiércol a granel sin procesar sólo en la realización de nuevos enarenados y en retranqueos. Esto supone una cierta seguridad para el agricultor ya que los abonos orgánicos procesados deben estar libres de semillas de malas hierbas, patógenos, etc.

En cuanto a la aplicación de fertilizantes en cobertera, ésta se realiza junto con el agua de riego. Para dosificarlos, lo que se hace frecuentemente es que un obrero va soltando puñados de abono al agua conforme ésta circula por la acequia a la entrada del invernadero. El obrero tiene que ir regulando el aporte en función del caudal de agua y las dosis de riego y abono. Otra forma de realizar la disolución, es haciendo una solución concentrada previa en un depósito, del cual se deja caer un chorrillo al agua de riego a través de un grifo. Éste se abre más o menos en función de la concentración realizada y de la rapidez del riego. En cualquier caso, la experiencia del agricultor va a ser decisiva para realizar una buena dosificación de los fertilizantes.

El aporte de abonos en cada riego por unidad de superficie va a ser muy variable. Así, va a oscilar entre 10 kg·1.000 m⁻² en los primeros riegos tras la plantación, hasta 60 kg·1.000 m⁻² en invierno, ya que en esa época el periodo entre riegos es muy grande, como se ha comentado anteriormente. Del mismo modo, puede haber riegos en los que no se aporte abono en disolución, debido a que ya se haya hecho con anterioridad o se vaya aportar a continuación como abonado de fondo; esto puede suceder al principio de la plantación o en el riego previo al aporcado. También puede ocurrir que, ante la imposibilidad de regar en invierno, el agricultor se vea obligado a esparcir el abono sobre la arena para que se vaya disolviendo poco a poco.

El tipo de abono empleado en las aplicaciones de cobertera va a ser variable en función de la etapa de desarrollo del cultivo y, por tanto, de las necesidades de éste. En cualquier caso, lo normal es que se utilicen sólo uno o dos tipos diferentes de fertilizantes en un mismo riego ya que, un número mayor dificultaría su manejo a la hora de realizar

la aplicación. Por ello es frecuente en riego a manta que el agricultor emplee abonos complejos que aportan al mismo tiempo los diferentes nutrientes que requiere la planta.

Al inicio del cultivo, dado que los requerimientos de fósforo son elevados como consecuencia del desarrollo radicular y del inicio de la floración, normalmente el agricultor utiliza fosfato mono o biamónico. Posteriormente, conforme el fruto va desarrollándose y las necesidades de potasio van en aumento, es normal el empleo de nitrato potásico o de complejos tales como 15-15-15 ó 12-12-17, solos o en mezcla con el primero. En fase de máxima carga de fruto es muy empleado el complejo 19-19-19, el cual no sólo aporta los tres macronutrientes principales (N, P y K), sino también cantidades apreciables de microelementos, los cuales, como sabemos, son fundamentales para el buen desarrollo de los cultivos hortícolas, especialmente en etapas con elevados requerimientos nutricionales. En cualquier caso, utilizaremos el abono o la combinación de éstos que mejor se aproxime a las necesidades nutritivas del cultivo en la fase en la que se encuentre.

Aunque, como ya se comentó al principio, el riego a manta está desapareciendo de las explotaciones almerienses en favor del riego por goteo debido a las ventajas que éste presenta, no cabe duda de que es interesante tener la posibilidad de regar por los dos sistemas. De esta forma, habitualmente se regaría con el sistema de goteo, mientras que, para la desinfección del suelo con productos tales como metan-Na, dicloropropeno, etc, se utilizaría el riego a manta. Esto es más conveniente porque, al utilizar el goteo, no aseguramos que se humedezca totalmente el terreno y, por tanto, pueden quedar zonas sin desinfectar, mientras que, con el riego a manta, el tratamiento es más uniforme y normalmente más eficaz. Sin embargo, el poder regar por los dos sistemas supone una inversión elevada y, además, actualmente se están construyendo explotaciones con una pendiente elevada que no permiten regar a manta, con lo sólo se instala riego por goteo, a pesar del interés apuntado que tiene el sistema mixto.

3. (**INSTALACIONES DE RIEGO POR GOTEO**)

La utilización del riego por goteo exige contar con agua a presión, que o bien se consigue aprovechando diferencias de nivel o se recurre a bombear el agua. Ya hay algunas comunidades de regantes que están sirviendo el agua a presión a sus usuarios, evitándoles el bombeo y también la necesidad de disponer de embalse de agua.

3.1. (**Componentes de una instalación de riego por goteo**)

Una instalación de riego por goteo tipo, usual en las explotaciones con invernaderos de Almería, consta de los siguientes elementos:

- Impulsión (no es necesario en todos los casos)
- Fertilización
- Filtración
- Red de distribución
- Goteros



Los equipos de impulsión, de fertilización y de filtración forman la cabeza del sistema de riego por goteo, denominado ‘cabezal de riego’:

■ Impulsión

Usualmente el equipo de impulsión aspira el agua de una balsa o embalse situado en la explotación y la impulsa hacia la red de distribución y los goteros, haciéndola pasar primero por el equipo de fertilización y por el de filtrado. Las bombas de riego son centrífugas, suelen estar accionadas por motores eléctricos, en la mayoría de los casos, o por motores de combustión (gasolina o diésel) cuando no se dispone de electricidad en la explotación. A veces se tiene en la explotación un generador de corriente eléctrica, para poder utilizar motores eléctricos cuando no hay conexión a la red eléctrica, o para que los motores eléctricos puedan funcionar cuando se interrumpe el suministro.

■ Fertilización

Es una parte esencial de nuestras instalaciones de riego por goteo. Ya que permite incorporar y distribuir mediante el agua de riego los elementos fertilizantes, productos fitosanitarios, y otros productos, que aportamos al cultivo. Ha habido una evolución con el paso del tiempo, pasando de las ‘abonadoras’ o tanques de fertilización, que eran los más comunes en las primeras instalaciones de riego por goteo, a los modernos sistemas actuales con inyectores venturi o bombas de inyección que están controlados por programadores de riego en muchos casos. Actualmente podemos encontrar éstos sistemas, así como otros que hacen la introducción de los fertilizantes aprovechando la aspiración del equipo de impulsión.

■ Filtración

Es importante tener un buen equipo de filtrado, ya que el gotero produce la pérdida de presión del agua haciéndola pasar por un conducto de un diámetro pequeño, donde se pueden formar fácilmente obturaciones por partículas que lleve el agua, llegando a taponar goteros, y por tanto afectando al cultivo. Hay varios elementos utilizados para realizar el filtrado, como filtros de arena, filtros de malla o filtros de anillas. Lo usual en nuestras instalaciones es encontrar filtros de malla o de anillas en la cabeza de la instalación, bien de limpieza manual o automática (ésta controlada por el programador de riego), y filtros de malla en la red de distribución. El equipo de filtración requiere un control continuo ya que su buen funcionamiento es muy importante para el resto de la instalación. Mediante los manómetros que hay situados antes y después del equipo de filtración sabremos si los filtros están limpios, cuando la diferencia de presión sea pequeña, o necesitan ser limpiados, cuando haya una gran diferencia de presión. Normalmente estableceremos una diferencia máxima aceptable, rebasada la cual procederemos a limpiar los filtros. Usualmente no se permite que esa diferencia pase de 5 m.c.a. (metro de columna de agua). Normalmente la limpieza de los filtros se realiza manualmente.

■ Red de distribución

Desde la cabeza del sistema de riego el agua se distribuye por la explotación por una red de tuberías, con diámetros que no suelen ser mayores de 110 mm, siendo los

más usuales: 32, 40, 50, y 63, en tuberías de polietileno, y 75 y 90 mm, en tuberías de PVC (policloruro de vinilo). La última tubería o tubería portagoteros, de polietileno, suele ser de diámetro 12 ó 16 mm, normalmente van separadas a 1 metro entre sí, y su largo es inferior a los 30 metros. Dentro de la misma los goteros van a una separación de 50 cm, en la mayoría de los casos.

La unidad de riego o superficie que se riega simultáneamente suele tener unos 5.000 m², oscilando entre los 1.000 y los 10.000 m². En su entrada suele haber una llave de paso, que se utiliza para regular la presión, a veces también se instala un manómetro y un regulador de presión.

■ Goteros

El gotero es un elemento muy importante dentro de una instalación de riego por goteo. El agua llega al gotero con una presión de 10 m.c.a. normalmente, y es en el gotero donde pierde la presión y sale gota a gota. Los caudales de los utilizados en nuestras explotaciones suelen ser de 2 a 4 litros por hora. Hay varios tipos de goteros pero usualmente solo encontramos goteros interlíneas de laberinto y goteros autocompensantes de membrana, éstos son más utilizados en los cultivos sin suelo.

Es aconsejable limpiar la red de distribución y los goteros, al finalizar la campaña de cultivo, con una solución ácida (ácido nítrico).

3.2. (Equipos para la fertirrigación]

La fertirrigación consiste en incorporar los fertilizantes al agua de riego.

Su utilización se ha generalizado en las zonas de cultivo bajo plástico en Almería, siendo incluso anterior a la introducción de instalaciones de riego localizado. En el riego por inundación se empezó aportando los fertilizantes al agua de riego, fundamentalmente con trabajo manual, aunque hubo intentos de desarrollar mecanismos que hicieran este trabajo.

A partir de la implantación de las primeras instalaciones de riego por goteo, a mediados de la década de los 70, empezaron a utilizarse simultáneamente equipos para la incorporación de los fertilizantes al agua de riego, que fundamentalmente fueron tanques de fertilización. Con el paso del tiempo se han ido incorporando otros sistemas y equipos, entre los que destacan, por orden cronológico, los equipos de inyección, la aspiración directa de la solución de un depósito por la bomba de riego, programadores que controlan inyectores y no controlan la CE y el pH del agua de riego, equipos de fertirrigación con venturis sin programadores, y por último equipos de fertirrigación automáticos controlados por programadores.

■ Tanque de fertilización

Se implanta en Almería simultáneamente con los sistemas de riego por goteo, a mediados de la década de los 70.

Fue el primer paso dado, junto con los inyectores, para el aporte de los fertilizantes mediante la red de riego.

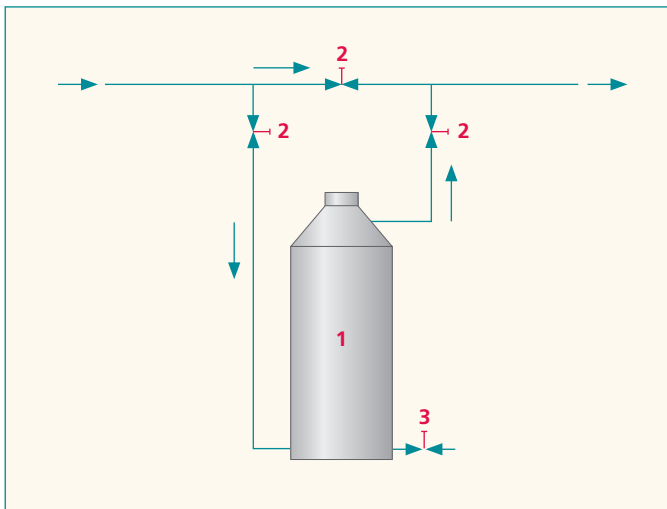


Ha sido el sistema más empleado en Almería, seguido por el sistema de la aspiración directa de la solución de un depósito por la bomba de riego. Actualmente, aproximadamente un 25% de las instalaciones de riego tienen tanque de fertilización.

Los tanques de fertilización son depósitos cerrados, construidos de fibra, o metálicos, donde se deposita el abono. El sistema de fertirrigación consta, fundamentalmente, de un tanque o abonadora, unido a la red principal de riego por dos mangueras flexibles, y otros elementos, como llaves y manómetros, utilizados para el manejo del tanque de fertilización (Figura 1).

Para hacer el aporte de fertilizantes, el tanque de fertilización se comunica de la red de riego mediante las llaves, para echar los fertilizantes en el tanque de fertilización. Posteriormente se abren las llaves de entrada y salida de agua, que comunican el tanque de fertilización con la red de riego, y se cierra en parte la llave que hay entre las válvulas anteriores. Esta llave es fundamental para el funcionamiento del tanque de fertilización, ya que produce una diferencia de presión, que obliga al agua a pasar por el tanque de fertilización, arrastrando con ella los fertilizantes.

La incorporación de los fertilizantes en la red de riego se realiza con poco control, por lo que la concentración de fertilizantes en el agua de riego es variable a lo largo del tiempo de riego.



- 1. TANQUE DE FERTILIZACIÓN.
- 2. LLAVE.
- 3. LLAVE DE DESAGÜE.

FIGURA1. TANQUE DE FERTILIZACIÓN.

Inyección

Las instalaciones de riego con equipos de inyección son una minoría, menos del 5% del total. Su implantación se extendió sobre todo en instalaciones de riego de semilleros, a partir de mediados de la década de los 80. Supone un segundo paso en la mejora de los equipos de fertirrigación, después del tanque de fertilización, aunque han estado presentes desde el principio en algunas instalaciones de riego localizado de la zona.

Con los inyectores se toma una solución con fertilizantes, de un depósito sin presión, y se inyecta en la red de riego a una presión superior a la del agua de riego.

El equipo de inyección consta, básicamente, de un depósito abierto donde se prepara la solución de fertilizantes, y una bomba inyectora, de pistón o membrana, que puede ser hidráulica o accionada por un motor eléctrico o de combustión. (Figura 2).

Es importante impedir que el depósito se vacíe completamente, y entre aire en la red de riego. Para aportar los fertilizantes, estos se disuelven en agua en el depósito y, posteriormente, desde el depósito la bomba los va inyectando en la red de riego. En el depósito es conveniente tener agitadores o removedores, los más usuales son los de inyección de aire (burbujas) y los de hélice, para mantener la homogeneidad de la disolución, evitando la precipitación del abono disuelto. Con este sistema, los fertilizantes se inyectan en el agua de riego de una forma más constante, a lo largo del tiempo de riego, que con el tanque de fertilización.

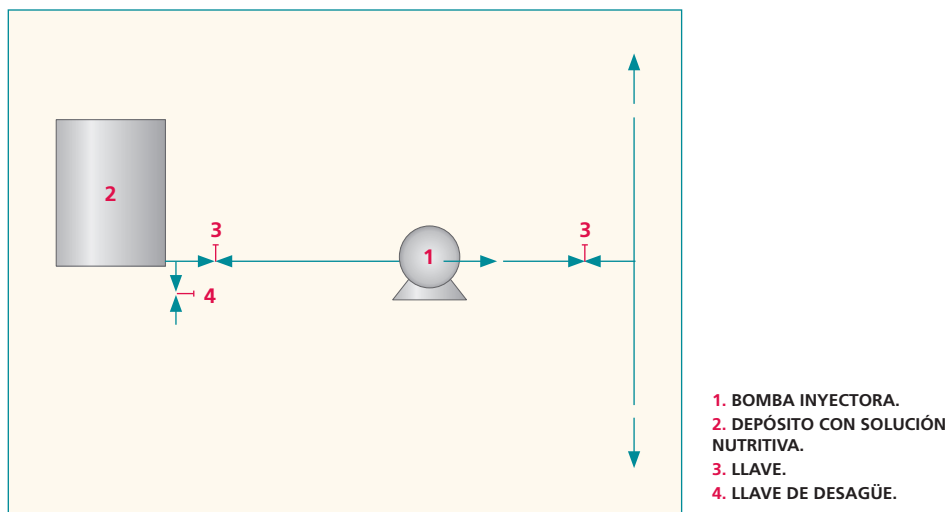


FIGURA 2. BOMBA INYECTOR.

Aspiración directa

Los sistemas en los que se emplea la aspiración directa de la solución de un depósito por la bomba de riego, se empiezan a utilizar a mediados de la década de los 80.

Ha sido el primer sistema utilizado por muchos usuarios y el segundo para otros después de la abonadora, este segundo paso se produce porque el agricultor maneja más fácilmente la salida de la solución al ser un depósito abierto. En la actualidad aproximadamente un 15% de las instalaciones de riego utilizan este sistema. El sistema consta básicamente de un depósito donde se hace la solución de fertilizantes, que está conectado con el tubo de aspiración de la bomba de riego (Figura 3).

Para aplicar los fertilizantes, éstos se echan en el depósito, éste se llena de agua,



después se hace un agitado manual y se procede a la introducción de esta solución en la red de riego abriendo la llave, ya con la bomba de riego en marcha.

La introducción de la solución se produce por la aspiración de la bomba de riego.

Este sistema tiene una gran facilidad para introducir la solución en la red, cuando la balsa está por debajo del nivel de la bomba. Sin embargo, si el embalse está por encima del nivel de la bomba, hay que producir una pérdida de carga en la aspiración, mediante el cierre parcial de una llave colocada a tal efecto.

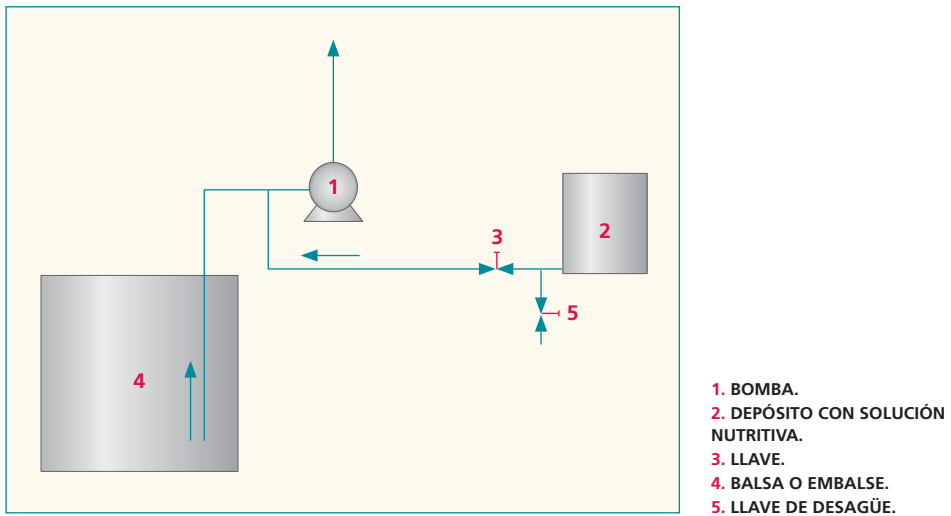


FIGURA 3. ASPIRACIÓN DIRECTA.

Programadores que controlan inyectores y no controlan la CE y el pH del agua de riego

Su introducción en la zona se produce en la segunda mitad de la década de los 80. En la actualidad, las instalaciones de riego que cuentan con estos sistemas representan menos del 5% del total. Normalmente, sus usuarios han utilizado antes otros sistemas como el tanque de fertilización o la inyección.

El sistema consta básicamente de: a) programador con programa que controla el funcionamiento del equipo. b) Uno o varios depósitos, donde se preparan las soluciones con fertilizantes. c) Una o varias bombas inyectoras, que aspiran las soluciones con fertilizantes y las introducen en la red de riego. Y d), según la complejidad del equipo, podemos encontrar, contador de agua con emisor de impulsos (cuando el control del riego se hace por volumen de agua y no por tiempo de riego), electroválvulas, placa convertidora de señales y otros accesorios, entre los que a veces hay medidores de CE y pH.

El aporte de fertilizantes se hace desde uno o varios depósitos. Cuando se trabaja con un depósito se prepara, para cada sesión de riego, una solución con fertilizantes compatibles, y se aportan en sucesivas sesiones de riego el total de elementos fertilizan-

tes necesarios. Cuando hay varios depósitos, se preparan en ellos, por separado, soluciones con fertilizantes compatibles y se aportan todos juntos en el momento del riego.

La dosificación de fertilizantes se puede hacer: o bien estableciendo los porcentajes de las diferentes soluciones, de los depósitos, a inyectar en relación al volumen de agua del riego. O, en otros casos, estableciendo un tiempo de inyección dentro del total del tiempo de riego. Esto se hace cuando los equipos son menos sofisticados.

En todos los casos, la inyección de los fertilizantes en el agua de riego, se produce por la acción de los inyectores, siendo uniforme a lo largo del tiempo en que se produce.

■ Equipos de fertirrigación con venturis sin programadores

La introducción de los venturis, a gran escala, en las instalaciones de riego de la zona, se produce a finales de la década de los 80. En la actualidad aproximadamente un 15% de las instalaciones de riego tienen este sistema de fertirrigación. Está siendo un segundo paso, a continuación de los tanques de fertilización para algunos usuarios y un primer paso en algunas instalaciones nuevas. No necesitan energía eléctrica o combustible para su funcionamiento, igual que ocurre con los tanques de fertilización; por lo que su implantación se está realizando sobre todo en explotaciones donde no se dispone de energía eléctrica.

Un sistema completo de fertirrigación con venturis, usual en la zona, consta de:

- **Tres depósitos**, que se utilizan: uno para los fertilizantes con N-P-K, otro para los que contienen Ca y microelementos, y un tercero para el ácido nítrico, utilizado para la regulación del pH.
- **Tres venturis** que succionan solución de cada uno de los depósitos y la van introduciendo en la red (Figura 4).
- **Mangueras**, el conjunto de llaves de regulación y de rotámetros y los aparatos de medida de la CE y el pH. Actualmente las mediciones de pH y CE se hacen con medidores en continuo, lo que facilita el manejo.

Para que se produzca succión es necesario que exista una diferencia de presión de 5 m.c.a. o más. Para hacer el aporte de fertilizantes, se preparan las soluciones en los diferentes depósitos, se abren las llaves que comunican el equipo de fertirrigación con la red de riego, y se van incorporando las soluciones por los venturis al agua de riego.

La introducción de este sistema supuso sobre todo un cambio en la concepción de la fertirrigación, pasándose a controlar manualmente, a lo largo del tiempo de riego, el aporte de fertilizantes. Este control se puede hacer de tres formas:

- Mediante mediciones de pH y CE en el agua de riego con fertilizantes, y en función de éstas actuando sobre las llaves que regulan los venturis.
- Con mediciones, de los caudales inyectados de las soluciones, con rotámetros y manipulando las llaves de regulación y corte, colocadas junto a los rotámetros a la salida de los depósitos.
- Con la combinación de ambos sistemas, que es lo más usual.

La succión del venturi se produce porque el estrechamiento provoca una alta presión a la entrada y una baja presión a la salida, y ésta ocasiona la succión en ese punto.

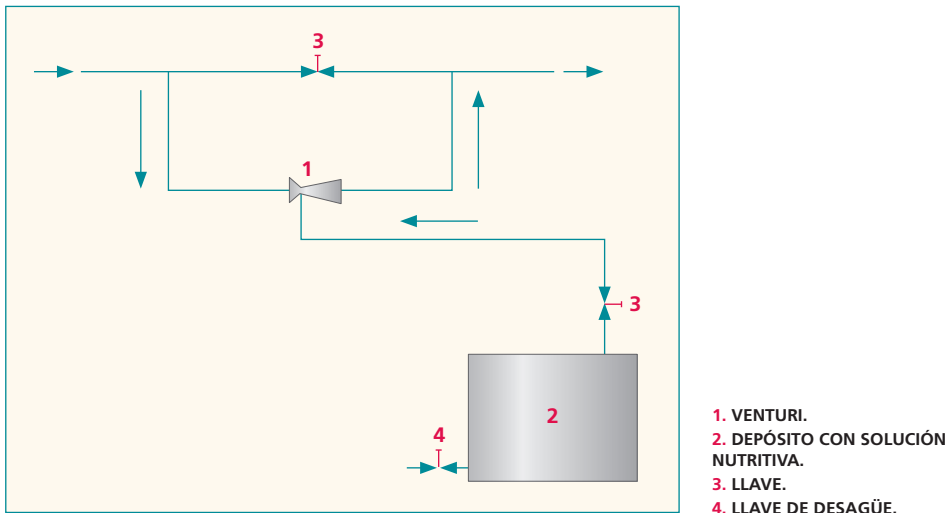


FIGURA 4. VENTURI.

Equipos de fertirrigación automáticos controlados por programadores

La utilización de estos sistemas, los más sofisticados hasta el momento, ha ido asociada a la implantación de los cultivos sin suelo. Se introducen en la zona a finales de la década de los 80. Actualmente, aproximadamente un 35% de las instalaciones de riego tienen estos sistemas. Muchos usuarios están llegando a ellos después de haber utilizado tanques de fertilización, otros han utilizado antes equipos de fertirrigación con venturis sin programadores, siendo esto aconsejable, por ser un paso intermedio en el que se familiarizan con la utilización de soluciones nutritivas, control de pH y CE, etc.

El conjunto del sistema consta de:

- Programador con programa que gestiona el funcionamiento del equipo. Normalmente, estos programas pueden ser cambiados para que el equipo gane en prestaciones.
- Depósitos con soluciones fertilizantes.
- Bombas inyectoras, o bien venturis, que aspiran las soluciones con fertilizantes. Pudiendo introducirlas directamente en la red de riego, o en un tanque de mezclas, desde donde irán a la red de distribución del agua de riego.
- Según la complejidad del equipo, podemos encontrar: contadores de agua con emisores de impulsos, electroválvulas y diferentes sondas (de CE, de pH, de nivel de agua en una bandeja de demanda, de radiación, de evaporación, etc.). También placa convertidora de señales y otros accesorios, entre los que a veces va el ordenador para guardar y procesar información sobre los riegos.

En estos equipos, el control del aporte de fertilizantes se hace preestableciendo un pH y CE del agua de riego, que de una forma automática el equipo va controlando, aportando para ello soluciones de los diferentes depósitos. También se establecen porcentajes del tiempo de inyección de los diferentes depósitos.

Normalmente se tienen cuatro depósitos, destinados a contener soluciones con: ácido fosfórico, nitrato potásico, ácido nítrico y nitrato de cal y microelementos. También se tiene un depósito adicional, conectado con un inyector o venturi a la red de riego, después del equipo de fertirrigación, para introducir ácidos húmicos y otros productos como insecticidas, fungicidas, desinfectantes de suelo, etc.

Estos equipos, en principio, parece que son los que más futuro tienen, ya que permiten un buen control de la fertirrigación, y liberan al agricultor de esta tarea.

El riego se puede realizar en función de diferentes parámetros: radiación, evaporación, demanda (cuando tenemos bandejas de demanda), por tiempo (a horas fijas o cíclico en el tiempo), por volumen, e incluso relacionando estos parámetros.

Normalmente, el agua entra en el sistema de fertirrigación desde el tramo de la tubería de la impulsión de la bomba de riego, antes de los filtros, y vuelve con los fertilizantes a introducirse en la red de riego, en el tramo de tubería de aspiración de la bomba de riego. Cuando la instalación dispone de tanque de mezclas, ya poco utilizados y sólo en instalaciones antiguas, el conjunto del equipo de fertirrigación va unido a la red de riego por dos electrobombas, una que toma el agua de la red y otra que la impulsa después de incorporados los fertilizantes. La conexión de estas bombas con la red de riego puede ir antes o después de la bomba de riego, preferiblemente antes por el efecto de homogeneización del agua con los fertilizantes que realiza la bomba de riego.

4. (CRITERIOS DE FERTIRRIGACIÓN)

Como se ha comentado anteriormente, la fertirrigación consiste en la aplicación conjunta de agua y fertilizantes. Aunque, según hemos visto al hablar del riego a manta, en este sistema también se pueden aplicar los fertilizantes junto con el agua de riego, el mejor aprovechamiento se consigue cuando se utiliza un sistema de riego localizado como puede ser el riego por goteo.

Como se ha comentado en el apartado 1, el riego por goteo junto con la fertirrigación permite obtener importantes ventajas. Pero, para conseguir la mayor eficacia de la fertilización, es necesario partir de un suelo en las condiciones más óptimas posibles en cuanto a presencia de materia orgánica, nivel de sodio intercambiable, etc. A pesar de ello, muchos agricultores almerienses están descuidando su suelo, de manera que es frecuente encontrar enarenados que no se han retranqueado durante muchos años. El problema es que estas operaciones de mantenimiento suelen ser costosas y engorrosas y por ello el agricultor trata de distanciarlas lo máximo posible en el tiempo.

No cabe duda de que el técnico debe conseguir que el agricultor realice un análisis de suelo fiable al inicio de campaña, antes de la plantación. A través de este análisis sabremos si resulta conveniente aportar una cierta cantidad de estiércol para incrementar los niveles de materia orgánica, aplicar yeso para liberar el exceso de sodio adsorbido al complejo de cambio, aportar azufre para modificar la alcalinidad del suelo, etc. Así mismo nos permitirá conocer los niveles de fertilidad, principalmente en cuanto a fósforo y potasio se refiere, y saber si es necesario aportarlos como abonado de fondo con el fin de iniciar la fertirrigación a partir de unos niveles deseables. Dichos niveles son convenientes



tes como reserva de seguridad ante posibles deficiencias que pueden producirse en la fertirrigación. En este abonado de fondo pueden utilizarse fertilizantes tradicionales como sulfato amónico, superfosfato de cal y sulfato potásico, los cuales deben ser añadidos con suficiente antelación a la plantación para evitar que dañen las raíces del cultivo; se debe dar un par de riegos abundantes antes del trasplante para evitar dicho efecto. También se pueden emplear fertilizantes de liberación lenta para que no se produzca este problema pero, al liberarse durante el cultivo, se puede perder el control del mismo.

Una vez que el suelo se encuentra en adecuadas condiciones, es el momento de iniciar la fertirrigación con el fin de satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo. Para ello se pueden seguir dos criterios: uno más tradicional que consiste en adaptar el suministro de nutrientes, en sentido cuantitativo, a las necesidades teóricas del cultivo en cada momento; y otro más fisiológico y de sentido más cualitativo, que trata de aportar una disolución fisiológica, equilibrada iónicamente, de modo que contenga todos los elementos nutritivos que necesita el cultivo. Éste último es el criterio que se emplea en hidroponía y el que se está extrapolando al cultivo en suelo actualmente. Veamos cada uno de ellos.

4.1. (Criterio de aporte de fertilizantes en función de las necesidades teóricas del cultivo]

Consiste en aportar en cada periodo del ciclo del cultivo la cantidad que se prevé absorba éste de cada uno de los elementos esenciales que necesita para su desarrollo. Para ello hay que estimar en primer lugar la cosecha final que se espera obtener y, en función de ésta, calcular las necesidades totales de cada nutriente. Éstas van a ser un tanto por mil del peso de la producción final y resultarán variables en función de la especie de la que se trate.

A continuación, hay que repartir las necesidades totales de cada nutriente entre los distintos periodos del ciclo del cultivo, en función de los requerimientos en cada uno de ellos, y a su vez repartirlas equilibradamente entre los diferentes riegos que se realicen dentro de cada periodo. Para terminar, lo único que quedará por hacer es transformar las necesidades de cada uno de los elementos nutricionales en cantidades de fertilizantes comerciales a suministrar. El problema es que se dispone de pocos estudios de absorción de nutrientes realizados en nuestra zona y además éstos se han hecho para unas condiciones ambientales, variedades y épocas del año dadas, por lo que las necesidades nutricionales calculadas pueden variar de las de nuestro caso concreto.

Dada la escasez de información acerca de la absorción de nutrientes por los cultivos, a la hora de dar recomendaciones, los técnicos han utilizado lo que se denominan equilibrios de absorción, que son las cantidades de nutrientes absorbidas referidas a la cantidad de nitrógeno requerida por el cultivo. Así por ejemplo, supongamos que un cultivo en una determinada fase de su desarrollo presenta el siguiente equilibrio de absorción: 1:0,3:2,5. Esto quiere decir que por cada unidad fertilizante de N que absorbe, también requiere 0,3 de P_2O_5 y 2,5 de K_2O . Por tanto, los abonos suministrados deben mantener el equilibrio mencionado.

A la hora de establecer el equilibrio entre nutrientes, el técnico también puede

hacer uso de la información que recibe a través de la visión macroscópica del cultivo, para lo cual habrá que tener en cuenta las funciones de cada elemento, que son:

- **Nitrógeno:** como sabemos, forma parte de las proteínas y tiene un gran efecto sobre el crecimiento de la planta, aumentando el volumen de los órganos vegetativos. Su exceso puede originar un desarrollo demasiado exuberante del cultivo y hace a éste más sensible al ataque de enfermedades.

- **Fósforo:** su principal papel es como transportador de energía (ATP) e influye en el crecimiento y desarrollo del sistema radicular. Del mismo modo actúa sobre el desarrollo floral.

- **Potasio:** es el elemento que mayor influencia tiene en la calidad del fruto ya que actúa sobre la consistencia y el contenido de azúcares del mismo. En invierno es importante su efecto paralelo a la función fotosintética ya que, debido a sus propiedades isotópicas (el K natural contiene 93% de K^{39} , 7% de K^{41} y 0,1% de K^{40}), emite radiaciones β y α , cuya energía se suma a la de la luz. En caso de exceso, la planta llega a realizar consumos de lujo.

- **Calcio:** aparte de sus funciones metabólicas, el calcio es el elemento plástico por excelencia, formando parte principal de las paredes celulares. La planta lo toma de forma pasiva y con gran dificultad, especialmente en condiciones de alta salinidad en la raíz y/o fuerte transpiración. Su deficiencia puede originar graves fisiopatías (blossom end rot en tomate y pimiento, por ejemplo).

- **Magnesio:** es el componente esencial de la clorofila, por lo que es fundamental para el proceso de fotosíntesis.

- **Azufre:** es un componente esencial de algunos aminoácidos y proteínas.

Sin embargo, con los equilibrios de absorción no sabemos la cantidad absoluta de nutrientes a aportar. Lo que habitualmente han hecho los técnicos es recomendar la aplicación de una cantidad de fertilizantes cuya suma oscile entre 1 y 6 kg por cada 1.000 m² de cultivo y hora de riego en función de la etapa de desarrollo. Lógicamente, la dosis más baja se aplicará al inicio del cultivo y se irá aumentando progresivamente conforme lo requiera éste. Normalmente, se pretende que la cantidad máxima de fertilizantes aportados en el agua de riego sea de aproximadamente 1 gramo por cada litro de agua, con el fin de evitar un aumento excesivo de la conductividad eléctrica que perjudique al cultivo, aunque puede haber situaciones en las que convenga elevar esta dosis.

4.2. (Criterio de aporte de fertilizantes en base a una disolución fisiológica equilibrada iónicamente]

Aunque el criterio de aporte de fertilizantes que se ha descrito en el apartado anterior es válido y, de hecho, se ha utilizado durante bastante años, en la actualidad ha entrado en desuso con el empleo masivo de cabezales automáticos que regulan la inyección de fertilizantes por conductividad eléctrica y pH. En estos sistemas se indica un porcentaje de inyección para cada una de las soluciones madre preparadas, estableciéndose una solución nutritiva que se mantiene constante a lo largo del riego.



Este cambio de criterios se ve respaldado por la idea de que el fin de la fertilización debe ser la consecución de una solución nutritiva en la rizosfera de la planta que sea óptima para ésta, con lo cual debe estar equilibrada iónicamente, y dicha solución debe sufrir la menor variación posible para que el cultivo no se vea afectado. De este modo, parece lógico tratar de conseguir dicho equilibrio partiendo de otro de entrada que va a ser el aportado.

Este criterio es el que se ha utilizado clásicamente y se sigue usando en los cultivos sin suelo, pero ahora además se está empleando en los cultivos en suelo. El problema es que muchas veces se utilizan los mismos equilibrios iónicos de los primeros para los segundos y ello no debe ser así, pues el suelo no es un sustrato inerte como ocurre con materiales como la lana de roca o la perlita, sino que interacciona con la solución adsorbiendo unos iones y liberando otros para alcanzar un equilibrio dinámico. Además, ocurre que, si se suministra la misma solución nutritiva a un suelo que ha recibido en diferentes zonas distintos tratamientos previos (por ejemplo, una parcela se deja sin retransquear, a otra se le aporta estiércol de oveja y a otra gallinaza), la solución de la rizosfera será diferente en cada zona. Esto da a entender que el aporte de fertilizantes debe ser distinto en cada una de dichas parcelas, aunque se trate del mismo cultivo.

Realmente, no es fácil saber cuál es la solución nutritiva de aporte ideal en unas condiciones dadas debido a la interacción que ejerce el suelo sobre ella. Por ello, lo más oportuno es seguir la evolución de la solución de la rizosfera e ir adaptando la solución de aporte para conseguir que la primera se aproxime a la deseada para el cultivo en cuestión. El método clásico que se ha utilizado para conocer la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo es el extracto saturado. Sin embargo, en la actualidad tiene mucho futuro y probablemente se imponga el uso de sondas de succión por las ventajas que presenta.

Una sonda de succión es un elemento poroso (normalmente una cerámica porosa) de forma y tamaño variable, a través del cual penetra la disolución que hay en el suelo al aplicar vacío al sistema. Este elemento poroso va unido a un cilindro de PVC o metálico de diámetro ligeramente superior y de longitud variable dependiendo de la profundidad que se quiera muestrear. El cilindro de PVC va a su vez sellado por un tapón de goma, al que atraviesa un tubo de pequeño diámetro y paredes semirrigidas que se conecta al sistema de vacío. Una vez que la muestra se recoge en la cámara de la sonda de succión, ésta puede ser extraída por el tubo de descarga aplicando aire a presión a través del tubo de vacío.

El uso de sondas de succión en los cultivos hortícolas bajo invernadero puede tener una gran aplicación ya que es el único método viable para extraer in situ la disolución del suelo, sin proceder a diluciones de la misma. De este modo permite conocer la composición iónica de la disolución mediante análisis y no sólo la conductividad eléctrica, como ocurre con el resto de técnicas in situ. Así mismo la extracción de la muestra es sencilla y poco costosa, no alterando el suelo, al contrario de lo que sucede con las técnicas de muestreo para la realización de análisis de suelo convencionales. Del mismo modo, al obtener una muestra líquida, el análisis es más rápido y barato.

Según los resultados obtenidos por Lao Arenas (1998), la sonda de succión se comporta como un buen muestreador para pH, conductividad eléctrica, nitratos, potasio fos-

fatos y sodio; para calcio, magnesio, amonio y cloruros existe una alteración inferior al 15%, que puede ser asumida desde un punto de vista nutricional. En cambio, bicarbonatos y sulfatos presentan valores importantes de alteración y por tanto su determinación en la solución del suelo mediante sondas de succión no parece interesante.

La normativa de utilización de las sondas de succión recomendada por Lao Arenas viene reflejada en la tabla siguiente:

PASOS PREVIOS A LA INSTALACIÓN

LAVADO (HCl o HNO₃ 1N) 24 h y luego con agua. Cargar las sondas en un recipiente con agua.

VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SUCCIÓN.

Comprobar si el volumen obtenido es superior a 100 cc y si se mantiene el nivel de vacío al abrir la válvula después de las 24 h.

INSTALACIÓN

1.-Ubicación

Nº sondas: mínimo 2 sondas por parcela (detectar los valores extremos de la misma)

Posición en el invernadero: tras muestreo previo y obtención de la CE, se elegirán los puntos con valores extremos. No colocar en líneas perimetrales.

Posición respecto a la planta: en la línea portagoteros a 10 cm de la planta.

Profundidad: Enarenado: 10 cm. Suelo: lo más cerca del sistema radical.

2.-Instalación en enarenado

1.-Retirar arena y estiércol.

2.-Introducir sonda directamente en el suelo (si está seca o dura añadir agua).

3.-Introducción de la sonda perpendicular al suelo, si hay gran resistencia del suelo a la introducción se utiliza barrena de diámetro inferior a la cápsula.

4.-Apretar con los dedos el suelo entorno a la sonda hasta buen contacto (interfase suelo-sonda exenta de aire).

Devolver estiércol y arena a su lugar.

TOMA DE MUESTRAS

1.-Equilibrado de sonda con disolución del suelo (cargar dos veces la sonda y despreciar las primeras muestras obtenidas)

2.-Para controlar potencial osmótico (carga diaria de la sonda). Para controlar los iones se debe cargar 24 horas antes del riego siguiente.

3.-Cargado de la sonda: si no hay restos de disolución (mismo método que recogida de muestras), se abre la válvula, se conecta la bomba, se aplica vacío hasta -70 kPa y se cierra la válvula.

4.-Recogida de muestras: a las 24 horas. Se abre la válvula, se introduce el tubo conectado a la jeringa y se succiona la muestra. Ésta se transfiere a otro recipiente. Finalmente, se cierra la válvula para evitar entrada de contaminantes.

MANTENIMIENTO DESPUÉS DEL CULTIVO

Al final del cultivo se limpia con ácido y se guarda hasta la siguiente campaña.



Realmente, no se dispone de muchos datos acerca de niveles óptimos de nutrientes en la solución del suelo. No obstante, Lao Arenas indica unos niveles medios correspondientes a la solución nutritiva y la del suelo para distintos parámetros nutricionales encontrados en cultivo de tomate en varias explotaciones comerciales del Poniente almeriense. Estos niveles quedan reflejados en la tabla siguiente:

CE_{es} dSm^{-1}	Unidades	SN	Sonda	SN/Sonda
pH	100	5.99	7.83	0.76
CE	dSm^{-1}	2.4	2.9	0.82
Nitratos	$mmol \cdot L^{-1}$	11.67	12.69	0.92
Amonio	$mmol \cdot L^{-1}$	1.59	0.69	2.30
Fosfatos	$mmol \cdot L^{-1}$	1.26	0.22	5.73
Potasio	$mmol \cdot L^{-1}$	7.94	6.02	1.32
Calcio	$mmol \cdot L^{-1}$	3.52	5.55	0.63
Magnesio	$mmol \cdot L^{-1}$	1.99	4.23	0.47
Sodio	$mmol \cdot L^{-1}$	4.55	6.89	0.66
Cloruros	$mmol \cdot L^{-1}$	4.79	7.34	0.65

FUENTE: LAO ARENAS (1998)

Según se observa, el pH del suelo se mantiene alto, a pesar del carácter ácido de la solución nutritiva. Esto es debido a la gran capacidad tampón del suelo y va a dificultar la absorción de determinados nutrientes, especialmente microelementos tales como hierro, manganeso o zinc en épocas de elevados requerimientos o de condiciones ambientales adversas (invierno).

En cuanto a la conductividad eléctrica, ésta sufre un cierto incremento en el suelo con respecto a la solución nutritiva debido a la acumulación de elementos tales como sodio, cloruros, calcio y magnesio. Es interesante seguir la evolución de la conductividad eléctrica del suelo realizando extracciones semanales y midiendo su valor mediante un conductímetro portátil ya que, de este modo, conoceremos el potencial osmótico (Ψ_o) mediante la siguiente expresión:

$$\Psi_o \text{ (MPa)} = - 0,036 \cdot CE \text{ (dS} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$$

La suma de este potencial y del matricial, que viene dado por la lectura del tensiómetro (entorno a -20 kPa), va a darnos básicamente el valor del potencial hídrico del suelo, que no conviene que rebase ciertos valores que dependen del cultivo del que se trate y de la época del año en la que nos encontremos, con el fin de que no disminuya excesivamente la velocidad de flujo xilemático. Un aumento del potencial osmótico supondrá una acumulación de sales en el suelo, y ello nos puede indicar unas mayores necesidades de lavado para contrarrestarlo o bien un aporte excesivo de algún nutriente.

En lo que se refiere a los nitratos, es interesante seguir su evolución en la solu-

ción del suelo con el fin de evitar que su concentración se dispare, ya que ello podría originar un excesivo vigor del cultivo, con su posible influencia negativa sobre la fructificación y el ataque de enfermedades fúngicas y bacterianas, aparte de problemas de contaminación medioambiental.

Los fosfatos son rápidamente retrogradados en el suelo y, debido a ello, aparecen en muy baja concentración en la solución de éste. Por ello no resulta lógico aportar altas concentraciones de este ion en el agua de riego. Incluso se han obtenido resultados similares comparando su aporte de forma continuada en la solución nutritiva, con el de una cierta cantidad en forma de superfosfato como abonado de fondo; esto hace que sea cuestionable la forma de aplicación actual de este elemento en el agua de riego. Según González (1991), es conveniente conocer los niveles disponibles de fósforo en el suelo mediante el método Olsen, de manera que, si la reserva es menor de 9 ppm, hay que aumentar la aplicación que se realiza; si es mayor a 25 ppm, hay que reducir la aplicación; y si es mayor de 140 ppm, se debe suprimir la aplicación.

En cuanto al potasio, este elemento es retenido en el complejo de cambio y existe una reserva en el suelo que hace que se mantenga bastante constante su concentración en la solución del suelo a lo largo del cultivo, a pesar de que pueda disminuir el aporte en la fase final. No obstante, dada la gran importancia del potasio sobre la calidad del fruto, no resulta conveniente descuidar dicho aporte.

El calcio y el magnesio tienden a acumularse en la solución del suelo debido a su alta presencia en el complejo de cambio en las condiciones de Almería. Frecuentemente no es necesario el aporte de magnesio debido a los niveles existentes en el agua de riego. Sin embargo, el calcio suele encontrarse descompensado respecto al otro ion en el agua, por lo que es normal su aporte con el fin de conseguir una relación Ca/Mg en la solución del suelo superior a 1 (si es posible, 2) que evite problemas de antagonismo.

El sodio y los cloruros se acumulan siempre ya que son absorbidos en muy pequeña cantidad por el cultivo. Hay que evitar altas concentraciones de los mismos con el fin de que no se produzcan efectos antagónicos sobre otros elementos, como por ejemplo Cl/NO₃, Na/Ca o Na/K. Esto se puede conseguir incrementando la dosis de riego y por tanto el lavado del horizonte de suelo superficial, que es donde se desarrollan la mayoría de las raíces en un cultivo enarenado.

En definitiva, la disolución del suelo disponible para la planta es el parámetro fundamental para caracterizar el estado nutritivo del mismo y es principalmente a través de la fertirrigación como podemos modificar dicha disolución. Sin embargo, no se puede hacer un diseño generalizado de la fertirrigación ya que va a variar para cada caso. Lao Arenas aconseja la siguiente gestión de la fertirrigación mediante el uso de sondas de succión:

- Conocimiento del estado nutritivo de la disolución del suelo inicial obtenido con las sondas. Mediante éste se conocerá la situación inicial y se podrá hacer la disolución nutritiva de partida.
- Correcciones de los elementos nutritivos aportados a la solución nutritiva en función de las interacciones con el suelo (por análisis con la sonda) y cultivo. En el caso de desequilibrios nutricionales se debe repetir la analítica de la disolución del suelo cada 15



días hasta conseguir su mantenimiento dentro de los rangos apropiados.

- Seguimiento semanal de la CE de la solución obtenida con la sonda.
- Al inicio de la plena producción se debe repetir un análisis completo de la solución para corroborar que se encuentra a niveles adecuados.

5. (FERTILIZANTES UTILIZADOS EN FERTIRRIGACIÓN]

Dado que en fertirrigación los nutrientes aportados al cultivo van disueltos en el agua de riego, es fundamental que los fertilizantes utilizados sean solubles para evitar obturaciones en las tuberías y goteros. Por tanto, deben llevar en sus etiquetas las denominaciones «cristalino soluble» o «soluble para fertirrigación».

Hay que distinguir entre aquellos productos fertilizantes que incorporan macronutrientes y aquellos que incorporan micronutrientes.

5.1. (Fertilizantes que incorporan macronutrientes]

Pueden ser sólidos o líquidos. Los primeros deben disolverse perfectamente en agua para su posterior empleo; pueden ser simples, si se trata de sales binarias que aportan uno o dos elementos fertilizantes, o complejos, si contienen dos o más elementos fertilizantes y proceden de reacciones químicas. En cuanto a los fertilizantes líquidos, ya van disueltos y sólo es necesario diluirlos; pueden ser simples (como los ácidos nítrico y fosfórico), binarios o ternarios.

En las modernas instalaciones de riego por goteo se está imponiendo el uso de fertilizantes simples, ya que se dispone de varios depósitos de preparación de soluciones madre y un sistema de inyección eficaz, de forma que con tales fertilizantes es posible obtener una gran variedad de soluciones finales distintas y a menor precio que cuando se utilizan abonos complejos. Éstos eran más usados en instalaciones antiguas, las cuales normalmente sólo disponían de un depósito para realizar la solución madre y la inyección de ésta no era tan precisa, pues no se buscaba conseguir una solución nutritiva determinada, como ocurre actualmente, sino que el aporte total de nutrientes se ajustara a las necesidades de absorción del cultivo. El agricultor preparaba la solución cada vez que regaba y le era más cómodo utilizar un fertilizante que incorporara los distintos nutrientes en las proporciones de absorción del cultivo con el fin de pesar lo menos posible.

En cuanto a los fertilizantes líquidos, los más utilizados son los ácidos nítrico y fosfórico. Los restantes no se encuentran tan implantados, a pesar de la facilidad de manejo que podrían suponer, probablemente debido a cuestiones económicas.

Los fertilizantes simples utilizados más frecuentemente en fertirrigación son los siguientes:

- **Acido nítrico.** Su fórmula química es HNO_3 (peso molecular de 63) y se trata de un ácido fuerte cuya principal función, aparte de suministrar nitrógeno al cultivo, es la de acidificar el agua de riego para conseguir un pH óptimo de ésta de 5,5-6. Para ello se inyecta desde un depósito independiente al resto de fertilizantes, controlándose dicha inyección mediante las lecturas de un pH-metro, hasta alcanzar el valor deseado. Esta re-

ducción del pH del agua viene provocada por la destrucción de los bicarbonatos presentes en ella según la siguiente reacción:



Aproximadamente, cuando en el agua de riego quedan sólo $0,5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de bicarbonatos, el pH está entorno a 5,5-5,8, es decir, el valor ideal que estamos buscando. Por tanto, a la hora de realizar los cálculos de abonado, aportaremos el ácido suficiente como para que quede sin neutralizar esa cantidad de bicarbonatos. No es conveniente neutralizar más ya que, a partir de ese punto, se produce una brusca bajada de pH con pequeñas adiciones de ácido, y esto puede resultar peligroso para el cultivo.

En nuestras aguas es poco frecuente la presencia de carbonatos, pero puede aparecer si el pH es suficientemente alto (generalmente mayor que 8,2). Entonces la neutralización tiene lugar del siguiente modo:



La acidificación del agua de riego es conveniente no sólo para favorecer la asimilación de los distintos nutrientes en cultivos sin suelo, sino también para prevenir la formación de ciertos precipitados a pH alto como fosfatos de hierro o calcio, carbonatos, etc., que pueden provocar precipitaciones en las instalaciones de riego.

El ácido nítrico también se emplea en los tratamientos de limpieza de las instalaciones que se realizan normalmente al finalizar la campaña con el fin de eliminar los precipitados, microorganismos y sedimentos sólidos originados que han podido atravesar los filtros. Para ello, una vez llenas de agua las tuberías de riego y alcanzada la presión de trabajo, se mantiene la instalación con agua a pH 2 durante una hora aproximadamente. Posteriormente, a la mayor presión posible, se abren los extremos de las tuberías primarias hasta que salga el agua limpia; se cierran y se realiza la misma operación con el resto de tuberías, hasta llegar a los ramales portagóteros. Cuando no se puede controlar el pH del agua, lo que se suele hacer es inyectar en el menor tiempo posible una cierta cantidad de ácido nítrico (unos 4 litros por cada 1.000 m^2) y, cuando empieza a salir por los goteros (se observa un burbujeo), paran la bomba de riego. Así se mantiene unos quince minutos y a continuación se lava con agua para eliminar las posibles incrustaciones.

Los preparados comerciales de ácido nítrico no son puros, sino que van diluidos en agua en diferentes porcentajes en peso, según se observa en el siguiente cuadro.

Densidad ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1,20	1,30	1,33	1,40
Riqueza (% en peso de HNO_3)	33	48	54	65

Estos valores de densidad habrá que tenerlos presentes para realizar los cálculos de fertirrigación.

- **Nitrato cálcico.** Su fórmula química es: $5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}]\cdot\text{NH}_4\text{NO}_3$ (peso molecular de 1080,5) ya que el nitrato cálcico comercial no es puro. Por tanto, este fertilizante



aporta una parte del nitrógeno en forma amoniacal, que es conveniente tener presente al realizar los cálculos de fertirrigación en cultivos sin suelo. No obstante, en cultivos en suelo este detalle no es importante y se puede suponer que es puro, con la siguiente fórmula química: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, realizando las siguientes proporciones para calcular la cantidad de nitrato cálcico necesario por litro de agua de riego:

$$\frac{1 \text{ mmol de Ca}}{40 \text{ mg de Ca}} = \frac{n \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de Ca a aportar}}{X \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de Ca}} \Rightarrow X = (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de Ca}) = 40 \cdot n$$

$$\frac{19 \text{ mg de Ca}}{100 \text{ mg de N. cálcico}} = \frac{40 \cdot n \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de Ca}}{Y \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de N. cálcico}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Y = (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de N. cálcico}) = \frac{100}{19} \cdot 40 \cdot n = 210,5 \cdot n$$

El nitrato cálcico se usa básicamente como fuente de calcio, aportando nitrógeno.

- **Nitrato amónico.** Su fórmula química es: NH_4NO_3 (peso molecular de 80). Sólo aporta nitrógeno, la mitad en forma nítrica y la otra en forma amoniacal. Se utiliza sobre todo en la fertirrigación de cultivos en suelo, aunque en los cultivos sin suelo también se emplea en etapas de rápido crecimiento con el fin de equilibrar un poco la absorción de aniones y cationes y evitar así aumentos excesivos del pH del drenaje y los subsiguientes problemas de precipitaciones y dificultades de absorción de nutrientes.

- **Sulfato amónico.** Su fórmula química es: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (peso molecular de 132). Se trata de un fertilizante típico para abonado de fondo con el fin de evitar la lixiviación del nitrógeno pero, dada su gran solubilidad en agua, también se emplea en la fertirrigación de cultivos en suelo cuando es necesario aportar azufre.

- **Fosfato monoamónico.** Su fórmula química es: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (peso molecular de 115). Se utiliza básicamente en cultivos en suelo como fuente de fósforo y, de forma secundaria, de nitrógeno, por lo que es muy típico su empleo en las primeras etapas de crecimiento del cultivo.

- **Ácido fosfórico.** Su fórmula química es: H_3PO_4 (peso molecular de 98). Al tratarse de un ácido, también interviene en la destrucción de los bicarbonatos y en la consiguiente bajada del pH de forma similar a como lo hace el ácido nítrico. Por tanto, cuando se aplica, hay que tener presente dicho efecto y reducir el aporte de ácido nítrico.

Se emplea para suministrar fósforo a cultivos tanto en suelo como sin suelo, especialmente cuando se quiere potenciar la floración. Los preparados comerciales, al igual que los de ácido nítrico, no son puros, sino diluidos en agua.

Densidad ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1,20	1,30	1,40	1,60
Riqueza (% en peso de HNO_3)	34	46	56	75

- **Fosfato monopotásico.** Su fórmula química es: KH_2PO_4 (peso molecular de 136,1). Se emplea básicamente como aporte de fósforo, aunque también suministra potasio, en aguas con pocos bicarbonatos en las que no se puede aplicar todo el fósforo como ácido fosfórico ya que ello determinaría una bajada excesiva del pH. Sin embargo, esto no es normal en Almería.

- **Nitrato potásico.** Su fórmula química es KNO_3 (peso molecular de 101,1). Es la principal fuente de potasio y además aporta nitrógeno. Su uso está ampliamente difundido en todo tipo de cultivos sometidos a fertirrigación, siendo especialmente importante en aguas de baja calidad agronómica.

- **Sulfato potásico.** Su fórmula química es: K_2SO_4 (peso molecular de 174,3). Se utiliza como fuente de potasio cuando todo éste no se puede aportar como nitrato potásico con el fin de no sobrepasar los niveles de nitrógeno establecidos.

- **Sulfato de magnesio (sales de Epsomita).** Su fórmula química es: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (peso molecular de 246,3). Es la fuente de magnesio más utilizada.

- **Nitrato de magnesio.** Su fórmula es: $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (peso molecular de 256,3). Se emplea para suministrar magnesio cuando no es limitante el aporte de nitrógeno.

Dado que los volúmenes de agua que hay que aportar a los cultivos suelen ser elevados, es poco frecuente preparar directamente la solución nutritiva final y se recurre entonces a realizar una solución madre concentrada de 100 a 200 veces, con el fin de no tener que prepararla con demasiada frecuencia (normalmente una vez en semana), la cual se va inyectando mediante alguno de los sistemas estudiados al agua de riego para obtener dicha solución final.

Fertilizante	Riqueza	Reacción	Solubilidad ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)		
			0 °C	15 °C	30 °C
Ácido nítrico 56%	N-12,6%	Muy ácida	Líquido		
Nitrato cálcico	N-15,5% CaO-27%	Básica	1020	1130	1526
Nitrato amónico	N-33,5%	Ácida	1180	2400	3440
Sulfato amónico	N-21% SO ₃ -60%	Ácida	706	742	780
Fosfato monoamónico	P ₂ O ₅ -61% N-12%	Ácida	227	333	480
Ácido fosfórico 75%	P ₂ O ₅ -52%	Muy ácida	Líquido		
Fosfato monopotásico	P ₂ O ₅ -53% K ₂ O-34%	Básica	148	197	285
Nitrato potásico	K ₂ O-46% N-13%	Neutra	133	257	459
Sulfato potásico	K ₂ O-50% SO ₃ -47,5%	Ácida	74	102	130
Sulfato de magnesio	MgO-16% SO ₃ -32,5%	Ácida	260	332	409

FUENTE:
RINCÓN
SÁNCHEZ (1993)



El nivel máximo de concentración de la solución madre va a venir determinado por la solubilidad en agua de los distintos fertilizantes. Este parámetro, junto con otras características, viene reflejado en el cuadro anterior.

Si en un mismo depósito han de mezclarse varios fertilizantes diferentes, normalmente se considera la solubilidad de aquel que resulte menos soluble como medida de seguridad. Cuando se prepara una solución concentrada, hay que tener en cuenta que existen algunos fertilizantes que no se pueden mezclar en el mismo depósito y entonces es necesario disolverlos en depósitos distintos. De este modo, al menos se necesitan dos bidones para dichas soluciones madre y un tercero para la solución ácida con la que se va a regular el pH. La incompatibilidad va referida fundamentalmente a las sales de calcio (nitrato cálcico), que no se pueden mezclar con todos aquellos fertilizantes que lleves fosfatos o sulfatos.

En lo que se refiere a los fertilizantes sólidos complejos, en el mercado existe una gran variedad de los mismos pertenecientes a distintos fabricantes y con diferentes formulaciones para adaptarse a las necesidades de los cultivos en cada momento (13-40-13, 19-19-19, 13-5-26, 20-5-10, etc). Muchos de ellos además incorporan micronutrientes con el fin de proporcionar una nutrición más completa y de que el agricultor pueda estar más despreocupado. A la hora de disolver estos fertilizantes, hay que tener presente que, si llevan fósforo, no se pueden mezclar con nitrato cálcico en solución concentrada por los problemas de incompatibilidad anteriormente comentados.

Fertilizantes Líquidos	Riqueza (% en peso)	pH	Densidad (g·cm ⁻³)	Aporte nutrientes por cc·L ⁻¹		Aumento CE (dS·m ⁻¹) *
				mmol·L ⁻¹	ppm	
CAN 17	N nítrico: 12% N amoniacal: 5% CaO: 12,5%	1-2	1,5	NO ₃ ⁻ : 12,9 NH ₄ ⁺ : 5,4 Ca: 3,4	N: 255 CaO: 188	1,328·X
KP 20-10	P ₂ O ₅ : 20% K ₂ O: 10%	1-2	1,3 a 1,4	H ₂ PO ₄ ⁻ : 3,8 K: 2,87	P ₂ O ₅ : 270 K ₂ O: 135	0,44·X
KN 10	N nítrico: 1,5% K ₂ O: 10%	Ácido	1,1 a 1,2	NO ₃ ⁻ : 1,2 K: 2,44	N: 17 K ₂ O: 115	0,35·X
KNC 29	N nítrico: 10,2% N amoniacal: 0,8% K ₂ O: 7% CaO: 15,4%	Ácido	1,6	NO ₃ ⁻ : 11,7 NH ₄ ⁺ : 0,9 K: 2,4 Ca: 4,4	N: 176 K ₂ O: 112 CaO: 246	1,192·X
K 15L	K ₂ O: 15%	Ácido	1,16	K: 4	K ₂ O: 187	0,53·X
Ac. Fosfórico 57/58%	P ₂ O ₅ : 40%	Ácido	1,4	H ₂ PO ₄ ⁻ : 7,88	P ₂ O ₅ : 560	1,068·X
CN 11	N nítrico: 9,5% N amoniacal: 1,5% CaO: 15,4%	1-2	1,5	NO ₃ ⁻ : 10,2 NH ₄ ⁺ : 1,6 Ca: 4,1	N: 165 CaO: 231	
CAN 19	N nítrico: 11% N amoniacal: 8% CaO: 5,6%	Ácido	1,3	NO ₃ ⁻ : 10,2 NH ₄ ⁺ : 7,4 Ca: 1,3	N: 247 CaO: 73	

* X ES LA CONCENTRACIÓN DE FERTILIZANTE EN EL AGUA DE RIEGO EXPRESADA EN cm³ DE ABONO LÍQUIDO POR CADA LITRO DE SOLUCIÓN. LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA FINAL SERÁ LA DE LOS INCREMENTOS DEBIDOS A CADA FERTILIZANTE MÁS LA DEL AGUA DE RIEGO.

Finalmente, en cuanto a los abonos líquidos, éstos suelen ser ácidos, ya que a pH bajo aumenta la solubilidad de los fertilizantes y de este modo se pueden preparar soluciones más concentradas y abaratar su transporte. Este carácter ácido permite que frecuentemente no sea necesario reducir el pH de la solución nutritiva. En el cuadro anterior se incluyen las características de algunos abonos líquidos y diversas fórmulas de conversión, ya que serán necesarias posteriormente en el apartado de cálculos de fertirrigación.

▲ **Constantes de conversión:**

- $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{P} \cdot 2,29 = \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$ • $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca} \cdot 1,4 = \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaO}$
- $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{K} \cdot 1,205 = \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{O}$ • $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{Mg} \cdot 1,66 = \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{MgO}$

Fórmulas de conversión	
ppm = cm^3 de fertilizante líquido por litro x Densidad x Riqueza x 10	
Nitrógeno	$\text{cc} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 14}{\text{Riqueza N} \times \text{Densidad} \times 10}$
Fósforo	$\text{cc} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 31 \times 2,29}{\text{Riqueza P}_2\text{O}_5 \times \text{Densidad} \times 10}$
Potasio	$\text{cc} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 39,1 \times 1,205}{\text{Riqueza K}_2\text{O} \times \text{Densidad} \times 10}$
Calcio	$\text{cc} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 40,08 \times 1,4}{\text{Riqueza CaO} \times \text{Densidad} \times 10}$
Magnesio	$\text{cc} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 24,32 \times 1,66}{\text{Riqueza MgO} \times \text{Densidad} \times 10}$

FUENTE: CATÁLOGO NAVASA

5.2. (**Fertilizantes que incorporan micronutrientes**)

En fertirrigación, el aporte de micronutrientes al cultivo es fundamental con el fin de evitar que lleguen a ser limitantes pues, al estar las raíces confinadas en el bulbo húmedo, sólo exploran una parte del suelo, cuyo contenido en micronutrientes disponibles puede ser insuficiente para el buen desarrollo del cultivo. Además, hay que tener presente que los fertilizantes de macronutrientes son cada vez más puros para que resulten más solubles y esto hace que su contenido en micronutrientes sea menor. Del mismo modo, muchos de los cultivares que se utilizan en la actualidad son más productivos y resistentes a enfermedades, pero en muchos casos son menos eficaces en la extracción de



micronutrientes. Finalmente, hay que advertir que la presencia en el medio de sustancias húmicas favorece la disponibilidad de estos nutrientes y su movilización hacia las raíces, pero en la actualidad es frecuente encontrar suelos en los que se descuida la presencia de materia orgánica, por lo que este efecto se ve seriamente limitado.

La aplicación de micronutrientes en cultivos en suelo sometidos a fertirrigación es especialmente importante en el periodo de máximos requerimientos del cultivo y en momentos en los que las condiciones ambientales dificultan la absorción, como ocurre en el invierno. No obstante, en etapas menos críticas, como al principio o al final de cultivo, no suele ser necesario el aporte de micronutrientes debido a la reserva existente en el suelo. En cambio, en cultivos sin suelo es absolutamente imprescindible el aporte de todos los nutrientes a lo largo del ciclo completo debido a la inexistencia de una reserva de este tipo, al menos suficientemente importante.

Al igual que ocurre con los fertilizantes que incorporan macronutrientes, aquéllos que llevan micronutrientes deben ser solubles para poder emplearlos en fertirrigación, pero además deben ser estables a los valores de pH que existen en el medio de cultivo. En nuestra zona es muy frecuente encontrar suelos con un pH próximo a 8, lo que origina que los micronutrientes metálicos (Fe, Mn, Zn y Cu) aportados en forma inorgánica precipiten rápidamente hacia formas insolubles no disponibles para la planta. Por tanto, la aplicación de estos nutrientes en forma de sales inorgánicas no son válidas en nuestras condiciones y hay que recurrir al empleo de quelatos.

Un quelato es un compuesto químico en el que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ion metálico, de manera que le protege de cualquier acción desde el exterior, evitando su hidrólisis y precipitación. Existen distintos tipos de quelatos, como son: EDTA, DTPA, HEDTA, EDDHA, EDDHMA, EDDHSA, etc. La eficacia de estos quelatos va a depender de su capacidad para mantener el ion en disolución, disponible para la planta, y la estabilidad de los mismos en el medio es función de las concentraciones de calcio y CO_2 en éste, así como de su pH.

El ion calcio actúa como competidor del ion quelatado y lo puede desplazar de dicho quelato. Por otro lado, al disolverse el CO_2 , origina ion bicarbonato, que es capaz de precipitar calcio en forma de carbonato cálcico y disminuir la competencia de este catión; además, el aumento de CO_2 disminuye el pH que, en general, estabiliza los quelatos. Finalmente, un pH elevado puede provocar la descomposición del quelato y por tanto su ineficacia.

El quelato EDDHA es muy utilizado en la aplicación de hierro debido a su estabilidad a pH elevados, pero existen distintos isómeros como son: para-para EDDHA, para-orto EDDHA y orto-orto EDDHA. De todos ellos, el más estable y conveniente a nuestras condiciones es el orto-orto. La reactividad frente a sustratos de este tipo de quelatos tan estables no depende tanto de la competencia de iones, sino de la posibilidad de ser retenidos en el suelo por óxidos amorfos o la materia orgánica, lo que provoca que no pueda llevar a cabo el transporte del ion hacia la superficie radicular. Esta retención depende del pH, siendo superior a bajos valores de pH, por lo que se recomienda su uso en sustrato con pH superiores a 6 ó 6,5. En definitiva, no por ser los quelatos más estables deben usarse sobre sustratos de pH bajo.

No obstante, en nuestra zona, normalmente va a convenir en cuanto a la aplicación de hierro, el uso de quelatos con grupos fenólicos como orto Fe-EDDHA u orto Fe-EDDHMA debido a los altos valores de pH que se alcanzan en el suelo. En la siguiente tabla se indican las características de diferentes tipos de quelatos de hierro.

En lo que se refiere a otros microelementos metálicos, también es frecuente el uso de quelatos. No obstante, hay que tener en cuenta que el intervalo de pH en el que se mantienen estables resulta estrecho por lo que, si nos encontramos fuera del mismo, los resultados no serán los deseados. Así por ejemplo, los quelatos de Zn EDTA y DTPA son estables entre 6 y 7,5 u 8 respectivamente; por debajo, el Fe desplaza al Zn y, por encima, es el Ca el que podrá desplazarlo. Las características de diferentes quelatos de Zn, Mn y Cu se presentan en la tabla siguiente.

	Usos	Presentaciones **	Dosis por m ³ de solución final *	Frecuencia semanal
Fe-EDTA	En disolución y sustratos con pH<6. No mezclar con cantidades elevadas de Zn, Mn (no quelados) y P o Ca.	4% LS 13% PS	50 g 15 g	1 1
Fe-DTPA	En disolución y sustratos con pH<7. No mezclar con cantidades elevadas de Zn, Mn (no quelados) y P o Ca.	4% LS 6% LS	25 cc 15 cc	2 2
Fe-HEDTA	En disolución y sustratos con pH<6,5. No mezclar con cantidades elevadas de Mn, P o Ca.	9% LS 5% LS	22 cc 40 cc	1 1
Fe-EDDHA	Evitar pH<4. Comprobar su riqueza en isómero orto. Evitar en sustratos orgánicos, con altos contenidos en arcillas o hidróxidos. No mezclar con P, ni con contenidos elevados de Cu.	4% LS 6% PS o MGR	40 cc 35 g	1 1
Fe-EDDHMA	Evitar pH<4. Evitar sustratos con altos contenidos en arcillas o muy arenosos con exceso de lavado.	6% MGR	35 g	1
Fe-EDDHSA	Evitar pH<4 y superiores a 8,5.	6% PS o MGR	35 g	1

* LAS DOSIS SON ORIENTATIVAS PARA LA FRECUENCIA INDICADA Y POR SUPUESTO DEPENDERÁN DEL CULTIVO. EN CULTIVOS SENSIBLES O CON SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA AUMENTAR HASTA EL DOBLE. LOS PERÍODOS MÁS CRÍTICOS SON DURANTE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y LA FLORACIÓN. A MAYOR FRECUENCIA LAS DOSIS DISMINUIRÁN PROPORCIONALMENTE.

** LS: LÍQUIDO SOLUBLE. PS: POLVO SOLUBLE. MGR: MICROGRÁNULOS.

FUENTE: CADAHÍA LÓPEZ (1998)

En cuanto al B y el Mo, normalmente no constituyen un problema en nuestra zona; el primero porque suele estar presente en las aguas de riego, a veces incluso a niveles fitotóxicos, no siendo necesaria su aplicación si su concentración es mayor de 0,5 ppm; el segundo se requiere en pequeña cantidad y es mejor asimilado a pH básico, que es el que normalmente encontramos en nuestros suelos. No obstante, puede resultar necesario el aporte de dichos micronutrientes, para lo cual no se dispone de quelatos, ya que por su estructura química no pueden formarlos. Es frecuente su adición en forma de compuestos inorgánicos como el ácido bórico y el bórax para el B, o los molibdatos amónico y só-



dico para el Mo. En el mercado también existen productos en los que estos elementos se enlazan a moléculas orgánicas, como etanolamina o trietanolamina sin que, como queda claro, formen quelatos.

Usos	Presentaciones **	Dosis por m ³ de solución final *	Frecuencia semanal
Mn-EDTA En disolución y sustratos con pH>5,5 y <7,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe y Zn (no quelados), P y Ca. Para sustratos muy porosos incrementar un 50% la dosis. También para uso por vía foliar.	2% LS	20 g	1
	6% LS	7,5 g	1
	12% PS	3,5 g	1
Mn-DTPA En disolución y sustratos con pH>5,5 y <8,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe y Zn (no quelados), P y Ca. Para sustratos muy porosos incrementar un 50% la dosis. También para uso por vía foliar.	6% LS	3,5 g	2
Zn-HEDTA En disolución y sustratos con pH>6 y <7,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe y Mn (no quelados), P y Ca. También para uso por vía foliar.	4% LS	10 g	1
	8% LS	5 g	1
	14% MGR o PS	3 g	1
Zn-EDDHA En disolución y sustratos con pH>6 y <8. No mezclar con cantidades elevadas de Fe y Mn (no quelados), P y Ca. También para uso por vía foliar.	6% (no comercializado)	3,5 g	2
Cu-EDDHMA En disolución y sustratos con pH>6 y <7,5. No mezclar con cantidades elevadas de Fe, Mn o Zn (no quelados) ni Mg o Ca.	14% MGR o PS	2,5 g	1

* LAS DOSIS SON ORIENTATIVAS PARA LA FRECUENCIA INDICADA Y POR SUPUESTO DEPENDERÁN DEL CULTIVO. EN CULTIVOS SENSIBLES O CON SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA AUMENTAR HASTA EL DOBLE. LOS PERÍODOS MÁS CRÍTICOS SON DURANTE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y LA FLORACIÓN. A MAYOR FRECUENCIA LAS DOSIS DISMINUIRÁN PROPORCIONALMENTE.

** LS: LÍQUIDO SOLUBLE. PS: POLVO SOLUBLE. MGR: MICROGRÁNULOS.

FUENTE: CADAHÍA LÓPEZ (1998)

El Cl es el último microelemento requerido por los cultivos, pero se halla en cantidades más que suficientes en el agua de riego y en los fertilizantes utilizados habitualmente, por lo que no es necesario aportarlo.

Dentro de las recomendaciones de uso de productos que incorporan micronutrientes, hay que decir que tradicionalmente los agricultores los han utilizado dosificados en riegos puntuales durante periodos de elevados requerimientos o en situaciones de carencia. Estos productos se aplicaban al final del riego, una vez aportados los macronutrientes para evitar la mezcla con éstos. En la actualidad, con la aparición de los cabezales de riego automatizados, se está tendiendo a aplicar los micronutrientes como si se tratara de un fertilizante más, buscando un equilibrio nutritivo a lo largo de todo el riego similar a lo que se realiza en cultivos sin suelo. De cualquier modo, aunque no se realice una aplicación continua de los mismos, resulta más conveniente aportarlos en pequeñas dosis y con frecuencia (cada una o dos semanas máximo), que en grandes cantidades y más distanciados.

Por otro lado, las interacciones entre micronutrientes son normalmente muy marcadas y por ello resulta conveniente fertirrigar con todos ellos a la vez, pues de lo contrario se pueden producir alteraciones causadas por el desequilibrio entre ellos. En este sentido, es frecuente el uso de complejos de microelementos que aportan todos ellos. Sin embargo, normalmente el hierro suele estar presente en forma de quelato EDTA, que es poco asimilable en nuestras condiciones, por lo que deberemos acudir a un complejo que incorpore dicho elemento como quelato EDDHA o bien realizar nuestra propia composición en base a distintos productos comerciales de microelementos quelatados o acomplejados en la forma que convenga.

Se puede preparar la solución madre de microelementos independiente del resto de fertilizantes pero, en el caso de que esto no sea posible, se pueden mezclar con abonos que incorporen nitratos (a excepción del ácido nítrico concentrado para evitar que se destruyan los quelatos por un pH excesivamente bajo), siempre que se añadan antes que éstos. Dado que las aguas de riego de nuestra zona presentan un pH elevado, resultará conveniente acidificar el agua con la que se va a preparar la solución madre hasta 6-6,5 si se van a utilizar quelatos de hierro EDTA o DTPA (éstos son muy utilizados en cultivos sin suelo, en los cuales se puede controlar mucho mejor el pH de la rizosfera, permitiendo, por tanto, la obtención de un buen resultado con los mismos).

6. (OTROS PRODUCTOS APORTADOS A TRAVÉS DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO)

Aparte de los fertilizantes, existen otros productos comerciales (lógicamente solubles en agua) que se pueden aplicar al suelo de forma localizada y con gran eficacia a través de la instalación de riego por goteo. Dentro de ellos tenemos las sustancias húmicas, los bionutrientes, los ácidos polihidroxicarboxílicos y algunos productos fitosanitarios. Finalmente también cabe referirse a los productos desinfectantes de suelo utilizados al final de la campaña.

6.1. (Sustancias húmicas)

Las sustancias húmicas son restos orgánicos ácidos de difícil degradación, con elevado contenido en grupos carboxílicos, fenólicos y quinónicos, cierta aromaticidad y con incorporación de nitrógeno heterocíclico. Dentro de ellas cabe distinguir a los ácidos húmicos, que constituyen la fracción más insoluble, y los fúlvicos, que tienen mayor solubilidad y generalmente presentan mayor cantidad de grupos funcionales y menor peso molecular.

Las principales propiedades que se atribuyen a las sustancias húmicas son:

■ Físicas:

- Mejoran la estructura del suelo.
- Mejoran la capacidad de retención de agua del suelo.
- Incrementan la temperatura del suelo debido al color oscuro.

■ Químicas:

- Actúan como transportadores de metales, principalmente los ácidos fúlvicos.



- Presentan una elevada capacidad de intercambio catiónico (ácidos húmicos).
- Controlan la disponibilidad de nutrientes y elementos tóxicos (ácidos húmicos).
- Actúan como acidificantes.

■ Sobre la biología del suelo:

- Originan un ambiente adecuado al desarrollo de micro y macroorganismos.

■ Sobre la fisiología de las plantas:

- Liberan sustancias de bajo peso molecular precursoras de hormonas vegetales.
- Incrementan la absorción de micronutrientes.

Pero, para que una sustancia húmica mejore las propiedades físicas del suelo, es necesario emplear dosis 1.000 veces mayores a las que se recomiendan habitualmente. Así mismo, para mejorar las propiedades químicas y biológicas, se requieren dosis entre 10 y 100 veces superiores. Por tanto, el efecto de interés de las sustancias húmicas debe centrarse en la acción sobre la fisiología de las plantas. En algunos casos sí se han visto mejoras en la absorción de micronutrientes, principalmente debidas a los quelatos originados por los ácidos fúlvicos. En cuanto a la liberación de sustancias precursoras de hormonas vegetales que puedan activar el crecimiento de la planta, éste es un tema escasamente estudiado y que se encuentra hoy en día en investigación.

En la actualidad existe en el mercado un gran número de productos que incorporan sustancias húmicas cuya efectividad no está del todo clara. Es evidente que dicha efectividad debe aumentar al reducirse el aporte de estiércol al suelo en la preparación y conservación del mismo. Por otro lado, se ha observado la existencia en el mercado de algunos productos que incorporan sustancias que no son húmicas, aunque los análisis oficiales que hay al respecto los detectan como tales, por lo que es urgente mejorar la calidad de dichos análisis para evitar fraudes. En definitiva, muchas veces la aplicación de sustancias húmicas ha sido un fracaso debido posiblemente a la baja calidad de algunos productos y las dosis inadecuadas que se han empleado.

En Almería, se suelen utilizar las sustancias húmicas al final del otoño y en invierno, cuando las condiciones ambientales adversas dificultan el desarrollo del cultivo. También, a veces, se emplean en postrasplante para favorecer el enraizamiento. Es habitual realizar aplicaciones de 1 ó 1,5 litros de producto comercial por cada 1.000 m² de superficie que se repiten cada 1 ó 2 semanas según la situación del cultivo. Habitualmente se aportan al final de riego para que queden cerca de las raíces de la planta. En el caso de que se disponga de un cabezal de riego automatizado, es importante tener presente que las sustancias húmicas no deben pasar a través de las sondas de CE y pH ya que, de lo contrario, éstas se estropearían. Por ello, su inyección debe realizarse después de tales sondas.

6.2. (Bionutrientes)

Este grupo incluye una serie de productos que estimulan o activan los procesos naturales del metabolismo de las plantas. Dentro de él encontramos a los bioestimulantes,

como las vitaminas y enzimas, que estimulan sin que actúen como fuente de nutrición. Sin embargo estos compuestos son fácilmente metabolizados por los microorganismos del suelo, limitando enormemente su acción, por lo que normalmente se aplican por vía foliar.

Otro grupo son los bioactivadores, que son aquellos que además actúan como fuente de nutrición. Dentro de ellos tenemos a los aminoácidos, cuyo origen puede ser variable (de síntesis, de fermentación enzimática, de hidrólisis o de origen vegetal como los extractos de algas). Estos productos aportan nitrógeno directamente utilizable por las plantas, ahorrando el gasto energético que implica la asimilación de los nitratos. Además, pueden incorporar triptófano, que es un precursor del ácido indol acético, por lo que este aminoácido podría incrementar el desarrollo radicular, consecuencia de la acción hormonal. Finalmente, provocan un aumento de la resistencia al estrés hídrico, salinidad, heladas, etc.

Los aminoácidos provocan los mayores beneficios especialmente cuando la planta está sometida a algún estrés; es por ello que se utilizan especialmente en invierno con el fin de evitar que el cultivo detenga su actividad como consecuencia del descenso de la temperatura. También se emplean en cualquier otra fecha si el cultivo ha sufrido algún problema. Es habitual aplicar dosis de 1 ó 2 litros de producto comercial por cada 1.000 m² según la riqueza del producto, repitiendo el tratamiento una o dos semanas después si el cultivo así lo requiere. Al igual que las sustancias húmicas, se suelen aportar al final del riego. También se pueden aplicar vía foliar.

6.3. (Ácidos polihidroxicarboxílicos]

Son una mezcla equilibrada de diversos ácidos orgánicos, entre los que destacan: glucónico, glutárico, oxálico, sacárico y trihidroxiglutarico, que incluyen además carbohidratos y calcio. Ligeras variaciones en su composición hacen que actúen unos formulados en suelos salinos y otros en suelos ácidos.

En suelos salino-sódicos o en mezcla con aguas salinas, aportan a la solución del suelo calcio, reduciendo las sales de cambio (Na⁺), por lo que reduce el porcentaje de sodio intercambiable. Este intercambio se realiza a través de la actividad de los ácidos orgánicos, que actúan como transportadores o intercambiadores, e indirectamente provocan la mejora del drenaje y la estructura del suelo. También reducen las sales solubles, tales como Cl⁻, SO₄⁼, HCO₃⁻, etc, con lo que disminuyen la conductividad eléctrica.

En los suelos ácidos (que no es el caso de Almería), el calcio se intercambia por iones H⁺, actuando los radicales ácido y los carbohidratos como quelantes. En definitiva, se consigue elevar el pH, mejorar la retención de los abonos aportados y corregir la carencia de calcio, si es que la hay. Se suelen emplear en dosis de 1 a 2 litros de producto comercial por cada 1.000 m² en varias aplicaciones. Si se utilizan como corrector de aguas salinas, la dosis oscila entre 15 y 75 cm³ por cada m³ de agua de riego.

6.4. (Productos fitosanitarios]

Algunos productos fitosanitarios se aplican a través del sistema de riego por goteo, bien porque se utilizan contra enfermedades o parásitos radiculares, o bien porque pueden



ser absorbidos por las raíces del cultivo y translocados por el xilema gracias a su sistemía, lo que permite un ahorro de mano de obra ya que evita la aplicación foliar del mismo.

Dentro de los productos fitosanitarios de aplicación al suelo contra patógenos radiculares tenemos, entre otros, los siguientes:

- **TMTD**: fungicida preventivo de amplio espectro. Se aplica razón de $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 80%.
- **Etridiazol (Terrazole)**: contra oomicetos, fusariosis, rizoctoniosis, etc. Se aplica a razón de $2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 48%.
- **Pencicuron (Trotis)**: contra *Rhizoctonia solani*. Se aplica a razón de $4 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 25%.
- **Propamocarb (Previcur)**: contra *Phytophthora*, *Pythium* y otros ficomicetos. Se aplica a razón de 2 a $3 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 72,2%.
- **Quintoceno + Etridiazol (Terraclor super X)**: contra *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, etc. Se aplica a razón de 15 a $20 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 24 y 6% respectivamente.
- **TCMTB (Gardbus)**: contra *Fusarium*, diversos oomicales, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, etc. Se aplica a razón de 10 a $15 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 29%.
- **Lindano**: contra gusanos de alambre, grises, etc. Se aplica a razón de $1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 25%.

En cuanto a los productos fitosanitarios sistémicos que se pueden aplicar en riego por goteo, dentro de ellos tenemos los siguientes:

- **Imidacloprid (Confidor)**: contra pulgones y moscas blancas. Se aplica a razón de 750 a $1.000 \text{ cc}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 20%.
- **Ciromazina (Trigard)**: contra larvas de minadores. Se aplica a razón de $250 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 75%.
- **Carbofurano (Carbasol, Garrot flow, etc.)**: contra nematodos, gusanos del suelo, áfidos, etc. Se aplica a razón de $5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 20%.
- **Fenamifos (Nemacur)**: contra nematodos, áfidos, etc. Se aplica a razón de $10 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ durante el cultivo y hasta $25 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ en pretransplante de producto comercial formulado al 40%. Hay que diluirlo suficientemente en agua para que no afecte al cultivo (al menos 30 minutos de riego, separando los ramales portagoteros de las plantas unos diez centímetros).
- **Oxamilo (Vydate)**: contra nematodos e insectos de suelo y de la parte aérea. Se aplica a razón de $10 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 24%. Hay que aportarlo con poca agua ya que es un producto muy soluble que se lixivia fácilmente, lo que hace que pierda mucha eficacia.
- **Metalaxil (Ridomil MZ)**: contra *Phytophthora* y otros mildiús. Se aplica a razón de $3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de producto comercial formulado al 8%.

Habitualmente, estos productos se aplican solos al final del riego con el fin de evitar incompatibilidades y pérdidas por lixiviación. A veces se recomienda el aporte previo de un ácido (por ejemplo, ácido nítrico a razón de 0,5 a 1 L por cada 1.000 m²) para facilitar la absorción del cultivo, como ocurre con el imidacloprid o el oxamilo.

6.5. (Desinfectantes de suelos)

Al ser tan intensivos los cultivos hortícolas almerienses, es frecuente el ataque de patógenos de suelo que obligan a la desinfección prácticamente anual del terreno. Ésta se lleva a cabo durante el verano, que es la época en la que no existe ningún cultivo sobre dicho suelo. Un desinfectante que se emplea a veces es el bromuro de metilo, pero en nuestra provincia no está excesivamente extendido debido a su coste y, sobre todo, por lo engorroso de su aplicación. Por ello, se utilizan más ciertos productos que se añaden al agua de riego.

Como se indicó al final del capítulo II, con la introducción del riego por goteo, la aplicación de estos desinfectantes se realiza normalmente mediante este sistema, por lo que existe el riesgo de que la desinfección no se lleve a cabo en toda la superficie de cultivo y queden focos de infección para la campaña siguiente. A pesar de ello, se ha impuesto la dosificación mediante riego por goteo.

Los principales desinfectantes de suelo aplicados por el agua son los siguientes:

- **Dicloropropeno (DD, Telone, Doralone).** Se utiliza básicamente contra nematodos a razón de 20 kg por cada 1.000 m² de producto comercial formulado al 107-112%. Se debe regar abundantemente el suelo (unas 4 horas) para que esté suficientemente humedecido en el momento de aplicar el desinfectante. La dosificación de éste debe hacerse en unas 3 horas y finalmente se debe dar otras 2 horas de agua sola para sellarlo. Lo ideal es aplicarlo justo al final del cultivo, antes de que se seque el suelo y se enquisten los nematodos, ya que la eficacia resulta mayor. Se debe esperar unos 20 días antes de realizar una nueva plantación, con el fin de evitar fitotoxicidades.

Dado que el producto puede afectar a las anillas de los filtros del cabezal de riego, es necesario utilizar un gotamix o un venturi, que se acopla a la tubería de riego en dos puntos, uno antes y otro después del filtro. Entre ambos puntos debe existir una válvula con la que se pueda regular el caudal de salida de desinfectante.

- **Metam sodio y Metam potasio.** Se utilizan fundamentalmente para controlar hongos de raíz (*Fusarium*, *Verticillium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, etc.), pero también tienen cierta acción herbicida e insecticida. El segundo se recomienda sobre todo para suelos salinos con el fin de no aumentar el nivel de sodio del mismo. La dosis de aplicación suele ser de 100 kg por cada 1000 m² de producto comercial formulado al 50% y el tiempo de dosificación debe ser el mismo que en el caso del dicloropropeno.

En este caso no hay que utilizar un gotamix o venturi ya que no se dañan los filtros, y se puede inyectar desde la misma abonadora del cabezal de riego.

- **Enzone.** Se usa contra hongos de suelo como *Verticillium*, *Pythium*, *Phytophthora*, etc., así como contra insectos de suelo. Se puede utilizar como desinfectante en preplan-



tación a razón de 1.000 L·ha⁻¹ de producto comercial formulado al 40%, pero es más frecuente emplearlo durante el cultivo si surgen problemas de hongos de suelo a razón de 50 L·ha⁻¹ de producto comercial. Para evitar fitotoxicidades, es conveniente repartirlo en una hora de riego y no mezclarlo con ningún otro producto. Es especialmente importante que en la abonadora no queden restos de ácido nítrico, ya que con éste forma gases mortales para el hombre.

7. (PROBLEMAS RESUELTOS DE FERTIRRIGACIÓN)

▲ Programación de fertilización para obtener la siguiente solución final ideal:

Elementos	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Concentración (mmol · L⁻¹)	12	1,5	2	0,5	0,5	7	4	2

Se dispone de un agua con la siguiente composición química:

Elementos	NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	pH	CE dS·m ⁻¹
Concentración (mmol · L⁻¹)	0	0,07	0,45	1,03	0,23	0,54	0,62	2,49	7,7	0,37

La unidad de riego es de 10.000 m² y la densidad de los goteros es de 1 por cada m², siendo éstos de 3 L·h⁻¹. El total de aniones en meq·L⁻¹ es 20,26 y el de cationes también es 20,26, por lo que parece que no ha habido ningún error al calcular el equilibrio.

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva establecida será:

El factor 850 es aproximado y puede oscilar entre 800 y 900 según el tipo de agua de la que se trate. A mayor salinidad mayor será dicho factor.

Para simplificar los cálculos, vamos a rellenar el siguiente cuadro:

		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺
Solución nutritiva		12	1,5	2	0,5		0,5
Agua de riego		-	-	0,23	2,49	0,62	-
Aportes previstos		12	1,5	1,77	-1,99		0,5
Fertilizantes	Concentración (mmol·L⁻¹)						
N. cálcico	0,71	7,81					0,71
H ₃ PO ₄	1,5		1,5		-1,5		
HNO ₃	0,49	0,49			-0,49		
KNO ₃	3,7	3,7					
K ₂ SO ₄	1,62			1,62			

		NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	NH_4^+
Fertilizantes	Concentración (mmol·L⁻¹)						
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,97	0,97					
Aportes reales en mmoles·L⁻¹		12	1,5	2,59	-1,99		0,71
Aportes reales en ppm		744	145,5	248,9	-121,4		12,8
Solución nutritiva final		12	1,5	2,82	0,5	0,62	0,71
Solución final en meq·L⁻¹		12	1,5	5,64	0,5	0,62	0,71

		K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	pH	CE
Solución nutritiva		7	4	2			
Agua de riego		0,07	0,45	1,03	0,54	7,7	0,37
Aportes previstos		6,93	3,55	0,97			
Fertilizantes	Concentración (mmol·L⁻¹)						
N. cálcico	0,71	3,55					
H_3PO_4	1,5						
HNO_3	0,49						
KNO_3	3,7	3,7					
K_2SO_4	1,62	3,24					
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,97	0,97					
Aportes reales en mmoles·L⁻¹		6,94	3,55	0,97			
Aportes reales en ppm		271,4	142,4	23,6			$\Sigma=1467,2$
Solución nutritiva final		7,01	4	2	0,54		
Solución final en meq·L⁻¹		7,01	8	4	0,54		

Las cantidades de fertilizantes que es necesario aportar en $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ para obtener la solución nutritiva deseada son las siguientes:

- **N. cálcico:** $0,71 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 1080,5 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 767,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 767,2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- **H_3PO_4 del 100%:** $1,5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 98 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 147 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 147 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- **HNO_3 del 100%:** $0,49 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 63 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 30,9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 30,9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- **KNO_3 :** $3,7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 101,1 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 374,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 374,1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- **K_2SO_4 :** $1,62 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 174,3 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 282,4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 282,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- **$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$:** $0,97 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 246,3 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 238,9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 238,9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$

En el caso de que se emplee un ácido fosfórico del 75% de riqueza y un ácido nítrico del 56%, los volúmenes de ambos ácidos que habrá que aportar serán:



$$\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ del 75\%: } \frac{147 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{0,75} = \frac{196 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \text{ de producto comercial}}{1,6 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}} = 122,5 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ del 56\%: } \frac{30,9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{0,54} = \frac{55,2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \text{ de producto comercial}}{1,33 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}} = 41,5 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-3}$$

En lo que se refiere a los microelementos, se va a emplear un mix con la siguiente composición:

- Hierro: 7,5%
- Manganeseo: 3,3%
- Zinc: 0,6%
- Boro: 0,7%
- Cobre: 0,3%
- Molibdeno: 0,2%

Se pretende aportar 1,5 ppm de hierro, para lo cual hay que añadir al agua la siguiente cantidad de producto comercial (PC):

$$\frac{1,5 \text{ mg Fe} \cdot \text{L}^{-1}}{0,075} = 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de PC} = 20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \text{ de PC}$$

Esta cantidad de microelementos aporta los siguientes niveles de microelementos:

- Hierro: 1,5 ppm
- Manganeseo: $20 \text{ ppm PC} \cdot 0,033 = 0,66 \text{ ppm}$
- Zinc: $20 \text{ ppm PC} \cdot 0,006 = 0,12 \text{ ppm}$
- Boro: $20 \text{ ppm PC} \cdot 0,007 = 0,14 \text{ ppm}$
- Cobre: $20 \text{ ppm PC} \cdot 0,003 = 0,06 \text{ ppm}$
- Molibdeno: $20 \text{ ppm PC} \cdot 0,002 = 0,04 \text{ ppm}$

Dado que se pretende fertirrigar una superficie de cultivo de 1 ha con una densidad de emisores de $1 \text{ gotero} \cdot \text{m}^{-2}$, presentando los mismos un caudal de $3 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, entonces el caudal de riego será: $10.000 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ gotero} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 3 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{gotero}^{-1} = 30.000 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} = 30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Por otro lado, vamos a suponer que se dispone de un cabezal de riego con tres depósitos de 1.000 litros de capacidad y otro para el ácido de 500 litros. Entonces los fertilizantes se pueden repartir del siguiente modo:

- Depósito para el ácido: ácido nítrico
- Depósito 1: nitrato cálcico + microelementos
- Depósito 2: ácido fosfórico + sulfato potásico
- Depósito 3: nitrato potásico + sulfato de magnesio

A partir de ahora vamos a considerar que el primer fertilizante indicado para cada depósito es el base con el fin de realizar los siguientes cálculos:

■ **Depósito 1.** Con el fin de redondear la cantidad de fertilizante añadido, se aportan 100 kg de nitrato cálcico al tanque de 1.000 litros. La cantidad de microelementos que habrá que añadir junto con el nitrato cálcico para mantener la proporción entre ellos será:

$$\frac{767,2 \text{ g N. cálcico}}{100 \text{ kg N. cálcico}} = \frac{20 \text{ g microelementos}}{X} \Rightarrow X = \frac{100 \cdot 20}{767,2} = 2,6 \text{ kg de PC}$$

El caudal continuo de solución madre que se tendrá que inyectar para conseguir la concentración final deseada será:

$$30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot 767,2 \text{ g N. cálcico} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \frac{\text{Kg}}{1000 \text{ g}} = \frac{1000 \text{ L sol. madre}}{100 \text{ kg N. cálcico}} = 230 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} = 3,8 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

Si se pretende expresar en cm^3 de solución madre por cada litro de solución final, resulta:

$$767,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \frac{1000 \text{ L sol. madre}}{100 \text{ kg N. cálcico}} = \frac{\text{Kg}}{10^6 \text{ mg}} = \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{L}} = 7,7 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}$$

Depósito 2. Se aporta una garrafa de 40 kg de ácido fosfórico del 75% al tanque de 1000 litros. La cantidad de sulfato potásico a añadir junto con el ácido será:

$$\frac{196 \text{ g Ác. fosfórico}}{40 \text{ kg Ác. fosfórico}} = \frac{282,4 \text{ g S. potásico}}{X} \Rightarrow X = \frac{40 \cdot 282,4}{196} = 57,6 \text{ kg de S. potásico}$$

El caudal continuo de solución madre que se tendrá que inyectar para conseguir la concentración final deseada será:

$$30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot 196 \text{ g Ác. fosfórico} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \frac{\text{Kg}}{1000 \text{ g}} = \frac{1000 \text{ L sol. madre}}{40 \text{ kg Ác. fosfórico}} = 147 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} = 2,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

Si se pretende expresar en cm^3 de solución madre por cada litro de solución final, resulta:

$$196 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \frac{1000 \text{ L sol. madre}}{100 \text{ kg Ác. fosfórico}} = \frac{\text{Kg}}{10^6 \text{ mg}} = \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{L}} = 4,9 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}$$

Depósito 3. Se aportan 50 kg de nitrato potásico al tanque de 1000 litros. La cantidad de sulfato de magnesio a añadir junto con el nitrato potásico será:

$$\frac{374,1 \text{ g N. potásico}}{50 \text{ kg N. potásico}} = \frac{238,9 \text{ g S. magnesio}}{X} \Rightarrow X = \frac{50 \cdot 238,9}{374,1} = 31,9 \text{ kg de S. magnesio}$$

El caudal continuo de solución madre que se tendrá que inyectar para conseguir la concentración final deseada será:



$$30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot 374,1 \text{ g N. potásico} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \frac{\text{Kg}}{1000 \text{ g}} = \frac{1000 \text{ L sol. madre}}{50 \text{ kg N. potásico}} = 255 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} = 3,7 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

Si se pretende expresar en cm^3 de solución madre por cada litro de solución final, resulta:

$$374,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \frac{1000 \text{ L sol. madre}}{50 \text{ kg N. potásico}} = \frac{\text{Kg}}{10^6 \text{ mg}} = \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{L}} = 7,5 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}$$

Depósito para el ácido. Se aporta una garrafa de 26 kg de ácido nítrico del 56% al tanque de 500 litros. El caudal continuo de solución madre que se tendrá que inyectar para conseguir la concentración final deseada será:

$$30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot 55,2 \text{ g Ác. nítrico} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \frac{\text{Kg}}{1000 \text{ g}} = \frac{500 \text{ L sol. madre}}{26 \text{ kg Ác. nítrico}} = 32 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} = 0,53 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

Si se pretende expresar en cm^3 de solución madre por cada litro de solución final, resulta:

$$55,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \frac{500 \text{ L sol. madre}}{26 \text{ kg Ác. nítrico}} = \frac{\text{Kg}}{10^6 \text{ mg}} = \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{L}} = 1,1 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}$$

A partir de los caudales continuos calculados para los depósitos 1, 2 y 3 podemos obtener los porcentajes de inyección que debemos indicar al autómata de riego para conseguir la solución nutritiva deseada. No hay que considerar en este cálculo el depósito del ácido ya que su inyección es independiente a la del resto al estar regulada por el pH.

$$\text{Porcentaje depósito 1: } \frac{230 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}}{(230 + 147 + 225) \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 38\%$$

$$\text{Porcentaje depósito 2: } \frac{147 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}}{(230 + 147 + 225) \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 25\%$$

$$\text{Porcentaje depósito 3: } \frac{225 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}}{(230 + 147 + 225) \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 37\%$$

Los resultados obtenidos quedan recogidos en el siguiente cuadro:

	Fertilizantes añadidos	Caudal continuo		Porcentaje inyección	cc·L ⁻¹
		L·h ⁻¹	L·min ⁻¹		
Depósito 1	100 kg N.cálcico 2,6 kg microelementos	230	3,8	38	7,7
Depósito 2	40 kg Ác.fosfórico 57,6 kg S. potásico	147	2,5	25	4,9

Depósito 3	50 kg N. potásico 31,9 kg S. magnesio	225	3,7	37	7,5
Dep. ácido	26 kg Ác. nítrico 56%	32	0,53		1,1
CE (dS·m⁻¹)				2,1	
pH				5,5	

Consideremos ahora el caso de que se trabaje únicamente con dos soluciones madre que se inyectan al 50%, más otra de ácido para controlar el pH. Entonces todos los fertilizantes excepto el ácido nítrico deberán repartirse equilibradamente entre los dos depósitos. Si se decide añadir 100 kg de nitrato cálcico a 1000 litros de solución madre, las cantidades a aportar de los restantes abonos serán:

$$\frac{767,2 \text{ g N. cálcico}}{100 \text{ kg}} = \frac{196 \text{ g Ác. fosfórico}}{X} \Rightarrow X = \frac{100 \cdot 196}{767,2} = 25,6 \text{ kg de Ác. fosfórico}$$

$$\frac{767,2 \text{ g N. cálcico}}{100 \text{ kg}} = \frac{374,1 \text{ g N. potásico}}{X} \Rightarrow X = \frac{100 \cdot 374,1}{767,2} = 48,8 \text{ kg de N. potásico}$$

$$\frac{767,2 \text{ g N. cálcico}}{100 \text{ kg}} = \frac{282,4 \text{ g S. potásico}}{X} \Rightarrow X = \frac{100 \cdot 282,4}{767,2} = 36,8 \text{ kg de S. potásico}$$

$$\frac{767,2 \text{ g N. cálcico}}{100 \text{ kg}} = \frac{238,9 \text{ g S. magnesio}}{X} \Rightarrow X = \frac{100 \cdot 238,9}{767,2} = 31,1 \text{ kg de S. magnesio}$$

$$\frac{767,2 \text{ g N. cálcico}}{100 \text{ kg}} = \frac{20 \text{ g microelementos}}{X} \Rightarrow X = \frac{100 \cdot 20}{767,2} = 2,6 \text{ kg de microelementos}$$

En un depósito se añadirá el nitrato cálcico, los microelementos y el nitrato potásico, y en el otro el ácido fosfórico, el sulfato potásico y sulfato de magnesio. El resumen de los fertilizantes añadidos se presenta a continuación:

	Fertilizantes añadidos	Caudal continuo		Porcentaje inyección
		L·h ⁻¹	L·min ⁻¹	
Depósito 1	100 kg N.cálcico 48,8 kg N.potásico 2,6 kg microelementos	230	3,8	50
Depósito 2	25,6 kg Ác.fosfórico 36,8 kg S. potásico 31,1 kg S.magnesio	230	3,8	50
Dep. ácido	26 kg Ác. nítrico 56%	32	0,53	
CE (dS·m⁻¹)				2,1
pH				5,5



▲ Calcular el aporte de fertilizantes necesario para conseguir una solución nutritiva similar a la del problema anterior pero adaptada al siguiente agua de riego:

Elementos	NO ₃	K	Ca	Mg	SO ₄	Na	Cl	HCO ₃	pH	CE dS·m ⁻¹
Concentración (mmol·L⁻¹)	0	0,22	2,18	3,24	2,0	17,6	21,35	3,72	7,54	3,12

Vamos a modificar ligeramente la solución nutritiva del problema anterior ya que, debido al alto nivel de sodio que contiene, no resultará necesario forzar un consumo de lujo de potasio tan elevado; de este modo podemos fijar una concentración de dicho elemento de 6 mmol·L⁻¹. Por otro lado, se observa que el agua ya de por sí incluye una cantidad de magnesio superior a la necesaria por lo que, con el fin de mejorar la relación Ca/Mg, puede ser conveniente subir el calcio a una concentración de 5 mmol·L⁻¹.

Para simplificar los cálculos, vamos a rellenar el siguiente cuadro:

		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺
Solución nutritiva		12	1,5	2	0,5		0,5
Agua de riego		-	-	2	3,72	21,35	-
Aportes previstos		12	1,5	0	-3,22	-	0,5
Fertilizantes	Concentración (mmol·L ⁻¹)						
N. cálcico	0,71	6,27					0,57
H ₃ PO ₄	1,5	1,5		-1,5			
HNO ₃	0,49	1,72		-1,72			
KNO ₃	3,7	4,01					
K ₂ SO ₄	1,62	0,89					
Aportes reales en mmoles·L ⁻¹		12	1,5	0,89	-3,22		0,57
Aportes reales en ppm		744	145,5	85,4	-196,4		10,3
Solución nutritiva final		12	1,5	2,89	0,5	21,35	0,57
Solución final en meq·L ⁻¹		12	1,5	5,78	0,5	21,35	0,57

		K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	CE
Solución nutritiva		6	5	3,24			
Agua de riego		0,22	2,18	3,24	17,6	7,54	3,12
Aportes previstos		5,78	2,82	0	-		
Fertilizantes	Concentración (mmol·L ⁻¹)						
N. cálcico	0,71	2,85					
H ₃ PO ₄	1,5						
HNO ₃	0,49						

		K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	CE	
Fertilizantes	Concentración (mmol·L⁻¹)							
K ₂ SO ₄	1,62	1,78						
Aportes reales en mmoles·L ⁻¹		5,79	2,85	0				
Aportes reales en ppm		225,8	114	0			Σ=1128,6	
Solución nutritiva final		6,01	5,03	3,24	17,6			
Solución final en meq·L ⁻¹		6,01	10,06	6,48	17,6			

El total de aniones en meq·L⁻¹ es 41,13 y el de cationes es 40,72, por lo que parece que no ha habido ningún error al calcular el equilibrio al ser la diferencia inferior al 5%.

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva establecida será:

$$CE \text{ (dS} \cdot \text{m}^{-1}\text{)} = 3,12 + \frac{1128,6}{900} = 4,37$$

Las cantidades de fertilizantes que es necesario aportar en g·m⁻³ para obtener la solución nutritiva deseada son las siguientes:

- N. cálcico: $0,57 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 1080,5 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 615,9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 615,9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- H₃PO₄ del 100%: $1,5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 98 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 147 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 147 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- HNO₃ del 100%: $1,72 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 63 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 108,4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 108,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- KNO₃: $4,01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 101,1 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 405,4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 405,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
- K₂SO₄: $0,89 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 174,3 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1} = 155,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 155,1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$

En el caso de que se emplee un ácido fosfórico del 75% de riqueza y un ácido nítrico del 54%, los volúmenes de ambos ácidos que habrá que aportar serán:

$$\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ del 75\%: } \frac{147 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{0,75} = \frac{196 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \text{ de producto comercial}}{1,6 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}} = 122,5 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ del 54\%: } \frac{108,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{0,54} = \frac{200,7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \text{ de producto comercial}}{1,33 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}} = 150,9 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-3}$$

▲ Resolver el problema anterior mediante el empleo de abonos líquidos:

Los aportes previstos de los diferentes iones según el problema anterior son:

- NO₃⁻: 12 mmol·L⁻¹
- NH₄⁺: 0,5 mmol·L⁻¹
- Ca⁺⁺: 2,82 mmol·L⁻¹
- H₂PO₄⁻: 1,5 mmol·L⁻¹
- K⁺: 5,78 mmol·L⁻¹

Se va a intentar cubrir estas necesidades de nutrientes mediante los abonos líquidos ácido fosfórico del 57%, CN 11 y KN 10.



Abonos Líquidos	Concentración (cc·L ⁻¹)	Riquezas (mmol·L ⁻¹)				
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺
Ác.fosfórico	0,2	1,58				
CN 11	0,8	8,16		1,28	5,86	3,28
KN 10	2,1	2,88			5,86	
Total		11,04	1,58	1,28	5,86	3,28

No ha sido posible ajustar exactamente los aportes previstos, pero nos hemos aproximado suficientemente.

▲ **Calcular las concentraciones de aporte en cc·L⁻¹ de solución final que se requieren de los abonos líquidos CAN 17, KP 20-10 y KN 10 para conseguir la siguiente solución nutritiva:**

- N: 100 ppm
- P₂O₅: 50 ppm
- K₂O: 200 ppm

En primer lugar se fija la cantidad de KP 20-10 para aportar todo el fósforo necesario ya que es el único fertilizante que incorpora dicho nutriente:

$$\frac{270 \text{ ppm } P_2O_5}{1 \text{ cc} \cdot L^{-1}} = \frac{50 \text{ ppm}}{X} \Rightarrow X = \frac{50}{270} = 0,2 \text{ cc} \cdot L^{-1} \text{ de KP 20 - 10}$$

Este fertilizante además incorpora la siguiente cantidad de potasio:

$$\frac{1 \text{ cc} \cdot L^{-1}}{135 \text{ ppm } K_2O} = \frac{0,2 \text{ cc} \cdot L^{-1}}{X} \Rightarrow X = 135 \cdot 0,2 = 27 \text{ ppm de } K_2O$$

El resto del potasio se va a incorporar como KN 10, en total: 200-27 = 173 ppm. Para ello se requiere la siguiente cantidad de fertilizante:

$$\frac{115 \text{ ppm } K_2O}{1 \text{ cc} \cdot L^{-1}} = \frac{173 \text{ ppm}}{X} \Rightarrow X = \frac{173}{115} = 1,5 \text{ cc} \cdot L^{-1} \text{ de KN 10}$$

Este fertilizante además incorpora la siguiente cantidad de nitrógeno:

$$\frac{1 \text{ cc} \cdot L^{-1}}{17 \text{ ppm } N} = \frac{1,5 \text{ cc} \cdot L^{-1}}{X} \Rightarrow X = 17 \cdot 1,5 = 25,5 \text{ ppm de } N$$

El resto del potasio se va a incorporar como CAN 17, en total: 100-25,5 = 74,5 ppm. Para ello se requiere la siguiente cantidad de fertilizante:

$$\frac{255 \text{ ppm } N}{1 \text{ cc} \cdot L^{-1}} = \frac{74,5 \text{ ppm}}{X} \Rightarrow X = \frac{74,5}{255} = 0,3 \text{ cc} \cdot L^{-1} \text{ de CAN 17}$$

Este fertilizante además incorpora la siguiente cantidad de calcio:

$$\frac{1 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}}{188 \text{ ppm CaO}} = \frac{0,3 \text{ cc} \cdot \text{L}^{-1}}{X} \Rightarrow X = 188 \cdot 0,3 = 56 \text{ ppm de CaO} =$$

$$= 40 \text{ ppm Ca} = 1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de Ca}$$

Este calcio puede ser suficiente si el agua de riego ya incorpora una cierta cantidad de este elemento (unos $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) y no existe competencia con el magnesio. En caso contrario, habrá que incrementar el aporte del mismo utilizando un fertilizante nitrogenado con mayor riqueza de calcio como puede ser el CN 11.

El incremento teórico de conductividad eléctrica de estos aportes será:

- Incremento CE debida al CAN 17 = $1,328 \cdot X = 1,328 \cdot 0,3 = 0,4$
- Incremento CE debida al KP 20-10 = $0,44 \cdot X = 0,44 \cdot 0,2 = 0,09$
- Incremento CE debida al KN 10 = $0,35 \cdot X = 0,35 \cdot 1,5 = 0,53$
- Incremento total = $0,4 + 0,09 + 0,53 = 1,02 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$

▲ Resolver el problema anterior utilizando abonos simples.

Suponiendo que no sea necesario el aporte de magnesio ni de azufre al cultivo, de forma que los incorpora el agua de riego, los fertilizantes a emplear pueden ser: ácido fosfórico, nitrato potásico y nitrato cálcico. Además convendrá añadir ácido nítrico para neutralizar los bicarbonatos. En primer lugar se calcula el aporte de ácido fosfórico:

$$\frac{50 \text{ mg P}_2\text{O}_5}{\text{L}} \cdot \frac{100 \text{ mg Ác. fosfórico 75\%}}{52 \text{ mg P}_2\text{O}_5} \cdot \frac{\text{mL Ác. fosfórico 75\%}}{1,6 \text{ g}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} =$$

$$= 0,06 \text{ mL Ác. fosfórico 75\%} \cdot \text{L}^{-1}$$

Esta concentración de P_2O_5 supone los siguientes mmoles $\cdot\text{L}^{-1}$:

$$\frac{50 \text{ mg P}_2\text{O}_5}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ mg P}}{2,29 \text{ mg P}_2\text{O}_5} \cdot \frac{1 \text{ mmol P}}{31 \text{ mg P}} = 0,7 \text{ mmol P} \cdot \text{L}^{-1}$$

Ahora se calcula el aporte de nitrato potásico para cubrir las necesidades de potasio:

$$\frac{200 \text{ mg K}_2\text{O}}{\text{L}} \cdot \frac{100 \text{ mg N. potásico}}{46 \text{ mg K}_2\text{O}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,44 \text{ g N. potásico} \cdot \text{L}^{-1}$$

Este fertilizante además incorpora la siguiente cantidad de nitrógeno:

$$\frac{0,44 \text{ g N. potásico}}{\text{L}} \cdot \frac{13 \text{ g N}}{100 \text{ g N. potásico}} \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} = 57,2 \text{ ppm de N}$$



Por tanto, quedan por aportar: $100 - w57,2 = 42,8$ ppm de N

Si suponemos que el agua de riego lleva $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de bicarbonatos, habrá que neutralizar 3,5, de los cuales 0,7 corresponden a ácido fosfórico y 2,8 a ácido nítrico. De este modo, la cantidad de ácido nítrico a aportar es la siguiente:

$$\frac{2,8 \text{ mmol N}}{\text{L}} \cdot \frac{14 \text{ mg N}}{\text{mmol N}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} \cdot \frac{100 \text{ g Ác. nítrico 56\%}}{12,6 \text{ g N}} \cdot \frac{100 \text{ g Ác. nítrico 56\%}}{1,33 \text{ g}} =$$

$$= 0,23 \text{ mL Ác. nítrico} \cdot \text{L}^{-1}$$

Este ácido incorpora la siguiente cantidad de nitrógeno:

$$\frac{2,8 \text{ mmol N}}{\text{L}} \cdot \frac{14 \text{ mg N}}{\text{mmol N}} = 39,2 \text{ ppm de N}$$

Por tanto, sólo queda por añadir los siguientes ppm de N: $42,8 - 39,2 = 3,6$ ppm. El nitrato cálcico necesario será:

$$\frac{3,6 \text{ mg N}}{\text{L}} \cdot \frac{100 \text{ mg N. cálcico}}{15,5 \text{ mg N}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,023 \text{ g N. cálcico} \cdot \text{L}^{-1}$$

Este nitrato cálcico supone los siguientes $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de calcio:

$$\frac{23 \text{ mg N. cálcico}}{\text{L}} \cdot \frac{19 \text{ mg Ca}}{100 \text{ mg N. cálcico}} \cdot \frac{1 \text{ mmol Ca}}{40 \text{ mg}} = 0,1 \text{ mmol Ca} \cdot \text{L}^{-1}$$

▲ ¿Qué equilibrio debería tener un abono complejo para que nos permitiera obtener la siguiente solución nutritiva?

- NO_3 : $12 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ • H_2PO_4 : $1,5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$
- NH_4 : $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ • K: $7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$

La riqueza necesaria de cada nutriente que debe incorporar el fertilizante complejo será:

$$\text{N. nítrico: } \frac{12 \text{ mmol N}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{14 \text{ mg}}{\text{mmol N}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,168 \text{ g N} \cdot \text{g}^{-1} = 16,8\% \text{ N}$$

$$\text{N. amoniacal: } \frac{1 \text{ mmol N}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{14 \text{ mg}}{\text{mmol N}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,014 \text{ g N} \cdot \text{g}^{-1} = 1,4\% \text{ N}$$

$$\text{Fósforo: } \frac{1,5 \text{ mmol P}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{31 \text{ mg}}{\text{mmol P}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,0465 \text{ g P} \cdot \text{g}^{-1} = 4,7\% \text{ P} = 10,7\% \text{ P}_2\text{O}_5$$

$$\text{Potasio: } \frac{7 \text{ mmol K}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{39 \text{ mg}}{\text{mmol K}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,273 \text{ g K} \cdot \text{g}^{-1} = 27,3\% \text{ K} = 32,9\% \text{ K}_2\text{O}$$

Por tanto, el abono complejo que se busca es el siguiente: 18,2:10,7:32,9 (92,3% del nitrógeno en forma nítrica y 7,7% en forma amoniacal). Del mismo modo habrá que aportar 1 g por cada litro de agua para obtener la solución nutritiva deseada. En el caso de que se encuentre otro fertilizante con la misma proporción N-P-K pero distintas riquezas de cada nutriente, la cantidad del mismo que habrá que añadir por cada litro de agua será:

$$\frac{16,8\% \text{ N. nítrico}}{1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}} = \frac{\text{Porcentaje de N. nítrico del fertilizante disponible}}{X} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow X = \frac{16,8}{\text{Porcentaje de N. nítrico}} = \text{g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ del fertilizante disponible}$$

▲ **Determinar el fertilizante complejo necesario para obtener la misma solución nutritiva que en el problema anterior pero incorporando además 3 mmol·L⁻¹ de calcio en forma de nitrato cálcico.**

Para aportar 3 mmol·L⁻¹ de calcio se necesitarán 0,6 mmol·L⁻¹ de nitrato cálcico, el cual aportará los siguientes nutrientes:

- NO₃⁻: 6,6 mmol·L⁻¹
- Ca⁺⁺: 3 mmol·L⁻¹
- NH₄⁺: 0,6 mmol·L⁻¹

Por tanto, quedan por aportar las siguientes cantidades de los distintos nutrientes:

- NO₃⁻: 5,4 mmol·L⁻¹
- H₂PO₄⁻: 1,5 mmol·L⁻¹
- NH₄⁺: 0,4 mmol·L⁻¹
- K⁺: 7 mmol·L⁻¹

Para ello será necesario el siguiente fertilizante complejo:

$$\text{N. nítrico: } \frac{5,4 \text{ mmol N}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{14 \text{ mg}}{\text{mmol N}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,076 \text{ g N} \cdot \text{g}^{-1} = 7,6\% \text{ N}$$

$$\text{N. amoniacal: } \frac{0,4 \text{ mmol N}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{14 \text{ mg}}{\text{mmol N}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,006 \text{ g N} \cdot \text{g}^{-1} = 0,6\% \text{ N}$$

$$\text{Fósforo: } \frac{1,5 \text{ mmol P}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{31 \text{ mg}}{\text{mmol P}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,0465 \text{ g P} \cdot \text{g}^{-1} = 4,7\% \text{ P} = 10,7\% \text{ P}_2\text{O}_5$$

$$\text{Potasio: } \frac{7 \text{ mmol K}}{\text{L}} \cdot \frac{\text{L}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{39 \text{ mg}}{\text{mmol K}} \cdot \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 0,273 \text{ g K} \cdot \text{g}^{-1} = 27,3\% \text{ K} = 32,9\% \text{ K}_2\text{O}$$



En definitiva se requiere el siguiente abono complejo: 8,2:10,7:32,9 (el 93% del N en forma nítrica y el 7% en forma amoniacal).

Las cantidades que habrá que aportar de cada fertilizante serán:

- N.cálcico: $0,6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \cdot 1080,5 \text{ mg}\cdot\text{mmol}^{-1} = 648,3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$
- Fertilizante complejo 8,2:10,7:32,9: $1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

8. (BIBLIOGRAFÍA]

■ Cadahía López, C. (1998). Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 475 pag.

■ Casas Castro, A. (1993). Formulación de la solución nutritiva. Parámetros de ajuste. Características de la zona que condicionan la solución nutritiva: ajustes específicos. En: Curso Superior de Especialización sobre cultivos sin suelo. FIAPA. Almería. 165-193.

■ González, P. (1991). La fertilización mediante el riego localizado. Curso Internacional sobre Agrotecnia del cultivo en invernaderos. FIAPA. Almería. 223-247.

■ Lao Arenas, M.T. (1998). Gestión del fertirriego de los invernaderos de Almería mediante el uso de sondas de succión. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior de Almería. 241 pag.

■ Liñán, C. de (1999). Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales. 14ª ed. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid. 628 pag.

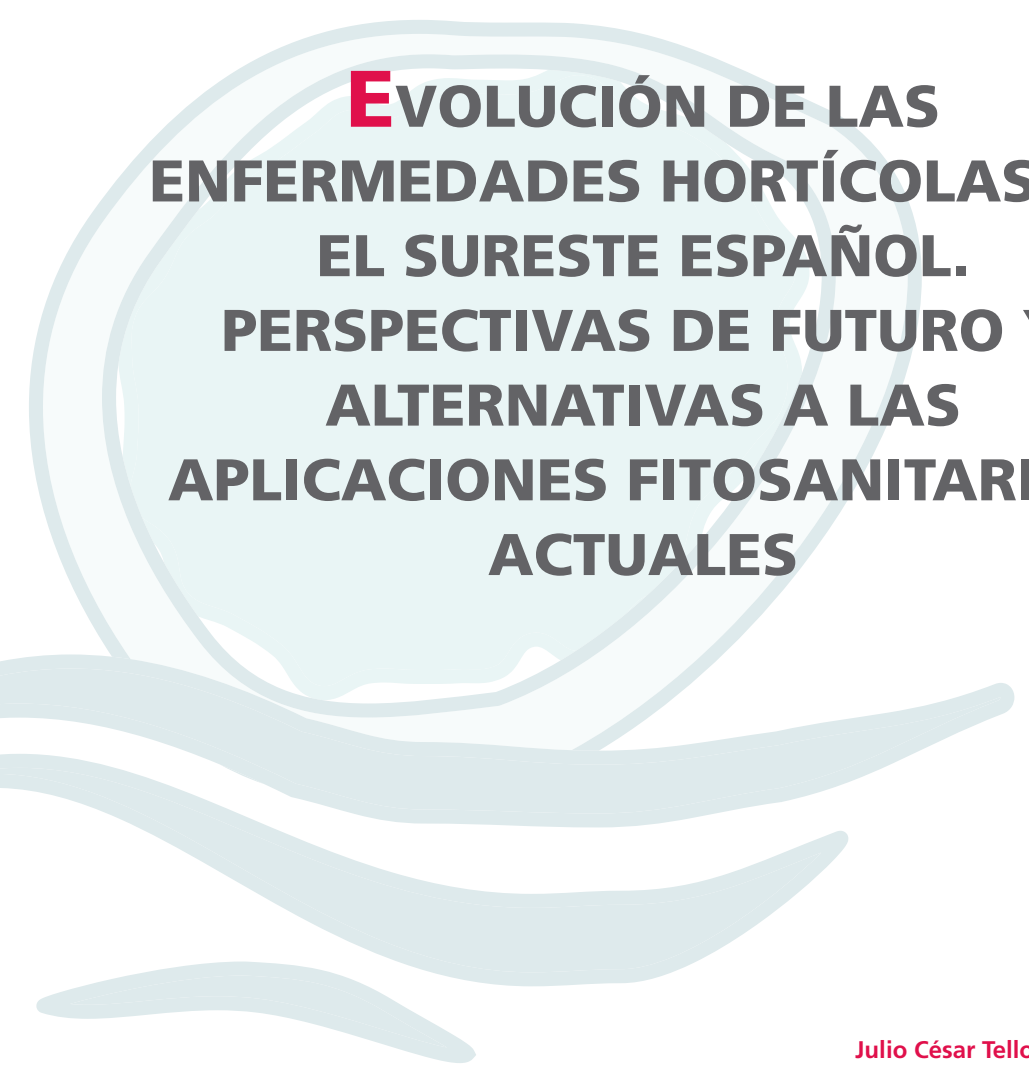
■ Molné i Domingo, R. (1993). La fertirrigación de los cultivos hortícolas. Hortofruticultura 9. 30-34.

■ Rincón, L. (1993). Equipamiento de la fertirrigación. Hortofruticultura 9. 35-42.

■ Rincón, L.; Sáez, J.; Balsalobre, E. y Pellicer, M.C. (1993). Nutrición del pimiento grueso de invernadero. Hortofruticultura 5. 37-41.

■ Urbano Terrón, P. (1989). Tratado de Fitotecnia General. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 836 pag.

(TEMA 6]



EVOLUCIÓN DE LAS
ENFERMEDADES HORTÍCOLAS EN
EL SURESTE ESPAÑOL.
PERSPECTIVAS DE FUTURO Y
ALTERNATIVAS A LAS
APLICACIONES FITOSANITARIAS
ACTUALES

Julio César Tello Marquina

Doctor Ingeniero Agrónomo
Catedrático de la Universidad de Almería





1. (INTRODUCCIÓN)

Hay que comenzar señalando, con las palabras de Moreno Vázquez (1994), la imbricación entre epidemiología y control: la solución de los problemas suscitados por los fitopatógenos siempre ha sido, para la protección fitosanitaria, un escollo difícil de superar. Para alcanzar este objetivo final se deberán abordar unas etapas iniciales, que descubran y definan el comportamiento de las enfermedades por cada uno de los fitopatógenos presentes durante el cultivo. En esas fases previas la epidemiología será la que aporte los medios necesarios para determinar ese comportamiento y para conocer la respuesta que la enfermedad tendrá ante las medidas que contra ella se adopten.

No deja, por lo tanto, de sorprender cómo influyentes y afamados tratadistas de las enfermedades de las plantas Agrios (1986), Walker (1971) y Messiaen *et al* (1991) -entre otros tantos-, no recojan el vocablo epidemiología ni en sus índices temáticos, ni en los alfabéticos. ¿Es, acaso, la Epidemiología Vegetal una disciplina aparte y diferente de la Patología Vegetal?. No, desde mi punto de vista. Sin embargo, el tema no es nuevo, y hace ya 49 años se quejaba Rodríguez Sardiña, al escribir un largo trabajo sobre el tema, de la siguiente manera: en Patología Vegetal hemos visto muy poco escrito referente a la Epidemiología Vegetal, también llamada Epifitología.

Abordar la enseñanza y el estudio de la Epidemiología Vegetal, es tratar de asentar, un cuerpo de doctrina que sirva para darle a la Fitopatología un sentido más explicativo que descriptivo, que establezca y estructure las reglas y las relaciones entre ellas. En una palabra, como escribía Alfaro García (1973), que deje de estar sometida a una diversificación casi implacable.

El análisis disciplinar se va a desarrollar en las páginas siguientes desde dos atalayas, que aparentemente pueden resultar diferentes. Una más tradicional, más clásica; otra más heterodoxa en la forma que en el fondo.

Rodríguez Sardiña (1947) interpretaba así la Epidemiología Vegetal definida por Gäumann (1945): es aquella parte de la Patología que se ocupa del estudio de las epidemias de las plantas. Entendemos por epidemia, de cierta enfermedad en una especie de planta determinada, la acumulación en el tiempo y en el espacio, de casos de dicha enfermedad; es decir, la presencia en masa de plantas de igual especie atacadas de la misma enfermedad durante un intervalo de tiempo determinado. Pero el autor amplía el concepto -y esta apertura será contemplada más adelante- de la siguiente manera: también se puede extender el concepto a las plagas causadas por seres microscópicos, y entonces se puede definir la Epifitología -como lo hace CIFERRI- diciendo: la Epifitología se ocupa de infecciones provocadas por microparásitos (bacterias y hongos), y de las infestaciones ocasionadas por macroparásitos (Insectos, Fanerógamas parásitas, etc.). Pese a las deficiencias imputables a la época, la concepción es importante.

Se ha considerado a Van der Plank, con su obra ya clásica *Plant Diseases. Epidemics and control*, publicada en 1963, como pionero de la moderna Epidemiología. En ella se la considera como la ciencia de las enfermedades en las poblaciones de plantas. Poco difiere esta amplia definición de la detallada anteriormente. Otras definiciones posteriores, tratan de ser más concisas a través de la enumeración de sus objetivos. Tal es el caso de la propuesta por Zadoks y Schein (1979), que la definen como la ciencia

que estudia el desarrollo y propagación de las enfermedades y de los factores que las afectan. O la posterior dada por Zadoks (1984) que escribe: la epidemiología es la ciencia de las epidemias. Son epidemias los agrupamientos de individuos enfermos cuyo número sufre variaciones en el espacio y en el tiempo. Su objetivo final consiste en encontrar las claves de la prevención de las epidemias, con el propósito de dar recomendaciones para el manejo adecuado de las enfermedades.

Se ha considerado a la Epidemiología como una rama de la Fitopatología. Y lo es, en tanto en cuanto sólo se admite dentro de ella a las enfermedades infecciosas, excluyendo a aquellas que se originan por causas abióticas. Sin embargo, no es tan clara la ramificación cuando se postula que la Patología Vegetal se aplica a estudiar los fenómenos de la enfermedad a escala celular y la epidemiología se encarga del estudio a escala poblacional de plantas enfermas. El punto de arranque para ambos enfoques es la enfermedad.

¿Qué es una planta enferma? Agrios (1986) define la enfermedad como cualquier alteración ocasionada por un agente patógeno o un factor del medio ambiente que afecta a la síntesis, translocación o utilización del alimento, los nutrientes minerales y el agua, en tal forma que la planta afectada cambia de apariencia y tiene una producción menor que una planta sana de la misma variedad. Por su parte Walker (1971) escribe a este respecto que son plantas enfermas aquellas que han llegado a alterarse en su desarrollo fisiológico o morfológico en grado tal, que los signos externos de su alteración son obvios. Alfaro García (1973), más próximo a la necesaria sutileza de Walker, afirma que una enfermedad es algo más, ligado durante tiempo al individuo que la padece, y ella aparece, se desarrolla, se agrava o se cura. Es algo unido íntimamente al individuo durante cierto tiempo, siendo, por ello, y este es el punto capital, un proceso. Subyacen dos ideas básicas que, en la actualidad, no están bien delimitadas y provocan que la meditación sobre estas concepciones siempre produzcan frutos defectuosos. Por un lado, lo enfermo está siempre en función de lo que se considere como normal; por otro, el parasitismo - y el patógeno es un parásito - tiene sombras en su delimitación que van desde la mera simbiosis hasta el más puro necrotrofismo.

En otros casos, la definición de enfermedad parece tener mayor amplitud. Así, Giménez-Díaz en 1977 (citado por Cabello, 1991) decía: enfermedad en una planta la constituye la serie de sus interacciones con un agente, condicionado por el medio ambiente, que como consecuencia de la irritación continua de la planta por el agente causa en ella una utilización desordenada de la energía. Bien es cierto que la utilización desordenada puede chocar con una posible respuesta programada dentro del genoma del vegetal, como pura defensa heredada a lo largo de las eras geológicas, y por comparación con otros seres vivos.

Desde el punto de vista epidemiológico, Van der Plank (1963) propone lo que denomina el triángulo de la enfermedad -obviamente referido a las enfermedades de origen microbiano o infecciosas- de la siguiente manera: un hospedador más sensible, un patógeno más agresivo y un ambiente más favorable contribuyen a incrementar la enfermedad. Es como designar las interacciones hospedador-patógeno-ambiente bajo el nombre de triángulo de la enfermedad. Es evidente que la propuesta encierra el mar-



co donde una enfermedad se produce. De manera clara, si el hospedador es resistente aunque haya un ambiente favorable y el patógeno esté presente, la enfermedad no ocurrirá. Razonando de la misma manera para los otros dos factores se llega a la conclusión de que todos ellos tienen el mismo peso en el desencadenamiento del proceso. Persiste, no obstante, la dualidad enfermo/normal y sus disidencias.

Esta forma epidemiológica de razonar no hace más que recoger, es el destilado de toda una tradición de estudiar las epidemias y las endemias. Tradición que se resume a continuación. De alguna manera endemia y epidemia son términos contrapuestos. Epidemia ya fue definida anteriormente. Endémicas -escribe (JAUCH, 1976) copiando a Rodríguez Sardiña (1947)- se consideran a las enfermedades cuando existen en determinada región, generalmente limitada, con difusión lenta y con carácter poco destructor.

El subrayado no aparece en el texto mentado y en éste se ha sustituido de foco por poco, error previsiblemente, atribuible a la imprenta. La velocidad de infección es la diferencia que se establece como fundamental para separar una endemia de una epidemia y es recogida y realizada por Van der Plank (1963) que escribía: la velocidad de infección es la resultante de todas estas acciones: las de la resistencia genética del hospedante, las de su edad, de la densidad del follaje que produce, de la virulencia y de la agresividad del patógeno, de la abundancia, de las dimensiones y de las formas de los propágulos, de la pluviosidad, del estado higrométrico y de la temperatura del aire, del drenaje del suelo, etc.

Los factores condicionantes del desarrollo de una epidemia de los cultivos son: la planta, el patógeno y el ambiente, que deben presentar al mismo tiempo una serie de circunstancias que resumidamente serían:

■ Por parte de la planta, la presencia de un gran número de individuos atacables. Presencia debida a:

- Acumulación de individuos susceptibles de ser atacados.
- Presencia de hospedantes intermediarios adecuados.

■ Por parte del ser patógeno, la existencia de una gran facultad para producir epidemias (potencial epidémico). Dicha facultad puede ser originada por:

- Una gran facilidad de reproducción.
- Una gran facilidad de dispersión (puede ser propia o prestada por un vector).
- Exigencias euriécicas para el desarrollo del parásito (parásito euriécico es aquel que presenta pocas exigencias para la infección, ocasionándola entre amplios límites ecológicos).

■ Por parte del medio ambiente:

- Condiciones óptimas para el desarrollo del parásito y/o de su vector (a esta parte de la Patología Vegetal se le denominó antiguamente Meteoropatología). Hoy el contenido de la Meteoropatología tiene connotaciones probadas, antes insospechadas como la acción de los oxidantes (el ozono troposférico), entre otros sobre la sensibilización del hospedador al parásito.

2. (ESTIMACIÓN MATEMÁTICA DE LAS EPIDEMIAS]

Dado que para que una epidemia se desencadene han de cumplirse las anteriores condiciones en el mismo lugar y al mismo tiempo, resulta de ello que el número de patógenos epidemiológicos es pequeño con respecto al total de los descritos.

Es pertinente introducirse, ahora, en la estimación matemática de las epidemias. Matemáticas que no han integrado en sus modelos todo el proceso biológico pero que parten de una premisa fácilmente formulable, la velocidad de infección.

En cualquier epidemia se pueden diferenciar tres fases: producción del inóculo, diseminación del inóculo e infección. Su conjunto se denomina ciclo de infección. Obviamente, pueden existir epidemias policíclicas y monocíclicas. La respuesta de la plantación ante estos procesos o fases es el incremento de tejidos o plantas enfermas conforme pasa el tiempo. Es lo que se conoce como progresión de la enfermedad, que se suele representar por una función del tipo $x = f(t)$, en la cual x es la proporción de plantas enfermas -o de tejido enfermo- en el tiempo t . En ciertos casos -cultivos bajo invernadero- la progresión se estudia no sólo desde el punto de vista de su propagación en el tiempo, sino también en el espacio, generando los llamados gradientes dinámicos.

El modelo exponencial se aplica cuando el incremento de la cantidad de plantas enfermas sea proporcional al número que de ellas hay en el tiempo t . Se expresa mediante la ecuación diferencial $dx/dt = rx$ cuya forma integrada ($x = Aert$) es un típico modelo exponencial de crecimiento. Modelo en el cual debe de cumplirse, lógicamente que $x \leq 1$. La estimación del parámetro A se obtiene haciendo $t=0$ y $A = x_0$ donde x_0 es la proporción inicial de plantas enfermas. Al factor de proporcionalidad r se le denomina tasa de infección exponencial, ajustable a los datos periódicos disponibles, o a dos observaciones x_1 y x_2 , correspondientes a los tiempos t_1 y t_2 ($t_2 > t_1$) mediante la expresión: $r = 1/(t_2 - t_1) \ln(x_2/x_1)$. Entre otras, una de las deficiencias que separan a este modelo de la realidad es la suposición de que el número de plantas es infinito.

El modelo logístico impone restricciones al crecimiento indefinido de los parásitos ya que la población de hospedadores es limitada. La progresión de la enfermedad estará en función de la proporción de plantas enfermas (x) y de las sanas ($1-x$), susceptibles de ser infectadas. La expresión diferencial que lo representa es: $dx/dt = rx(1-x)$, y la forma integral $x = 1/(1 + Ae^{-rt})$. Conocido, también, como modelo sigmoideal.

Al parámetro r se le conoce como tasa de infección aparente. Si el factor limitante hubiera sido el tiempo, se hubiese generado otro modelo no logístico, cuya expresión diferencial sería: $dx/dt = rx(T-t)$, donde T sería el tiempo máximo del que dispone la epidemia para su desarrollo. La forma integrada, $x = x_0 e^{-r(2T-t)t/2}$.

En éste modelo sigmoideal se presenta un punto de inflexión para $x=0,5$, lo que desde el ángulo de la enfermedad significa que la velocidad máxima (dx/dt) se produce cuando la mitad de las plantas están enfermas. Antes de alcanzar la inflexión la velocidad de progresión habrá ido en aumento, mientras que a partir de ella descenderá hasta anularse y la enfermedad habrá alcanzado su cota máxima de actividad. El valor de r se estima en éste modelo por: $r = 1/(t_2 - t_1) = [\text{logit}(X_2) - \text{logit}(X_1)] / (t_2 - t_1)$ y logit es $\ln [x/(1-x)]$. El modelo Gompertz ha sido junto con el logístico el más utilizado para describir la expresión de las



epidemias policíclicas. Su forma de ecuación diferencial, que no tiene un claro significado biológico, es $dx/dt=rx\ln(x)$ y la integrada $x=eAe^{-rt}$. Como el modelo sigmoidal puede expresarse en forma lineal $rt=\ln(\ln 1/x)+\ln(\ln 1/x_0)$ donde $-\ln(\ln 1/x)$ se ha denominado Gompit. El punto de inflexión en el modelo se encuentra para el valor $x=1/e$ y el modelo tendría utilidad cuando dx/dt decreciese antes de que la mitad de las plantas estuviesen enfermas. Utilidad que se incrementa cuando la enfermedad tiene una distribución agregativa.

Uno de los modelos usados para estudiar epidemias monocíclicas es el monomolecular, cuya expresión diferencial sería $dx/dt=r(1-x)$ y la integral $x=1+Ae^{-rt}$ modelo asintótico que no presenta punto de inflexión. Es útil cuando la cantidad de inóculo permanezca constante durante la epidemia. En éste caso el incremento de plantas enfermas será proporcional al de plantas sanas existentes en un tiempo t .

Tanto el modelo Richards como el Weibull tienen la ventaja de generar otros modelos cuando se varía algunos de sus parámetros. No hay que buscar en ellos una explicación biológica a la progresión de la epidemia. En el modelo Richards la forma derivada es $dx/dt=rx(1/x)^{1-m-1}/(1-m)$ y la forma integrada $x=(1+Ae^{-rt})^{1/(1-m)}$. El parámetro m es el que facilita su generalización ($m=0$, se obtiene el modelo monomolecular; $m=1$ lleva al modelo Gompertz; $m=2$ da lugar al logístico). El punto de inflexión se obtiene en $x=m/(1-m)$ conforme m aumenta, la inflexión se traslada hacia 1.

En el modelo Weibull la ecuación diferencial que lo representa es:

$$dx/dt=c/b[(t-a)/b]^{c-1}e^{-[(t-a)/b]^c}$$

La integral correspondiente $x=1-e^{-[(t-a)/b]^c}$, donde a es el tiempo en el cual la enfermedad aparece por primera vez, b está inversamente relacionado con la tasa de crecimiento de la enfermedad y, c marca la posición del punto de inflexión. El modelo se adapta a numerosas curvas de progresión de la enfermedad, y $a+b$ señala el momento en el cual el 63% de las plantas han sido infectadas.

Estos modelos, como anteriormente se indicó, tienen bastantes deficiencias que los hacen muy restrictivos. Algunas de ellas pueden ser enumeradas. En lo concerniente al periodo de latencia y al periodo infeccioso, en el modelo logístico se suponía que:

- Todos los tejidos infectados permanecen infecciosos durante todo el tiempo de duración de la epidemia.
- No existe periodo de latencia, lo que equivale a decir que el tejido vegetal es infeccioso desde el momento en el que es infectado.

Esto no es exacto pues en un campo con plantas enfermas puede encontrarse tejido vegetal en cualquiera de las siguientes circunstancias:

- Sano.
- Infectado pero no infeccioso.
- Infeccioso.
- Necrótico por causa de la enfermedad pero incapacitado para volver a ser infeccioso.

Supongamos que se cumple la hipótesis, a) (todos los tejidos infectados perma-

necen infecciosos durante toda la epidemia) y que hay un periodo de latencia cuya duración es p . Existirá, en el tiempo t , una fracción de tejido o de plantas, x_t , que esté enferma; y de esa fracción las infecciosas serán las plantas enfermas que existan en el tiempo $t-p$, es decir x_{t-p} . Entonces el modelo logístico tomaría la forma $\frac{dx_t}{dt} = R x_{t-p} (1-x_t)$, donde R es la tasa de infección básica. Consideremos que, además del periodo de latencia p , existe otro infeccioso de duración i . Habría que deducir de la fracción x_{t-p} las plantas que han dejado de ser infecciosas, o lo que es lo mismo las plantas enfermas que existían en el tiempo $t-(p+i)$. El modelo tendría entonces la siguiente forma derivada: $\frac{dx_t}{dt} = R_c (x_{t-p} - x_{t-p-i}) (1-x_t)$, donde R_c sería la tasa de infección corregida, que indicaría el número de infecciones producidas durante un día a partir de una lesión madre. Abordemos ahora, en el modelo logístico, las modificaciones que pueden hacerse a la tasa de infección aparente (r). En el modelo se supone que r permanece constante durante la epidemia, cuando en la realidad se pueden apreciar dos fuentes de variación importante:

- Cambios en la susceptibilidad de los tejidos.
- Cambios diarios y estacionales en las condiciones medioambientales.

El efecto que sobre r producen los cambios que experimentan los tejidos en lo concerniente a su susceptibilidad a la enfermedad, puede admitirse que es del tipo $r=f(t)$, sustituyendo r por su correspondiente función en la ecuación diferencial logística e integrando se obtendrá un nuevo modelo que será del tipo logístico cuadrado. Las condiciones ambientales tienen, sin duda, una neta y determinante incidencia sobre r . Serán la temperatura (T_m) y la humedad relativa (HR) las más influyentes. El papel de la humedad relativa es difícilmente trasladable a los modelos anteriores -se ha incorporado, por el momento, a modelos climáticos de predicción de los ciclos de infección- pero, en cambio, la temperatura se ha insertado mediante expresiones que relacionan r y T_m cómo $r = r_{\max} - \frac{(T_m - T_{\text{ópt}})^2}{b}$, donde $T_{\text{ópt}}$ es la temperatura con la cual se alcanza el valor máximo de r (r_{\max}).

Esta revisión, breve pero necesaria, evidencia con claridad los problemas y limitaciones que se presentan al modelizar las epidemias ocurridas en la parte aérea de las plantas. ¿Qué ocurre cuando la epidemia se genera y consume en el suelo?. Los modelos se complican mucho más, y su capacidad de respuesta es mucho menor. El suelo se ha considerado un reservorio inerte de los propágulos del patógeno, que aguardaban el momento de la llegada de las raíces del hospedador para activarse y producir la infección y posteriormente la enfermedad. El suelo, a la luz de las últimas investigaciones, no es el reservorio inerte que se suponía era. Es, antes al contrario, sede de interacciones complejas entre su componente físico-químico y las poblaciones microbianas que lo habitan.

Es, por decirlo de manera coloquial, un ente vivo. Por lo tanto, si para las enfermedades de evolución aérea hay que considerar para que se produzca la enfermedad, y por ende la epidemia, tres factores interactuantes (parásito, planta y ambiente), en las enfermedades y epidemias de origen edáfico o telúrico existe un ambiente suelo a añadir. Ambiente suelo, que muchos autores consideran diferente al ambiente aéreo. Y lo es desde aspectos que le son consustanciales. Véase para apoyar estas breves aclaraciones, cómo se formula la gravedad de una enfermedad que tiene su origen en el suelo.



A partir de la expresión de Baker (1971)

gravedad de la enfermedad = potencial infeccioso del inóculo x receptividad del hospedador

Louvet (1973) propuso una expresión más completa pues recoge más explícita y matizada la realidad:

$$GE = [DI \times CI \times EI] \times [SH \times PH]$$

siendo:

- **GE**= Gravedad de la Enfermedad.
- **DI**= Densidad del inóculo.
- **CI**= Capacidades infecciosas propias del inóculo.
- **EI**= Efectos del ambiente sobre el inóculo.
- **SH**= Sensibilidad propia del hospedante.
- **PH**= Predisposición del hospedante ligada al ambiente.

El escollo fundamental en la modelización de las enfermedades de origen telúrico está en el inóculo, es decir en el primer factor de la formulación dada por Louvet. Sólo la relación de la densidad del inóculo con la enfermedad comporta, como mínimo, tres aspectos a delimitar:

- Definir una unidad de inóculo.
- Definir una unidad de enfermedad.
- Establecer la relación cuantitativa entre densidad de inóculo y enfermedad.

La unidad de inóculo se expresa como el número de propágulos (unidades formadoras de colonias) por gramo de suelo. Se desconoce, no obstante, si los propágulos en el suelo se reagrupan en sitios preferentes, pero algunos autores consideran a estos sitios como la verdadera unidad de inóculo. Las técnicas analíticas actuales no permiten medir estas agrupaciones, y en su uso la fiabilidad es más bien escasa. La unidad de enfermedad es, en su propia definición, imperfecta. Se la enuncia como la infección resultante después de la penetración e instalación de una unidad de inóculo en la planta. La transformación de Gregory (1948), llamada de las infecciones múltiples, permite obtener a partir de una proporción dada de plantas enfermas, el número de infecciones ocurridas.

Las predicciones experimentales y sus intentos de teorización han generalizado cuatro tipos de relaciones entre la densidad de inóculo y la enfermedad. A saber:

1 unidad de inóculo	0 unidades de enfermedad
1 unidad de inóculo	1 unidad de enfermedad
1 n unidades de inóculo	más de n unidades de enfermedad
1 n unidades de inóculo	menos de n unidades de enfermedad

Particularísima es la primera relación. Dos posibilidades caben en ella. O bien el hospedador es resistente al parásito, o bien el suelo es resistente (supresivo en la

acepción inglesa). Como suelo resistente hay que entender a aquel que conteniendo al parásito, estando un hospedador sensible y siendo el ambiente aéreo propicio, la enfermedad no se manifiesta. La relación 2 se supone que sucede mientras la densidad de inóculo es débil, en ese caso existe una relación lineal simple entre el logaritmo del número y la tasa de plantas enfermas. Al aumentar la cantidad de inóculo las infecciones múltiples aparecen y aumentan (aquí entraría la relación 3); y, finalmente, cuando el inóculo es muy abundante los propágulos entran en competición y aunque aumente el inóculo la enfermedad no lo hace (relación 4).

Establecer las relaciones cuantitativas entre el inóculo y la enfermedad tendría como fundamento el de un ensayo biológico tipo, que implica un estímulo (una vitamina, un fungicida, etc.) aplicado a un sujeto (planta, microorganismo, etc.). La intensidad del estímulo puede variar según la conveniencia del experimentador (dosis medible). La aplicación del estímulo es seguida por la modificación de una característica medible del sujeto. La amplitud de la variación es función de la dosis. Amplitud, que no sería otra cosa que la respuesta del sujeto. Ahora bien, la relación dosis-respuesta no será exacta, pues estará perturbada por las variaciones al azar entre repeticiones y sin embargo, la relación puede ser usada para conocer el potencial de una dosis a partir del conocimiento que ella produce. La relación inóculo-enfermedad es del tipo dosis-respuesta: el inóculo es el estímulo, la densidad de inóculo es la dosis, la planta el sujeto y la respuesta es la enfermedad. Desafortunadamente para los modelizadores, en una enfermedad de origen telúrico, la relación del inóculo con la enfermedad es menos simple que la existente entre una sustancia y el ser vivo. Y ello por varias razones:

- Ligadas a la naturaleza del inóculo (estímulo).
- Ligadas a la naturaleza de la enfermedad (respuesta).
- Ligadas a la actuación de variables exógenas al complejo inóculo-enfermedad.

El ambiente es particularmente complejo en las enfermedades del suelo. A tal punto, que la aseveración de Van der Plank (1975) sobre que es condición necesaria para que haya enfermedad que esté el inóculo patógeno presente, debe completarse diciendo que la condición no es suficiente cuando el suelo está por medio. Un brevísimo deslinde del ambiente en las enfermedades telúricas pondrá en evidencia la dificultad de la modelización. Se pueden separar, al menos, tres tipos de ambientes:

■ **Ambiente aéreo**, que es igual para las enfermedades de evolución aérea. Tradicionalmente asimilado al clima (temperatura, lluvia, etc.), no deja por ello de estar claramente parcializado.

■ **Ambiente subterráneo**, que comprende a un tiempo el microclima del suelo (temperatura, aireación, humedad, pH, etc.), el medio edáfico (componentes físicos y químicos del suelo: arcilla, arena, humus, relación C/N, etc.) y el medio microbiológico (microflora y microfauna).

■ **Ambiente antrópico**, el hombre con la agricultura modifica y orienta -al menos, de alguna manera- los otros tipos de ambiente.

Uno de los primeros modelos propuestos para medir las relaciones entre el inóculo y la gravedad de la enfermedad fue el de las infecciones múltiples, que en esencia viene



a decir: cuando la densidad del inóculo aumenta, la probabilidad de que una planta muera aumenta, como consecuencia de sus múltiples puntos de infección. La palpable limitación de la medida empieza por la valoración de la enfermedad. De forma matemática, esta relación ha sido expresada transformando la tasa de plantas muertas en el número de infecciones resultantes. Para ello, cuando las infecciones se distribuyen al azar entre plantas homogéneas, la probabilidad para una planta de quedar sana es e^{-m} , siendo m el número medio de infecciones por planta; pero cuando el número de plantas es grande, la probabilidad para que una planta no enferme es $1-y=e^{-m}$. Obviamente, si y es el número de plantas enfermas, $1-y$ será el de sanas. Una transformación logarítmica nos llevaría a conocer el número de infecciones resultantes $m=\ln 1/(1-y)$.

Otro modelo propuesto se debe a Baker (1971). Se parte suponiendo que los propágulos del patógeno están distribuidos al azar en el suelo, y los sitios de infección en la raíz de la planta también lo están. En este supuesto es posible calcular la probabilidad de encuentro de un propágulo con el sitio de infección. Basándose en esta hipótesis se pueden imaginar cuatro situaciones particulares:

- El inóculo está fijo en el suelo y el sustrato a infectar (raíces) también.
- El inóculo está fijo y la raíz es móvil.
- El inóculo es móvil y la raíz está fija.
- El inóculo es móvil y la raíz también.

Situándose en el primer caso, todos los propágulos situados en el volumen de tierra colonizado por las raíces son capaces de producir infección. Dos submodelos son necesarios. El modelo que recoge el efecto rizosfera y el que contiene el efecto rizoplana. En el primero, si v es el volumen de suelo que conforma la rizosfera y d es el número teórico de propágulos por unidad de volumen, vd es el número teórico de propágulos en la rizosfera. La probabilidad para que n gérmenes estén en v es $Q(n)=e^{-vd}(vd^n/n!)$. Si un propágulo es suficiente para determinar una planta muerta (x), o una infección por planta, la probabilidad para que $x \geq 1$ es la misma para que $n \geq 1$, y por lo tanto mediante una transformación log-log, $\log[\ln 1/(1-x)]=\log v + \log d$ (pendiente de la regresión inóculo-enfermedad es 1). En el modelo del efecto rizoplana, si d' es el número de propágulos por unidad de superficie de raíz, d es el número de propágulos por unidad de volumen de suelo y s es la superficie de las raíces, la probabilidad para que n propágulos estén sobre la superficie de las raíces es igual a la probabilidad para que hayan x infecciones sobre la misma superficie: $\text{Prob}(n \geq 1) = \text{Prob}(x \geq 1) = 1 - e^{-sd}$. Como se desconoce la forma de medir d' , pero se sabe d , se convertirá la concentración de propágulos por unidad de superficie en la concentración por unidad de volumen. La ecuación probabilística puede ser expresada en función de la densidad de propágulos por unidad de volumen mediante la expresión $\text{Prob}(x) = 1 - \text{skd}^2/3$. Es preciso insistir que estos modelos probabilísticos son válidos cuando propágulos y sitios de infección siguen una distribución al azar; y cuando el efecto de las condiciones ambientales sobre todas las dosis de inóculo, es constante e idéntico. Una simple enmienda orgánica al suelo, por ejemplo, violaría las normas del modelo.

Se comenzaba este apartado subrayando la estrecha relación entre epidemiología y control. El somero repaso de los fundamentos de la epidemiología bien ha dibujado lo

que se conoce como Principio de Equivalencia. Principio en el cual se basa el manejo de enfermedades. Se ha puesto de manifiesto cómo la progresión de la enfermedad queda definida por alguna de las tasas de infección, por la duración de los periodos de infección (i), de latencia (p), sin excluir la presencia de un inóculo patógeno como condición necesaria para iniciar la epidemia. Es por tanto razonable y comprensible, como cualquier acción que se ejecute sobre la enfermedad tendrá un reflejo en la curva de progresión de aquella. Estas acciones -ejercidas o no por el hombre- y sus relaciones con los parámetros epidemiológicos, pueden enumerarse así:

■ Sobre la disminución o eliminación del inóculo previo actúan:

- Resistencia vertical.
- Uso de material vegetal de plantación y/o siembra sano.
- Eliminación de hospedadores alternativos.
- Tratamientos al suelo.
- Preinmunización.
- Eliminación de vectores (hongos, insectos, etc.).
- Medidas legales: certificación, cuarentenas, vigilancia, etc.

■ Sobre la tasa de infección:

- Resistencia horizontal.
- Modificación de las técnicas culturales.
- Control de vectores.
- Clima.
- Tratamientos químicos.

■ Sobre la latencia:

- Temperatura y humedad. Manejo del ambiente.
- Tratamientos químicos.

■ Sobre el periodo de infección:

- Clima. Manejo del ambiente.
- Tratamientos químicos.

El desarrollo de esta epidemiología que se denominaba, al principio, clásica, no ha dado para conocer bien la variación de los valores de los factores que regulan una epidemia cuando se actúa sobre ellos. Es decir, que cualquier intervención para controlar la enfermedad se verá reflejada en la curva que la representa, y ese reflejo es un cúmulo de lagunas. Es seguro que faltan experimentos en muchos casos, pero no parece que sea cierto para todas las enfermedades. El mildiu de la patata o de la vid y la roya amarilla del trigo bien podrían probarlo.

¿Sería posible otro enfoque para desarrollar la epidemiología y, en consecuencia, el control de enfermedades?. Así lo ha ensayado Robinson desde hace años y de dicho autor se tomarán las ideas que sustentan ésta parte final. La pregunta previa a la anterior podría anunciarse así: **¿Por qué sería necesario otro enfoque?**.



Han pasado más de 125 años, durante los cuales los intentos para controlar a los parásitos de los cultivos no han cesado ni cesado. Hoy existe el convencimiento que la convivencia con las plagas es necesaria y obligada. La aparición de formas resistentes a los fitofármacos que no se detiene; los fracasos –a veces estruendosos– con el uso de los cultivares resistentes, gracias a la habilidad de los patógenos para sortear los genes que se les oponen; las habilidades parasitarias puestas en evidencia con las modificaciones y creación de técnicas culturales, etc., bien abonan la necesaria consideración de otros planteamientos.

Desde esta perspectiva resulta sugerente la propuesta de Robinson (1980, 1987) sobre su concepto que denomina Patosistema Vegetal, y que lo define como un sub-sistema de un ecosistema que está delimitado por el fenómeno del parasitismo, en el cual la especie hospedante es la planta. Es, precisamente, su forma de concebir el parasitismo lo que puede, hoy en día, prestarse a mayor controversia. Para Robinson (1989), parásita es cualquier especie cuyos individuos pasan una parte considerable de su vida sobre un hospedador, nutriéndose de él. Parásito, continua Robinson, puede ser un ácaro, un insecto, un nematodo, una bacteria, un micoplasma, un virus, un viroide. Excluye, no obstante, otros consumidores: mamíferos, aves herbívoras.

Esta definición que tanto parece chocar en la actualidad a fitopatólogos y entomólogos agrarios, tiene antecedentes no tan lejanos y que han sido evocados a lo largo de este trabajo. En este mismo apartado se ha copiado la definición de epidemiología dada por Rodríguez Sardiña, que puede compararse a la dada por Robinson para el Patosistema Vegetal. **¿Qué permite esta comparación tan relativamente lejana en el tiempo?.** Desde mi punto de vista el fenómeno del parasitismo.

Es difícil asimilar que un patógeno es algo diferente de un parásito. De la misma manera que no es fácil comprender que una plaga de insectos provoca un simple daño en los vegetales; las picaduras de los trips que disuelven las paredes celulares para succionar el citoplasma, o la permanencia de las colonias de pulgones viviendo y multiplicándose sobre el mismo hospedador, ponen difícil separar este parasitismo del ocasionado por hongos como los causantes de oidios y mildius. Si es aconsejable la separación de las ciencias por necesidades operativas, no lo es buscarles fundamentos cuya diferenciación puede resultar controvertida, cuando menos. Y la propuesta de Robinson tiene sentido desde el punto de vista epidemiológico, puesto que permite mirar en conjunto a los parásitos de los cultivos y aprender a manejarlos a todos, no por separado.

Es necesario, no obstante, reconocer las zonas oscuras en el concepto de parasitismo. Cuando las poblaciones de dos especies diferentes interactúan en un ecosistema, cada una de ellas puede ser afectada por la otra ya sea benéficamente, perjudicialmente o no ser afectada. Se establecen así desde el comensalismo hasta la protocoperación, pasando por el parasitismo diferentes grados no siempre netamente separados. En un patosistema de plantas la relación que se establece es la interacción entre una especie de planta hospedante –el productor– y una especie parásita –el consumidor– del productor. Sobre los parásitos de la agricultura tres puntos son de necesaria mención. El primero es que la sobreproducción de biomasa es lo que el hombre explota –como consumidor

evolutivo- cuando ha domesticado plantas silvestres para producir cultivares agrícolas. Este proceso ha llevado a que ninguno de nuestros cultivos altamente domesticados puedan sobrevivir sin la protección de la agricultura. El segundo lo conforma el hecho de que en agricultura se ha perdido el estado de equilibrio de los ecosistemas silvestres: los parásitos de los cultivos son capaces de fluctuaciones muy amplias a ambos lados del óptimo. El tercero, y último, es que los parásitos de los cultivos son capaces de explotar a su hospedador más allá de la mera sobreproducción generada por éste. Como sabemos, a pesar nuestro, pueden consumirlo todo.

El estudio del patosistema vegetal tiene, esencialmente, un enfoque ecológico para aprender a manejar los cultivos de otra manera. Desde esta óptica la naturaleza del parasitismo debe de concebirse como una estrategia. Estrategia que representa un quiebro frente a la concepción más clásica de la epidemiología.

Las especies pueden ser clasificadas en estrategias-r y estrategias-k. Aquellas que se reproducen en grandes cantidades, que son biológicamente baratas, que tienen vida corta y se reproducen en un periodo breve, tienen explosiones poblacionales gobernadas por una estrategia-r. En esta situación, un incremento explosivo de la población es seguido por un decremento -casi la extinción- de la misma. Decremento en el cual casi todos los individuos activos perecen. La especie sobrevive en fase de dormancia: semillas, huevos, pupas, esporas, etc. Explotan con gran eficacia el suplemento alimenticio estacional. Las royas de los cereales, el mildiu de la vid son estrategias-r. Lo son, también, las plantas anuales.

Tienen una estrategia-k las especies en equilibrio, compuestas de individuos con una tasa de reproducción pequeña, son biológicamente costosas, tienen una vida prolongada en periodos de tiempo relativamente extensos. Estas especies suelen tener poblaciones de tamaño fijo y están regidas por k, que es la capacidad de carga del ambiente. Las secoyas son típicos estrategias-k.

Ambas estrategias tienen ventajas evolutivas importantes. Las especies con estrategia-r poseen una gran flexibilidad poblacional: pueden sobrevivir a grandes catástrofes aunque sea a expensas de la desaparición de gran número de individuos. Una cepa de la mosca doméstica resistente al DDT, ha sido seleccionada en presencia de ese insecticida, lo cual ha ocurrido a cambio de una gran mortalidad en la población. Las especies que poseen una estrategia-k se componen de individuos con gran flexibilidad, y gracias a su complejidad pueden sobrevivir a los extremos normales del medio ambiente.

Si se intenta proyectar estas ideas la Epidemiología Vegetal, las curvas que determinan la progresión de la epidemia, estarán en función del patógeno y del hospedante. De manera que, un hospedante ausente durante el invierno obligará al parásito a buscar medios alternativos de supervivencia: hospedadores secundarios, saprofitismo facultativo, etc. La tendencia en epidemiología a contraponer endemia y epidemia como ya se explicó anteriormente no se puede mantener en el patosistema vegetal, donde los estrategias-r tienen un crecimiento discontinuo y los estrategias-k lo poseen continuo, ininterrumpido.

Podría asimilarse un patosistema epidémico con un parasitismo de crecimiento discontinuo (estrategia-r), mientras el endémico lo tendría continuo (estrategia-k). De



otra manera dicho: los hospedadores con crecimiento discontinuo, normalmente sufren epidemias. Es el caso de la vid y el mildiu. Los hospedantes con crecimiento continuo, normalmente sufren endemias. Es el caso de los árboles perennifolios o el de las plantas vivaces y sus enfermedades. Los árboles caducifolios representan una excepción notable: cuando las hojas caen y luego vuelven a salir provocan una discontinuidad en el parasitismo (es un estrategia-r), pero tronco, raíces y ramas permanecen disponibles para el patógeno; se podría afirmar que la madera y las raíces sufren endemia y las hojas epidemia.

Una última observación concierne a las denominaciones parásitos monocíclicos, oligocíclicos y policíclicos. Debido a que una epidemia es discontinua es posible referirse al ciclo epidémico. Cada ciclo epidémico, normalmente, corresponde a un único ciclo de reproducción de la especie hospedante anual. Pero el parásito también tiene sus ciclos reproductivos que pueden ser sexuales o asexuales. Si el ciclo reproductivo del parásito coincide con el ciclo epidémico se le considera monocíclico (el carbón desnudo de los cereales es un buen ejemplo). Dependiendo de que en un ciclo epidémico el parásito tenga unos pocos o muchos ciclos se le denomina oligocíclico y policíclico, respectivamente.

Este enunciado de la nueva forma de ver la epidemiología que acaba de ser expuesto, representa un enfoque que choca con el tradicional. Y choca hasta el punto que en los patosistemas epidemiológicos no cabe el término, tan querido por los fitopatólogos, de proporciones epidémicas.

3. (SÍNTESIS Y VALORACIÓN]

En los apartados anteriores se ha analizado el alcance y necesidad de la fitopatología como componente indisoluble de la producción agraria. Se ha justificado su existencia desde un punto de vista histórico y se han enumerado los prolegómenos que la convirtieron en una ciencia, así como su participación en el asentamiento de las bases de la Microbiología moderna y de la Patología, sea esta humana, animal o vegetal.

Se ha recabado la justificación que la ha convertido, en España, en una ciencia casi competencia exclusiva de los ingenieros agrónomos. Al igual que el ejercicio de la medicina compete a los médicos.

Se han examinado sus relaciones con otras ciencias, especialmente las que son más afines. Dentro de la titulación de Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Almería, la enseñanza se apoya en otras materias que los alumnos estudian: Química Agrícola, Motores y Máquinas Agrícolas, Cultivos Extensivos, Fruticultura, Horticultura, Jardinería, Genética, Mejora Vegetal, etc.

El análisis de la epidemiología y control de enfermedades, ha evidenciado que puede considerarse como el cuerpo de doctrina de la Patología Vegetal, y el estudio de las epidemias es la base racional para entablar un control o manejo de las enfermedades de las plantas, que rompe la aplicación empírica de una receta para corregir o curar. Se han matizado las laguna de sus logros y se ha contrapuesto, a la forma tradicional de concebir las epidemias, un enfoque más ecológico, conocido como Patosistema Vegetal.

4. (LAS ENFERMEDADES EN LOS CULTIVOS BAJO PLÁSTICO)

Entender la importancia de las enfermedades en hortalizas necesita -dadas mis propias vivencias- una visión, aunque sea cuasi esquemática, de como ha variado el medio agrícola en el cual se implantan los actuales cultivos de las conocidas, tradicionalmente, como plantas de huerta. Tomar para ello como modelo lo sucedido en Almería en lo que va de siglo, no es solo un deber. Es, también, imitar lo que el resto de las regiones hortícolas del país hacen con el relumbrón del ya bautizado “fenómeno Almería”.

4.1. (Los cultivos de hortalizas. Una necesaria revisión retrospectiva)

Tomaré en este punto el relato de Francisco Palomar Oviedo (Poniente, marzo de 1994, 43-113 pp), que como jefe de la Agencia del Servicio de Extensión Agraria de La Mojonera, da una visión completa y personal, por encerrar su propia experiencia de lustros de servicio a la agricultura almeriense. Además, su relato coincide, minuciosamente, con no pocas de mis observaciones.

¿Qué eran las comarcas del Poniente y del Levante de Almería a principios de este siglo?.

Eran, ambas comarcas, llanuras esteparias azotadas por continuos vientos, a veces huracanados, con raquíticos pastos aprovechados por escasos rebaños de ovejas y cabras. Terrenos inadecuados para los cultivos, castigados periódicamente por plagas de langosta procedentes del Norte de África.

Finalizando la anterior centuria comienza a llegar el agua al hoy término municipal de El Ejido, a la comarca conocida como campo de Dalías -hoy denominada Poniente- extendiéndose los antiguos cultivos de cebada, habas y maíz y apareciendo los primeros parrales y naranjos. Parrales que iniciado el siglo que ahora termina, fueron incrementándose. La variedad **Ohanes**, por su resistencia al transporte se exportaba a diferentes países del mundo, dándosele la denominación genérica de “uva de embarque”.

A partir del alumbramiento de nuevos pozos con la instalación de motores eléctricos los cultivos de guisante y tomate tomaron un auge nuevo, que no pasó de los huertos familiares. La postguerra orientó los cultivos, obteniéndose productos para la alimentación humana (maíz, cebada, habas, boniatos, patatas, fundamentalmente). Allá por el año 1942 en algunos regadíos y secanos frescos se inicia el cultivo del algodón. Algodón del tipo egipcio que duraba varios años en el terreno por presentar una serie de ventajas frente a las variedades de cultivo anual. Sin embargo, una disposición oficial dictada en 1950, termina con el cultivo para evitar la multiplicación de la plaga conocida como “earias”, “gusano de la cápsula” o “gusano rosado”. En la década de los 50 el parral ocupaba unas 1.400 ha con una producción cercana a los 40 millones de kg de uva.

Las hortalizas, se cultivaban desde finales del siglo pasado en la franja costera comprendida entre Balanegra, Balerma y Guardias viejas. Los cultivos se hacían tan cerca de las playas, que los salpicados de las olas llegaban hasta las parcelas. Las tomateras se protegían de los fuertes vientos con cortavientos separados unos dos metros. El riego de plantación -a raíz desnuda- se hacía a mano transportando el agua en caballe-



rías desde el pozo más cercano. Las variedades de tomate cultivadas eran **Cuarenteno** y **Muchamiel**. Las semillas eran recogidas por el agricultor que también hacía sus propios semilleros o almácigas. Mediada la década de los cuarenta se establecen los primeros cultivos enarenados en Balerma y Balanegra. Y aquí comenzó el verdadero desarrollo de la horticultura almeriense. Merece la pena, por tanto, detenerse aunque sólo sea un instante en recordar lo que supone el cultivo enarenado.

El enarenado es una técnica nacida en los pueblos granadinos El Pozuelo y La Rábita hace ya más de 100 años. La atribución del invento recae sobre Manuel Romero Rivas, agricultor rapitense. Esta técnica de cultivo permaneció confinada en su lugar de origen, siendo hacia 1945 cuando aparecen los primeros enarenados en la provincia de Almería. El éxito fue tal que en 1974 existían, según Serrano Cermeño, un total de 11.750 has distribuidas por la zona costera, desde Adra hasta el Campo de Níjar.

¿A qué se debió tal éxito? En 1953, la administración del Estado aprueba el Decreto del Plan General de Transformación en Regadío de 1.700 ha utilizando las aguas alumbradas en Aguadulce. El entonces Instituto Nacional de Colonización (actual IRYDA) comprobó que con las calidades agronómicas de suelos y aguas sólo se podían cultivar -y con bajos rendimientos- especies con resistencia a las sales: cebada, remolacha, algodón. Es curioso que en 1956 el enarenado fuese desconocido en Roquetas de Mar, pese a la extensa superficie puesta en regadío y pese a los palpables efectos de la salinidad sobre los rendimientos.

Es, en este sentido, excelente la descripción que realiza Pérez de los Cobos cuando relata su encuentro con el enarenado:

“Estábamos en presencia del hecho insólito de que una de las plantas más delicadas y sensibles a la salinidad, la judía, se desarrollaba de un modo vigoroso en un terreno salino y posiblemente alcalino, como pudimos comprobar posteriormente mediante análisis. Solamente había una circunstancia que podía explicar este contrasentido, la existencia de una capa de arena puesta de manera artificial encima del terreno natural”.

El descubrimiento fue de tal envergadura que en 1957 la Dirección General de Colonización aprobó un crédito de un millón de pesetas para enarenar una superficie de 20 has. Las 40 parcelas de ensayo, continúa Pérez de los Cobos, fueron “distribuidas por todo el término municipal de Roquetas de Mar, sin olvidar aquellos lugares donde la sal impedía toda clase de cultivos y sobre todo, en el saladar que antiguamente se extendía al norte de la citada población. Los resultados obtenidos fueron tan espectaculares, que tierras improductivas cuyo único aprovechamiento era los pastos, pasaron a ser cultivadas de hortalizas de la manera más intensiva conocida en España. El valor de las tierras, que por aquel entonces tenían un valor de 6 €/ha, pasaron a valer 600 €/ha, es decir, se multiplicó por 100 veces su valor”.

¿Dónde estaba el secreto? Tomaré para desvelarlo los datos expuestos por Palomar Oviedo. La desmineralización producida por el enarenado queda patente en el siguiente cuadro, correspondiente a determinaciones analíticas hechas por el entonces Instituto Nacional de Colonización.

■ TABLA 1.

Código de las muestras de suelo	Cloruros solubles %	Sodio en el extracto en meq/L	Sodio intercambiable %	C.E. dS/m
Sin cultivo	0,240	176,60	53,0	2,0
Cultivo de alfalfa	0,290	221,70	88,7	2,5
Con arena de 1 año	0,045	23,11	10,2	4,6
Con arena de 2 años	0,015	13,60	8,0	2,0

Los datos son bien elocuentes. El secreto era, en principio, la disminución de las sales de una manera impresionante. El enarenado, cuya influencia alcanzó casi de inmediato a las tomateras de Águilas y Mazarrón (Murcia), consiste en esencia en el laboreo y nivelado del terreno inculco. Sobre la superficie se aporta tierra de cañada hasta alcanzar un espesor de 30-40 cm. A continuación se adiciona una generosa capa de estiércol para después cubrir con una capa de arena de 10-12 cm de espesor. Los enarenados permitieron y permiten dos y hasta tres cultivos anuales. Las especies, bien solas o en asociación, son tomate, pepino, melón, calabacín, pimiento, berenjena y judía de enrame o enana para verde.

En el año 1963 se construyó en la parcela piloto nº 24 del sector 1 (entre El Parador y Roquetas de Mar) el primer abrigo plástico que permitía la circulación de personas por su interior. El experimento se hizo bajo la supervisión del Instituto Nacional de Colonización. La construcción se asemejaba a los parrales de Almería: rollizos de eucaliptos y tejidos de alambre. La estructura se cubrió con una lámina de polietileno de 400 galgas. La siembra, en los 5 módulos de 100 m² cada uno, se inició finalizado noviembre. Las especies ensayadas fueron: tomate, pimiento, berenjena, pepino y judía. El suelo estaba enarenado. Los resultados no pudieron ser más esperanzadores:

■ TABLA 1. RENDIMIENTOS Y PRECIOS DEL PRIMER INVERNADERO (PALOMAR OVIEDO, 1994)

Cultivo	Producción en kg de 100 m ² Aire libre	Producción en kg de 100 m ² Invernadero	Incremento de producción %	Precio por kg en euros. Aire libre	Precio por kg en euros. Invernadero
Tomate	167,80	358,22	213,48	0,02	0,05
Pimiento	16,70	77,80	465,86	0,04	0,14
Pepino	94,40	362,50	384,00	0,03	0,07

La feliz iniciativa dejaba atrás numerosas tentativas para proteger los cultivos frente a vientos huracanados y bajas temperaturas: acolchado del suelo con láminas de plástico (negro, gris o transparente) y túneles de polietileno. Por aquellas fechas una experiencia similar fue desarrollada por la empresa Petróleos de Escombreras (REPESA) en el término Municipal de Cartagena.

Pese a los resultados tan espectaculares los invernaderos tomaron un auge apreciable en la década de los años 70. Así, en 1979 habían sido censadas 6.386 ha, in-



cremento que no ha cesado, estimándose que en 1993 -y es una estimación y no un inventario- existían 23.140 ha cubiertas de invernadero.

Se conjugaron para generar tal “milagro”, los beneficios de los invernaderos con los del enarenado del suelo. Las 35.426 ha de cultivos hortícolas en Almería (invernadero y aire libre) estimadas en 1992, produjeron 1.387.000 t, con un valor de 484,74 millones de euros para el sector primario. Las especies más cultivadas y por orden de importancia son en la actualidad: tomate, pimiento, melón y judía, seguidas a mayor distancia por calabacín, pepino, berenjena y col china. Desde aquella experiencia de 1963 mucho ha variado toda la estructura productiva. Desde los agricultores, que empezaron a llegar de otras provincias, hasta los tratamientos fitosanitarios.

Las estructuras de los invernaderos y plásticos para las cubiertas. Podas, marcos de plantación, entutorados e injertos. Fitohormonas y colmenas para la polinización. Riegos. Control ambiental dentro del invernadero. Una idea de estas modificaciones y de su alcance desde el punto de vista de la Patología Vegetal puede adquirirse examinando, aunque sea brevemente, algunos de esos factores de la producción. Veámoslo.

Tradicionalmente el agricultor realizaba su propio **semillero** o **almáciga**. Tomate, pimiento y berenjena se trasplantaban a raíz desnuda al terreno de asiento. Sandía, melón, pepino, calabacín y judía se sembraban directamente. Desde hace menos de veinticinco años aparecieron las primeras empresas especializadas en hacer semilleros. Estos semilleros “cuasi industriales” se establecieron en El Ejido, estando en la actualidad distribuidas por toda la provincia de Almería - y otras limítrofes - hasta alcanzar el número de 70, con una producción anual de 500 millones de plántulas. Aparte de ganar precocidad, este sistema permite un mayor control de la sanidad en la plantación. Sanidad, por otro lado, que está sujeta a una estricta normativa legal dictada tanto por la Unión Europea como por las propias Comunidades Autónomas donde dichas explotaciones están autorizadas.

Los cultivos sin suelo e hidropónicos se introdujeron en Almería allá por el año 1980. Los sustratos a base de lana de roca, perlita, turba, corteza de pino, arena, fibra de coco, etc. se han extendido hasta alcanzar más de 4.000 ha en Almería (95% en lana de roca y perlita) y más de 6.000 ha en Murcia (90% en sacos de arena). Los sistemas NFT (Técnica de Film Nutriente, literalmente) tienen, hoy por hoy, una proyección puntual. Con estas nuevas maneras de cultivar, la Patología Vegetal también se está modificando. Parece ser que una de las ventajas de estos “sistemas sin suelo” es la posibilidad de un mejor control de las enfermedades de origen edáfico. Sin embargo, nuevas patologías han sido apuntadas en otros países y mermas en la producción, sin un síndrome claro y definido, han sido relatadas en Almería.

Las características de las variedades de cada una de las especies han variado de forma apreciable. No sólo en lo concerniente a sus cualidades agronómicas y calidades comerciales, sino también en lo que atañe a la resistencia varietal a parásitos. Paradigmático en este sentido es el tomate, que tomaré como modelo para evitar la tediosa enumeración de las otras especies. Las primeras variedades cultivadas eran las conocidas **Cuarenteno**, **Muchamiel**, **Flor de Baladre** y similares. Les sucedieron, allá por los años 70, los tipos americanos como **Early Packs**, **VS-3** y **H11**, entre otras muchas. El

mercado, de una manera casi vertiginosa, empezó a ofrecer cultivares donde la selección se había hecho para mejorar aspectos como la coloración del fruto, la precocidad, compacidad, resistencia a malformaciones, mayor resistencia al transporte, fundamentalmente. Merecen especial atención, por lo que en aquella época representaron, los híbridos **Monfavet**, especialmente el **63/5**, cuyo único inconveniente era la ausencia de resistencia a enfermedades. El desfile fue nutrido. Recordar a **Lucy, Vemone, Snavira, Pyros, Mina, Fandango, Flamingo** y otros, es traer a la memoria la gravedad de las micosis vasculares del tomate producidas por *Fusarium oxysporum* fsp *lycopersici* y *Verticillium dahliae*. La aparición de la variedad **GC-204** (posteriormente denominada **Carmelo**) quebró la trayectoria. La resistencia de **GC-204** a ambos parásitos del xilema abrió nuevas perspectivas al cultivo e inauguró una “nueva época” en los enclaves donde el tomate era, y es, un monocultivo. Las resistencias a parásitos, estuviesen, o no, produciendo enfermedad, fueron un cebo comercial que solucionó una papeleta patológica difícil de resolver en aquel entonces. Hoy en día, el cultivo del tomate, cuenta con una baraja de variedades con resistencia a virus, parásitos criptogámicos, nematodos y alteraciones fisiológicas, que permiten al agricultor una elección que se ajusta a la demanda de cualquier mercado. Este marchamo de resistencia a patógenos sigue siendo mantenido por las nuevas variedades, denominadas “larga vida”, cuya pionera fue **Daniela**.

Basten los tres ejemplos anteriores para hacerse una idea del dinamismo de la horticultura intensiva de Almería. Y de la horticultura de otras regiones de nuestro país. **¿Qué ha pasado con las enfermedades?. ¿Cómo ha cambiado la protección de los cultivos frente a las enfermedades?.**

4.2. **(Las enfermedades de las plantas de invernadero. Un enfoque histórico y una valoración actual]**

El paralelismo entre la evolución seguida por los sistemas de cultivo y las patologías que los merman ha sido patente a lo largo de los últimos cincuenta años. Como testigo de los pasados cinco lustros puedo corroborarlo. Es sin embargo, desalentador carecer de una cuantificación que permita comparar pérdidas para cada una de las enfermedades. El tema es complejo pero no por ello inabordable.

Cuando se comparan dos de los tratados de Patología Vegetal escritos en nuestro país, y de más obligada consulta, se adquiere una sensación de progreso en el conocimiento, nada desdeñable. Siendo la Patología Vegetal de Urquijo, Rodríguez Sardiña y Santaolalla un tratado bien completo para la época, la editada por la Sociedad Española de Fitopatología, pese a la obligada carencia de criterio, refleja la sabiduría acumulada por un grupo de profesionales de la Fitopatología, y da la dimensión del progreso habido en estos últimos 50 años.

Al recordar, evoco la imagen -entre otras- de las máquinas para tratamientos fitosanitarios utilizadas hace no más de un cuarto de siglo. Desde las “sulfatadoras” de mochila para pulverizaciones y los espolvoreadores de fuelle, se fue pasando al carro de pulverizar con motor, a las cubas accionadas por el tractor y a los nebulizadores e instalaciones fijas para las aplicaciones.



Desde este recuerdo, ¡cuántas novedades aparecidas durante estos últimos años!. Entre las más interesantes podrían destacarse:

- La introducción de genes de resistencia a patógenos y su perfeccionamiento como herramienta para el control de parásitos.
- El progreso habido en la cantidad y calidad de técnicas de diagnóstico.
- La organización del “mundo” de los virus en grupos establecidos en función de afinidades profundas.

Pese a las esperanzas despertadas por los fitosanitarios y pese al papel que han desempeñado –y que resuelven en la actualidad– sus limitaciones se han puesto de manifiesto con el transcurrir del tiempo: resistencias por parte de los parásitos, destrucción de fauna auxiliar, incrementos de costes, riesgos para la salud tanto del aplicador como del consumidor, etc. La dependencia se pone de manifiesto cuando ha de eliminarse alguno de ellos. Es paradigmático el caso del bromuro de metilo. Su sustitución, tema considerado por el Protocolo de Montreal que se ocupa de la protección del medio ambiente, ha acarreado una polémica planetaria. Sustitución que ha evidenciado el abandono en la investigación sobre búsqueda de alternativas. ¿No sería este el momento de consagrar a dichos métodos alternativos al menos tanto tiempo como se dedica a los fitosanitarios?. La complejidad de la investigación contrasta con la “simple” causa-efecto de cualquier pesticida. El aumento de la “sofisticación” del medio hortícola impone mayores complicaciones patológicas. Fuera de la versatilidad vital del necrófago *Botrytis cinerea*, parásitos oscuros, exóticos o totalmente imprevistos aparecen en el panorama hortícola intensivo. Así, *Penicillium oxalicum* compite con *Botrytis cinerea* en enfermar a los cultivos de pepino en invernadero. O, *Plasmopara radialis-lactucae* parasita las raíces de las lechugas en cultivo hidropónico, rompiendo esquemas “ancestrales” sobre habilidad y especificidad parasitarias.

Donde uno tiene una mayor decepción como profesional de la Patología Vegetal es cuando debe dar respuestas a aquellos que desean practicar una “horticultura biológica”. O más, todavía, cuando te demandan consejo para elaborar un reglamento legal sobre Producción Integrada. Imperativo, cada vez más urgente, según la Organización Común de Mercado de frutas y hortalizas (OCM) dentro de la Unión Europea (UE). La “producción de calidad”, eufemismo que arroja la necesidad de eliminar excedentes y una seria preocupación por la salud y el medio ambiente. Pues bien, la decepción de no poder ayudar está fundamentada sobre el hecho de que nuestros conocimientos actuales sobre el manejo integrado de enfermedades de las plantas son fragmentarios. Conocimientos que deberían ahondar sobre aspectos tales como:

■ Las enmiendas orgánicas como una forma de favorecer los antagonismos microbianos eficaces en el suelo y otros sustratos susceptibles de ser usados en horticultura. A este tenor, es bien necesario investigar sobre el uso de restos de cosecha. Es común, entre los técnicos, hablar de 1 millón de t de restos por año en la horticultura de Almería. Pero los alpechines y alperujos, los residuos industriales de corcho, la cascarilla de arroz o el “compost” agotado después del cultivo de champiñón, son unos pocos ejemplos con posibilidades desconocidas.

■ El papel de algunos microorganismos como antagonistas es un campo con enormes lagunas, pese a las recientes publicaciones que informan sobre el papel de *Trichoderma*, de los actinomicetos o de las *Pseudomonas* fluorescentes.

■ ¿Podría pensarse en un efecto sistémico de esta flora antagonista que, conjugaba con resistencias parciales de las plantas, fuesen eficaces frente a enfermedades de las partes aéreas de los vegetales?.

■ ¿Existen, verdaderamente, extractos de plantas marinas o terrestres útiles para el control de enfermedades?. ¿Son estos tan inofensivos para usuarios, consumidores y medio ambiente como se pretende?.

El breve repaso que haré a continuación sobre las enfermedades de las plantas cultivadas bajo plástico, va a comportar un inventario que agrupa a las especies vegetales bajo epígrafes correspondientes al tipo de parásito (hongos, bacterias, virus, micoplasmas, etc.) y al tipo de enfermedad que origina. Como anteriormente se anunciaba, la valoración será meramente cualitativa. Las cuantificaciones son escasas y cuando se encuentran son parciales o de escasa fiabilidad.

5. (ENFERMEDADES DE LAS SOLANÁCEAS)

Se consideran como tales tomate (*Lycopersicon esculentum*), berenjena (*Solanum melongena*) y pimiento (*Capsicum annum*). Se hará mención, fundamentalmente, a los cultivos en invernadero; sin embargo, la referencia a cultivos al aire libre, bien sean para conserva, bien sea para otros transformados industriales (pimentón, por ejemplo), es obligada.

5.1. (Enfermedades de los semilleros)

Bajo esta denominación se recogen las enfermedades que afectan a la semilla antes de germinar, durante la germinación -incluida la fase hipógea de la planta- y después de la emergencia hasta que aparece la primera o segunda hoja verdadera. Todos estos periodos reciben nombre diferentes. En inglés “damping-off”; en español, caída de plántulas o más genéricamente enfermedades de los semilleros o almácigas.

Pero los semilleros necesitan consideraciones específicas que atañen a todo el proceso productivo. Así, las semillas de las solanáceas pueden ser portadoras de diferentes patógenos, algunos de difícil control. Patógenos, por otro lado, que pueden no manifestarse durante el tiempo que permanecen las plantas en las almácigas. En el caso de las solanáceas son señeros los ejemplos que proporcionan algunas bacterias (*Clavivacter michiganensis* spp *michiganensis*, p.e.) y ciertos virus (mosaico del tomate, TMV; moteado suave del pimiento, PMMV; p.e.) portados por las simientes y cuya manifestación sintomatológica ocurre en pleno cultivo.

Obviamente, este problema tiene dimensiones diferentes cuando el semillero es individual, hecho por cada agricultor, o las plantas se producen en grandes explotaciones, denominadas legalmente planteles.



En la actualidad las plantas se producen en semilleros especializados. Hay que exceptuar aquellas zonas del país donde el tomate para industria se siembra directamente en el terreno de asiento (Extremadura p.e.) o aquellas otras donde los semilleros siguen siendo artesanales (pimiento para pimentón en Murcia y pimiento para conserva en Aragón y Navarra, p.e.).

En un plantel para solanáceas, u otras hortalizas, hay que considerar, por lo tanto, una serie de vías de entrada de patógenos establecidos o no en la zona donde aquel esté situado. Son de obligado cumplimiento la instalación de mallas para evitar la entrada de insectos transmisores de virus. Por ejemplo, *Frankliniella occidentalis* (transmisor del virus del bronceado, TSWV), y *Bemisia tabaci* (mosca blanca transmisora del virus de la cuchara, TYLCV). Las turbas y sustratos (vermiculita, perlita, lana de roca, compost orgánico, etc.,) son un componente esencial en el establecimiento de un semillero. Su sanidad no está garantizada y algunos patógenos pueden ser introducidos: *Pythium* spp y *Fusarium oxysporum* fsp *radicis lycopersici* podrían ser paradigmas de la realidad. Con una importancia secundaria se han considerado el agua de riego y los vientos, pero ambas vías son, sin duda, vehículos tanto de patógenos de la parte aérea (*Botrytis cinerea* y varias especies causantes de oidio) como de hongos típicamente telúricos (*Fusarium oxysporum* fsp *lycopersici*).

Es evidente que la clásica consideración de almácigas ha perdido la importancia que tuvo. En ellos, como en las siembras directas, siguen teniendo una clara relevancia *Pythium* (varias especies en nuestras latitudes, especialmente *P. aphanidermatum* y *P. irregulare*) y *Rhizoctonia solani* (grupo AG4, esencialmente). Su control que se recomienda mediante desinfecciones de la cama de siembra, deberá ser apoyado con fungicidas específicos bien aplicados a la semilla antes de sembrar o al pie de las plántulas. Esta pérdida de individualidad de los antiguos almácigos, para dar paso a las instalaciones industriales, ha introducido nuevas técnicas de multiplicación de los vegetales. Tal es el caso reciente del ejemplo que nos proporciona la dispersión masiva en muy poco tiempo de la bacteriosis conocida como Chancro bacteriano del tomate (incitante: *Clavibacter michiganensis* ssp *michiganensis*). La extensión del injerto de tomate sobre tomate para hacer más productivas algunas variedades de interés comercial ha sido la causa de que unas 3.500 explotaciones en las Islas Canarias hayan padecido la enfermedad. Los hechos bien podrían haber seguido la siguiente secuencia: unas pocas semillas portadoras del patógeno serían el origen del inóculo, transmitido a un cuantioso número de plantas mediante la técnica del injerto. Todo ello sin una protección legal clara.

5.2. (Enfermedades causadas por parásitos edáficos en el terreno de asiento)

Los nematodos formadores de nódulos pertenecientes al género *Meloidogyne* (*M. incognita*, *M. javanica*, *M. hapla* y *M. arenaria* son las especies descritas para estos cultivos). Tienen importancia muy relevante en el tomate y escasa en la berenjena. En el caso del pimiento es paradigmático el ejemplo ocurrido en los pimentonales del Campo de Cartagena en Murcia. Durante numerosos años de prospecciones regulares las plantas no presentaron nunca nódulos que indicasen la presencia de estos nematodos. Sin embargo, desde hace muy poco tiempo los daños producidos por *M. incognita*

son muy importantes. Inevitablemente hay que preguntarse la razón de este suceso, máxime cuando los suelos se han desinfectado anualmente con bromuro de metilo. Su control se plantea mediante desinfecciones de suelo, entre las cuales sobresale en la actualidad la biofumigación y la biosolarización, y el uso de genes de resistencia (Mi) sólo posible en tomate. Desinfecciones de las cuales no se puede prescindir, dado que el gen de resistencia quiebra sus efectos a 27 °C si está en heterocigosis y a 32 °C si lo está en homocigosis.

Entre los hongos y bacterias hay que distinguir varios grupos, según su implicación parasitaria. Productor de zonas con aspecto de corteza de árbol en las raíces (“corky-root”) es *Pyrenochaeta lycopersici*, durante mucho tiempo considerado un “micelia estéril”. Hongo de crecimiento lento y típico de suelos fríos. No constituye un problema en nuestras hortalizas, exceptuando los tomates del País Vasco. Se le ha considerado como uno de los causantes de la “fatiga” de los suelos donde el monocultivo lleva instalado numerosos años. Se suele acompañar de una corte de los denominados parásitos secundarios (*Fusarium*, *Rhizoctonia solani* y *Colletotrichum atramentarium*) cuyo verdadero parasitismo está por conocer. Así, *C. atramentarium* (sin. *C. cocodes*) aparece en las raíces de las plantas de tomate que crecen en cultivo sin suelo sin que su papel, al parecer, trascienda a la producción.

Recientemente se ha estudiado en los cultivos sin suelo de tomate la implicación parasitaria de diversas especies de *Phytophthora* (*P. aphanidermatum* y *P. irregulare*, sobre todo), que originan importantes podredumbres radiculares.

Dentro de estas categorías de parasitismo el género *Phytophthora* tiene una plaza bien merecida. Mientras que el tomate sufre los ataques de *Phytophthora nicotinae* var *parasitica* de manera muy esporádica en nuestro país, coincidiendo con temperaturas suaves y suelos pesados, la berenjena y, especialmente el pimiento, son marchitadas por *P. capsici*, *P. cryptogea* y *P.n.* var. *parasitica*. La tristeza del pimiento es una enfermedad que afecta a los pimentonales del país y cuyo control ha sido eficaz gracias a la combinación del manejo del agua de riego y desinfecciones del suelo.

Una habilidad parasitaria poco común de *Fusarium oxysporum* es la representada por *F.o.* fsp *radicis-lycopersici*. Productor de importantes podredumbres del pie de las plantas de tomate, fue detectado en España hace más de diez años, pero su importancia parece muy pequeña a tenor de los informes publicados en otros países. De igual manera que ocurre a *Phoma lycopersici* (*Didymella lycopersici*), activo productor de chancros en el cuello y en otras partes del tallo, cuyo papel en nuestros tomates no se ha extendido en los casi veinte años que han pasado desde su descripción.

Siendo *Sclerotium rolfsii* un activo productor del cuello de las plantas de tomate en condiciones tropicales en nuestro país se presenta esporádicamente en los suelos ácidos de Badajoz. Sin embargo en el pimiento, y más especialmente en la berenjena, es sustituido por *Sclerotinia sclerotiorum*, cuando los días son cortos, frescos y la luminosidad es escasa.

Podredumbres de las raíces del tomate, recientemente descritas, son las ocasionadas por *Spongospora subterranea*, parásito de la patata y el basidiomiceto *Calyptella campanula* descrito en los invernaderos de tomate del Reino Unido. Ambos pueden



ilustrar el hecho de que a las modificaciones culturales les suelen seguir novedades fitopatológicas.

El manejo de todos estos parásitos causantes de podredumbres en las solanáceas es siempre difícil, dada la opacidad del suelo. La información contrastada más extendida se refiere a la desinfección del suelo, que no erradica el problema.

Siendo parásitos del xilema no causan podredumbres radiculares dos especies de hongos y una bacteria. Son los agentes causantes de las marchiteces vasculares. Entre los responsables de las fusariosis están *F. oxysporum* fsp *lycopersici* (con tres razas fisiológicas) y *F. oxysporum* fsp *melongena*. La verticiliosis tiene como incitante a *Verticillium dahliae* (para algunos con dos patotipos). El marchitamiento bacteriano está originado por *Pseudomonas solanacearum* (con 3 razas según su especialidad sobre solanáceas y musáceas). La fusariosis vascular del tomate representó para las plantaciones que dedicaban la producción al consumo en fresco un grave problema. Problema que se resolvía con rotaciones a cuatro años a base de habas y cebada. Posteriormente, las desinfecciones con bromuro de metilo y/o metam-sodio (metilisotiocianato) permitieron una mayor rentabilidad de los campos. Sin embargo, la aparición de las variedades provistas del gen 1, extraído de *Lycopersicon pimpinellifolium*, resolvieron el problema y la desinfección del cultivo fue tal que el mismo suelo soportaba -y sostiene después de más de 20 años- dos cultivos de tomate al año, dejando sólo julio y agosto con el suelo sin cultivar. Para evitar otros parásitos edáficos e incrementar la producción, la resistencia varietal se combina con fumigantes, especialmente, metilisotiocianato. Cinco años después de introducir el gen 1, una nueva raza apareció en el patosistema. Un nuevo gen (12) fue insertado en las variedades y la situación se ha mantenido estable hasta la fecha. Y ello pese a que una nueva raza (patotipo 1-2) apareció en Australia en 1982.

Si la fusariosis se exterioriza durante las épocas más calurosas del año en el litoral mediterráneo de España (abril a octubre), la verticiliosis la complementa marchitando los tomates de noviembre hasta abril. La existencia de un gen (Ve) de resistencia, presente en todo cultivar que se precie, ha resuelto el problema de análoga manera a como lo hizo el gen 1 en el tomate. En algunos países subtropicales (Florida y Brasil) han aparecido cepas de *V. dahliae* capaces de remontar el gen, constituyendo una raza 2. Sin embargo, la polifagia de *Verticillium* le permite enfermar al pimiento -causa la seca o tristeza en el Valle del Ebro y en el pimiento de Padrón en Galicia- y sobre todo la berenjena. Ni en pimiento, ni en berenjena hay resistencias genéticas, por lo que el control se basa en desinfecciones de suelo, rotaciones culturales y nomadeo del cultivo.

Pseudomonas solanacearum, incitante del moko de la platanera, era una bacteria ausente de España y de la Unión Europea. Recientemente se ha declarado en patatales de Holanda, Portugal y España, así como en tomates de Francia. Una estricta legislación intenta su erradicación de los Estados miembros de la Unión. Fue encontrada hace más de diez años en cultivos de tomate de Málaga, pero aquel foco no progresó. Temible por la rapidez de sus marchiteces y las dificultades de control, enferma al pimiento, al tomate y a la berenjena. Pero hay dos preguntas cuyas respuestas son sustanciales para entender su actual distribución en Europa: ¿por qué en EE.UU está presente hasta

Carolina del Norte (38° N, latitud) donde hiela más que en Granada? y ¿por qué estuvo tanto tiempo ausente en Europa?: ¿tan bien funcionaron los controles fronterizos de material vegetal importado?.

No podrían finalizarse los parásitos telúricos del tomate olvidando a la planta parásita, sin clorofila, antiguamente conocida como *Orobanche ramosa* y hoy rebautizada como *Phelipea ramosa*. El jopo, que es como se la conoce comúnmente no representa, hoy por hoy, problema alguno en los cultivos de tomate.

5.3. (Hongos, bacterias y virus que enferman la parte aérea de la planta]

Si hasta aquí han ocupado espacio los parásitos de origen edáfico, excluyendo a los virus, serán bacterias y hongos que enferman a las partes aéreas las que llenen las páginas siguientes. Hay que ser conscientes de la relatividad de estos apartados. Bajo ciertas condiciones, algunos de ellos pueden enfermar partes subterráneas -o mejor dicho enterrada- de la planta. Y es seguro, que la mayoría tienen una fase de su vida en el suelo, aunque sólo sea la meramente conservativa de dormancia.

Clavibacter michiganensis ssp *michiganensis*, *Pseudomonas silybica* pv *tomato* y *Xanthomonas campestris* pv *vesicatoria*, son tres incitantes de otras tantas bacteriosis en el tomate, repartidas por todo el mundo. Introducidas mediante las semillas de cultivares híbridos en España allá por el año 1978, su presencia no deja de tener más que una importancia anecdótica, lo cual no excluye que en ciertos microclimas o en algunos años especialmente lluviosos y húmedos puedan enfermar tallos, hojas y frutos. Solamente se dispone de un gen de resistencia a *Ps. s. pv tomato* que tiene una eficacia reconocida y empieza a disponerse en variedades híbridas. *Pseudomonas corrugata*, que origina la podredumbre negra de la médula del tomate y del pimiento, tiene una presencia anecdótica que está ligada a condiciones culturales especiales: exceso de Nitrógeno y días fríos, cortos y de baja luminosidad.

Presentes en los tomatales están bacterias típicas de podredumbres y poco específicas. Tal es el caso de *Erwinia carovora* y *E. chrysanthemi*. En los años muy húmedos pueden producir podredumbres del pie de la planta, como ocurrió la campaña pasada en Almería, donde se agotó el antibiotico kasugamicina usado para sustituir los tratamientos con mastic a base de productos cúpricos. Obviamente, las propiedades bactericidas del Zn (zineb) han sido olvidadas.

El tizón tardío del tomate causado por *Alternaria dauci* fsp *solani* no representa mayor problema en los cultivos. Berenjena y pimiento no parecen ser susceptibles. Tampoco en los semilleros produce daños, antaño importantes. En los cultivos para industria se presentan problemas durante el trasplante, especialmente si las semillas están infectadas. Esta ausencia de enfermedad puede ser debida a los tratamientos con fungicidas que se practican de manera preventiva. Otras dos especies de *Alternaria* no descritas en España, pueden afectar a los frutos: *A. tomato* y *A. alternata* fsp *lycopersici*. Un pariente próximo, *Stemphylium* (*S. solani*, *S. lycopersici*, *S. versicarium*, etc., dan una idea de la compleja realidad taxonómica) no provoca enfermedad en los tomatales. Quizás haya que buscar la razón en la resistencia conferida por el gen Sm (dominante y estable) presente en muchos cultivares.



Raras son las epidemias de mildiu (agente causal *Phytophthora infestans*) en los tomates de la costa mediterránea de España. Más frecuente parecen ser en los tomates para industria de Extremadura y Castilla-La Mancha. Las concisas condiciones ambientales necesarias para el desarrollo de la epidemia pueden estar en el origen de este hecho. Desde luego, no parecen estarlo los continuos tratamientos químicos que preventivamente se aplican al tomate, a quien el hongo parasita.

El mismo razonamiento podría aplicarse para entender la ausencia o, mejor, presencia anecdótica de *Fulvia fulva* (ex *Cladospodum fulvum*) y *Septoria lycopersici* en tomate. O, la de *Phomosis vexans* en berenjena.

Dos parásitos bien diferentes desde el punto de vista de sus posibilidades parasitarias ocasionan amplias, repetidas y, a veces, devastadoras epidemias en solanáceas horticolas, especialmente en invernadero. *Botrytis cinerea*, necrófago ampliamente repartido y *Liveillula taurica*, parásito obligado que parasita fundamentalmente al tomate y al pimiento y raramente a la berenjena. Un tercer patógeno, causante de oidio, ha sido descrito: *Erysiphe cichoracearum*. Tanto *Botrytis* como *Liveillula* son difíciles de controlar pese a los repetidos tratamientos fitosanitarios, dado que han desarrollado resistencia a todos los fungicidas que se han aplicado, excepto al azufre, activo frente a *L. taurica*. Solamente algunas prácticas culturales en el caso de la podredumbre gris han mostrado cierta eficacia: forma de podar, aireación en los invernaderos, plantaciones menos densas, están entre las técnicas propuestas. La resistencia genética para *L. taurica* ha sido encontrada recientemente en poblaciones de tomate de Bulgaria, y ha sido introducida en cultivares comerciales. Depende de un gen, al parecer de heredabilidad dominante, cuya eficacia y fuerza habrá que comprobar. Para *Botrytis cinerea* no ha habido igual suerte. Quizás el estudio del comportamiento de diversos materiales genéticos de tomate, pimiento y berenjena sea necesario para rastrear resistencias al temible necrófago.

Merecen una especial atención dada la importancia que han adquirido durante los últimos años. Importancia que en algunos casos se ha plasmado en catástrofes de más de 240,4 millones de euros. Me estoy refiriendo a las virosis.

Desde el punto de vista epidemiológico llama la atención como se han sucedido las epidemias de virus en los cultivos de solanáceas. Si en las primeras variedades de tomate el mosaico del tabaco (TMV) era de un azote en las plantaciones, ya que alcanzaba hasta reducciones de cosecha del 25%, en la actualidad no existe preocupación por esta virosis. Los genes Tm, Tm2 y Tm22 han sido los responsables de esta bonanza. Pariente del mosaico del tomate es el virus del moteado suave del pimiento (PMMV). El locus L puede ser portador de alelos mayores de resistencia. La serie alélica L1, L2 y L3 que protege eficazmente a las plantas no parece ser muy duradera, de manera que se han descrito patotipos 1-2-3 del virus. A tal punto esto es así que siendo el PMMV un virus que se trasmite por semillas, el Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero del MAPA, a instancias de las partes, mantiene desde hace cinco años un plan de vigilancia de la sanidad de las semillas comerciales de pimiento.

La sucesión de virosis no ha cesado. El PVY, virus Y de la patata, ya en el recuerdo, fue sustituido por una devastadora epidemia del bronceado del tomate (TSMV). El virus

es transmitido por el trips *Frankliniella occidentalis* y por *Trips tabaci*. Fue a partir de la introducción del primer vector, cuando se desencadenó una fuerte epidemia en las hortalizas del país. Las pérdidas económicas fueron elevadísimas y en algunas Comunidades Autónomas se hizo necesario sustituir cultivos tradicionales por otros alternativos. El control del vector es imperfecto por su capacidad multiplicativa. Las barreras físicas (mallas) en los invernaderos fue una necesidad que ahora está generalizada. Necesidad que alcanzó a todos los cultivos dada la polifagia florícola del vector y la versatilidad patogénica del virus.

Sin haber resuelto el control del bronceado en su totalidad, aparece un nuevo vector, en este caso el aleuródido *Bemisia tabaci*, y con él una temible epidemia -quizás en fase de alcanzar un máximo- como es la que tiene por protagonista al virus del rizado amarillo de las hojas (TYLCV) -conocido popularmente como virus de la cuchara- cuya actuación puede parangonarse con la del Tomato Spotted Wilt Virus (TSMV). Recientemente se ha presentado un nuevo virus que se ha generalizado rápidamente, es el virus del pepino dulce (PepMV) cuya transmisión por contacto es igual o mayor que la del antiguo mosaico del tomate (TMV). Mayor, quizás, puesto que dicho virus es transmitido también por contacto de los abejorros polinizadores (*Bombus terrestris*). Por si esta sucesión, que parece imparable, fuese poco, un síndrome nuevo, bautizado como muerte súbita del tomate, esta desde hace dos años produciendo elevadas pérdidas en los cultivos murcianos. Las especulaciones actuales de la investigación asocian el síndrome a la presencia de *Olpidium* en las raíces y a la presencia del virus del pepino dulce. Por el momento sólo son eso, especulaciones. He aquí otra arista de la Patología Vegetal bien determinante: la complejidad cada vez mayor de la Etiología.

El proceso ha sido general en los cultivos de hortalizas de la costera mediterránea, y puntual en otros lugares, dependiendo posiblemente de las condiciones ambientales. Una singularidad la constituyó la actuación del virus del mosaico del pepino (CMV) -muy generalizado en tomates bajo su versión de cepas comunes (causantes del filiformismo foliar)- acompañado de un satélite (ARN5) que ocasionó una alarma justificada en los tomates valencianos. Todo quedó en eso, una alarma.

Este panorama justifica, sobradamente, la vigilancia sobre la previsible aparición de nuevos virus, Rabdovirus como el Tomato Bushy Stunt (TBS), hasta Potyvirus como Tobbacco Etch Virus (TEV) o el Pepper Venial Mottle Virus (PVMV), representan un fuerte paquete de investigación en etiología. Paquete que se incrementa con los trabajos propios para resolver los problemas actuales: búsqueda e introducción de nuevos genes de resistencia, estudio sobre la fuerza de dichos genes, control de vectores, etc. Pero, desde el punto de vista de la epidemiología, existe una pregunta cuya envergadura debería motivar a los investigadores: **¿por qué se producen estas epidemias tan generalizadas, tan rápidas y tan persistentes?. ¿Por qué ocurren, además, cualquiera que sea el tipo de cultivo?** La modificación del ambiente aéreo puede estar implicada en el fenómeno. Algunos han arriesgado la hipótesis de la predisposición de las plantas por los fotooxidantes atmosféricos (ozono, óxidos de azufre, etc.), tan comunes como la actividad humana en la zona litoral. Los indicios no la desmienten.

Dejando de lado, como una curiosidad, el Stolbur del tomate, las denominadas enfermedades no parasitarias constituyen un capítulo no desdeñable en las solanáceas.



Tal vez como consecuencia de un mayor conocimiento sobre las enfermedades parasitarias. Quizás como respuesta a un mejor control de las enfermedades clásicas. Sin duda, propiciado por los nuevos híbridos, que desplazaron a las antiguas variedades abiertas. Y, palpablemente, influidas por las técnicas culturales nuevas, las enfermedades no parasitarias han adquirido un vuelo insospechado. Merece, por tanto, la pena dedicarles unas líneas.

La asfixia radicular, a la cual el pimiento es una planta especialmente sensible manifestando síntomas análogos a los de enfermedades infecciosas, se generalizó cuando el riego por goteo sustituyó al tradicional por surcos. En la actualidad sólo en riegos a pie, o por aspersión, cuando el terreno está mal nivelado, la fisiopatía tiene una manifestación importante. En relación con el suelo, la dotación de riego y la calidad de las aguas, la salinidad representa un problema de enjundia. Especialmente como indicador de la degradación de ciertos enclaves actuales del cultivo afectado.

La médula blanda y marrón que afecta al tomate y al pimiento, está asociada con un exceso de Nitrógeno. La sintomatología está muy próxima a la originada por la bacteria *Pseudomonas corrugata*.

El enrollamiento fisiológico del tomate, las intumescencias foliares y los sectores del limbo plateados son alteraciones que se presentan en los invernaderos. Todas ellas tienen un poco que ver con la forma de cultivar. Podas muy severas y defoliaciones importantes practicadas a plantas muy vigorosas. Evacuación deficiente del agua por los estomas durante las noches frescas y condensaciones importantes en la atmósfera del cierre plástico. Son, entre otras, las causas que las justifican. Los frutos son alterados por varias circunstancias netamente relacionadas con las técnicas culturales y por la genética de los cultivares. El golpe de sol, el estallamiento, la necrosis interna del fruto, culminan con la más importante de todas estas enfermedades no parasitarias: la podredumbre apical. Bien estudiada, la alimentación por el calcio está en el origen. Alimentación que puede estar representada por una verdadera carencia de calcio, o por una irregular frecuencia de riego, que no permite a las células del fruto disponer del elemento para constituir las laminillas medias que las une.

Este tipo de fisiopatías -excluyendo a las carencias minerales- son, sin duda, la alerta de nuevas enfermedades infecciosas. Responden, desde mi punto de vista, a una adaptación de las plantas a modificaciones del medio de cultivo. Su relación con los patógenos debe ser neta. Hay una predisposición que es poco conocida en la Patología Vegetal.

6. (ENFERMEDADES DE LAS CUCURBITÁCEAS]

El melón (*Cucumis melo*) es ampliamente cultivado en nuestro país. Es un centro de diversificación que aporta notables ventajas. Prueba de ello son las numerosas variedades originarias de España. Se cultivan además con una extensión y producción notables, tres especies que por orden de importancia son *Citrullus lanatus* (sandía o melón de agua), *Cucumis sativus* (pepino y pepinillo) y *Cucurbita pepo* (bajo su forma comercial de calabacín). Numerosas son las enfermedades que merman la producción de estas hortalizas, aunque su importancia está, como en otros muchos casos, por eva-

luar. Enfermedades que se comentarán siguiendo el esquema aplicado a las solanáceas, aprovechando, para evitar repeticiones, no pocas de las reflexiones allí vertidas.

6.1. (Enfermedades de los semilleros)

Reiterar que el sentido de los planteles esbozado para las solanáceas tiene para las cucurbitáceas el mismo valor, permite dar entrada a la especial sensibilidad que pepinos, melones y sandías tienen a ciertos hongos típicos de los almácigos. *Pythium* y *Rhizoctonia solani* poseen capacidades parasitarias que evidencian ciertos aspectos de la Patología Vegetal poco desarrollados.

Pythium aphanidermatum es en los cultivos de pepino un patógeno que marchita a las plantas en el semillero y en el terreno de asiento, cuando aquellas están en plena producción. Si *P. aphanidermatum* cumple ese papel durante las épocas cálidas, *P. irregulare* lo supe durante las frías. Ambas especies pueden ocasionar podredumbres radiculares en pepinos cultivados sobre sustratos. En este caso la manifestación sintomatológica no ocurre, pero las mermas en cosecha pueden ser apreciables, hasta el 15%.

Rhizoctonia solani causa enfermedad y muerte sobre plántulas y plantas en plena producción de pepino y melón. Ambos parásitos son transportados por turbas, por el agua de riego e incluso por las masas de polvo que el aire mueve. Aspectos epidemiológicos aplicables a *Olpidium radicale* y *O. brassicae*. Verdaderos hongos, según las recientes orientaciones taxonómicas, capaces de generar podredumbres radiculares en melón y sandía y transmisores del virus del cribado del melón (MNSV).

En un medio como el de los cultivos en invernadero, donde las semillas son un capítulo importante en los gastos (en ciertas variedades de pepino el precio por semilla alcanza las 0,24 euros), la sanidad de éstas es importante. Las investigaciones sobre la presencia de *Fusarium oxysporum* fsp *melonis* manifestando síntomas en los semilleros, revelaron que las semillas han vehiculado durante años al patógeno y a sus cuatro patotipos, participando de esa manera a difundir una micosis cuya presencia en los melonares del país era meramente anecdótica.

Al igual que se comentó en el caso de las solanáceas, el injerto es una práctica habitual en estos semilleros, especialmente en la sandía. Podría decirse que dicha práctica se aplica a la totalidad de las plantas de sandía que se cultivan en el litoral. En el caso del melón el injerto es prácticamente anecdótico, quizás por las incompatibilidades tardías que se presentan. Entre los aspectos a estudiar en los planteles, que duda cabe que los muestreos para hacer una correcta inspección fitopatológica ocupan una plaza importante. Hoy carecemos de la metodología adecuada para tomar una muestra representativa, no ya de un parásito en concreto, sino del conjunto de todos ellos. El tema es difícil pero no inabordable.

6.2. (Enfermedades causadas por parásitos edáficos en el terreno de asiento)

El comportamiento de las especies de *Pythium* y de *R. solani* frente a las cucurbitáceas pone en evidencia la dificultad de ordenarlos en apartados con una cierta coherencia.



Los nematodos del género *Meloidogyne* son una causa de notables pérdidas de vigor en los cultivos y por ende de producción. Al contrario que en las solanáceas, en las cucurbitáceas no existen genes de resistencia disponibles en las variedades comerciales. Los actuales conocimientos sobre el comportamiento de estos parásitos en el suelo, han evidenciado la razón de muchos de los escapes a las fumigaciones. También han puesto de manifiesto como el manejo del suelo es fundamental para mantenerlos en umbrales poco perjudiciales.

En los suelos fríos *Phomosis sclerotioides* representa un grave problema para el pepino y menos para el melón. Afortunadamente no se ha descrito en España. El control es complejo e implica la clásica desinfección del suelo o el recurso del injerto sobre *Cucurbita ficifolia*, o el del cultivo sin suelo. El causante de las raíces leñosas, *Pyrenochaeta lycopersici*, puede parasitar al melón en esos reiterados suelos frescos. Sin embargo, no es común encontrar *Thielaviopsis basicola* parasitando las raíces del melón, hecho que aunque infrecuente se ha presentado en nuestros melonares tanto en cultivo sin suelo como en el terreno definitivo. El parásito puede ser transportado por turbas y compost, indicando los graves daños observados en cultivo hidropónico una alerta sobre la modificación del medio y la capacidad de los patógenos para variar su comportamiento.

Las fusariosis vasculares de las cucurbitáceas son micosis importantes en numerosas partes del mundo. Es consolador comprobar como la fusariosis vascular del pepino (incitante, *Fusarium oxysporum* fsp *cucumerinum*) no ha sido descrita en España. Consuela, igualmente, la poca y localizada incidencia de la fusariosis vascular del melón (incitante *Fusarium oxysporum* fsp *melonis*). Del patógeno se han descrito cuatro patotipos, todos ellos presentes en nuestros melonares. Ciertamente es difícil dar una explicación a este hecho. Es posible que en los melonares al aire libre la influencia de las elevadas temperaturas cumplan un papel limitante. Piénsese que el melón al aire libre se cultiva en las Comunidades Autónomas de Castilla-La Mancha, Murcia, Valencia y Andalucía, fundamentalmente, durante periodos muy calurosos. También tiene una neta influencia la forma de cultivar. El nomadeo hace que el mismo campo no vuelva a ser sembrado en 4 ó 5 años como mínimo. A este grato suceso debe contribuir un hecho recientemente dado a conocer: la resistencia a *F.o.* fsp *melonis* existente en los "cultivares" que manejan los agricultores. Sabido es que los horticultores del melón recogen sus propias semillas. Pues bien, en esas simientes se han encontrado genes de resistencia a los patotipos 0,1 y 2 en una proporción superior al 25% del germoplasma ensayado. Pero además, este tipo de resistencia vertical (sensu Van der Plank) está acompañada de una notable resistencia horizontal. Con ser mucho lo apuntado, no explica toda la realidad. ¿Por qué en los invernaderos de Almería o Murcia no se presenta la enfermedad con el dramatismo descrito para otras regiones mediterráneas vecinas?. En estos enclaves se repite melón en el mismo suelo durante épocas del año en las cuales las temperaturas no le son limitantes al patógeno. Quizás la cuestión encierre dentro de sí un camino para la investigación nada desdeñable: **¿qué es una planta sana?**

La fusariosis vascular de la sandía si representa un problema grave para esta hortaliza, verdadero refresco para los tórridos veranos mediterráneos de la península. El incitante, *Fusarium oxysporum* fsp *niveum*, está bien establecido en los enclaves actuales del cultivo, cuyo valor estriba en la precocidad y en la tradición. Su control pasaba

por las fumigaciones con bromuro de metilo si la repetición se planteaba sobre el mismo suelo. Las investigaciones de largos años han puesto de manifiesto que el injerto sobre diferentes calabazas (*Lagenaria siceraria*, *Benincasa cerifera*, *Cucurbita* sp. etc.) resuelven el problema y hacen la técnica competitiva en precio con las fumigaciones. A tal punto ha llegado el éxito que podría decirse, sin gran riesgo de equivocarse, que el 95% de las sandías de Almería se injertan. Sin embargo, el injerto está poniendo en camino temas de interés para la investigación. Aparte de los problemas previsibles del mercado (calidad y cantidad), se está practicando la plantación con los pies de la combinación. Es decir, no se cortan las raíces de la sandía y a pesar de ello no se manifiesta la micosis. Si esto es así, ¿cual es la razón?. La solución hallada no debe ocluir el inicio de otras líneas de investigación. Sería, por ejemplo, de sumo interés buscar resistencias en germoplasma autóctono y en algunas especies de *Citrullus* silvestres, sumamente resistentes a la sequía, como las tueras.

Recientemente una nueva fusariosis de ha manifestado en cultivos sin suelo. Se trata de una enfermedad que pudre el cuello y las raíces de los pepinos en pleno cultivo, aunque también presenta una neta invasión del xilema. Las pérdidas no son despreciables, a tenor de las primeras evaluaciones: más de un 14% de plantas enfermaron en una explotación almeriense. La micosis no es exclusiva de Almería puesto que también se ha detectado en cultivos bajo invernadero, en perlita, en Sevilla. En principio se ha asignado al agente causal como *Fusarium oxisporum* fsp *radicis-cucumerinum*. Siguiendo la primera descripción hecha de esta patógeno en Creta. Sin embargo estudios más profundos están demostrando la capacidad del patógeno para invadir sólo el sistema vascular del melón, sin asomo de podredumbre del cuello y de las raíces. Este hecho pone de manifiesto varias dudas sobre la descripción realizada en un principio: a- la especificidad parasitaria del hongo que no se ciñe solamente al pepino y b- la habilidad para parasitar, puesto que según las condiciones ambientales puede manifestarse como un neto parásito vascular, como un productor de podredumbre de raíces, o con ambas habilidades parasitarias a la vez.

Desde el punto de vista epidemiológico plantea una cuestión frecuente en la Patología Vegetal: **¿dónde se origina el inóculo primario?**. Puede que el trasiego de material vegetal que existe en las zonas hortícolas intensivas encierre una respuesta positiva.

La verticiliosis (incitante *Verticillium dahliae*) no representa más que una curiosidad en melón y no se ha descrito en los pepinos de invernadero, pese a los daños originados en los cultivos del Norte de Europa. En las sandías aparece con mayor frecuencia, especialmente en los suelos que han soportado cultivo de tomate con la micosis. Las pérdidas son tanto más elevadas conforme se incrementa la precocidad de la plantación.

Otras podredumbres del cuello y las raíces causadas por *Phytophthora* (*P. megasperma*, *P. cryptogea*, *P. dreschleri*, *P. capsici*), *Sclerotium rolfsii* y *Fusarium solani* fsp *cucurbitae* no representa tan siquiera curiosidades fitopatológicas. De igual manera que tampoco la bacteria *Agrobacterium rhizogenes*, incitante de la rizomanía del pepino en Inglaterra, ha tenido manifestación registrada en el país. Si tiene en los cultivos de melón, y quizás en los de sandía, una trascendencia importante, aunque nunca evaluada en su totalidad, el síndrome conocido como colapso y/o muerte súbita del melón. ¿Qué es el colapso?. La respuesta es compleja, pero necesaria su exposición, aunque sea breve.



La muerte en breve plazo de tiempo de las plantas de melón cuando está próxima la cosecha es quizás el aspecto más llamativo del colapso. Las plantas de aspecto sano se marchitan bruscamente y mueren. Ningún signo ni en los vasos ni en las raíces o el cuello permiten un indicio que oriente la etiología. Etiología que ha estado atribuida a *Rhizoctonia solani*, a *Macrophomina phaseolina*, a *Monascus entypoides*, a *Acremonium* sp y a *Olpidium radicale* asociado con el virus del cribado del melón (MNSV). Esto ha ocurrido al mismo tiempo en el mundo y en España. Es decir, dentro de los melonares españoles todos y cada uno de los supuestos incitantes han sido de manera individualizada los responsables. Veamos más detalladamente la situación. En los cultivos almerienses la acción conjugada del virus y de su vector provoca la muerte súbita de las plantas, mostrando por toda sintomatología previa una necrosis epidérmica del hipocotilo que puede prolongarse como una estría a parte de la raíz principal. Esta muerte ha sido reproducida experimentalmente tanto en los cultivos de otoño como en los de primavera, conformando así los obligados postulados de Koch. Lo chocante de esta situación es que cuando el virus se inocula mecánicamente, y no está presente el vector, se reproducen los síntomas descritos para la virosis, pero las plantas no sufren colapso. La hipótesis de que *Monascus entypoides* era el incitante del colapso fue emitida en Valencia, pero la consistencia experimental del trabajo era tan endeble como la credibilidad a conferirle. No obstante, investigadores americanos han atribuido a dicho ascomiceto la causa del colapso por ellos observado. Hay que leer detenidamente los experimentos publicados para comprender sus limitaciones. Limitaciones que alcanzan por igual a los trabajos israelitas. Durante años el colapso ha sido atribuido a la acción de *Acremonium* sp, pero las pruebas que esclarezcan su responsabilidad no han sido presentadas. Pese a ello, la hipótesis especulativa ha sido: el hongo actúa pudriendo las raicillas absorbentes desde el momento en que se produce la germinación. La planta crece y debido a la merma ocurrida en sus raíces y a la fuerte transpiración de la parte aérea, aquella se marchita y muere. Lo cierto es que ninguna solución de las propuestas ha paliado las consecuencias del colapso. Hay una excepción que concierne a la muerte súbita en Almería -conste que el uso de esta denominación ha sido establecida tácitamente por los autores- donde una rotación con solanáceas hace soportable económicamente la enfermedad.

6.3. (Micosis y bacteriosis de la parte aérea de las plantas]

Didymella bryoniae es la última denominación del teleomorfo del hasta hace poco tiempo *Mycosphaerella citrullina*. Patógeno que afecta, fundamentalmente, a los tallos del pepino y del melón. Parásito típico de climas tropicales y subtropicales húmedos, se ha instalado en los invernaderos almerienses ocasionando daños que necesitarían intervenciones continuas a base de fungicidas, si los utilizados para controlar *Botrytis cinerea* no fuesen igualmente activos. Lo cierto es que ninguna investigación se ha hecho sobre la enfermedad y su importancia bien la merece.

Las cucurbitáceas de invernadero sufren mermas a causa de tres enfermedades que requieren tratamientos de manera continua. Se trata del mildiu (incitante *Pseudoperonospora cubensis*), el oidio (incitante *Erysiphe cichoracearum* y *Sphaerotheca fuliginea*; excepcionalmente *Liveillula taurica*) y la podredumbre gris (agente causal *Botrytis cinerea*).

Allá por el año 1978 se produjo una epidemia generalizada de *Pseudoperonospora cubensis* que alcanzó a los melonares del Levante, de Murcia y de la Mancha. Los pepinos cultivados bajo invernadero en Almería también fueron enfermos. Las indagaciones llevadas a cabo entonces, no permitieron encontrar noticias sobre la presencia del hongo en España con anterioridad a dicha fecha. Lo cierto es que no se ha vuelto a repetir una epidemia como aquella en los cultivos hechos al aire libre, pero en los pepinos de Almería todos los años, con más o menos intensidad, el mildiu es motivo de pérdidas en las cosechas. Y, desde luego, los tratamientos preventivos están a la orden del día. Es curioso, además, que las plantas de melón y de sandía no sufran la micosis pese a compartir el espacio con los pepinos enfermos. Cuando la epidemia es intensa y duradera la eficacia de los fitosanitarios utilizados es insuficiente. Insuficiencia en parte debida -y esto es meramente especulativo- a la resistencia a los fitofármacos usados. Es este un aspecto que merecería una investigación. Investigación que debería alcanzar a ciertos aspectos de la biología del hongo como su conservación de un cultivo a otro y al valor de los genes de resistencia que empiezan a introducirse en variedades de melón y de pepino.

El oidio o ceniza de las cucurbitáceas es una micosis foliar muy extendida en todos los cultivos, cualquiera que sea su ubicación. Las informaciones de las cuales se dispone indican que es *Sphaerotheca fuliginea* (dos razas) la única presente allá donde se ha muestreado. La micosis es antigua a tenor del hábito que existe entre los agricultores de practicar azufrados. Y es, precisamente el azufre, un valor seguro ya que no se han descrito cepas resistentes en ningún lugar del mundo. Su uso sigue siendo habitual por su poder acaricida y a pesar de la fitotoxicidad que causa con temperaturas por encima de 35 °C. El riesgo de generar cepas resistentes a toda gama de fitosanitarios es un aspecto sin investigar en los pepinos, melones y sandías de invernadero. Actualmente se financia un proyecto de investigación sobre este punto. Investigación que alcanza a la evaluación de los genes de resistencia en melón (Pm1 y Pm2) introducidos en cultivares comerciales. Resistencia que también existe en pepino (gen R).

Botrytis cinerea, necrófago que causa la podredumbre gris, es precisamente grave en cultivos de pepino de invernadero. La situación es análoga a la descrita para las solanáceas. Su control difícil y costoso, además de imperfecto. La necesidad de investigación urgente. El resto de micosis inventariadas para las cucurbitáceas carecen de importancia en la actualidad. Algunas no han sido encontradas en España. En esta situación están *Choanephora cucurbitacearum* que pudre los frutos del calabacín, *Diplodia natalensis* activo en la conservación de frutos, *Colletotrichum lagenarium*, *Cladosporium cucumerinum*, *Alternaria cucumerina*, *Cercospora citrullina*, *Corynespora cassicola* y algún otro más.

Merece la pena, antes de iniciar el inventario de bacteriosis, comentar un hecho relativamente reciente. Desde los invernaderos de pepino de Canadá, Inglaterra, Holanda y Francia se ha descrito una podredumbre gris-verde-azulada (bluish-greenish-grey) de los tallos, causada por *Penicillium oxalicum*. ¿Qué razón puede explicar este nuevo avatar fitopatológico?. No es mal planteamiento para investigar la relación: nuevas técnicas culturales, nuevas habilidades parasitarias.

Descrita en Almería hace años, *Pseudomonas syringae* pv *lachrymans*, no parece tener una relevancia mayor en los cultivos. La mancha angular puede manifestarse



en melón, pepino y calabaza. Las condiciones mediterráneas, poco propicias para la exteriorización de esta enfermedad y para el resto de las bacteriosis, podría explicar la discreta actuación que tiene. *Erwinia tracheiphila* parasita el sistema vascular del melón y del pepino, fundamentalmente. Transmitida por los coleópteros *Acalymma vittata* y *Diabrotica undecimpunctata*, no produce enfermedad en nuestro país. Finalmente, *Xanthomonas campestris* pv *cucurbitae*, enferma a la calabaza y no ha sido descrita como causante de daños en nuestro país. La vigilancia sobre una bacteriosis que afecta a las plántulas y frutos de sandía de manera importante es necesaria. Se trata de *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli* descrita en Florida (EE.UU.).

6.4. (Virosis]

Aunque sobre las cucurbitáceas se han descrito menos virus que en el tomate, no por ello carecen de importancia. Su distribución e incidencia ha variado en los últimos 20 años. Predominaba, entonces el mosaico del pepino (CMV) en la rivera Norte del Mediterráneo, el mosaico de la sandía, cepa 2 (WMV2) en la orilla Sur y el mosaico de la sandía cepa 1 (WMV1) en condiciones tropicales y subtropicales. Hoy en los cultivos de cucurbitáceas de nuestro país se han descrito como importantes el mosaico amarillo del calabacín (ZYMV), el mosaico de la sandía (WMV-2), mosaico de la calabaza (SQMV), el cribado del melón (MNSV) y por supuesto, el mosaico común del pepino (CMV). A esta lista no pequeña hay que añadir los virus transmitidos por moscas blancas. Estos amarilleamientos viróticos no tienen, todavía, una etiología definida. Entre los virus encontrados, los más importantes pertenecen a los Geminivirus, aunque a otros se les ha encuadrado dentro de los Closterovirus. Pese a todo hay todavía partículas virales de difícil clasificación.

La transmisión de los virus se hace por diferentes vías. Algunos de ellos utilizan varias formas de propagación. Así, el ZYMV se transmite por semillas y por pulgones del modo no persistente (*Aphis gossypii* y *Myzus persicae*). Por áfidos se difunde el mosaico de la sandía (WMV-2) y por *Trialeurodes vaporariorum* el amarilleamiento de las cucurbitáceas. Por *Olpidium radicale* se transmite el MNSV y por semillas el mosaico de la calabaza (SQMV), además de los coleópteros y ortópteros. Estas vías de propagación necesitan un conocimiento exhaustivo para entablar un correcto procedimiento de control. La diferenciación continua de partículas virales es ahora mucho mejor conocida gracias a la fineza alcanzada por las técnicas de diagnóstico. La especialización parasitaria será un tema a investigar dada su relación con la genética de la planta. Así, la resistencia genética debería ser uno de los caminos más explorados en el control de virus. Tres caminos han sido apuntados. Por un lado, la búsqueda de resistencias al vector; así para el CMV y otros Potyvirus la resistencia a *Aphis gossypii* parece ligada a un gen Vat presente en germoplasma de melones de Oriente y de España. La segunda vía es la búsqueda de resistencias específicas, que es un camino poco explorado en nuestro país, aunque en otros parece haberse hallado genes de interés. En España se comercializan variedades de melón del tipo Galia, que son portadoras de una resistencia completa al virus del cribado (MNSV). El tercer camino es buscar a partir de cruzamientos complejos, por selección recurrente, una tolerancia general a los virus más importantes de una zona.

Desde que redacté las anteriores notas para este capítulo solo han transcurrido 3 años. Pese a ello nuevas virosis han sido identificadas en los cultivos de cucurbitáceas almerienses. Algunos tan graves que han motivado normativas legales para evitar las enormes mermas de producción. El caso más señero es el virus del amarilleamiento de las venas del pepino (CVYV), transmitido por *Bemisia tabaci*. Vease al respecto el Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA, núm. 3, 8.1.2002). En esta normativa el legislador se entretiene en detallar una serie de medidas de control que la norma establece como obligatorias. No es poca cosa que se establezca una norma legal para un grupo de virosis concretas, indicativo, sin duda de la gravedad de estos problemas fitopatológicos.

6.5. (Enfermedades no parasitarias]

Al igual que en el caso del tomate, las enfermedades no parasitarias son cada vez más frecuentes y parecen responder a las innovaciones tecnológicas introducidas en los cultivos. Los daños de frío, encharcamientos temporales, sequedad del sustrato y salinidad pueden ocasionar faltas de nascencia o muerte de plántulas. Los abonados desequilibrados, las insuficiencias de magnesio o de manganeso, pueden provocar en las plantas de pepino amarilleamientos, necrosis internerviales o desecamiento marginal de las hojas. La carencia de molibdeno, posible en las tierras rojas mediterráneas del terciario, puede detener el crecimiento en las plántulas de melón. Una clorosis marginal de las hojas del melón puede ser la respuesta a un tratamiento con productos cúpricos usados para combatir el mildiu. El golpe de sol que afecta a los frutos de melón después de una fuerte defoliación; la vitescencia interna de los frutos de melón, favorecida por un exceso de frutos en las plantas, por temperaturas bajas y deficiente alimentación de calcio en relación al potasio; las protuberancias cristalinas de la epidermis de los frutos -análogas en consistencia a las intumescencias de las hojas del tomate- debidas a un exceso de humedad ambiental; y, la hipertrofia de la raíz de las plantas de melón por exceso de agua. Son, en fin, un inventario nutrido de fisiopatías que responden a modificaciones ambientales.

7. (ENFERMEDADES DE LA JUDÍA]

La judía es una planta cultivada en el mundo entero. Se consume tanto en fresco (vainas) como en seco (legumbre). En este apartado se considerará solamente la especie *Phaseolus vulgaris*, ya que *Ph. coccineus*, *Ph. lunatus* o *Ph. acutifolius* no se cultivan en el país o están presentes en cantidades simbólicas. Aunque la judía para verde se cultiva en invernadero, se hará referencia a los cultivos al aire libre existentes en casi todas las comunidades autónomas. La distribución mundial de la judía es, posiblemente, la causa de la enorme variabilidad existente en los tipos varietales. Enanas, de crecimiento trepador, de frutos planos o redondos, etc. Todos estos tipos serán considerados aquí.

7.1. (Enfermedades producidas por hongos del suelo]

Contrariamente a otras especies hortícolas la judía se siembra directamente en el



terreno de asiento. Durante el periodo de nascencia y emergencia varios parásitos pueden enfermarla. Así, varias especies de *Pythium* (*P. aphanidermatum*, *P. ultimum*, y otras), *Rhizoctonia solani* (cepas AG4, especialmente), *Thielaviopsis basicola*, *Fusarium solani* y *Fusarium oxysporum*. Y, por supuesto, la mosca de la semilla (*Phorbia platura*). La concurrencia de varios de estos parásitos a la vez, o la actuación predominante de uno de ellos, está en función de la temperatura ambiente. Si las siembras se hacen durante un tiempo fresco (10-12 °C) o en un suelo húmedo con temperaturas bajas, la nascencia se retrasa y el parasitismo se acrecienta. En la etiología y la responsabilidad de los parásitos antes nombrados, se está investigando en profundidad en el CIFA (Centro de Investigación y Formación Agraria) por parte del equipo de Don Julio Gómez Vázquez. Considero de tal interés dichos trabajos que merece la pena hacer una mención a ellos. Han puesto de manifiesto que diversas especies de *Pythium* son capaces de matar totalmente a plantas en plena producción cuando se hace el cultivo en perlita. Todavía más, las especies de *Pythium* se manifiestan como patógenas en relación estrecha con las temperaturas ambientales. De manera que *P. aphanidermatum* exterioriza su patogeneicidad con altas temperaturas, mientras que durante el invierno no lo hace. Toman el relevo especies del tipo *P. ultimum* y *P. irregulare*.

El parasitismo de todos los microorganismos antes citados puede continuar durante el crecimiento de las plantas. Algunos de ellos han podido ser aportados por las semillas, caso de *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani* y *Colletotrichum lindemuthianum* que pese a manifestar sus síntomas en plantas en plena producción, puede enfermar a las plántulas con los signos propios de la antracnosis. A la corte ya mencionada se les puede unir, a lo largo del desarrollo, parásitos como *Aphanomyces euteiches* fsp *phaseoli* y *Macrophomina phaseoli*.

Es por tanto un conjunto de hongos diversos quien puede parasitar las raíces de las judías desde el inicio de su germinación. Los más extendidos cuando el cultivo está en producción son *Fusarium solani* fsp *phaseoli* y *Thielaviopsis basicola*, el primero se muestra mucho más peligroso en suelos compactados. En los Estados Unidos de América se ha consagrado un esfuerzo a la selección de variedades del tipo RRR (root rot resistant), que presumiblemente tienen resistencia a *Fusarium* y a *Thielaviopsis*.

Entre los parásitos vasculares de la judía se ha descrito un *Fusarium oxysporum* fsp *phaseoli* en EE.UU. e Italia. También fue encontrado en Valencia hace años y recientemente en Barco de Ávila. Su acción en los invernaderos está por determinar. *Curtobacterium flaccumfaciens* es una temible bacteria allá donde se ha presentado. Ni en España, ni en la Unión Europea ha sido citada, supuestamente por la eficacia de las medidas de cuarentena. Los nematodos del género *Meloidogyne* parasitan las raíces de las judías en condiciones tropicales. En nuestros cultivos no parecen tener más que una actuación discreta, aunque su evaluación no ha sido realizada.

7.2. (Micosis y bacteriosis de la parte aérea)

Tradicionalmente una micosis y dos bacteriosis han acaparado la máxima atención. Se trata de la antracnosis, ocasionada por *Colletotrichum lindemuthianum* y de grasas originadas por *Xanthomonas campestris* pv *phaseoli*. Éstas últimas detectadas

en España allá por los años treinta del siglo que finaliza. A las tres enfermedades les une el hecho de que pueden ser transmitidas por las semillas.

La antracnosis es una micosis propia de zonas lluviosas y con temperaturas suaves. Quizás por esta razón es rara en la mayoría de los cultivos de España y especialmente en los del litoral Mediterráneo, incluyendo a los de invernadero. Se presenta con frecuencia en los cultivos de judía para fabada de Asturias. La simple selección visual de las semillas -que son blancas- es suficiente para eliminar la mayoría de las contaminadas. Sin embargo, su importancia en el mundo debe ser tal, que ha motivado programas especiales para obtener semillas sanas, que se aprovechan para las grasas. O viceversa. En esencia consiste en buscar ambientes áridos, evitar los riegos por aspersión y establecer un programa de tratamientos fitosanitarios adecuados (generalmente a base de productos cúpricos). Después, los controles determinarán los niveles de infección permitidos. La resistencia varietal también ha sido -y sigue siéndolo- un aspecto muy estudiado. El gen Are en Europa ha proporcionado resultados duraderos en combinación con el cuidado de las firmas de semillas de no introducir razas ausentes. El Centro Internacional de Agronomía Tropical (CIAT) de Colombia, está realizando un programa de razas y fuentes de resistencia en América latina.

Tampoco las grasas son bacteriosis de importancia en nuestros cultivos. Donde más estudiado ha sido el tema es en las Comunidades Autónomas de Castilla-León y Asturias. Allí, donde el ambiente parece favorable tampoco representa un problema grave. En el mundo entero ambas bacterias reciben tanta atención como la antracnosis. La resistencia varietal en *Pseudomonas syringae* pv *phaseolicola* que en un principio fue encontrada en la variedad "Red Mexican" como dominante, sucumbió ante la aparición de una nueva raza. Al parecer depende de seis loci, dos que actúan sobre la multiplicación de la bacteria y cuatro que actúan sobre la toxina. En el caso de *Xanthomonas campestris* pv *phaseoli* el conocimiento está menos elaborado. El CIAT ha propuesto líneas "XAN" cuya resistencia se ha obtenido de *Phaseolus acutifolius*.

No son los anteriores patógenos los únicos especificados sobre la parte aérea de la judía. Otros la enferman, aunque la distribución de algunos en Europa parece no haber ocurrido. Así, *Phaeoisariopsis griseola* (*Isariopsis griseola*), *Cercospora castellani*, *Cercospora cruenta* entre las cercosporosis; *Uromyces appendiculatus*, y *Phakospora vignae*, agentes causales de la roya; *Erysiphe polygoni* que no parece estar en Europa, pero que es sustituido en los cultivos bajo plástico por *Erysiphe cichoracearum*; *Entyloma petuniae*, carbón de las hojas. Y, una serie más de *Ascochyta*, *Phoma* y *Phyllosticta*, completarían este escueto inventario sobre la sanidad de la judía.

No son ajenos a los judiars, especialmente en invernadero, *Sclerotinia sclerotium* y *Botrytis cinerea*. No habiendo sido descrito *Choanephora cucurbitacearum* que en clima tropical húmedo actúa como *Botrytis*. La base nutritiva que permite a estos potentes saprófitos parasitar los tejidos sanos de las vainas, limbos y tallos, son los periantios florales marchitos. No es ocioso repetir que los días cortos, la baja luminosidad, las temperaturas frescas y las elevadas densidades de siembra están en la base del comportamiento epidémico de ambos incitantes. La repetición de los tratamientos fungicidas han generado cepas resistentes, cuyo papel epidemiológico está por dilucidar. Urge una investigación sobre el tema, tal y como se ha venido reiterando en apartados anteriores.



El análisis de semillas de judía procedentes de Asturias evidenciaron que estaban contaminadas por *Rhizoctonia solani*. Quizás las vainas próximas al suelo o las salpicaduras de partículas de suelo por las gotas de lluvia fueron las responsables de este hecho. Sin embargo, no se ha encontrado *R. solani* destruyendo el follaje de plantas en pleno cultivo, algo que parece ocurrir en otras latitudes.

Botrytis cinerea, *Sclerotinia sclerotium*, *Pythium aphanidermatum*, y *Rhizoctonia solani* son, habitualmente, responsables de las podredumbres de las vainas en postcosecha, sin que este hecho pueda ser considerado como preocupante.

7.3. (Virosis]

Son numerosos los virus que enferman a las judías. Potyvirus, como el mosaico común (BCMV), y el mosaico amarillo (BYMV). Luteovirus como el de la amarillez apical del guisante (Pea leaf roll virus, PLRV). Entre los Geminivirus se debe citar especialmente al mosaico dorado de la judía, muy importante en Latinoamérica. El Southern bean mosaic virus (SBMV), entre otros, es un virus transmitido por el coleóptero *Ceratoma trifurcata* y por semillas, habiendo despertado cierta alerta entre los virólogos europeos, pese a que su área actual de manifestación es América.

De todos ellos el más importante en nuestros cultivos es, en la actualidad, el mosaico común (BCMV). Quizás el secreto de su extensión sea su transmisión por semillas en porcentajes muy elevados. También es vehiculado por diversas especies de áfidos. En numerosas variedades locales está presente un gen de hipersensibilidad, dominante, que ninguna cepa del virus ha sido capaz de remontar. Esta hipersensibilidad implica riesgos, habituales en este tipo de resistencia. El “black root” es una manifestación necrótica que incumbe a todos los órganos de la planta, a los que seca. Ocurre cuando las temperaturas se elevan en torno a los 30 °C. Escasa información existe en nuestro país sobre este “accidente”, pero ciertamente en muchas zonas donde su cultivo era tradicional, la judía ha desaparecido. El mosaico amarillo (BYMV) no se transmite por semillas, pero infecta a un elevado número de leguminosas cultivadas y espontáneas. Incluso a numerosas iridáceas (gladiolo, freesia, tritonias). Se ha relatado que el 92% de los bulbos de gladiolo producidos en Holanda están infectados por el BYMV. Su presencia en los judiarios españoles no ha sido evaluada. A tal punto que en aquellos trabajos que tratan sobre las virosis en Almería no se citan ninguno de los dos últimos virus. Sólo este hecho merecería alguna atención, puesto que la ausencia de patógenos en un medio concreto puede desvelar aspectos insospechados sobre las enfermedades.

8. (ORIENTACIÓN GENERAL SOBRE NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA]

Cuando en páginas anteriores de este tema se justificaba, desde una perspectiva crítica, el contenido clásico de la epidemiología y el control de enfermedades, se concluía en la necesidad de estudiar aquellas en el conjunto del entorno donde se producen. El éxito parcial de los pesticidas y de la resistencia genética, pese a las expectativas levantadas, eran dos buenas razones para proponer un cambio en los derroteros

de la investigación. Razones que no son únicas. Recientemente el I Congreso Nacional sobre la Producción Integrada, celebrado en Valencia a instancias de la Federación de Cooperativas de la tierra levantina, justificaba la convocatoria en base a la necesidad impuesta por la Organización Común de Mercado (OCM) de frutas y hortalizas de la Unión Europea para hacer una producción de calidad. Aparte los mecanismos de regulación del mercado, lo cierto es que la concienciación ciudadana por su salud y por la conservación del medio ambiente, es creciente. Prueba palpable de ello, que atañe a todo el planeta e invade directamente en la producción agraria, es la recomendación del Protocolo de Montreal para eliminar un fitosanitario emblemático por su eficacia: el bromuro de metilo.

El sucinto inventario de enfermedades de las hortalizas (solanáceas, cucurbitáceas y judía) en los cultivos bajo plástico, ha puesto de manifiesto la sanidad de éstos. Enfermedades muy graves en otros tiempos, como las micosis vasculares, tienen una solución eficaz en la resistencia varietal o en el injerto. Quizás un índice del papel que el enarenado puede jugar en la expresión de las enfermedades del suelo lo representa el escaso uso que se hace de fumigantes como el bromuro de metilo, la solarización o el cultivo sin suelo. En el caso del bromuro de metilo hay que exceptuar dos situaciones singulares. Los fresones de Huelva y los pimientos de invernadero de Murcia y Alicante.

Entre las enfermedades de la parte aérea, tres micosis y unas cuantas virosis, ocasionan daños permanentes, a veces con dimensiones casi catastróficas. Las diferentes especies de oidio son motivos de continuos tratamientos. Su control, pese al costo de los fungicidas, parece mantenerlas en niveles soportables. Niveles que son rebasados casi anualmente por *Botryotinia fuckliana*, especialmente en tomate. Dependiendo de los años, el mildiu de las cucurbitáceas alcanza proporciones alarmantes en pepino. Los trabajos de investigación sobre la epidemiología de estas enfermedades son de estricta necesidad para racionalizar su control. En este sentido, sendos proyectos de investigación financiados por el programa sectorial de agricultura del INIA y por la FIAPA (Fundación para investigación agraria en la provincia de Almería) están en marcha. La puesta a punto del programa BOTMAN para el control de *Botrytis cinerea* se cuenta entre sus cometidos.

Las virosis son graves en las hortalizas de todo el litoral mediterráneo y en los archipiélagos. Sabido es que su control es meramente preventivo. Las prácticas culturales tienen una influencia decisiva en éste. Diversos proyectos de investigación se desarrollan sobre las virosis más graves. La resistencia genética y el control de los vectores se cuentan entre sus cometidos. El virus del bronceado del tomate (Tomato spotted wilt virus, TSWV). O el virus de la cuchara en tomate (Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV), son exponentes bien paradigmáticos.

El panorama descrito alienta a desarrollar programas de manejo integrado que nos aboquen a una producción integrada. A una producción de calidad, como demanda la Unión Europea, y lo que es más importante, el ciudadano. Choca, cuando menos, proponer para los cultivos intensivos bajo plástico la generalización de una producción integrada. No hay razones para ello. Es más, desde hace años se investiga el manejo integrado de plagas en los invernaderos Almerienses, con resultados que se proyectan ya sobre la realidad.



La producción integrada es definida por la OILB (Organización Internacional de Lucha Biológica e Integrada contra los animales y plantas dañinos) en su documento Definición y Objetivos de la Producción Integrada, de la siguiente manera: “Es un sistema de explotación agraria que integra los recursos naturales y los mecanismos de regulación en las actividades de la explotación agraria para minimizar los aportes de insumos procedentes del exterior de la plantación, asegura una producción sostenible de alimentos y otros productos de alta calidad mediante la utilización preferente de tecnologías respetuosas con el medio ambiente, mantiene los ingresos de la explotación agraria, elimina o reduce las fuentes de contaminación provocadas actualmente por la agricultura y mantiene las múltiples funciones de la agricultura”.

La definición integra todo el proceso productivo. No sólo las plagas y enfermedades. Éstas fueron contempladas con exclusividad en la Orden del 26 de julio de 1983 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, que promociona las Agrupaciones para Tratamientos Integrados en Agricultura (ATRIAS). Los objetivos del plan perseguían:

- Puesta a punto de las técnicas de lucha integrada y utilización racional de los productos fitosanitarios.
- Formación del personal técnico y especializado en la dirección y aplicación de dichas técnicas.
- Fomentar las agrupaciones de agricultores para la realización de tratamientos fitosanitarios integrados.

En dicha orden ministerial, el servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fito-patológica, dejó fuera el apoyo de la Universidad, tan necesario en la investigación y formación del personal.

No me cabe ninguna duda que el manejo integrado de los cultivos es un paso hacia la comprensión del comportamiento de los patógenos, única vía para poder convivir con las enfermedades y plagas que originan. Un exponente todavía tímido de esta necesidad se recoge en el texto de la nueva Ley de Sanidad Vegetal, publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE núm. 279, 21.11.2002), y, que sustituye a la ya derogada Ley de Plagas del Campo de 1908. Toda la normativa dada por la Unión Europea para vertebrar los Reglamentos como el de la producción ecológica, carecen, en muchos casos, de bases científicas, técnicas y experimentales. Sólo concibiendo la *Agricultura* como un *Sistema* podremos manejar a los parásitos que merman los resultados finales. Desde esta óptica la *Agroecología* será la ciencia en la que la Patología Vegetal pueda enjugar los no pequeños fracasos cosechados al socaire de otros abundantes éxitos.

Esta propuesta encierra un gran reto para la Protección de Cultivos: redefinir su metodología atendiendo a criterios medioambientales. La necesidad de resolver dicho cometido concierne al ámbito de la investigación, el desarrollo, la divulgación y la extensión y, muy especialmente, al ámbito de la enseñanza.

¿Qué tipo de investigación requiere este amplio objetivo? Desde este planteamiento sobresalen:

■ Aspectos básicos sobre etiología, fisiología, biología, genética y ecología de los agentes parasitarios.

■ Aspectos básicos sobre epidemiología que conciernen, inseparablemente, al hospedador y al patógeno. La genética de la resistencia y su manejo son irrenunciables. La aplicación de modelos matemáticos y, en general el análisis de sistemas, serán herramientas indispensables para alcanzar estos objetivos.

■ El manejo de los antagonistas precisarán de conocimientos muy relacionados con el medio. El éxito será función de las prácticas culturales, de manera más acusada cuando se intente explotar a los antagonistas autóctonos.

■ El establecimiento de umbrales de intervención y los estudios económicos sobre el control de enfermedades será el punto que oriente todo lo concerniente a los fitosanitarios. Desde su toxicología hasta la eficiencia en la maquinaria de aplicación.

La necesidad de abordar los problemas de enfermedades de forma interdisciplinaria es imprescindible si se desea una integración real con los medios de producción.

(TEMA 7)

PRODUCCIÓN INTEGRADA EN CULTIVOS HORTÍCOLAS BAJO ABRIGO. ANDALUCÍA

Vicente Aparicio Salmerón

Ingeniero Agrónomo. Jefe del Departamento de Sanidad Vegetal

M^a Paz Rodríguez Rodríguez

Ingeniero Técnico Agrícola. Unidad de Producción Integrada

Carmen Manzanares Ruíz

Ingeniero Técnico Agrícola. Unidad de Producción Integrada

Delegación Provincial de Agricultura y Pesca de la J.A. en Almería





1. (INTRODUCCIÓN]

La puesta a punto, desarrollo y actualización de la Producción Integrada ha sido fruto de la colaboración de Sanidad Vegetal de la Junta de Andalucía con técnicos y entidades agrarias del sector hortícola de Almería a través de convenios de colaboración que mantienen la Junta de Andalucía con dichas entidades. En la actualidad dichas entidades agrarias son las Sociedades Cooperativas Andaluzas (S.C.A.) Coproh-nijar, Arysol, Ejidomar y las Sociedades Agrarias de Transformación (S.A.T.) Canalex y Costa de Nijar. Ha sido decisiva la aportación técnica de Centros de Investigación y Universidad de Almería.

La elevada incidencia de agentes nocivos que afectan a los cultivos hortícolas bajo abrigo en la provincia de Almería y a otras zonas del litoral andaluz supone un problema especialmente grave tanto por los daños directos que ocasionan como por los posibles efectos negativos que supone la necesidad de su control.

Se relacionan algunos de los factores que tienen una influencia directa en la presencia y proliferación de los agentes nocivos para las especies hortícolas cultivadas:

- Condiciones agroclimáticas favorables, tanto para los cultivos como para los agentes nocivos.
- Estructuras no cerradas totalmente, que posibilitan las reinvasiones.
- Gran densidad de parcelas de cultivo y carácter intensivo de éstos.
- Presencia de malas hierbas y restos de cultivos en el interior y proximidades de las parcelas de cultivo.
- Siembra o plantación de las especies vegetales sin las debidas garantías fitosanitarias.

El control de las plagas de los cultivos desde la aparición de los productos fitosanitarios orgánicos de síntesis, se ha basado casi exclusivamente en la lucha química debido a la eficacia directa de control que presentaban estos productos. Los posibles riesgos del mal uso de los productos fitosanitarios se pueden concretar en:

- Presencia de residuos en los productos de consumo.
- Aparición de resistencias en las poblaciones de los agentes nocivos.
- Problemas toxicológicos para los aplicadores o manipuladores.
- Problemas ecotoxicológicos o medioambientales (efecto nocivo sobre hábitats, flora y fauna natural o auxiliar, etc.)
- Coste económico elevado por aplicaciones no racionales.

Como respuesta a estos problemas debidos al control fitosanitario, básicamente químico, junto con las exigencias de los mercados (el consumidor es cada vez más selectivo y exigente), se hace necesaria la aplicación de nuevas técnicas que nos conduzcan a la denominada Producción Integrada, que comportaría y mantendría una Agricultura Sostenible.

▲ CONCEPTO DE PRODUCCIÓN INTEGRADA

Siguiendo los criterios de la OILB y según el Real Decreto que regula esta producción, se entiende por **Producción Integrada** el sistema agrícola de obtención de vegetales que utiliza al máximo los recursos y mecanismos de producción naturales y asegura a largo plazo una agricultura sostenible, introduciendo en ella mecanismos biológicos y químicos de control así como otras técnicas que compatibilicen las exigencias de la sociedad, la protección del medio ambiente y la productividad agrícola, así como las operaciones realizadas para la manipulación, envasado, transformación y etiquetado de productos vegetales acogidos al sistema.



FOTO1. OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE ALTA CALIDAD.

▲ LEGISLACIÓN-NORMATIVA REGULADORA (Cultivos hortícolas bajo abrigo)

- **REAL DECRETO 1201/2002 de 20 de noviembre**, por el que se regula la Producción Integrada, en productos agrícolas (BOE nº 287 de 30 de noviembre 2002).
- **DECRETO 215/1995**, de 19 de septiembre sobre Producción Integrada en agricultura y su indicación en productos agrícolas (BOJA 26 septiembre 1995)
- **ORDEN de 26 de junio de 1996**, por la que se desarrolla el DECRETO 215/1995 de 19 de septiembre, sobre Producción integrada en agricultura y su indicación en productos hortícolas, (BOJA 6 de julio 1996)



- **ORDEN de 29 de diciembre de 2000**, por la que se aprueban los Reglamentos Específicos de Producción Integrada en los Cultivos Hortícolas bajo Abrigo que se citan: **Calabacín, melón, sandía, pepino, judía, berenjena, tomate y pimiento**, (BOJA 25 enero 2001).

2. (**NORMAS O REQUISITOS QUE COMPLETAN EL PROCESO GENERAL DE LA PRODUCCIÓN INTEGRADA**)

Se resumen a continuación las normas o requisitos que completan el proceso general de la Producción Integrada.

2.1. (**Normas generales de la Producción Integrada**)

La aprobación y publicación del Real Decreto 1201/2002 (BOE 30/11/02), regulador de la Producción Integrada de productos agrícolas, contempla el marco general en el que se desarrolla esta producción y se concreta en la normativa de las diversas Comunidades Autónomas a través del Decreto, Orden genérica y Reglamentos Específicos para cada cultivo. Esta legislación autonómica se encuentra actualmente en periodo de actualización para adecuarse debidamente al citado Real Decreto 1201/2002.

La ley de Sanidad Vegetal 43/2002 de 20 noviembre (publicada en BOE nº 279 de 21 de noviembre 2002) recoge y apoya la promoción de los programas de Producción Integrada. Los aspectos concretos específicos para cada cultivo hortícola bajo abrigo, se recogen en los oportunos Reglamentos Específicos. No obstante, se exponen a continuación las medidas (obligatorias y prohibidas) más significativas:

■ Aspectos agronómicos generales

▲ Obligatorias:

- Operaciones culturales: deben minimizar el impacto ambiental.
- Rotación de cultivos: establecer programa.
- Cultivos sin suelo: disponer de instalaciones que permitan la recirculación de lixiviados.
- Sustratos inertes: adecuadamente reciclados.
- Plásticos: retirada para su reciclado o vertido controlado.

▲ Prohibidas:

- Restos vegetales, plásticos o envases: abandono en el interior o lindes de la parcela.
- Restos vegetales: quema (salvo recomendación expresa y controlada por la autoridad competente).

■ Suelo, preparación terreno y laboreo

▲ Obligatorias:

- Mantener y mejorar la fertilidad del suelo.
- Eliminar malas hierbas y restos vegetales.

▲ **Prohibidas:**

- Desinfección del suelo mediante tratamientos químicos.

■ **Siembra, plantación**

▲ **Obligatorias:**

- Material vegetal de productores autorizados y con el correspondiente Pasaporte Fitosanitario.
- Siembra o transplante dejando, al menos, una semana después de arrancar el anterior cultivo y realizar las oportunas labores.

▲ **Prohibidas:**

- Asociación de cultivos.

■ **Fertilización y enmiendas**

▲ **Obligatorias:**

- Suministro de nutrientes, fundamentalmente a través del suelo.
- Mantener el nivel de materia orgánica del suelo.
- Fertilización adecuada según analítica y de acuerdo con las extracciones, nivel de fertilidad del suelo, estado nutricional de la planta y las aportaciones efectuadas por otras vías.

▲ **Prohibidas:**

- Superar la cantidad máxima, por hectárea y año, tolerable de nitrógeno y límites fijados de metales pesados, patógenos y otros productos tóxicos.
- Aplicaciones de nitrógeno nítrico en parcelas.

■ **Riego**



▲ **Obligatorias:**

- Realizar determinaciones analíticas para determinar la calidad del agua de riego (química y bacteriológica).
- Establecer los volúmenes máximos de cada riego en función de la profundidad radicular y de las características físicas del suelo.
- Programar los riegos según métodos técnicamente aceptados.
- Sistema de riego localizado.
- Evitar las pérdidas de agua.

■ FOTO2. SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA.



▲ Prohibidas:

- Utilizar aguas residuales sin la previa depuración.

■ Control Integrado

▲ Obligatorias:

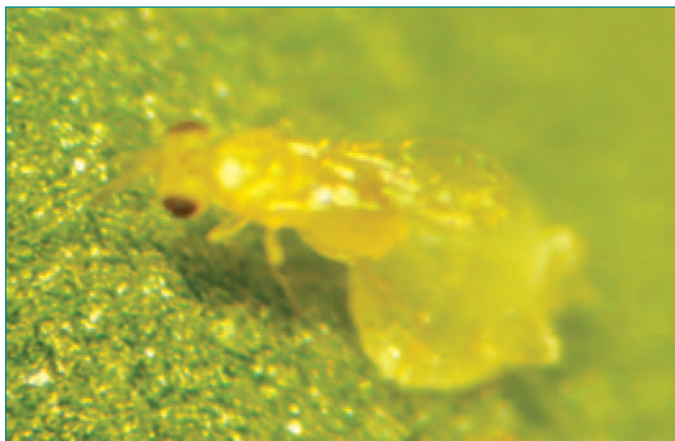
- Anteponer los métodos biológicos, biotecnológicos, culturales, físicos y genéticos a los químicos.



■ FOTO 3. UTILIZACIÓN DE DOBLE PUERTA Y MALLA EN ABERTURAS DE VENTILACIÓN QUE DIFICULTEN LA ENTRADA DE AGENTES NOCIVOS.

- La estimación del riesgo se hará mediante evaluaciones de los niveles de población de plagas, estado de desarrollo y fauna auxiliar, así como fenología del cultivo y condiciones climáticas.
- La aplicación de medidas directas de control se hará solo cuando los niveles de población y condiciones ambientales superen los umbrales de intervención.
- En caso de resultar necesaria una intervención química, los productos fitosanitarios serán seleccionados según criterios de menor peligro para humanos, ganado y medioambiental y con la mayor eficacia. Sólo se usarán productos registrados y autorizados para el cultivo.
- Respetar los plazos de seguridad para minimizar la presencia de residuos.
- Proteger la fauna auxiliar en general y en particular, al menos dos especies cuya protección y aumento de sus poblaciones se considere prioritario para cada cultivo.
- El aplicador de productos fitosanitarios deberá estar cualificado específicamente.
- La maquinaria de aplicación deberá estar en adecuado estado de funcionamiento, sometiéndose a revisión y calibrado periódico.
- Se deberán tener en cuenta también los “principios de buenas prácticas fitosanitarias” establecidas por la Organización Europea y Mediterránea para la Protección de

las Plantas (OEPP) y las Directivas de dicha organización sobre la buena práctica fitosanitaria específica para cada cultivo, cuando dichas Directivas existan.



**FOTO 4. ERETMO CERUS MUN-
DUS (PARA CONTROL BIOLÓGI-
CO DE MOSCA BLANCA)**

▲ Prohibidas:

- Utilización de calendarios de tratamientos.
- Abandonar el control fitosanitario antes de finalizar el cultivo.
- Utilizar herbicidas dentro del invernadero una vez implantado el cultivo.
- Utilizar herbicidas residuales en suelos arenosos.

■ Recolección

▲ Obligatorias:

- La recolección se realizará en las condiciones adecuadas para evitar lesiones en los productos vegetales que reduzcan su calidad y propicien infecciones de patógenos.
- Se eliminarán los productos vegetales que presenten síntomas con presencia de patógenos causantes de podredumbres.
- Los productos a recolectar tendrán el grado de madurez propio para alcanzar la calidad comercial.
- Se tomarán muestras en el periodo de recolección y/o elaboración para detectar posibles residuos de productos fitosanitarios y garantizar que sólo se han utilizado los productos autorizados y de acuerdo con la legislación sobre Límites Máximos de Residuos (L.M.R.)
- Para producciones dirigidas a otros mercados distintos del nacional, deberá verificarse que cumplen la legislación establecida en el lugar de destino respecto al contenido de residuos.

▲ Prohibidas:

- Efectuar la recolección cuando los productos están mojados (salvo autorización expresa)
- Abandonar el destrío en la parcela si su presencia representa un riesgo para la propagación de plagas.



■ Tratamientos post-recolección

▲ Prohibidas:

- Cualquier tratamiento químico.
- Las aguas de lavado no potables.

■ Envasado

▲ Obligatorias:

- Todas las máquinas, recipientes, elementos de transporte, envases provisionales y lugares de almacenamiento deben cumplir las condiciones siguientes:
 - No transmitir a los productos con los que entren en contacto sustancias tóxicas o que puedan contaminar, ni originar reacciones químicas perjudiciales.
 - No alterar las características de composición o las características organolépticas de los productos.
 - Las operaciones de envasado deben efectuarse por series completas, separadas físicamente o en el tiempo de operaciones de productos convencionales.

▲ EJEMPLO PRÁCTICO DE CONTROL INTEGRADO

Analizamos a continuación la aplicación práctica de Control Integrado en el cultivo de calabacín. El análisis se hace de forma comparativa con otro cultivo en condiciones similares. Los datos se resumen en el cuadro adjunto:

> Ejemplo parcela bajo control integrado:

Parcela	Fecha inicio	Fecha final	Duración	Campaña	Variedad	Producción Kg/m ²	Nº seguimientos fitosanitarios
Control integrado Las Norias (El Ejido)	08/11	16/05	6 meses y 8 días	primavera	Storr's green	7,31	25

CONTROL FITOPARASITOS

Principales plagas/enf.	Control químico	CONTROL BIOLÓGICO			C. Cultural
		Sueltas par./depred.	Enemigos naturales identificados	Feromonas	
Mosca Blanca Trips Pulgón Araña Roja Minador Oidio	9 Tratamientos (6 materias activas, 9 productos) MEDIA (nº productos/tratamientos) : 1	10 <i>Aphidius colemani</i> 8 <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (focos)	<i>Chrysopa</i> sp. <i>Diglyphus isaea</i> <i>Aphidius</i> sp. <i>Aphidoletes</i> sp. <i>Phytoseiulus persimilis</i> <i>Amblyseius californicus</i> <i>Amblyseius barkeri</i> <i>Amblyseius graminis</i> Gamasidos	1 <i>Spodoptera exigua</i> 1 <i>Spodoptera littoralis</i> 1 <i>Autographa gamma</i> 1 <i>Chrysodeixis chalcites</i> armigera	Placas adhesivas amarillas Entutorado Eliminar flores marchitas

ANÁLISIS REALIZADOS EN LABORATORIO

Análisis fitopatología					Análisis físico-químico	Análisis de residuos
Laboratorio	Plantulas semillero	Agua de riego	Plantas	Plaga		
Virología						
Patología		(+) <i>Pythium</i> sp. (+) <i>Phytophthora</i> sp.	(+) <i>Erwinia</i> sp. (+) <i>Didymella bryoniae</i> (+) <i>Botrytis cinerea</i> (+) <i>Pseudomonas</i> sp.			
Entomología				<i>Agrotis ipsilon</i> <i>Spodoptera exigua</i> <i>Liriomyza bryoniae</i> <i>Tetranychus urticae</i> <i>Tetranychus turkesnani</i> <i>Aphis gossypii</i> <i>Psocopteros</i>	Suelo Agua Foliar	6 (-)

> Ejemplo parcela Testigo:

Parcela	Fecha inicio	Fecha final	Duración	Campaña	Varietal	Producción Kg/m ²	Nº seguimientos fitosanitarios
Control integrado Las Norias (El Ejido)	20/10	18/04	6 meses	primavera	Storr's green	5,3	24

CONTROL FITOPARASITOS

Principales plagas/enf.	Control químico	CONTROL BIOLÓGICO			C. Cultural
		Sueltas par./depred.	Enemigos naturales identificados	Feromonas	
Mosca Blanca Trips Araña Roja Minador Oidio Bacterias Didymella Sclerotinia	18 Tratamientos (19 materias activas, 34 productos) MEDIA (nº productos/tratamientos) : 1,9		<i>Amblyseius californicus</i> <i>Diglyphus</i> sp <i>Chrysonotomyia formosa</i>		Entutorado

ANÁLISIS REALIZADOS EN LABORATORIO

Análisis fitopatología					Análisis físico-químico	Análisis de residuos
Laboratorio	Plantulas semillero	Agua de riego	Plantas	Plaga		
Virología						
Patología		(+) <i>Pythium</i> sp.	(+) <i>Erwinia</i> sp.			



(+) *Didymella bryoniae*
(+) *Sclerotinia sclerotiorum*

Entomología	<i>Liriomyza bryoniae</i>	Suelo Agua Disolución	11 (-)
	<i>Liriomyza trifolii</i> <i>Liriomyza stragata</i> <i>Tetranychus urticae</i>		

2.2. (Normas de Producción Integrada para industrias de transformación)

Estas normas definen las prácticas de manipulación y envasado que, bajo la dirección del técnico competente, deben cumplir los operadores en sus instalaciones y procesos de transformación de productos vegetales y que deben ser consideradas en las normas técnicas específicas de cada producto transformado.

■ Proceso de transporte de productos vegetales, manipulación y envasado

▲ Transporte del producto vegetal y contenedores:

- Los receptáculos y contenedores de los vehículos de transporte de productos vegetales deben estar limpios y en condiciones adecuadas de mantenimiento.
- Si se han utilizado los receptáculos y contenedores para otros fines, deberán limpiarse adecuadamente para evitar posibles contaminaciones.

▲ Recepción del producto vegetal e instalaciones:

- Declaración de responsabilidad del agricultor de identificación de los frutos de parcelas acogidas a Producción Integrada.
- Registro de las partidas que llegan: producto, cantidad, unidad de cultivo con tratamiento homogéneo de origen.
- Los vehículos de transporte estarán limpios y cargados sólo con productos vegetales.
- Inspección en la recepción y no considerar como de Producción Integrada las partidas que no cumplan los requisitos.
- Toma de muestras para verificar calidad.
- No almacenar productos químicos ni restos vegetales en la zona de recepción.
- Separar claramente los productos recepcionados procedentes de Producción Integrada.

▲ Acondicionamiento del producto vegetal, pesado, toma de muestras y control de calidad:

- Las técnicas y las instalaciones de almacenamiento, transformación y elaboración,

tenderán al mantenimiento de la calidad y las características organolépticas de los productos.

- Los recipientes de evacuación de residuos serán exclusivos para tal fin y se mantendrá su limpieza.
- Existirá un control de calidad de las partidas que se recepcionen, manteniéndose la trazabilidad mediante registros y toma de muestras, indicándose las determinaciones analíticas mínimas a realizar e índices de aceptación de las mismas



▲ Almacenamiento del producto vegetal e instalaciones:

- Las técnicas de almacenamiento, envasado y transporte de productos vegetales tenderán al mantenimiento de la calidad.
- La evacuación de los residuos se realizará en recipientes exclusivos para este fin, manteniéndose limpios.

■ FOTO 5. TRAZABILIDAD EN CADENA DE TRANSFORMACIÓN.

■ Identificación y trazabilidad

▲ Existirá, en cada centro de recepción y/o manipulación, un albarán de control de entrada en el que figure: producto, cantidad, parcela de origen, unidad de cultivo en tratamiento homogéneo, fecha de entrada y firma de la persona que realiza la entrega.

▲ La empresa o centro de transformación que no tenga la totalidad de la producción de cultivo bajo Control Integrado, deberá:

- Tener un sistema documentado e implantado de identificación y trazabilidad para garantizar la separación desde la explotación hasta la entrega del producto elaborado al cliente.
- Definir claramente el intervalo de tiempo durante el cual se manipula cada tipo de producto.
- Las líneas de manipulación deben limpiarse completamente del producto de origen no controlado como de Producción Integrada.

■ Instalaciones

- Todos los materiales que se usen en las instalaciones se adaptarán a las especificaciones y necesidades según el Código Alimentario Español y normativa vigente.
- Los materiales poliméricos autorizados serán inocuos y no transmitir a los productos propiedades nocivas o cambiar sus propiedades organolépticas.



- Las instalaciones estarán limpias, en buen estado de conservación, adecuada higiene y permitiendo una adecuada ventilación.
- Se evitarán los huecos instalando elementos que impidan la entrada de insectos.
- Los locales por donde circulen los productos deben estar bien iluminados. Los tubos o lámparas de iluminación se protegerán con medios adecuados.
- Existirán zonas diferentes para el almacenamiento de productos y el de envases vacíos.
- No almacenar productos de desecho en la zona de manipulado.
- Dispondrá de agua potable clorada.

■ Equipos

- Se asegurará el correcto funcionamiento de los equipos y tomar las medidas que eviten el contacto de los productos con sustancias tóxicas u objetos extraños.
- Se mantendrán limpios y de acuerdo con las buenas prácticas de higiene
- Las carretillas de gasoil se usarán solo fuera del almacén.
- Las máquinas y herramientas deben estar en buen estado y su almacenamiento será el adecuado.

2.3. (**Inscripción, registro y obligaciones de los operadores**)

Las distintas fases del proceso de producción y comercialización podrán ser realizadas por operadores diferentes.

■ **Inscripción y registro de los operadores**

▲ Los operadores deben comunicar su actividad como Producción Integrada a las autoridades competentes donde radiquen las superficies de producción y sus instalaciones, para ser inscritos en los Registros.

▲ Para inscripción en el Registro, los operadores deben acreditar ante la autoridad competente, mediante auditoria previa de entidades de certificación, que están en condiciones de producir o comercializar según la Producción Integrada según la normativa vigente. Aportará la siguiente documentación.

- Caso de operador que se dedique sólo a la producción de productos vegetales, una **memoria** descriptiva de la explotación agrícola y sus instalaciones y, en su caso, los centros de manipulación, que contendrá como mínimo, las **superficies** y **ubicación de las parcelas, almacenes y otras instalaciones, antecedentes de cultivo** de las parcelas, **estimación del volumen de las producciones**.
- En los otros casos de operadores, memoria descriptiva de sus instalaciones con la superficie y ubicación de las mismas, estimación de los productos a comercializar, sistema específico de manipulación, elaboración y envasado de los productos, marcas comerciales y canales de comercialización.

■ **Los operadores estarán obligados a:**

- Permitir y colaborar en los controles que se realicen.
- Disponer de servicios técnicos competentes responsables de dirigir y controlar el

cumplimiento de las normas de Producción Integrada. No obstante, los operadores que acrediten su cualificación en Producción Integrada, podrán dirigir directamente su actividad conforme a las normas establecidas.

- Fomentar la formación en Producción Integrada del personal a su cargo.
- Cumplir las normas de producción integrada y poseer un cuaderno de explotación donde se anoten todas las operaciones y prácticas de cultivo, en caso de operadores que se dediquen sólo a la producción de productos vegetales, o un registro de las partidas donde pueda comprobarse el origen, uso y destino de las mismas, en el caso de otros operadores.
- Obtener la totalidad de la producción de la variedad del producto vegetal por el sistema de Producción Integrada en unidades de cultivo claramente separadas de otras que no estén sometidas a las normas del presente Real Decreto.
- Almacenar, manipular, en su caso transformar y comercializar por separado, en el espacio o en el tiempo, según el caso, las producciones obtenidas bajo las correspondientes normas de Producción Integrada de otras obtenidas por métodos diferentes.
- Adoptar las medidas adecuadas para asegurar que durante todas las fases de producción y comercialización no pueda haber sustitución de los productos de la Producción Integrada por otros.
- Identificar el producto de acuerdo con las normas de Producción Integrada en las fases de producción y comercialización en que intervengan.
- Hacer buen uso de la identificación de garantía de Producción Integrada.
- Notificar anualmente al órgano o entidad de certificación, y con anterioridad a la fecha que se determine, su programa de producción, detallándolo por parcelas; así como, periódicamente, los volúmenes producidos y comercializados.
- Adoptar medidas correctoras que resuelvan irregularidades detectadas por los órganos o entidades de control en la producción o comercialización.

2.4. (Control de la Producción Integrada]

El control de los operadores en el ejercicio de su actividad para verificar el cumplimiento de las normas de Producción Integrada se realizará de manera que se garantice que dichas operadores cumplen al menos las siguientes medidas:

▲ La producción integrada deberá llevarse a cabo en parcelas separadas de cualquier otra. Durante el proceso de manipulación, envasado y etiquetado, los productos deberán estar claramente separados de los obtenidos por otros sistemas.

▲ Al iniciarse la aplicación del régimen de control, el operador deberá:

- Hacer una descripción completa de la unidad de cultivo, de las parcelas de producción y, en su caso, las instalaciones donde se efectúen determinadas operaciones de manipulación, envasado y etiquetado.
- Documentar la fecha en que, por última vez, se han empleado productos no contemplados en el Reglamento Específico.
- Asumir el compromiso de realizar sus actividades de acuerdo con los Reglamentos Específicos y aceptar, en caso de infracción, las medidas correctoras correspondientes.

La entidad de control deberá comprobar en su primera inspección que el operador



ha realizado todo lo indicado en el punto 2.2. (Normas de Producción Integrada para industrias de transformación)

- ▲ El operador deberá comunicar anualmente a la entidad de control el plan de actuación.
- ▲ El operador deberá llevar un registro que permita a la entidad de control localizar el origen, naturaleza y cantidades de materias primas adquiridas y su uso. También llevará el registro con los datos referidos a los productos vendidos.
- ▲ En las visitas de inspección se comprobará que las materias primas y medios de producción almacenado son los permitidos en los protocolos.
- ▲ Además de visitas de inspección sin aviso previo, la entidad de control deberá efectuar, como mínimo una vez al año, un control físico de la unidad. Podrán tomarse muestras y se levantará acta de inspección de cada visita.
- ▲ El operador permitirá a la entidad de control el acceso a locales, parcelas, registros y facilitará la información necesaria para la inspección.
- ▲ El transporte de los productos vegetales se hará en envases determinados.

2.5. (Agrupaciones de Producción Integrada)

Para fomentar la Producción Integrada se reconocen agrupaciones de Producción Integrada en agricultura. El reconocimiento se hará por la autoridad competente donde radique el domicilio social de la agrupación. Deberán tener servicios técnicos competentes que establezcan las oportunas directrices técnicas de acuerdo con la normativa vigente. Estas agrupaciones podrán recibir las ayudas que se establezcan reglamentariamente.

2.6. (Identificaciones de garantía)

■ Los productos que hayan sido elaborados según las normas de Producción Integrada podrán ser distinguidos con una identificación de garantía que consistirá, al menos, con la expresión “Producción Integrada”.

■ En el etiquetado, además de la identificación de garantía, constará al menos el nombre o código de la entidad de control, así como el número de registro del operador y su denominación.

■ No podrá ser utilizada la expresión “Producción Integrada”, logotipo o denominaciones, identificaciones, expresiones y signos que puedan inducir a confusión, distintas a las establecidas en el Real Decreto 1201/2002.

■ La identificación de garantía nacional de Producción Integrada consistirá en la expresión “Producción Integrada” y el logotipo que al efecto establezca el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Se podrá emplear en aquellos productos que cumplan las condiciones:

- Haber sido producidos sujetos a las normas del Real Decreto 1201/2002 que regula la Producción Integrada.

- Que el respeto a las citadas normas haya sido controlado en todas sus fases por una o varias entidades de certificación.

■ El uso de la identificación nacional se concederá por la entidad de certificación a la que corresponda controlar la fase de etiquetado.

■ Las entidades de certificación comunicarán al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación todas aquellas concesiones que realicen para la utilización de la identificación de garantía nacional de Producción Integrada.

■ Las Comunidades Autónomas podrán establecer, en el ejercicio de sus propias competencias, identificaciones de garantía de Producción Integrada, siempre que se garantice lo dispuesto en el Real Decreto 1201/2002, y deberán comunicarlo al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

■ Las entidades u organizaciones privadas y sus asociaciones podrán establecer sus propias identificaciones de garantía de Producción Integrada, siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

- Que cumplan los requisitos exigidos del Real Decreto 1201/2002 regulador de la producción integrada.
- Que el cumplimiento de dichos requisitos, procedimientos y protocolos haya sido controlado en todas sus fases por una o varias entidades de certificación.

■ Previamente a la utilización de las identificaciones de garantía de carácter privado, los requisitos, procedimientos y protocolos exigibles para su utilización deberán ser remitidos para su aprobación, a la autoridad competente de la Comunidad Autónoma en la que radique su sede social, previo informe de la Comisión Nacional de Producción Integrada. Las Comunidades Autónomas comunicarán al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación las identificaciones de garantía de producción integrada privadas que han aprobado.

2.7. (Entidades de certificación]

■ Para poder realizar los controles previstos en el artículo apartado 2.6.4.b (control de las normas sobre Producción Integrada recogidas en el Real Decreto en todas sus fases por una o varias entidades de certificación), las entidades de certificación deberán estar acreditada por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) o cualquier otro organismo de acreditación firmante del Acuerdo Multilateral de Reconocimiento de la “European Cooperation for Accreditation” (EA). Será necesario para tal acreditación cumplir, al menos, los siguientes requisitos:

- Cumplir con los criterios generales contenidos en las normas europeas referidas a los organismos de certificación y control que realizan certificaciones de productos, especialmente las normas EN 45.011 y EN 45.004, respectivamente.
- Presentar el programa de control de la entidad, que deberá contener una descripción pormenorizada de las medidas de control y de las medidas precautorias que la entidad se compromete a imponer a los operadores sujetos a su control. Dicho programa se ajustará a los criterios homogéneos que se establezcan reglamentariamente a propues-



ta de la Comisión Nacional de Producción Integrada.

- Acreditar que dispone de los recursos adecuados, de personal cualificado e infraestructuras administrativas y técnicas, así como, en su caso, la experiencia en materia de control y la fiabilidad.
- Presentar los procedimientos que la entidad de certificación propone cumplir en caso de irregularidades o infracciones, reglamentación de los operadores, e información a la autoridad competente cuando se produzca alguno de los supuestos anteriores.

■ El operador podrá elegir la entidad de certificación que vaya a encargarse de controlar sus actividades de Producción Integrada, de entre aquellas que hayan sido acreditadas. Serán por cuenta del operador los gastos ocasionados por el control de sus actividades.

■ En el desarrollo de los controles, las entidades de certificación se ajustarán a lo dispuesto en el apartado 2.4 (Control de la Producción Integrada)

■ Las entidades de certificación deberán comunicar al inicio de su actividad a las autoridades competentes de las Comunidades Autónomas en las que vayan a operar.

■ Se podrán formalizar acuerdos entre las entidades de certificación y entidades de control acreditadas por ENAC o cualquier otro organismo de acreditación firmante del Acuerdo Multilateral de Reconocimiento de la “European Cooperation for Accreditation” (EA), respectivo a la norma EN 45.004, para la realización de la totalidad o parte de los controles establecidos.

▲ ACREDITACIÓN PROVISIONAL DE ENTIDADES DE CERTIFICACIÓN

- Las autoridades competentes podrán reconocer provisionalmente a entidades de certificación sin acreditación previa, durante el plazo máximo de dos años, o hasta que sean acreditadas si el plazo es menor, si se estima que responden a lo establecido en la norma EN 45.011.

- Se podrán establecer prórrogas al reconocimiento provisional, mencionado en el apartado anterior, cuando superado el plazo máximo establecido, la entidad de acreditación justifique adecuadamente que no ha podido finalizar el proceso acreditativo.

- Las entidades de certificación reconocidas por las Comunidades Autónomas en la fecha de entrada en vigor del presente Real Decreto, dispondrán del plazo de dos años para ajustarse a lo establecido en el mismo.

2.8. (Comisión Nacional de Producción Integrada)

Se crea la Comisión Nacional de Producción Integrada como órgano colegiado adscrito al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, a través de la Dirección General de Agricultura, para el asesoramiento y coordinación en materia de Producción Integrada.

■ Composición

- **Presidente:** Director General de Agricultura.

- **Vicepresidente 1º:** Director General de Desarrollo Rural.
- **Vicepresidente 2º:** Subdirector General de Sanidad Vegetal.

Vocales:

- 1º: Representante de cada una de las Comunidades Autónomas que decidan participar.
- 2º: Tres funcionarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- 3º: Un representante de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria.
- 4º: Un representante de cada una de las organizaciones profesionales agrarias más representativas del ámbito nacional y de la Confederación de Cooperativas Agrarias de España.
- 5º: Seis representantes de organizaciones de producción agraria de mayor representación.

El secretario, con voz y sin voto, será un funcionario de la Subdirección General de Sanidad Vegetal.

■ Funciones

- ▲ Elaborar y proponer directrices, protocolos o, en su caso, normas técnicas específicas de Producción Integrada para armonizar su aplicación.
- ▲ Informar sobre las normas que se vayan a establecer de Producción Integrada.
- ▲ Elaborar un Programa nacional de Control en el que se precisen los diversos procedimientos que complementen los establecidos en el Real Decreto 1201/2002.
- ▲ Conocer el grado de cumplimiento del programa y las incidencias producidas.
- ▲ Proponer criterios uniformes para la corrección de infracciones.
- ▲ Informar, en su caso, a la autoridad competente de infracciones conocidas que no hayan sido sancionadas.

2.9. (Registro General de Producción Integrada)

Se crea, en el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, adscrito a la Dirección General de Agricultura, un Registro General de Producción Integrada de carácter público e informativo, que recogerá los datos aportados por las Comunidades Autónomas.

- Las comunidades autónomas remitirán anualmente a la Dirección General de Agricultura una relación de los volúmenes comercializados con la identificación de garantía de Producción Integrada, operadores registrados en su ámbito territorial, así como de las entidades de certificación que operan en su territorio.
- El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación comunicará anualmente a las Comunidades Autónomas, los datos de las inscripciones en registro.

2.10. (Comercialización de la Producción Integrada de otros países)

Los productos vegetales y sus transformados legalmente producidos y elabora-



dos en otros Estados miembros de la Unión europea y de los países de la Asociación Europea de Libre Comercio AELE, partes contratantes en el Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo (EEE), de acuerdo con una normativa oficial específica de Producción Integrada, podrán comercializarse en España bajo la denominación “Producción Integrada” completada con la mención expresa de la norma legal reguladora del país de origen del producto.

3. (BIBLIOGRAFÍA)

■ Aparicio, V; Lastres, J; Rodríguez, M.P; García, M.M; Torres, M.M y Manzanares, C. (2001). Producción Integrada en los cultivos hortícolas bajo abrigo en Almería. *Agrícola Vergel* nº 230 (febrero 2001) pp: 75-81

■ Aparicio, V; Rodríguez, M.P;García, M.M; Torres, M.M y Manzanares, C. (2001). Producción Integrada 2001. Cultivos hortícolas bajo abrigo. Andalucía. En comunicación Universidad Internacional de Verano en Almería: Calidad en los Productos Hortícolas Frescos. Certificaciones Voluntarias de Calidad. Publicación electrónica. Servicio de Publicaciones Universidad de Almería. ISBN: 84-8240-455-5. (16-20 julio 2001)

■ Aparicio, V; Rodríguez, M.P; García, M.M; Torres, M.M y Manzanares, C. (2002). Producción Integrada en cultivos hortícolas bajo abrigo. Andalucía. 12º Symposium Internacional Phytoma (16-18 enero, Valencia). *Phytoma* nº 135. pp: 156-162.

■ Aparicio, V; Rodríguez, M.P;García, M.M; Torres, M.M y Manzanares, C. (2002). Criterios de Calidad en la Producción Integrada en cultivos hortícolas bajo abrigo. Establecimiento de los criterios de selección. *Agricultura* nº 832, octubre 2001. pp: 712-716.

■ Aparicio, V. Cultivos hortícolas bajo abrigo. Andalucía. Control fitosanitario en el marco de la Ley de Sanidad Vegetal. 8º Symposium Nacional de Sanidad vegetal (22-24 enero de 2003, Sevilla). Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

■ Decreto 215/1995 de 19 de septiembre, sobre Producción Integrada en agricultura y su indicación a productos agrícolas. *BOJA* nº 26 de septiembre 1995.

■ Ley 43/2002 de 20 de noviembre, de Sanidad Vegetal. *BOE* nº 279 de 21 de noviembre 2002.


■ Orden de 26 de junio, por la que se desarrolla el Decreto 215/1995, de 19 de septiembre sobre Producción Integrada en agricultura y su indicación en productos hortícolas. *BOJA* nº 6 de julio 1996.

■ Orden de 29 de diciembre de 2000, por la que se aprueban los Reglamentos Específicos de Producción Integrada en los cultivos hortícolas bajo abrigo: Calabacín, Melón, Sandía, Pepino, Judía, Berenjena, Tomate y Pimiento. *BOJA* nº 25 de enero de 2001.

■ Real Decreto 1201/2002 de 20 de noviembre, por el que se regula la Producción Integrada de productos agrícolas. *BOE* nº 287, de 30 de noviembre 2002.

■ Rodríguez, M.P; García, M.M; Torres, M.M y Manzanares, C. (2001). Producción Integrada en cultivos hortícolas bajo abrigo en Almería. *Vida Rural* nº 136, 1 de octubre de 2001. pp: 48-53.

(TEMA 8]



PRODUCCIÓN CONTROLADA
DE CULTIVOS PROTEGIDOS.
LA CERTIFICACIÓN AENOR

Luis Miguel Fernández Sierra
Ingeniero Agrónomo
Gerente de Agrocolor, S.L.





1. (INTRODUCCIÓN]

Los consumidores estamos cada día mas preocupados por la calidad de los alimentos que ingerimos, entendiendo por calidad tanto la composición y características del producto como el impacto medioambiental causado en su obtención.

El consumidor de hortalizas está especialmente sensibilizado por el problema de la presencia de residuos tóxicos, ya que son productos alimenticios para consumir en fresco, que la mayoría procede de cultivos forzados realizados fuera de época en los que el empleo de productos químicos es más abundante que en otros tipos de cultivos. A ello se une la preocupación por el impacto ambiental causado por la eliminación de plásticos y mallas de protección de los invernaderos, eliminación de restos vegetales, eliminación de envases vacíos fitosanitarios y de fertilizantes, el empleo de desinfectantes perjudiciales para la capa de ozono, la degradación paisajística de algunas zonas de producción intensiva, etc.

Los grandes supermercados y las grandes cadenas de distribución europeas, principales clientes de las empresas productoras de hortalizas en cultivo protegido del litoral peninsular y Canarias, presionadas por los compromisos adquiridos con sus clientes, están exigiendo a sus suministradores un producto de origen controlado, con un contenido mínimo en residuos tóxicos, procedentes de explotaciones en que se minimice el uso de productos químicos y se respete el medio ambiente. Como consecuencia de todo esto han aparecido variados sistemas y protocolos de producción, a iniciativa de los clientes o de las administraciones autonómicas, para satisfacer esta demanda.

Hace cinco años aproximadamente el panorama normativo era un poco desalentador. Ya existía, por un lado una oferta en normas de calidad, una oferta pública representada por las normas de producción integrada de las Comunidades Autónomas donde se recogen varias y distintas normativas de producción integrada en cada una de las Comunidades Autónomas, especialmente dedicadas a la producción sostenible de hortalizas. Normativas a veces incluso contradictorias, que impedían a los productores estar en condiciones de cumplir simultáneamente, ni siquiera en dos de estas Comunidades. Estas normas realizadas directamente por la Administración Autonómica se habían redactado sin participación de los productores, y por supuesto, sin participación de los clientes y su correspondiente consenso.

Por otro lado, existían distintas ofertas en cuanto a normas de producción privadas y en algunos casos también contradictorias, que abrían un camino de difícil futuro donde habría que satisfacer diferentes protocolos correspondientes a cada uno de los clientes, en cada uno de los países en los que se vende. Esta era la perspectiva desalentadora y a la vez preocupante. Había que dar una solución, o intentar darla. Solución que debía pasar porque los productores españoles de hortalizas tuvieran su propio sistema, y que ese sistema fuera garantía para los clientes, y estuviera avalado por alguien, alguna organización o institución tercera que, desde fuera del sector y de la representación de los clientes jugara el papel del elemento imparcial del sistema y lo garantizase.

Había que elaborar una norma desde el origen, desde la propia experiencia del sector hortofrutícola español, consensuada y reflejando las condiciones de nuestro propio sistema de producción. Había que realizar una norma diferente a las elaboradas en Holanda,

Inglaterra y demás países europeos realizadas desde la distancia de la realidad del sector hortícola español.

COEXPHAL-FAECA intentó sin éxito que los reglamentos de la Producción Integrada de la Junta de Andalucía pudiera dar solución a esta problemática. Sin éxito por razones como excesiva lentitud en publicar los reglamentos, diferencias importantes entre todos los reglamentos de Producción Integrada de las Comunidades Autónomas con falta de un documento nacional y un contenido mínimo común, requisitos algunas veces insalvables (prohibición de utilizar cultivos hidropónicos, etc.), falta de exigencia en algunos aspectos como la consideración del uso de productos fitorreguladores (las cadenas de supermercados nos prohíben tal uso), etc....

Sin embargo, sin el trabajo realizado en los reglamentos de Producción Integrada por la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía y más concretamente con su Centro de Investigación y Formación Agraria (CIFA) de la Mojonera en Almería, la elaboración de este código de buenas prácticas agrícolas no hubiera sido posible.

En 1996 surgió por parte de (COEXPHAL) y de la delegación en Almería de la Federación Andaluza de Empresas Cooperativas Agrarias (FAECA) con el apoyo de la Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía, S.A. (D.A.P.S.A.), la idea de redactar una norma de producción como respuesta a la diversidad de protocolos aprovechando el trabajo de la Junta de Andalucía. Esta norma fue redactada por directores de producción y técnicos de las distintas empresas asociadas a COEXPHAL y FAECA, que debido a la experiencia de cada día elaboraron un primer borrador tomando como punto de partida los datos elaborados por los sistemas de producción respetuosos con el medio ambiente así como los reglamentos y borradores de la Producción Integrada de Andalucía. Además se tuvieron presentes las exigencias de los mercados en lo que entienden por buenas prácticas agrícolas. Este primer protocolo se denominó "Sistema de Producción ECOBIO".

Una vez realizado este primer borrador surgió la necesidad de presentarlo a una entidad oficial reconocida tanto nacional como internacionalmente, donde se expusiera, y se estudiara por todas las partes interesadas en el proyecto, ya fuera la administración, los consumidores, el sector productor exportador de frutas y hortalizas español, etc.; para consensuar una norma española en el sector de frutas y hortalizas y establecer el sistema de certificación. Tanto los productores-exportadores de Murcia y Alicante como los de Canarias se unieron a la idea y utilizando la eficaz estructura que da la Federación Española de Productores y Exportadores de Frutas y Hortalizas (FEPEX) se empezó a redactar la norma que a la postre iba a servir a todos cumpliendo con las exigencias de los mercados.

La entidad elegida fue AENOR, la cuál después de supervisar y participar en la elaboración de esta norma para frutas y hortalizas, sería capaz de darle carácter de Norma Española (UNE), además de poder llevar a cabo todo el proceso de certificación del cumplimiento de dicha norma.

Seguidamente, ya en el año 1.996, se formó en AENOR el Comité Técnico de Normalización (CTN 155) para el sector de frutas y hortalizas para consumo en fresco, donde se elaboraron las normas que serían de aplicación. Posteriormente se formó un Comité



Técnico de Certificación (CTC 054), que redactó el primer Reglamento particular de la marca AENOR para hortalizas para consumo en fresco.

La gestión de las actividades de los comités técnicos la realizan las Secretarías: la Secretaría del CTN 155, la desempeña FEPEX. El comité está constituido por representantes del MAPA, Ministerio de Economía, Ministerio Sanidad y Consumo y Administraciones autonómicas de Andalucía, Canarias, Cataluña, Extremadura, Murcia y Valencia. Como representantes de la producción nacional y provincial figuran FEPEX, CCAE, y Organizaciones agrarias, ASAJA, COAG, UPA, y Asociaciones de productores exportadores de las principales provincias exportadoras. También están representados Laboratorios, Cadenas de Supermercados Europeas, AEPLA, Consumidores y Usuarios y AENOR.

La elaboración de la norma se ha llevado a cabo a través de las siguientes fases:

■ **Trabajos preliminares:** (recopilación de documentación, discusión sobre el contenido.) previos a la toma en consideración de una nueva iniciativa;

■ **Elaboración del proyecto de norma:** incluye todas aquellas actividades que se desarrollan por el Comité hasta la aprobación de un documento como proyecto de norma, buscando siempre el consenso de todas las partes;

■ **Información pública en el BOE:** anuncio de la existencia del proyecto de norma, tanto nacional como europea, para que cualquier persona, física o jurídica, pueda remitir las observaciones al mismo que estime oportunas;

■ **Elaboración de la propuesta de norma:** una vez superada la fase anterior, y recibidas en AENOR las posibles observaciones al proyecto, el CTN procede al estudio de las mismas y aprobación de la propuesta de norma final, para su consideración y adopción por AENOR.

■ **Registro, edición y difusión de la norma UNE:** publicación de la norma UNE por AENOR, notificación a BOE, promoción y comercialización, a través de los servicios comerciales de AENOR.

En esta elaboración hay que resaltar en los trabajos preliminares a los diferentes directores técnicos de las empresas asociadas a COEXPHAL – FAECA. La gran disposición de cada uno de ellos a reunirse cada 15 días desde hace ya más de cuatro años para, entre cosas, poner en común su experiencia con la norma, manifestar sus propuestas de mejora y corregir las carencias de éstas sobre la base de la experiencia de cada día. Así mismo, existe una Comisión que se reúne casi todas las semanas en la E.E. de Las Palmerillas, donde siguen de cerca los ensayos de las naves donde se aplican con éxito las series de normas UNE 155.001. Esta comisión está formada por los directores técnicos de Agromurgi, S.A.T., Cabasc, S.C.A., Campovícar, S.C.A., Eurosol, S.A.T., Las Hortichuelas, S.A.T. y Vicasol, S.C.A; encontrándose abierta a la participación de cualquier otra entidad.

El objetivo de estas reuniones es conseguir que la norma se adapte a la realidad, no se quede obsoleta, incorpore todas las innovaciones posibles e incluya las nuevas exigencias de los mercados cuanto antes. Por lo tanto, la política de calidad establecida sectorialmente, adoptada voluntariamente por las sociedades productoras, exportadoras y garantizada, está siendo básica para el futuro del sector.

Paralelamente a esta gran iniciativa del sector hortofrutícola español, las cadenas de supermercados y de distribución minoristas europeas más exigentes, principalmente británicas, escandinavas, suizas y holandesas han constituido un grupo llamado EUREP (Euro-Retailer Produce Working Group), es decir, un grupo de trabajo de minoristas de productos agrícolas. EUREP, que lleva trabajando desde 1.998, ha elaborado un código de buenas prácticas agrícolas (Good Agricultural Practice) para la producción de frutas y hortalizas, que imponen a sus proveedores para satisfacer las exigencias de seguridad y calidad alimentaria de sus clientes finales. Este código de buenas prácticas agrícolas, conocido por el sector como “EUREPGAP”, fue homologado y convalidado provisionalmente con la norma española UNE 155.001:2001 (Hortalizas para consumo en fresco. Producción Controlada de cultivos) en Octubre de 2000, en el congreso de EUREPGAP en Barcelona.

Finalmente, debemos resaltar que en Octubre de 2001, en el congreso de EUREPGAP en Bolonia (Italia), **la norma española UNE 155.001:2001 ha sido definitivamente homologada por EUREPGAP**. Esto supone un reconocimiento al sector hortofrutícola español al estar siempre preparado para asegurar la adecuación del producto a las necesidades del cliente y además demostrar la calidad de sus hortalizas de manera objetiva, con la certificación. Así mismo, este reconocimiento supone a las empresas agrícolas almerienses la apertura de nuevas perspectivas de mercado a los agricultores almerienses que sean capaces de diferenciarse a través de esta normativa.

La nueva revisión de la norma UNE 155001-1:2001, tiene en cuenta no sólo los requisitos exigidos por EUREP, sino que también tiene presente requisitos y exigencia de cadenas europeas no incluidas dentro de EUREP, como pueden ser cadenas alemanas, francesas e incluso estadounidenses. Sin embargo, hay que resaltar que estas exigencias en seguridad alimentaria se traduce desgraciadamente en algunos países como en EE.UU y Japón en la utilización de barreras fitosanitarias para impedir el libre comercio. Con lo que utilizan estas exigencias en barreras comerciales cuando no necesita del abastecimiento de países terceros.

Por lo tanto, podemos afirmar que esta normativa tiene incidencia en todos los ámbitos de la producción agrícola, de manera que su aplicación conlleva, además de cumplir con unas Buenas Prácticas Agrícolas, la implantación de un sistema de seguridad alimentaria, complementado por métodos de control medioambiental, análisis de peligros y puntos de control crítico (prevenir peligros físicos, químicos y microbiológicos en hortalizas), trazabilidad y de seguridad e higiene en el trabajo, que responde ampliamente a los requerimientos de los mercados internacionales en cuanto al sistema de producción, manipulación y comercialización. Las normas UNE son fruto de una rigurosa elaboración en la que intervienen representantes cualificados de los consumidores, las empresas y la administración, además de poder participar cualquier persona interesada al someterse a un periodo de información pública. Elementos imprescindibles para el éxito de la certificación de productos.

2. (OBJETIVOS DE AENOR)

AENOR es la Asociación Española de Normalización y Certificación. Es una entidad española, privada, independiente, sin ánimo de lucro, reconocida en los ámbitos



nacional, comunitario e internacional que tiene como propósito contribuir, mediante el desarrollo de las actividades de Normalización y Certificación (N+C), a mejorar la calidad en las empresas, sus productos y servicios, así como proteger el Medio Ambiente y, con ello, el bienestar de la sociedad.

Designada por Orden del Ministerio de Industria y Energía, de 26 de febrero de 1986, de acuerdo con el Real Decreto 1614/1985, como entidad para desarrollar las actividades de N+C, fue reconocida como Organismo de Normalización y para actuar como Entidad de Certificación por el Real Decreto 2200/1995, en desarrollo de la Ley 21/1992, de Industria.

En 1996 fue acreditada por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) como Organismo de Certificación de sistemas de la calidad y sistemas medioambientales, verificación medioambiental y sistemas de la calidad QS9000 para el sector de automoción.

Entre los objetivos que marcan los Estatutos de la Asociación se encuentran:

- Desarrollar la normalización española, coordinándola con la llevada a cabo en los ámbitos europeos e internacionales.
- Fomentar y desarrollar las diversas modalidades de certificación de productos, servicios, personas y sistemas, incluyendo la certificación en el campo medioambiental.
- Promover la participación española en las organizaciones internacionales y regionales de N+C.
- Colaborar con las Administraciones Central y Autonómica para una mayor implantación de las actividades de N+C.

3. (LA NECESIDAD DE CERTIFICAR UN PRODUCTO DE CALIDAD)

Durante la última década se ha intentado definir de muchas formas la calidad. Algunas de las definiciones que se han dado son largas, complicadas y hasta rebuscadas. Quizás se pueda definir simplemente resaltando que un producto es de CALIDAD cuando cumple las expectativas del cliente. No es algo concreto. Lo que para una cliente puede ser un producto de calidad, para otro no lo es. Sin embargo, el grado de calidad alcanzado es lo que nos sitúa por encima o por debajo de nuestros competidores.

Reflexionando sobre las nuevas exigencias de los mercados que se abastecen de nuestras hortalizas, la agricultura almeriense está obligada a producir con calidad y si no producimos con calidad en el mercado hortícola actual, nuestros clientes dejarán de comprar nuestro producto e iremos perdiendo mercado. Es necesario, por tanto, asegurar la adecuación del producto a las necesidades del cliente y demostrar la calidad de nuestros productos hortofrutícolas de manera objetiva mediante la certificación.

Para vender Calidad, lo primero es TENER CALIDAD. Para demostrar la Calidad, lo mejor es CERTIFICARLA.

Certificar un producto es verificar que sus propiedades y características están de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas que le corresponden. La certificación la llevan a cabo organismos especializados, evaluando los medios de producción y ensayando los productos para determinar su conformidad con esas normas. Cuando

AENOR emite un Certificado de producto, está emitiendo un documento de alto valor en el mercado por su reconocido prestigio.

3.1. (Razones por las que se deben certificar los productos)

- El producto certificado da mayor confianza y permite además identificar los productos que han sido ensayados y controlados conforme a las normas nacionales, europeas e internacionales.
- Proporciona un valor añadido al producto.
- Se gana competitividad.
- Protege contra la competencia desleal.
- Permite comparar ofertas.
- Hace más fácil y segura la elección al cliente.
- Facilita la venta de productos, al poder hacer mejor publicidad de ellos.
- Facilita la introducción de los productos en nuevos mercados.

3.2. (Beneficios de la certificación)

La implantación de un sistema de control definido, normalizado y certificado de un producto de calidad supone una serie de ventajas para:

■ **el productor**, porque obtiene un producto garantizado y con mayor valor añadido. La reducción de “inputs” permitirá ahorro de costes en la explotación y una gestión técnica de la explotación, basada en buenas prácticas agrícolas que será llevada a cabo por personal formado.

■ **el consumidor**, se le garantiza un producto saludable, mediante la reducción de los residuos de productos fitosanitarios en el producto que se consume y un control independiente de todo el proceso productivo.

■ **la sociedad**, se garantiza la contribución del sector al bienestar general. Se reduce el empleo de insumos químicos y se favorece el control integrado, además se consigue que la empresa realice una gestión eficaz de los residuos sólidos generados y se garantiza el respeto al medio ambiente.

Se puede afirmar que ahora mismo se acometen Programas de Control Integrado (IPM) para afrontar este futuro que ya es presente con un profundo conocimiento de la situación actual y futuro probable en el control de plagas agrícolas, contrastando la situación española con la de los países de la UE y EE.UU. sin olvidar que la mayoría de los primeros son nuestros principales clientes de la producción hortofrutícola, en Andalucía y en concreto en Almería.

4. (LA SERIE DE NORMAS UNE 155 001 “PRODUCCIÓN CONTROLADA DE CULTIVOS. HORTALIZAS PARA CONSUMO EN FRESCO”)

A lo largo de este epígrafe se explica de una manera sencilla y comprensible tanto los requisitos del sistema como los contenidos y proceso de certificación.



4.1. (Objeto y campo de actividad]

El objeto de esta serie de normas españolas UNE 155001 es realizar la normalización de las frutas y hortalizas no transformadas, destinadas al consumo en su estado natural, en sus aspectos de:

- Terminología,
- Sistemas de producción y obtención,
- Muestreo y métodos de ensayo,
- Especificaciones de producto,
- Condiciones de seguridad, manipulación, transporte y almacenamiento,
- Envasado y etiquetado.

Se excluyen del ámbito de esta norma los productos resultantes de la transformación de frutas y hortalizas.

Para llegar a ser norma española, se formó en AENOR el Comité Técnico de Normalización (CTN) 155, encargado de realizar las normas a partir del borrador facilitado por la representación del sector productor de Almería. En este comité se procuró que estuvieran integradas todas las partes interesadas, quedando la composición de este comité de la siguiente manera:

■ **Productores:** Alicante, Almería, Canarias, Murcia, ASAJA, CCAE, COAG, FEPEX, UPA.

■ **Administración central:**

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Ministerio de Sanidad y Consumo
- Ministerio de Economía y Hacienda

■ **Administraciones autonómicas:** Andalucía, Canarias, Cataluña, Extremadura, Murcia, Valencia.

■ **Laboratorios**

■ **Consumidores:** Asociación Nacional Medianas y Pequeñas Empresas de Distribución, EUREP, Cadenas de supermercados, etc.

■ **AENOR:** División de Normalización, División de Certificación.

El objeto de invitar a las cadenas de distribución y de supermercados a participar en el Comité es adecuar el producto a las necesidades del cliente mediante una relación directa y constante con el mismo a la vez que agiliza el proceso de mejora continua de la norma. La serie de normas UNE 155 001 está constituida por una primera parte que establece los Requisitos Generales aplicables a todos los cultivos y una norma específica para cada uno de los doce productos actualmente contemplados (tomate, pimiento, pepino, judía verde, calabacín, berenjena, melón, sandía, col china, lechuga, brócoli y fresa).

4.2. (Objetivos de esta norma]

Esta norma debe entenderse como un PRIMER PASO para determinar un sistema

de producción hortícola que denominaremos “producción controlada de cultivos”.

Es un primer paso suficiente para garantizar los TRES OBJETIVOS básicos que persigue el cumplimiento de esta serie de normas:

- La protección del consumidor
 - El respeto medioambiental
 - La seguridad y salud de los productores
- } **Calidad**

Herramientas para garantizar la protección de los consumidores

▲ Control de residuos de materias activas. Cada empresa debe contar con un sistema de autocontrol para garantizar que no se sobrepasan los LMR fijados en los productos hortícolas comercializables.

▲ Control de origen. La empresa debe establecer los medios necesarios para garantizar la separación de los productos amparados por esta norma de otros de origen no controlado.

- ▲ Toma de muestras en cualquier momento
- ▲ Implantación del Sistema APPCC en central hortofrutícola.

Control del impacto ambiental

▲ Material de cubierta:

- Reciclable
- PVC no está permitido
- Eliminación correcta del material de cubierta

▲ Estructura básica para riego localizado de alta frecuencia y para fertirrigación

▲ Desinfección de suelos

- No se permite la utilización de bromuro de metilo
- Se recomiendan los métodos no químicos
- Se recomienda la solarización

▲ Tratamientos fitosanitarios

- Se recomiendan los métodos culturales, biológicos y cualquier otro método respetuoso con el medio ambiente y se puntúan positivamente.
- Los métodos químicos de control sólo se permiten bajo los “criterios de intervención”.
- El número de productos químicos permitidos es limitado favoreciendo el uso de productos que minimicen el riesgo de aparición de resistencias, con baja toxicidad y ecotoxicidad.

▲ Eliminación controlada de los envases de productos químicos

▲ Gestión de los residuos de los cultivos

▲ Medidas preventivas contra derrames accidentales



■ Protección del productor

- ▲ Equipo adecuado de protección personal usado durante la aplicación de productos fitosanitarios
- ▲ Lugar de almacenamiento de los productos fitosanitarios adecuado, cerrado bajo llave, con ventilación suficiente y correctamente señalizado.
- ▲ Señalización de seguridad

4.3. (Actividad futura]

■ Capítulos de la norma UNE que necesitan más desarrollo

- Control del origen de los productos
- Actividad postrecolección

■ Extensión del sistema (N+C) a otros productos:

■ Publicación de la norma UNE 155001 y sus partes en inglés, francés y alemán.

5. (CONTENIDOS DE LA UNE 155001-1. REQUISITOS GENERALES]

5.1. (Objeto y campo de aplicación]

Esta parte de la Norma UNE 155001 establece los requisitos generales de un sistema de producción controlada de hortalizas cuyo destino principal es el consumo en fresco.

El sistema establece recomendaciones y requisitos para cada fase del proceso.

La norma no contempla por el momento ninguna obligación ni recomendación sobre las categorías, la clasificación por el tamaño o el color y la presentación, embalaje y etiquetado de los productos hortícolas en cuestión.

5.2. (Definiciones]

Existen algunos términos con un significado específico en el contexto de la norma que conviene definir antes de entrar a estudiarla.

- **Hortaliza:** Toda planta perteneciente a las especies consideradas bajo ese nombre en la legislación vigente. Este concepto abarca al de las especies olerícolas: plantas, usualmente anuales y de porte herbáceo, de interés alimenticio, y que se cultivan por sus frutos, sus raíces y/o sus tubérculos, sus bulbos, sus tallos, sus hojas, sus inflorescencias, o sus semillas. En consecuencia, dentro de esta definición se consideran incluidos el melón y la sandía.

- **Producción controlada:** Sistema de producción agrario resultante de la observancia de todos los requisitos contenidos en las partes de esta Norma UNE, que sean de aplicación al cultivo concreto.

- **Cultivo protegido:** cultivo que se desarrolla en el interior de una estructura vi-

sitable, con cimentaciones, que sirve de soporte y sujección a una cubierta de material translúcido.

- **Recomendación:** Todo aspecto de aplicación deseable que contribuye a mejorar la práctica agrícola de este sistema pero cuya observancia no es obligatoria, y que no es exigible en caso de certificación.

- **Requisito:** Todo aspecto expresado en términos de obligatoriedad o prohibición cuya observancia es inexcusable para la conformidad con esta norma y es exigible en caso de certificación.

- **Técnico responsable:** Persona con cualificación técnica designada por la empresa para responsabilizarse de los aspectos técnicos recogidos en esta parte de la Norma UNE 155001 o en cualquiera de sus partes.

- **Titular de la explotación:** Persona física o jurídica que ejerce la actividad agraria organizando los bienes y derechos integrantes de la explotación con criterios empresariales y asumiendo los riesgos y responsabilidades civil, social y fiscal que pueden derivarse de la gestión de la explotación.

- **Unidad de Cultivo con Tratamiento Homogéneo (UCTH):** Superficie de cultivo, donde se realiza el mismo tipo de cultivo, con la misma variedad y prácticas de cultivo similares. En caso de cultivos protegidos la UCTH se encontrará dentro de un mismo recinto delimitado bajo un mismo tipo de protección.

- **Parcela:** Unidad diferenciada de suelo, con o sin construcción, en terreno rústico, que presenta una continuidad espacial constituyendo un recinto delimitado por una finca perimetral continua que pertenece a un sólo titular catastral.

- **Criterios de intervención:** Criterios a seguir para determinar si procede o no llevar a la práctica un tratamiento fitosanitario.

- **Cuaderno de explotación:** Documento por unidad de cultivo con tratamiento homogéneo donde ésta queda identificada y en el que se recogen los datos del cultivo, las operaciones efectuadas sobre el cultivo y las instrucciones dadas por el técnico responsable, en todos los casos en que así lo estipule(n) la(s) parte(s) correspondiente(s) de esta Norma UNE.

- **Producto hortícola “baby” o “Bebé”:** Los así conocidos comercialmente.

- **Producto hortícola “mini”:** Los así conocidos comercialmente.

5.3. (Formación necesaria)

El personal afectado por la norma (titulares de la explotación, técnicos responsables y personal de almacén) deben recibir un curso el primer año de entrada en el sistema y eventualmente cuando se produzcan modificaciones. Este curso de formación debe ser impartido por personal cualificado y se centra sobre los requisitos y recomendaciones de la Norma de AENOR para practicar una agricultura respetuosa con el medio ambiente, con el consumidor y segura para el productor. La duración del mismo está estipulada en



un mínimo de 12 horas para los técnicos responsables siendo responsabilidad de la empresa peticionaria / licenciataria determinar la duración del curso a impartir al resto de implicados. En cualquier caso se recomienda que la duración no sea inferior a 8 horas. Además la persona que manipule los productos fitosanitarios debe estar en posesión del carné de aplicador de plaguicidas tal y como lo establece la legislación autonómica.

5.4. (**Condicionantes del suelo**)

Las hortalizas se podrán cultivar en suelo o bien en sustrato. No obstante se recomienda el empleo de sustratos reciclables y no se debe emplear turba como sustrato del cultivo. En nuevas explotaciones el productor deberá justificar la adecuación del terreno al mismo y una evaluación ambiental de las consecuencias.

5.5. (**Condiciones climáticas**)

Se recomienda medir la temperatura y la humedad ambiental durante el cultivo. Así mismo, el titular de la explotación intentará que las plantas cultivadas bajo protección se encuentren en las condiciones de humedad, temperatura, y radiación solar incidente lo más cercanas que sea posible a sus óptimos biológicos.

5.6. (**Instalaciones y equipos**)

■ **Instalaciones**

▲ **Cubierta:** se recomienda que el material de cubierta sea reciclable. Como restricción en este apartado figura la obligación de eliminar los restos de la cubierta siguiendo la normativa medio ambiental vigente en cada zona geográfica.

▲ **Sistema de riego:** como instalación de un sistema de riego, toda finca debe tener una estructura básica para el riego localizado de alta frecuencia y para fertirrigación, que debe funcionar correctamente.

▲ **Lugar de almacenamiento de productos fitosanitarios:** los productos fitosanitarios deben guardarse en un lugar cerrado con llave que disponga de la iluminación suficiente, ventilación permanente, debidamente señalizado, con medios para retener posibles derrames accidentales de productos peligrosos y con medios de lucha contra incendios.

■ **Equipos**

▲ **Equipos para tratamientos fitosanitarios:** se debe tener el equipo de pulverización para los tratamientos en buen estado de funcionamiento. Los equipos una vez usados no deben contener restos de tratamiento y deben estar limpios. Al menos una vez al año se debe realizar un verificación para comprobar el buen funcionamiento de los mismos.

▲ **Equipo de protección:** el agricultor debe emplear un equipo adecuado de protección personal, de acuerdo con la normativa sobre seguridad y salud en el trabajo relativa a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual según el Real Decreto 773/1997.

▲ **Medidor de temperatura y humedad relativa:** es recomendable tener instalado en el interior de la protección medidores de temperatura y humedad relativa de la atmósfera de la misma. Asimismo se recomienda disponer de medidores de la humedad del suelo.

▲ Los equipos de fertilización deberán estar en correcto estado de funcionamiento y sometidos a un plan de verificación, al menos, anual.

■ Señalización de seguridad

▲ Es obligatorio señalar la localización de los productos tóxicos, la prohibición del acceso a los mismos, los puntos de agua para enjuagarse en casos urgentes y la obligatoriedad del empleo del traje de protección.

▲ Deben existir en el almacén de productos fitosanitarios las normas de actuación en caso de intoxicación y los números de teléfono de emergencia de forma accesible y que se puedan leer fácilmente.

▲ Se utilizarán las señalizaciones previstas en el Real Decreto 485/97, de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

■ Personal

▲ Todo el personal de campo debe informar a sus superiores en caso de estar afectado por alguna enfermedad infecciosa.

▲ Deben tener acceso a servicios cerca de las parcelas de trabajo.

5.7. (Material vegetal)

■ Semillas y Plantas

Toda la semilla empleada debe ser, como mínimo, “Semilla estándar”. Se recomienda desechar, antes de plantar, aquellas plántulas que presenten síntomas de enfermedad o desarrollo anormal que indiquen un futuro desarrollo vegetativo anómalo en el cultivo. Asimismo se recomienda el uso de variedades resistentes o tolerantes a los principales problemas de la zona.

Sólo deben emplearse plantas procedentes de semilleros autorizados y con el correspondiente pasaporte fitosanitarios.

En este punto existe mención a las variedades transgénicas. Dichas variedades podrán ser utilizados siempre y cuando la legislación lo permita.

5.8. (Operaciones propias del cultivo)

■ Operaciones previas al cultivo

▲ **Levantamiento o arranque y eliminación del cultivo anterior:** una vez retirados los restos vegetales del interior del invernadero se deben retirar en un plazo máximo de siete días, salvo que estén dentro de contenedores con tapa u otro medio de aislamiento.



Finalmente el titular de la explotación debe conducir los restos vegetales a un vertedero autorizado, salvo que la normativa medioambiental vigente en la zona geográfica en cuestión permita un tratamiento distinto de los mismos.

▲ **Preparación del terreno:** es recomendable nivelar el suelo para tratar de evitar el riesgo de encharcamiento. Es obligatorio eliminar las malas hierbas dentro del invernadero y en los alrededores del mismo (1,5 metros) a los 30 días de la nascencia como máximo.

▲ **Desinfección de suelos:** en el caso de enarenados, se recomienda una solarización física ó una aplicación de vapor de agua para la desinfección del suelo, nunca se aconseja métodos de desinfección química. Se prohíbe la utilización de Bromuro de Metilo en las explotaciones.

▲ **Desinfección de la estructura de la protección:** es recomendable desinfectar la estructura, cubierta y malla de los invernaderos.

■ Operaciones durante el cultivo

▲ **Podas:** se recomienda ajustar la poda a los marcos de plantación, precocidad, características de la variedad y época de plantación. Los restos de poda deben sacarse del invernadero antes de que transcurran 7 días desde la realización de la poda y fuera de la protección está prohibido dejar de restos de podas abandonados durante más de tres días, salvo que estén dentro de contenedores con tapa u otro medio de aislamiento (lámina de plástico). Los restos de podas finalmente deben ser llevados a un vertedero autorizado, salvo que la normativa medioambiental vigente en la zona geográfica en cuestión permita un tratamiento distinto de los mismos.

▲ **Polinización:** el empleo de insectos polinizadores o el uso de medios mecánicos (vibración o chorros de aire) es aconsejable en aquellos cultivos que lo precisen. Queda prohibido el empleo de fitoreguladores empleados para favorecer el cuajado de los frutos, en todos los cultivos excepto para el calabacín.

▲ **Deshojado:** está prohibido la utilización de fungicidas que no vengán recogidos para cada cultivo en su norma particular. Fuera de la protección está prohibido dejar restos de deshojados abandonados durante más de tres días, salvo que estén dentro de contenedores con tapa u otro medio de aislamiento (lámina de plástico). Finalmente los restos de deshojados tendrán el mismo destino que los restos de poda.

▲ **Aclareo de frutos:** pretende dejar en cada inflorescencia el nº óptimo de frutos para su desarrollo. Se prohíbe tirar frutos al suelo durante el aclareo y que haya frutos caídos en el suelo del invernadero, excepto cuando se hallan caído por incidencias mecánicas ó por mal tiempo existiendo un plazo de 7 días para recogerlos en este caso. Finalmente los restos del aclareo de frutos tendrán el mismo destino que los restos de poda.

■ Operaciones periódicas

▲ Fertilización:

• **Programa y seguimiento:** Se recomienda que el técnico responsable programe la fertilización ó abonado y seguir siempre las instrucciones de este. Es obligatorio que en el cuaderno de explotación aparezcan reflejadas y registradas las cantidades de fertilizantes que se hayan ido aportando recomendadas por el técnico. La norma en este

apartado recomienda y obliga en algunos casos a una serie de análisis ya sea en cultivo en suelo como en hidropónico, que se resumen en el siguiente cuadro:

Análisis	Suelo	Hidropónico
Requisito	Extracto saturado o foliar (1 por cultivo)	Solución de drenaje (1/2 al mes)
Recomendación	Suelo + extracto saturado (antes de la plantación) Extracto saturado o foliar (más de 1 por cultivo)	Solución nutritiva (1 al mes)

- **Abonos orgánicos:** es obligatorio la aplicación de enmiendas orgánicas para mantener el nivel de materia orgánica en la zona radicular de aquél por encima del 0,5%.

- **Abonos minerales:** es recomendable dosificar el abonado en función de los diversos análisis realizados, así como emplear abonos cálcicos cuando el agua tiene desequilibrios salinos.

▲ Irrigación:

- **Calidad de agua:** Es obligatorio analizar el agua de riego disponible para la finca al menos una vez al año. Si se sospecha una excesiva concentración de Boro en el agua de riego disponible, es recomendable incluir la determinación analítica de la misma en los análisis físico - químicos de ésta. Se prohíbe utilizar aguas fecales, salvo que se haga un control microbiológico continuado de las mismas que garantice que no superan los límites máximos autorizados o recomendados.

- **Frecuencia y volumen:** Es obligatorio que el técnico responsable recete por escrito las dosis de riego y frecuencia durante el cultivo, quedando también reflejados los caudales de agua suministrados.

■ Manejo fitosanitario del cultivo

Como primera obligación se encuentra el retirar plantas con signos de enfermedades y plagas que impiden su desarrollo normal. Las plantas retiradas por enfermedad deberán ser sacadas del invernadero inmediatamente y llevarlas donde las autoridades tienen destinado. No se permite dejar estos restos vegetales fuera del invernadero abandonados. Se aconseja favorecer la fauna auxiliar autóctona y realizar sueltas de fauna auxiliar con las indicaciones del técnico. En este punto se intenta favorecer la aproximación a la lucha biológica e integrada.

Antes de cualquier tratamiento se debe realizar observaciones periódicas para determinar el riesgo de un ataque de una plaga y dar prioridad al empleo de los métodos de control más respetuosos con el medio ambiente, incluyendo métodos culturales y biológicos, restringiendo el uso de productos tóxicos.

En los tratamientos fitosanitarios, a excepción de los que se llevan a cabo para el control de malas hierbas o para la desinfección de los suelos, sustratos y elementos estructurales de las protecciones, sólo se deben utilizar las materias activas que se especifican en las normas específicas.



La aplicación de medidas directas de control químico se deben llevar a cabo siguiendo los “Criterios de intervención” que se especifican y, en cualquier caso, las recomendaciones del técnico responsable. Se recomienda que en la elección de los productos fitosanitarios se tenga en cuenta su selectividad, eficacia, riesgo existente de aparición de poblaciones de parásitos resistentes, persistencia, toxicidad, residuos y, en general, el impacto en el medio ambiente.

En la siguiente tabla se resume todos los plazos de tiempo y el destino final que la norma establece para la retirada de toda clase de restos vegetales:

Retirada restos	Dentro de la protección	Fuera protección (sin aislamiento)	Destino final
Cultivo anterior	NP	3 días	Vertedero / Legislación vigente
Podas	7 días	3 días	Vertedero / Legislación vigente
Deshojados	7 días	3 días	Vertedero / Legislación vigente
Aclareo de frutos	No tirar al suelo 7 días máximo	3 días	Vertedero / Legislación vigente
Síntomas o signos de enfermedad	Recomendable no compostar. Eliminación inmediata	3 días Enfermedades víricas: 0 días	Vertedero / Legislación vigente

5.9. (Gestión de residuos sólidos]

Los residuos sólidos deben ser gestionados adecuadamente. Aquellos catalogados como residuos peligrosos (envases vacíos de fitosanitarios, productos caducados, etc.) deben ser recogidos por un gestor autorizado por la Comunidad Autónoma.

5.10. (Recolección]

No se debe recolectar antes de que el fruto haya iniciado en campo el proceso de maduración comercial según la legislación vigente para cada cultivo (excepto aquellas hortalizas como los pepinillos, algunos productos “baby” o “mini” y similares). En el caso de la col china, la recolección debe hacerse antes de que se inicie un engrosamiento indeseable del tallo floral.

5.11. (Cuaderno de explotación]

El cuaderno de explotación es el documento que recoge datos generales (identificación de la empresa, propietario, unidad de cultivo, etc.), datos del cultivo, las instrucciones técnicas sobre tratamientos fitosanitarios, culturales y biológicos, instrucciones de fertilización y riegos dadas por el técnico responsable y la ejecución de las mismas por parte del productor. Es obligatorio que exista un cuaderno de explotación por unidad de cultivo con tratamiento homogéneo estando disponible en todo momento en

la explotación ya sea en soporte informático o en soporte papel, acompañados de los albaranes correspondientes, en los que se recoja la firma del técnico responsable y del productor.

El técnico responsable debe realizar al menos dos anotaciones por mes durante el periodo de cultivo, registrando correctamente todos los tratamientos químicos y las prácticas de cultivo más importantes.

El productor debe anotar cualquier otra operación sobre el cultivo importante sin la instrucción de su técnico y conservar junto al cuaderno los análisis de agua, suelo, foliar.

5.12. (Central hortofrutícola]

Como ya se ha comentado la Norma UNE 155001 en su revisión del 2001 no sólo se centra en requisitos de campo sino que abarca la central hortofrutícola garantizando que el producto envasado llega al lugar de destino con un alto nivel de calidad.

Para ello las empresas deben:

■ Implantar un Sistema de control de calidad tanto de producto entrante como de producto ya envasado y listo para comercializar. De esta manera se asegura el cumplimiento de los requisitos del cliente en cuanto a envasado y calidad comercial.

■ Elaboración e implantación de un Sistema APPCC de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (en inglés HACCP): Este sistema trata de minimizar y, en su caso, eliminar los riesgos físicos químicos y microbiológicos referentes al producto a lo largo del proceso de manipulación y envasado. Deberá contar con al menos:

- Un Plan de Limpieza y Desinfección (Plan LD): Identificando las zonas de la nave, maquinaria, utensilios, residuos, etc. estableciendo la periodicidad de limpieza, indicando los productos a usar y definiendo responsabilidades.
- Un Plan de Desinsectación y Desratización: (Plan DD): Este Plan debe ser llevado a cabo por una empresa autorizada por el organismo correspondiente.

■ Se deberá impartir formación adecuada al personal de almacén y en especial a las/los manipuladoras/es en cuanto a la Guía de Buenas Prácticas de Higiene y Manipulado. Se colocarán carteles en lugar visible que recuerden estas normas.

5.13. (Operaciones de postrecolección y comercialización]

■ Control de residuos

Se prohíbe la presencia de residuos de las materias activas en las hortalizas recolectadas, preparadas para su comercialización y antes de su venta, que sobrepase el Límite Máximo de Residuos.

Es obligatorio que cada empresa cuente con un sistema de autocontrol para garantizar que no se sobrepasan los mencionados límites de residuos de productos fitosanitarios en los productos hortícolas comercializables. El sistema deberá contar con un protocolo detallado donde se especifique el tipo, número de análisis que van a llevarse



a cabo y la periodicidad de los mismo. La revisión a la baja por la Administración competente, de los LMR de las materias activas permitidas en esta norma UNE y sus partes, se incorporará automáticamente a la misma.

Las nuevas incorporaciones al Registro de Productos Fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, quedan así mismo incorporadas en esta norma UNE y sus partes con los LMR correspondientes de manera inmediata y con carácter de “aconsejados”. Estos productos fitosanitarios de nueva aprobación no deberán contener en ningún caso materias activas no permitidas en esta norma UNE o sus partes a menos que dichas materias activas hayan sido aprobadas por la Administración competente para uso en los cultivos hortícolas con posterioridad a la publicación de esta norma y sus partes.

■ Control de origen

Durante las operaciones de postrecolección y hasta la comercialización del producto, la empresa debe establecer los medios necesarios para garantizar la separación de los productos de origen controlado de otros de origen no controlado.

5.14. (Reclamaciones de clientes)

Las empresas deben contar con un sistema de reclamación de clientes en el cuál queden perfectamente identificadas las responsabilidades en cuanto a tratamiento y registro de las reclamaciones. Al menos se debe contar con una hoja de reclamaciones disponible y conocida por todos los clientes.

Los registros de las reclamaciones así como de su tratamiento deben ser registrados y presentados al auditor.

5.15. (Protección medioambiental)

Cualquier sistema de certificación debe partir del cumplimiento de la legislación aplicable. En materia ambiental la norma exige que se gestionen adecuadamente todos los residuos comenzando con un sistema de recogida selectiva, siguiendo con un almacenaje en condiciones adecuadas y terminando con la entrega de los mismos a un gestor autorizado. Asimismo se obliga a optimizar en la medida de lo posible el uso del agua y de la energía.

5.16. (Métodos de análisis)

La norma establece los contenidos mínimos que deben constar en los diferentes análisis que se recomienda o se requiere. En la siguiente tabla se hace constar las diferentes determinaciones analíticas de cada análisis:

Suelo	Hidropónico	Agua
S1 : Extracto Saturado	H1: Solución Nutritiva	A1: Físico - químico
S2 : Suelo	H2 : Solución Drenaje	A2: ARU depuradas
S3 : Foliar		

S1 = pH, CE, PS, SAR, SO₄, NO₃, Cl, Na, K, Ca, Mg

S2 = S1 + MO, CO₃, PO₄ y Na, K, Ca, Mg cambiables

S3 = N, PO₄, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, B

H1 = pH, CE, CO₃, CO₃H, SO₄, NO₃, Cl, PO₄, NH₄, Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, B

H2 = H1

A1 = pH, CE, Dureza, SAR, CO_x, SO₄, NO₃, Cl, Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn.

A2 = DBO, DQO, Sólidos totales suspensión, *Escherichia coli*.

6. (UNE 155 001 : REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA CADA CULTIVO)

6.1. (Estructuras de las normas específicas.

- Objeto y Campo de aplicación
- Normas para consulta
- Definiciones
- Formación
- Condicionantes del suelo (*)
- Condiciones climáticas (*)
- Instalaciones y equipos (*)
- Material vegetal (*)
- Operaciones propias de cultivo (*)
- Recolección (*)
- Operaciones Posterecolección y Comercialización
- Cuaderno de Explotación (*)
- Métodos de Análisis (*)
- Anexo A (Normativo) Criterios de intervención y medidas de control de plagas y enfermedades
- Anexo B (Normativo) Límites máximos de residuos permitidos

(*) ASPECTOS COINCIDENTES CON LA NORMA UNE 155001-1

• Definiciones

▲ **Materia activa fitosanitaria aconsejada:** materia activa fitosanitaria que será utilizada como de primera opción en el caso de aplicación de un medio de control químico en el manejo fitosanitario del cultivo.

6.2. (Recolección]

Los productos hortícolas deberán presentar un desarrollo y un estado tales que permitan resistir el transporte y la manipulación y llegar en condiciones satisfactorias al lugar de destino. En el caso del Melón hay que añadir que su madurez vendrá determinada por el índice refractométrico de la pulpa que deberá ser igual o superior al 8% medido en la zona media de la pulpa del fruto y en el plano ecuatorial



6.3. (Control de plagas]

▲ **Criterios de intervención:** control químico cuando se observe presencia de la plaga, de acuerdo con lo especificado para cada clase de plaga en cada una de las normas.

▲ **Medidas de control culturales:** trampas adhesivas para plagas susceptibles de estas. Se recomienda que se coloquen desde el transplante en el interior de la parcela. Es recomendable su revisión periódica y sustitución cuando las poblaciones capturadas sean altas.

▲ **Medidas de control biológicas:** se recogen una serie de medidas de control biológico para favorecer la fauna auxiliar autóctona y la suelta de productos biológicos comercializados específicos de la plaga en cada una de las normas.

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:** se recogen una reducción importante en el número materias activas fitosanitarias que se pueden emplear, lo que garantiza una reducción de los residuos encontrados en los productos hortícolas que llegan a los consumidores.

Ejemplos:

▲ Tomate

■ Mosca blanca:

▲ **Criterios de intervención:** control químico cuando se observe presencia de la plaga en al menos un 15% de las plantas.

▲ **Medidas de control culturales:** trampas adhesivas.

▲ **Medidas de control biológicas:**

- Autóctonos: *Encarsia (formosa, transvena, lutea, y tricolor)*, *Eretmocerus mundus*, *Cyrtopeltis tenuis*, *Macrolophus caliginosus*, *Diglyphus (tamaninii y errans)*.
- Comercializados: *Encarsia formosa*, *Erectmocerus (eremicus y mundus)*, *Macrolophus caliginosus* y *Beauveria Bassiana*.

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:**

- Aconsejadas: Buprofezín, Teflubenzuron, Tralometrina, Piriproxifen, Deltametrín, Bifentrín, Azadiractín, Pimetrocina, Fenpropatrín, Tiametoxan.

▲ Melón

■ Orugas:

▲ **Criterios de intervención:** control químico al observar la presencia de la plaga en al menos un 5% de las plantas.

▲ **Medidas de control cultural:** se recomienda, no como medida específica de control, sino como medio adicional para comprobar la identidad de las especies y su relativa importancia, la colocación de trampas de luz, o específicas de feromonas, en el interior de la parcela. Se debe asegurar la mayor hermeticidad posible de la parcela.

▲ **Medidas de control biológicas:**

- Autóctonos: virus de la poliedrosis nuclear, *Sinophorus sp.* *Hyposoter didymator*, *Bacillus thuringiensis*.

- Comercializados: *Bacillus thuringiensis*, *Cotesia marginiventris*.

▲ Medidas de control químicas. Materias activas:

- Aconsejadas: Lambda cihalotrin, Deltametrín, Endosulfan, Metomilo.

▲ Pimiento

■ Trips:

- ▲ **Criterios de intervención:** control químico cuando se observe presencia de la plaga.

▲ **Medidas de control culturales:** trampas adhesivas. En el momento en que aparezcan las primeras plantas con virus del bronceado, colocar otras trampas distribuidas de forma uniforme por toda la parcela. Es recomendable su revisión periódica y su sustitución cuando las poblaciones capturadas sean altas.

▲ Medidas de control biológicas:

- Autóctonos: *Orius albidipennis*, *Orius laevigatus*, *Orius (mayusculus y niger)*, *Amblyseius barkeri*, *Amblyseius cucumeris*, *Aeolothrips (intermedius y tenuicornis)*, *Ceranisus (menes y lepidotus)*.
- Comercializados: *Amblyseius cucumeris*, *Orius laevigatus* *Orius albidipennis*.

▲ Medidas de control químicas. Materias activas:

- Aconsejadas: Acrinatrin, Deltametrín, Azadiractín, Lufenuron, Spinosad.

6.4. (Control de enfermedades producidas por hongos)

▲ **Criterios de intervención:** control químico de carácter preventivo, según criterio del técnico responsable en base a condiciones climatológicas y estado de desarrollo de la planta. Con carácter preventivo sólo podrán utilizarse materias químicas recomendadas. Se recomienda alternar materias químicas con diferente mecanismo de acción sobre cada tipo de hongo.

▲ **Medidas de control culturales:** será prioritario el empleo de variedades resistentes a dicha enfermedad. Uso de Variedades resistentes, para aquella enfermedad que se especifique en cada una de las partes de la norma.

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:** se recogen una reducción importante en el número materias activas fitosanitarias que se pueden emplear, lo que garantiza una reducción de los residuos encontrados en los productos hortícolas que llegan a los consumidores.

Ejemplos:

▲ Tomate

■ Enfermedades vasculares: *fusarium*:

▲ **Criterios de intervención:** control químico localizado al observar las primeras plantas con síntomas y generalizado cuando se observen síntomas en al menos un 20% de las plantas.



▲ Medidas de control culturales: será prioritario el empleo de variedades resistentes a dicha enfermedad.

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:**

- Aconsejadas: Propamocarb, Procloraz, Benomilo, Polioxina-B, Quinosol.

▲ **Melón**

■ **Mildiu:**

▲ **Criterios de intervención:** control químico de carácter preventivo, según criterio del técnico responsable, en base a condiciones climatológicas y estado de desarrollo de la planta. Con carácter preventivo sólo podrán utilizarse materias químicas recomendadas. Se recomienda alternar materias químicas con diferente mecanismo de acción sobre el hongo.

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:**

- Aconsejadas: Azoxystrobin, Cimoxanilo, Clortalonil, Propamocarb, Fosetil-Al, Oxa-dixil, Ditiocarbamatos, Dimetomorf, Benlaxil, Folpet, Ofurace.

▲ **Pimiento**

■ **Necrosis radicular: *Pythium*, *Phytophthoeda*:**

▲ **Criterios de intervención:** control químico localizado al observar las primeras plantas con síntomas y generalizado cuando se observen síntomas en al menos un 20% de las plantas.

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:**

- Aconsejadas: Propamocarb, Polioxina-B, Flutolanil.

6.5. **(Control de enfermedades producidas por bacterias)**

▲ **Criterios de intervención:** control químico ante la presencia de síntomas y/o de condiciones ambientales favorables (en especial elevada humedad relativa), de exceso de agua en el suelo y de alto abonado nitrogenado.

Ejemplos:

▲ **Tomate**

■ **Bacteriosis:**

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:**

- Aconsejadas: Compuestos de Cobre, Kasugamicina.

▲ **Melón**

■ **Podredumbre blanda / mancha angular de las cucurbitáceas / bacteriosis:**

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:**

- Aconsejadas: compuestos de cobre.

▲ Pimiento

■ **Mancha bacteriana del tomate / Podredumbre blanda:**

▲ **Medidas de control químicas. Materias activas:**

- **Aconsejadas:** Compuestos de Cobre, Kasugamicina

6.6. (**Control de enfermedades producidas por virus**)

▲ **Transmisión:** existe un mecanismo específico de transmisión para cada tipo de Virus recogido en cada norma. Las transmisiones pueden ser (dependiendo del Virus) por: Mosca blanca, Trip, Pulgones, Hongos, Semilla, Contacto entre plantas y raíces, Restos de cultivos anteriores afectados, Mecánica (contacto): manos, herramientas, etc.

▲ **Medidas de control:** control del agente transmisor. Eliminación y destrucción de malas hierbas y plantas afectadas. Utilización de variedades resistentes. Desinfección de manos y herramientas.

Ejemplos:

▲ Tomate

■ **Bronceado del tomate (TSWV):**

▲ **Transmisión:** Trips: *Frankliniella occidentalis*.

▲ **Medidas de control:** control del agente transmisor. Eliminación de malas hierbas y plantas afectadas.

▲ Melón

■ **Mosaico amarillo del calabacín (ZYMV):**

▲ **Transmisión:** Pulgones: *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* y *Macrosiphum euphorbiae*. Todos ellos de forma no persistente.

▲ **Medidas de control:** control del agente transmisor. Eliminación y destrucción de plantas afectadas, poniendo especial cuidado en realizar esta operación en cuanto se observen las primeras plantas con síntomas. Desinfección de herramientas con fosfato trisódico o lejía.

▲ Pimiento

■ **Moteado suave del pimiento (PMMV):**

▲ **Transmisión:** semilla. Mecánica (contacto): manos, herramientas, etc. Contacto entre plantas (tallos y raíces). Restos de cultivos anteriores afectados.

▲ **Medidas de control:** utilización de variedades resistentes. Eliminación y destrucción de plantas afectadas.

6.7. (**Límite máximo de residuos permitidos**)

Al final de cada una de las partes de las normas específicas para cada cultivo se en-



cuentra un listado donde figuran todas las materias activas químicas autorizadas para el uso en ese cultivo, ya sean con carácter de aconsejadas o no. A su vez, vienen reflejados los LMR's en partes por millón (ppm) para cada una de las materias activas como tope máximo permitido a la hora de comercializar el producto según la legislación española y según la norma española UNE 155 001.

El límite máximo de residuos de la UNE es, en general, del 50% del LMR permitido en la legislación española aplicable. El siguiente cuadro comprende las materias activas autorizadas para cada cultivo ya sean aconsejadas como restringidas:

	Tom	Pim	Pep	Jud	Cal	Ber	Mel	Sand	Col	Lech	Bróc	Fres
Abamectina	X	X	X		X	X	X	X		X		X
Acefato										X		
Acrinatrin	X	X		X		X	X	X		X		X
Amitraz	X											
Azadiractin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Azoxystrobin	X	X	X		X	X	X	X				
Azufre	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Benalaxil	X	X					X	X		X		
Benomilo **	X		X		X	X	X			X		
Bifentrin	X	X		X			X	X				
Bromopropilato	X			X		X						
Bupirinato		X	X		X		X	X				X
Buprofecin	X	X	X	X	X		X	X				
Cadusafos	X	X		X		X	X	X				
Captan ***										X		X
Carbaril										X	X	
Carbendazima **	X		X		X	X						
Ciflutrin (isómeros)	X	X	X							X		
Cimoxanilo	X	X	X		X		X	X		X		
Cipermetrin (isómeros)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Ciproconazol	X	X	X		X		X	X				X
Ciprodinil	X	X	X	X	X	X				X		X
Ciromazina	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
Clorfenvifos											X	
Clortalonil	X	X	X			X	X	X				X
Clorpirifos												X
Cobre Inorgánico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Deltametrin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Diclofluanida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dietofencarb	X		X		X	X						
Difenoconazol	X									X		
Dimetomorf	X		X				X			X		
Dinocap	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
Ditianona										X		

	Tom	Pim	Pep	Jud	Cal	Ber	Mel	Sand	Col	Lech	Bróc	Fres
Ditiocarbamatos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Endosulfan	X	X					X	X				
Etiofencarb										X	X	
Etofenprox	X					X					X	
Etoprofos	X											
Etridiazol	X	X	X				X					
Famoxadone****	X											
Fenarimol	X	X	X		X		X	X				X
Fenbuconazol			X		X		X	X				
Fenbutaestan	X	X	X	X	X	X	X	X				
Fenhexamida												X
Fenitotrion										X		
Fenpiroximato												X
Fenpropatrin	X	X			X	X						
Flucitrinato											X	
Fludioxonil	X	X	X	X	X	X				X		X
Flufenoxuron	X	X	X	X		X		X		X		
Flutolanil		X		X								
Folpet ***	X					X	X			X		
Formetanato	X	X	X		X	X	X	X				X
Fosalon										X	X	
Fosetil-Al	X		X		X		X	X		X		X
Hexaconazol	X	X					X	X				
Hexaflumuron		X						X				
Hexitiazox			X		X		X	X				X
Himexazol	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Imidacloprid	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
Iprodiona	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Isofenfos										X	X	
Kasugamicina	X	X	X	X								X
Kresosim metil	X	X	X	X	X	X	X	X				
Lambda cihalotrin	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Lufenuron	X	X										
Malation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Metalaxil			X				X	X		X		X
Metalaxil-M	X	X	X							X		
Metil clorpirifos										X		X
Metil pirimifos	X	X	X				X				X	
Metil tiofanato **	X		X		X	X	X		X			
Metil- tolclofos										X		
Metomilo	X	X				X	X			X		
Miclobutanil	X	X	X		X	X	X	X				X
Naled										X	X	
Nuarimol	X	X	X		X		X	X				



	Tom	Pim	Pep	Jud	Cal	Ber	Mel	Sand	Col	Lech	Bróc	Fres
Ofurace	X						X	X		X		
Oxadixil	X		X		X		X	X		X		
Oxamilo	X	X	X		X	X	X	X				
Pencicuron				X						X		
Penconazol	X	X	X		X		X	X		X		X
Pimetrocina	X	X	X			X	X	X				
Piridaben	X	X	X	X	X	X	X	X				
Pirifenox	X	X				X						X
Pirimetanil	X	X	X	X		X				X		
Pirimicarb	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Piriproxifen	X	X	X		X	X						
Polioxina-B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Procimidona	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
Procloraz	X						X	X				
Propamocarb	X	X	X		X	X	X	X				
Propargita	X		X		X		X	X				
Propoxur											X	
Quinometionato	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Quinosol	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Quinoxifen							X					
Spinosad	X	X										
Tau Fluvalinato										X	X	
Tebuconazol	X	X	X	X	X	X						
Tebufenocida	X	X				X				X		
Tebufenpirad	X		X		X	X	X	X				X
Teflubenzuron	X	X	X			X						
Tetraconazol	X	X	X		X		X	X				
Tetradifon	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Tiabendazol											X	
Tiametoxan	X	X	X			X	X	X				
Tralometrina	X		X		X	X						
Triclorfon										X	X	
Triadimefon										X		
Triadimenol	X	X	X		X		X	X				
Tridemorf					X		X	X				
Triflumizol			X				X	X				
Vinclozolina										X		

7. (LA CERTIFICACIÓN AENOR DE HORTALIZAS)


La favorable acogida que está teniendo el sistema de certificación tanto a nivel de productor como entre los compradores en destino debido a las diversas homologaciones y la solicitud de desarrollar normas de producción y sistemas similares en otros productos hortícolas, ha hecho que la marca AENOR de producto certificado adquiera,

al igual que ocurre en los sectores industriales, un elevado valor comercial en el sector agrario y ahora mismo en el sector hortícola.

La puesta en marcha del programa de certificación AENOR de la calidad de las hortalizas en base a la serie de normas UNE 155 001 va ayudar a los productores a:

- Satisfacer las exigencias de la mayoría de sus clientes con un único sistema de producción, evitando así tener que adoptar diversos protocolos de cultivo derivados de las exigencias de los distintos clientes y reglamentaciones autonómicas.
- Mejorar la imagen de calidad y respeto al medio ambiente de los productos españoles en los mercados europeos.
- Reducir costes de producción y controles de clientes.
- Mejorar el control de sus efectivos productivos y medios de producción así como incrementar la confianza del cliente al obligar la norma a conservar registro de todas las operaciones de cultivo de importancia realizadas en cada parcela.

El desarrollo y certificación de productos y sistemas de cultivo similares a los definidos para las hortalizas no sólo suponen una ventaja competitiva para las empresas productoras, sino que también contribuyen a proteger la salud del consumidor y a preservar el medio ambiente, beneficiando así al conjunto de la sociedad.

La Marca AENOR  de Hortalizas para consumo en fresco, en adelante la Marca, es una marca de conformidad de este producto con la serie de normas UNE 155 001. En este apartado se va estudiar el funcionamiento del sistema de certificación según la serie de normas UNE 155 001 de AENOR para las hortalizas, así como los requerimientos que no están recogidos en la norma para conseguir la certificación del producto.

7.1. (Definiciones]

Además de las definiciones recogidas por la norma hay que considerar algunas otras cuando hablamos de certificación:

■ **Empresa peticionaria:** Empresa que solicita la certificación del o de los productos que suministra y su subsecuente inscripción en el registro de AENOR. Debe comercializar bajo su nombre, con una o varias marcas comerciales, los productos hortícolas objeto de certificación; contar, al menos, con un técnico responsable; tener establecida relación contractual con los productores; contar con un sistema de gestión centralizado; contar con un equipo directivo; realizar auditorias internas previamente a la solicitud.

■ **Empresa licenciataria:** empresa peticionaria a la que se le ha concedido el derecho de uso de la marca.

7.2. (Controles]

■ Controles iniciales y anuales de seguimiento

Estos controles se realizan en empresas peticionarias (visita inicial) y anualmente en las empresas licenciatarias (Visitas de seguimiento). Se trata de visitas exhaustivas en las cuáles se audita: El sistema de calidad de la empresa; La raíz cuarta de las UCTH; la raíz



cuadrada del número de centros y la misma proporción de los almacenes de fertilizantes y/o plaguicidas.

▲ Auditoría sistema de autocontrol:

Se auditará el sistema de autocontrol que la empresa debe de tener implantado antes de empezar a comercializar con la marca AENOR. Haciendo uso de la Marca, el titular asume un compromiso sobre la calidad de los productos certificados que comercializa. Esto supone que la empresa debe:

- Poseer o tener acceso a todos los medios de producción y de control necesarios para garantizar un contenido en residuos de productos fitosanitarios en las hortalizas recolectadas, preparadas para su comercialización y antes de la misma, inferior o igual al especificado como LMR en la norma.
- Contar con un sistema de autocontrol para garantizar que no se sobrepasan los mencionados límites de residuos. El sistema deberá contar con un protocolo detallado donde se especifique el número de análisis que van a llevarse a cabo y la periodicidad de los mismos.
- Conservar los registros de los resultados de este autocontrol y ponerlos a disposición del personal auditor de AENOR.

▲ Auditoría sistema de trazabilidad:

La aprobación de esta auditoría es requisito indispensable a la hora de conceder la licencia. El objeto de este procedimiento es establecer y mantener un sistema documentado para identificar cada producto y hacer seguimiento desde la recolección del producto hortícola en campo hasta la manipulación, envasado y expedición del producto en la empresa comercializadora. Esta identificación se utilizará para diferenciar y etiquetar la producción hortícola controlada realizada siguiendo la Norma UNE 155001 de la producción no controlada. La empresa, por lo tanto, deberá:

- Contar con los medios necesarios para garantizar la separación de los productos de origen controlado de otros de origen no controlado durante las operaciones de postrecolección y hasta la comercialización.
- Disponer de un protocolo detallado donde se describa el sistema empleado para garantizar esta separación.
- Conservar los registros de este sistema de trazabilidad y ponerlos a disposición del personal auditor.

▲ Auditoría sistema reclamación de clientes:

Toda empresa que disfrute de la Marca debe contar con un Procedimiento documentado de reclamación de clientes mediante el cuál quede perfectamente reflejado el/los responsable/s de recibir, transmitir y decidir sobre el tratamiento a las reclamaciones recibidas. Un adecuado Sistema de Reclamación de clientes permite establecer una relación directa empresa - cliente y que debe ser el motor para la mejora continua ya que permite mejorar puntos débiles y mantener los puntos fuertes

▲ Auditoría mantenimiento de equipos:

Las empresas deben redactar un procedimiento en el cuál se refleje la maquinaria

disponible en las centrales hortofrutícolas (torillos, transpaletas, básculas, etc.) y proponer un plan de mantenimiento de las mismas reflejando el responsable, la periodicidad y el método empleado con el objetivo de prevenir fallos que puedan afectar a la calidad del producto.

▲ Auditoría del plan de prevención de riesgos laborales:

Tal y como establece la ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales las centrales deben contar con un Plan de Prevención de Riesgos Laborales implantado y mantenido al día. La salud de los productores y estabilidad laboral está dentro del ambiguo concepto de calidad.

▲ Auditoría sistema APPCC:

Al igual que el Plan de Prevención de Riesgos Laborales el Sistema APPCC de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (en inglés HACCP) es un requisito legal. Este sistema va encaminado a minimizar y en su caso, eliminar, los riesgos físicos, químicos y microbiológicos que afectan al producto. Este Sistema debe contar como mínimo de un Plan de Limpieza y Desinfección (Plan LD) y de un Plan de Desinsectación y Desratización (Plan DD) llevado a cabo por personal autorizado.

▲ Auditoría a la central hortofrutícola:

Durante la visita a la/s central/es hortofrutícola/s se verifica el grado de implantación del Sistema de Calidad junto con la comprobación de otros aspectos como puede ser la existencia y aplicabilidad de una Guía de Buenas Prácticas de Higiene y Manipulado, realización de control de calidad en entrada y en producto confeccionado, comprobación del estado de las instalaciones, etc.

▲ Auditoría en campo:

Esta auditoría consiste en verificar el grado de cumplimiento de los requisitos directamente relacionados con la fase de producción. Esta verificación se lleva a cabo en el campo de cultivo comprobando el buen estado de las instalaciones, el uso racional de plaguicidas, el cumplimiento de ciertos requisitos en cuanto a la seguridad en el almacenamiento de productos fitosanitarios así como que se mantiene un cuaderno de explotación con todos los datos requeridos y actualizado.

El espíritu de estos controles es el de dejar a cada empresa su responsabilidad. AENOR tendrá en cuenta el trabajo realizado por cualquier departamento de calidad que asegure la idoneidad de las inspecciones de producción y la eficacia de los ensayos realizados. La consideración final de AENOR es que cualquiera que sea el método usado, el Control del producto final debe demostrar ser efectivo.

7.3. (Concesión de la licencia de uso de la marca]

Podrán hacer uso de la marca las empresas en las que, para cada producto, se supere el 33% de su producción comercializada y de la superficie de cultivo bajo control.

Se concederá el derecho de uso de la marca a las empresas en las que durante la visita inicial se constaten los tres puntos siguientes:

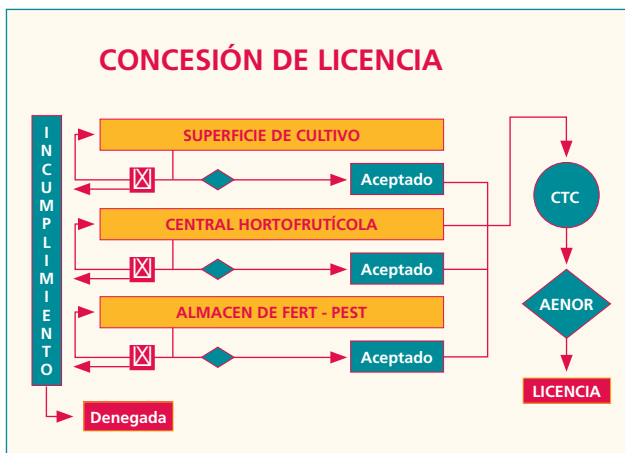


■ No se detectan incumplimientos tipificados como muy graves o críticos en la auditoría inicial. No obstante si en la auditoría inicial se ha detectado uno o varios incumplimientos importantes la empresa podrá solicitar la realización de una auditoría extraordinaria cuando así lo crea conveniente. La auditoría inicial se considerará aceptada, y la empresa podrá obtener el derecho de uso de la marca, cuando a través de una o varias auditorias, no se detecten incumplimientos muy graves o críticos.

■ No se detectan materias activas prohibidas en los análisis y el LMR de productos recolectados no superan los establecidos en la Norma UNE.

■ Existe, además cuatro requisitos fundamentales en los que el incumplimiento de alguno de estos supone la suspensión inmediata del derecho del uso de la marca, que son:


- Los técnicos responsables tienen la cualificación necesaria
- En nuevos terrenos existe una justificación del mismo a la producción que incluye uso anterior del suelo e informe ambiental.
- El responsable de las aplicaciones dispone de un Equipo de Protección Personal (EPI).
- No se emplea bromuro de metilo en la desinfección del suelo
- No se riega con aguas residuales
- No se usan lodos de depuradora
- Se ha anotado el lugar de desinfección de los sustratos
- No se ha empleado fitosanitarios con m.a. no autorizadas para ese cultivo
- No se han empleado productos fitosanitarios no registrados para uso en el cultivo.
- Existe un cuaderno de explotación.
- Las instrucciones fitosanitarias contemplan caldo gastado y maquinaria empleada, zona a tratar y producto comercial.
- Los productos frescos no se almacenan junto a productos fitosanitarios y fertilizantes.
- Se respetan los plazos de seguridad.
- Existe un Plan de Desinsectación y Desratización.
- El nivel de cloro libre en agua se mide diariamente.



■ EL MECANISMO PARA CONSEGUIR LA CERTIFICACIÓN DE AENOR LO PODEMOS RESUMIR EN EL SIGUIENTE GRAFICO

7.4. (**Marcado de los productos certificados**)

No podrá marcarse producto de categoría inferior a primera. La empresa licenciataria deberá comercializar el producto certificado de categoría primera o extra con el marcado descrito a continuación.

La etiqueta de la Marca AENOR  de Producto Certificado deberá colocarse sobre cada embalaje del producto certificado. El logotipo de la Marca es el que aparece adjunto a la derecha. El tamaño mínimo de la etiqueta será de 3cm de alto. Las etiquetas pueden ser adhesivas o estar pre-impresas en el embalaje.



Las etiquetas deberán ir acompañadas de la palabra “Hortofrutícola” en el rectángulo inferior del logotipo.

Las empresas que tengan bajo control el 100% de su superficie podrán hacer uso de la marca AENOR en todas sus marcas comerciales. Las empresas que no tengan el 100% de su superficie bajo control solo podrán hacer uso de la marca AENOR en marcas dadas de ata al efecto. Además de las marcas propias la empresa licenciataria podrá emplear la marca AENOR en las marcas comerciales con las que opere que sean propiedad del cliente (marcas blancas) o propiedad de varias empresas (contramarcas) siempre que en el embalaje esté identificada la empresa productora con, al menos, el código de barras o número de identificación.

Todo el producto comercializado por una empresa licenciataria con una marca comercial con derecho de uso de la marca AENOR debe proceder exclusivamente de parcelas controladas. No se concederá el derecho de uso de la marca AENOR a dos marcas comerciales con el mismo nombre pertenecientes a empresas distintas, aunque éstas lo soliciten para productos diferentes. En caso de producirse una solicitud de este tipo tendrán preferencia para conseguir la autorización las marcas comerciales registradas, y en igualdad de condiciones, la marca comercial que primero solicitó la autorización a AENOR


8. (**BIBLIOGRAFÍA**)

 Giambaco de Ena, H., 1998. “Gestión de la calidad en empresas hortofrutícolas”. Rev. Horticultura nº 128, pág. 38-44.

 Muñoz, N., 1998. “La certificación AENOR”. Rev. Horticultura nº 128, pág. 48.


 Reglamento Particular de la marca AENOR  para hortalizas para consumo en fresco. Producción Controlada de Cultivos RP / CTC-054 / N.

 Rivera, L.M. y Buitrago, J.M., 1997. “La certificación de la calidad agroalimentaria”. Rev. Hortofrutícola nº411, pág. 20-23.

 UNE 155 001-1. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada de cultivos. Parte-1. Requisitos generales

 UNE 155 001-2. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-2. Tomate

 UNE 155 001-3. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-3. Pimiento

 UNE 155 001-4. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-4. Pepino



- UNE 155 001-5. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-5. Judía verde
- UNE 155 001-6. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-6. Calabacín
- UNE 155 001-7. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-7. Berenjena
- UNE 155 001-8. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-8. Melón
- UNE 155 001-9. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-9. Sandía
- UNE 155 001-10. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte-10. Col China
- UNE 155001-11. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte 11: Lechuga.
- UNE 155001-12. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte 12: Brócoli.
- UNE 155001-13. Hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte 13: Fresa.
- UNE-EN ISO 9001, 2000. Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
- UNE-EN ISO 14001, 1994. Sistemas de Gestión Medioambiental. Especificaciones y directrices para su utilización.

(TEMA 9]



PROTECCIÓN FITOSANITARIA

Callejón Ferre, Ángel Jesús

Doctor Ingeniero Agrónomo

López Martínez, José Antonio

Ingeniero Aeronáutico

Valera Martínez, Diego Luis

Doctor Ingeniero Agrónomo

Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería.





1. (INTRODUCCIÓN]

La agricultura española y más concretamente del sureste peninsular, ha estado sometida a profundos cambios estructurales en las dos últimas décadas. La crisis de los cultivos de uva de mesa y agrios, por diversos motivos, en nuestra provincia dio paso a otros modelos de explotación agraria basados fundamentalmente en la tecnología y la intensificación de cultivos hortícolas.

Las recientes modificaciones registradas en la Política Agraria Común y los acuerdos comerciales multilaterales en el marco del G.A.T.T. ha provocado nuevas fases en las tendencias de la mercadotecnia. Por todo ello, es necesario corregir los desequilibrios y las deficiencias estructurales que condicionan la competitividad de las explotaciones agrarias.

La mejora de las estructuras agrarias y la modernización de las mismas con el fin de lograr una mayor eficacia productiva y mejorar la competitividad de la agricultura son objetivos prioritarios para consolidar los índices socio-económicos de la provincia. Estos objetivos han de ser alcanzados dentro de la política estructural de la Unión Europea y por tanto, con una concepción y criterios comunitarios.

De todos los procesos de reestructuración que se están realizando en la provincia de Almería, destaca la tendencia prácticamente **INMEDIATA** hacia el modelo de **AGRICULTURA SOSTENIBLE** inducido fundamentalmente por nuestros clientes **EUROPEOS** que exigen certificaciones de **CALIDAD** tanto en producto (campo) como en sistema (almacén de confección).

Este contexto de **CALIDAD** está llevando, **AUNQUE NO PAREZCA VERDAD**, a **TO-DOS LOS AGRICULTORES** (con el apoyo de la administración) a desarrollar correctamente políticas de protección de la salud de los trabajadores del mundo rural mediante la prevención de los riesgos derivados de su trabajo, para lo cual es pilar fundamental la Ley de “Prevención de Riesgos Laborales” (L. 31/1995, de 8 noviembre, BOE 9,10/11/95).

Dicha ley *“tiene por objeto la determinación del cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, y ello en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz de prevención de los riesgos laborales”*.

En la agricultura protegida el riesgo más evidente es la **exposición a sustancias nocivas, tóxicas y muy tóxicas**. Se presenta cuando se realizan tratamientos fitosanitarios. La frecuencia y el grado de exposición son elevados, lo que obliga al uso de equipos de protección individual (botas, traje impermeable, guantes, máscara integral, etc.) para evitar intoxicaciones agudas y/o crónicas que puedan llegar a provocar la muerte.

2. (NORMATIVA REFERENTE A LA APLICACIÓN Y MANIPULACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS]

El riesgo inherente al uso y manipulación de plaguicidas hace necesario que las personas encargadas de la realización de tratamientos se encuentren debidamente capacitadas para desarrollar dicha labor, para lo cual es indispensable que cuenten con

un carné que acredite su formación y conocimientos teóricos y prácticos referentes al uso de plaguicidas.

La Orden de 8 de marzo de 1994 del Ministerio de la Presidencia tiene por objeto establecer criterios que permitan garantizar la exigencia de unos niveles mínimos suficientes de capacitación a las personas que desarrollan actividades relacionadas con la utilización de plaguicidas, en cumplimiento de la Reglamentación Técnico-Sanitaria y sus modificaciones posteriores. Establece los siguientes niveles:

Aplicación de peoductos fitosanitarios	
Nivel básico	Personal auxiliar de tratamientos terrestres y aéreos y AGRICULTORES que los realicen en su propia explotación sin emplear personal auxiliar y utilizando plaguicidas no clasificados como muy tóxicos.
Nivel cualificado	Responsables de equipos de tratamiento terrestre y AGRICULTORES que los realicen en su propia explotación empleando personal auxiliar y utilizando plaguicidas no clasificados como muy tóxicos.
Piloto aplicador agroforestal	Personas que están en posesión del título y licencia de piloto comercial de aviación o helicóptero que capacita para obtener la habilitación correspondiente.

Aplicación de plaguicidas de uso ambiental y en la industria alimentaria	
Nivel básico	Personal auxiliar de las empresas de aplicación de tratamientos DDD que utilicen productos no clasificados como muy tóxicos.
Nivel cualificado	Responsables de tratamientos DDD que utilicen productos no clasificados como muy tóxicos.

Aplicación de plaguicidas: niveles especiales	
Personas que participen en la aplicación de cada uno de los plaguicidas como muy tóxicos, teniendo en cuenta sus modalidades de aplicación. Previamente han de superar las pruebas de los niveles básico o cualificado.	

Dicha Orden también establece los programas con los contenidos mínimos para los distintos tipos de cursos, las condiciones para la obtención del carné de aplicador de plaguicidas y para la homologación de los cursos de capacitación, así como el formato que deben tener los distintos carnés y la información que deben reflejar.

La normativa nacional se completa en la legislación Andaluza con:

■ Decreto 260/1998 de 15 de Diciembre por el que se establece la normativa reguladora de la expedición del carné para la utilización de plaguicidas.

■ Orden de 15 de Diciembre de 1999 por la que se regulan los cursos de capacitación para realizar tratamientos fitosanitarios.



3. (EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL]

3.1. (Clasificación de equipos de protección individuales a efectos de comercialización]

El Real Decreto 1407/92, transposición de la Directiva 86/686/CEE establece las siguientes categorías:

■ Categoría 1:

EPI de diseño sencillo para los que el usuario puede juzgar por sí mismo su eficacia contra riesgos mínimos, y cuyos efectos, cuando sean graduales, puedan ser percibidos a tiempo y sin peligro para el usuario.

Se encuentran en esta categoría, los EPI, cuya finalidad es proteger al usuario de:

- Las agresiones metálicas, cuyos efectos sean superficiales (guantes de jardinería, dedos, etc.).
- Los productos de mantenimiento poco nocivos, cuyos efectos sean fácilmente reversibles (guantes de protección contra soluciones detergentes diluidas, etc.).
- Los riesgos en que se incurra durante las tareas de manipulación de piezas calientes, que no expongan al usuario a temperaturas superiores a 50 °C, ni a choques peligrosos (guantes, dedos de uso profesional, etc.)
- Los agentes atmosféricos, que no sean excepcionales ni extremos (gorros, ropas de temporada, zapatos, etc.).
- Los pequeños choques y vibraciones, que no afecten a las partes vitales del cuerpo y que no puedan provocar lesiones irreversibles (cascos de protección cuero cabelludo, guantes, calzado ligero, etc.)
- La radiación solar.

■ Categoría 2:

Modelos de EPI que no reuniendo las condiciones de la categoría 1, no están diseñados de la forma y para la magnitud del riesgo que se indica en la categoría 3.

■ Categoría 3:

EPI de diseño complejo, destinados a proteger al usuario de todo peligro mortal o que pueda dañar gravemente o de forma irreversible la salud, sin que pueda descubrir a tiempo su efecto inmediato.

- Los equipos de protección respiratoria filtrantes, que protejan contra aerosoles sólidos y líquidos o contra gases irritantes, peligrosos, tóxicos o radiotóxicos.
- Los equipos de protección respiratoria completamente aislantes de la atmósfera, incluidos los destinados a la inmersión.
- Los EPI que sólo brindan una protección limitada en el tiempo contra las agresiones químicas o radiaciones ionizantes.
- Los equipos de intervención de ambientes cálidos, cuyos efectos sean comparables a los de una temperatura igual o superior a 100 °C, con o sin radiación de infrarrojos, llamas o grandes proyecciones de materiales en fusión.

- Los equipos de intervención en ambientes fríos, cuyos efectos son comparables a los de una temperatura ambiental igual o inferior a 50 °C.
- Los destinados a proteger contra los riesgos eléctricos, para los trabajos realizados bajo tensiones peligrosas o los que se utilizan como aislantes de alta tensión.

3.2. (Evaluación de conformidad de los EPI según su categoría para comercialización)

■ Categoría 1:

Antes de comercializar un EPI de esta categoría el fabricante deberá:

- Reunir la documentación técnica correspondiente.
- Elaborar una declaración de conformidad CE, respecto de su diseño sencillo y de eficacia frente a riesgos mínimos, y cuyos efectos, cuando sean graduales, puedan ser percibidos a tiempo y sin peligro para el usuario.
- **Estampar** en cada EPI y su embalaje **la marca CE**.

■ Categoría 2:

Además de los anteriores requisitos (categoría 1), deberán superar el Examen de tipo.

■ Categoría 3:

Además de los requisitos para la categoría 2, en los EPI de diseño complejo (destinados a proteger frente a riesgos mortales o graves) la fabricación del EPI estará sometida a un sistema de Garantía de Calidad CE que podrá efectuarse de dos formas distintas:

- Control de producto final.
- Vigilancia de la producción.

Para poder entender mejor los conceptos anteriores es necesario desarrollar tres conceptos fundamentales:

A. DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD CE.

Declaración efectuada por el Fabricante, certificando que el EPI comercializado cumple con lo dispuesto en el Real Decreto 1407/92, y en su caso en la norma nacional que efectúa la transposición de la norma analizada.

B. EXAMEN DE TIPO CE.

Un Organismo de Control comprueba y certifica que el modelo de EPI cumple las exigencias de seguridad del Real Decreto 1407/92. Se llevarán a cabo controles y pruebas para comprobar que el modelo se ajusta a normas armonizadas.

C. GARANTÍA DE CALIDAD CE.

Se efectuará por un Organismo de Control, el cual realizará controles al azar y normalmente a intervalos de un año.

La garantía de calidad se puede efectuar sobre el producto final o vigilando la producción: en el primero de los casos se efectúan pruebas, sobre muestras elegidas



al azar, para determinar que cumplan los requisitos exigibles. En el segundo de los casos se controla la producción para asegurarse que el producto final tiene la calidad requerida.

Antiguamente, la Orden de 17 de mayo de 1974 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, regulaba la homologación de los medios de protección personal de los trabajadores (BOE 29 / 5 / 74), por medio de 29 Normas Técnicas Reglamentarias (MT), transpuestas a Normas UNE.

A partir de junio de 1995 el mercado de las prendas de protección, de cara a considerar su homologación, serán las letras CE, recogidas en Normas EN europeas, según el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre (BOE 28/12/92), por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los EPI.

Las antiguas Normas Técnicas Reglamentarias y las actuales Normas Europeas aplicables a la utilización de plaguicidas son:

Normas técnicas reglamentarias		
MT-7	Adaptadores faciales	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-8	Filtros mecánicos	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-9	Mascarillas autofiltrantes	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-10	Filtros químicos y mixtos contra amoníaco	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-11	Guantes de protección frente a agresivos químicos	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-12	Filtros químicos y mixtos contra CO	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-14	Filtros químicos y mixtos contra cloro	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-15	Filtros químicos y mixtos contra anhídrido sulfuroso	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-16	Gafas tipo universal como protección frente a impactos	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-20	Equipos semiautomáticos de aire fresco con manguera de aspiración	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-23	Filtros químicos y mixtos contra ácido sulfídrico	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-24	Equipos semiautomáticos de aire fresco con manguera de presión	BOE nº. 214 (6/9/75)
MT-27	Bota impermeable al agua y a la humedad	BOE nº. 214 (6/9/75)

En la actualidad, y desde la entrada en vigor del R.D. 1614/85 y del R.D. 800/87, por el que se reordenan las actividades de normalización y certificación, por un parte, y homologación por parte de la Administración, por otra, las normas técnicas son acreditadas por AENOR y publicadas como normas UNE.

A veces puede ser posible protegerse contra ruidos por lo que serán necesarios protectores auditivos (EN-458 y UNE-EN-24869).

Normas europeas	
Ropa de trabajo	
UNE-EN-340 EN-468	Ropa de protección Ropa contra productos químicos
Protección de la mano	
EN-374 EN-388	Guantes contra riesgos químicos Guantes contra riesgos mecánicos
Protección del pie	
EN-345 EN-346 EN-347	Calzado de seguridad con puntera Calzado de protección con puntera Calzado de uso profesional
Protección respiratoria	
EN-149 UNE-EN-137 EN-138 EN-140 EN-141 EN-143 EN-145 EN-402 EN-404 EN-405	Mascarillas autofiltrantes Equipo autónomo de aire comprimido Equipo con manguera de aire libre Máscaras y semimáscaras Equipo contra gases y partículas Equipo contra partículas Equipo autónomo de oxígeno comprimido Equipo autónomo de aire comprimido Equipo de evacuación (autosalvamento) Mascarillas autofiltrantes
Protección de la cabeza	
EN-397 EN-812	Cascos industriales Cascos ligeros de seguridad

3.3. (Clasificación de los equipos de protección individual)

La protección personal para el aplicador, arranca con la preparación de las mezclas, o incluso antes. Debe pues protegerse desde ese mismo momento para evitar que el plaguicida entre en contacto con él mismo y pueda absorberse por cualquier vía de entrada (fundamentalmente respiratoria, cutánea y oral.)

Se pueden emplear diversos criterios a la hora de clasificar las protecciones personales, ahora bien, dado que cada riesgo tiene unas características particulares en su presentación, incidiendo concretamente sobre una parte determinada del cuerpo, es éste el criterio más generalizado, y que permite distinguir dos grandes grupos de EPI: **Medios parciales de protección y medios integrales de protección.**

■ MEDIOS PARCIALES DE PROTECCIÓN

“Son aquellos que protegen al individuo frente a riesgos que actúan preferentemente sobre partes o zonas concretas del cuerpo”. Entre ellos distinguiremos los siguientes:

▲ Protección del cráneo y la cabeza:

Tienen como misión proteger el cráneo de riesgos mecánicos como son la caída de objetos, golpes y proyecciones, riesgos térmicos debido a metales fundidos, calor y



frío, riesgos eléctricos en maniobras y/u operaciones de alta y baja tensión y riesgos químicos cuando exista posibilidad de salpicaduras o formación de nieblas o aerosoles sobre la cabeza del trabajador.

La protección se efectúa mediante el casco de seguridad en los tres primeros supuestos. Si, refiriéndonos al riesgo químico por manejo de plaguicidas, por la forma o sistema de aplicación hubiera riesgo de proyección sobre la cabeza se protegerá ésta con una gorra con visera, sombrero de ala ancha, casco especial modificado o continuación del mono de trabajo. Estas prendas serán relativamente impermeables - en la medida de lo posible - para evitar que acaben impregnándose y permitiendo la absorción del producto a través del cuero cabelludo. La visera o ala del sombrero servirá de protección parcial, también para las salpicaduras oculares.



■ PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS MECÁNICOS.



■ PROTECCIÓN CABEZA CONTRA RIESGOS QUÍMICOS. CONTINUACIÓN DEL MONO DE TRABAJO.



■ PROTECCIÓN CABEZA CONTRA RIESGOS QUÍMICOS Y MECÁNICOS.

▲ **Protección de la cara y el aparato visual:**

Tienen como misión proteger de la proyección de partículas sólidas, de productos químicos (especialmente líquidos cáusticos o corrosivos), de radiaciones nocivas y de atmósferas contaminadas.

Están indicadas aún cuando el producto no tenga una toxicidad elevada, así como cuando se realice un tratamiento de altura.

Los equipos de protección destinados a estos cometidos son las lentes de seguridad, las gafas protectoras, los escudos faciales o protectores, los cascos de soldaduras y las cubiertas completas.

Las pantallas cubren la cara del usuario preservándola de las distintas situaciones de riesgo; estas pantallas pueden clasificarse en:

- **Pantallas de soldadores**, a su vez de mano o de cabeza. Protegen tanto de las radiaciones, mediante filtro adecuado, como del impacto de partículas. Pueden ser de cubrefiltros o anticristales.
- **Pantallas simples**, que son transparentes y carecen de filtro, ya que van destinadas a proteger de salpicaduras oculares o proyección de polvos o cuerpos extraños a los globos oculares.



■ PROTECCIÓN OCULAR Y FACIAL DE SOLDADORES.

Las gafas pueden ser universales, tipo cazo o cazoleta y máscaras. Deberán cumplir los ojos tanto frontal como lateralmente y a ser posibles los componentes deberían poder ser sustituibles.

Las gafas o lentes deben usarse debajo de las pantallas y cascos de soldadura, para alcanzar una protección óptima. Si se va a trabajar en zonas muy iluminadas, con soldaduras, diversas formas de energía radiante o con abundante radiación solar pueden requerirse gafas con filtros adecuados. Siempre que el trabajador utilice lentes de contacto debería ir protegido con gafas superpuestas, de manera que impidan el contacto del producto químico con las mismas, o aumente la irritación o molestias que puedan causarle aquéllas.



■ PROTECCIÓN OCULAR Y FACIAL. PANTALLA DE METACRILATO.



■ PROTECCIÓN OCULAR. GAFAS DE MONTURA VINÍLICA TRANSPARENTE.

En el manejo de plaguicidas se deberán llevar unas gafas transparentes, bien ajustadas a la cara, que no permitan salpicaduras o entrada del producto por los lados, arriba o abajo. Serán especialmente imprescindibles cuando se trabaje fumigando hacia arriba (árboles), o exista mucho viento. También cuando se deban realizar trasvases o mezclas, ya que son frecuentes la salpicaduras durante estos procesos. Hay que recordar que existen plaguicidas cáusticos que pueden dañar de manera importante la córnea, y pueden llegar a producir graves quemaduras oculares.

Según el Real Decreto 773/97, en lo referente a la ropa de protección, debemos fijarnos en los siguientes aspectos de cara a cubrir determinados riesgos y a conocer aquéllos derivados de su utilización.



■ PROTECCIÓN OCULAR, FACIAL Y RESPIRATORIA. MÁSCARA CON FILTROS.



Riesgos que deben cubrirse

Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Acciones generales no específicas	Molestias debidas a la utilización. Penetración de cuerpos extraños de poca energía.	Ocular con resistencia mecánica suficiente y un modo de rotura en esquirla muy peligroso. Estanqueidad y resistencia.
Acción Química	Irritación causada por: Gases, aerosoles, polvos y humos.	Estanqueidad (protección lateral) y resistencia química.

Riesgos debidos al equipo

Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Incomodidad y molestias al trabajar	Insuficiente confort de uso: Volumen demasiado grande. Aumento de transpiración. Mantenimiento deficiente. Demasiada presión de contacto.	Diseño ergonómico: Menor volumen. Ventilación suficiente, ocular antivaho. Adaptabilidad individual al usuario.
Accidentes y peligros para la salud	Mala compatibilidad. Falta de higiene. Riesgo de corte debido a la presencia de aristas cortantes. Alteración de la visión debida a la mala calidad óptica, como distorsión de las imágenes, modificación de los colores, en particular de las señales, difusión, etc.	Calidad de los materiales. Facilidad de mantenimiento. Aristas y bordes redondeados. Utilización de oculares de seguridad. Controlar la clase de calidad óptica. Utilizar oculares resistentes a la abrasión.
Accidentes y peligros para la salud	Reflejos. Cambio brusco e importante de transparencia (claro/oscuro). Ocular empañado.	Oculares de dimensiones suficientes. Oculares y montura antirreflejos. Velocidad de reacción de los oculares (fotocrómicos). Equipo antivaho.
Alteración de la función protectora debido al envejecimiento	Intemperie, condiciones ambientales, limpieza, utilización.	Resistencia del protector a las agresiones industriales. Mantenimiento de la función protectora durante toda la duración de utilización.

Riesgos debidos a la utilización del equipo		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Eficacia insuficiente de la protección	Mala elección del equipo.	Elección del equipo en función de la naturaleza y la importancia de los riesgos y condicionamientos industriales. Respeto de las indicaciones del fabricante (instrucciones de uso). Respeto del marcado del equipo (clases de protección, marca correspondiente a una utilización específica, etc.). Elección del equipo en función de los factores individuales del usuario.
	Mala utilización del equipo.	Utilización apropiada del equipo y conocimientos del riesgo. Respetando las indicaciones del fabricante.
	Suciedad, desgaste o deterioro del equipo.	Mantenimiento en buen estado. Controles periódicos. Sustitución oportuna. Respeto de las indicaciones del fabricante.

▲ Protección del aparato auditivo:

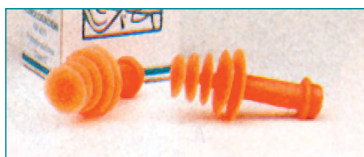
Protegen al oído contra el trauma sonoro producido por una exposición excesiva a un nivel de ruido. Se pueden clasificar en :

- Tapones, se utilizan insertos en el conducto auditivo externo.
- Orejeras, envuelve el pabellón externo del oído.
- Casco, cubre además del pabellón externo del oído, parte de la cabeza.

Para su elección se precisa conocer las características del ruido en cuestión y una vez determinadas las frecuencias dominantes, seleccionar al equipo en función de ellas.



■ PROTECCIÓN APARATO AUDITIVO.



En la aplicación de plaguicidas sólo se tendrá en cuenta si el aparato de aplicación o medio mecánico que se utilice fuera significativamente ruidoso, y no se tratase de un vehículo a motor.

■ PROTECCIÓN APARATO AUDITIVO. TAPONES AUDITIVOS



▲ **Protección de las extremidades superiores (manos):**

Las extremidades superiores pueden verse sometidas a riesgos mecánicos, eléctricos, químicos, térmicos, etc.

Las protecciones frente a dichos riesgos son:

Los guantes, manoplas, mitones, dediles, manguitos, etc. que pueden ser de cuero, plástico, acero, etc. según el riesgo que tengan que proteger.

Guantes de protección para utilizar con plaguicidas (Naturaleza del pesticida concentrado en el formulado)			
Guantes con espesor mínimo de 0,4 mm	Concentrado emulsionable (ej.formulaciones con xileno)	Sprays líquidos con base oleosa (incluyendo las formulaciones ULV)	Ácidos (ej. Aditivos para ensilaje, ácido sulfúrico,etc.)
Caucho natural	*	**	**
Neopreno	**	****	***
Nitrilo	**	****	**
Butilo	**	**	****
Soporte de PVC (1 mm de espesor)	**	****	**
Viton (fluoropolimero)	***	****	**

Tabla de categorías según detalles de ruptura y aplicación		
Categoría clave	Tiempo de ruptura	Probable aplicación
*	Menos de 12 min.	Bajo riesgo para un único uso del agente químico
**	No inferior a 12 min.	Uso repetido, solamente si se lava el contaminante inmediatamente
***	No inferior a 2 h.	Uso repetido de manera que se limpien los contaminantes al final de cada operación.
****	No inferior a 6 h.	Uso repetido de manera que se limpien los contaminantes al final de cada día

Una vez finalizada la manipulación y/o tratamiento, los guantes se lavarán por fuera y por dentro, y se pondrán a secar con la apertura hacia abajo.

Lavarse las manos con agua y jabón finalizado el trabajo.

En el tratamiento y manejo de plaguicidas, especial cuidado hay que tomar con las manos, que irán siempre cubiertas de guantes resistentes e impermeables, que cubran no sólo éstas sino también las muñecas y comienzos del antebrazo. Deberán estar por debajo de la parte terminal de las mangas del mono de trabajo, o si se colocasen por encima de éste, selladas sobre el mono con cinta adhesiva en su borde superior.

Finalizada la tarea los guantes se lavarán por dentro y por fuera dejándolos secar con la apertura para abajo. Siempre se lavarán las manos después de cada aplicación, aunque se hayan llevado guantes en la operación. Especiales medidas preventivas tomarán los formuladores o mezcladores, y más cuando manejen productos concentrados.



■ PROTECCIÓN DE LAS MANOS. GUANTES DE NEOPRENO.



■ PROTECCIÓN DE LAS MANOS. GUANTES DE COMBINACIÓN DE DISTINTAS FIBRAS.

Según el Real Decreto 773/97, en lo referente a la ropa de protección, debemos fijarnos en los siguientes aspectos de cara a cubrir determinados riesgos y a conocer aquéllos derivados de su utilización.

Riesgos que deben cubrirse		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Acciones generales	Por contacto. Desgaste relacionado con el uso.	Envoltura de la mano. Resistencia al desgarro, alargamiento, resistencia a la abrasión.
Acción químicas	Daños debidos a acciones químicas.	Estanqueidad, resistencia.
Riesgos debidos al equipo		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Incomodidad y molestias al trabajar	Insuficiente confort de uso.	Diseño ergonómico: Menor volumen. Ventilación suficiente, ocular antivaho. Adaptabilidad individual al usuario.



Accidentes y peligros para la salud	Mala compatibilidad. Falta de higiene. Adherencia excesiva.	Calidad de los materiales. Facilidad de mantenimiento. Forma ajustada, hechura.
Alteración de la función protectora debido al envejecimiento	Intemperie, condiciones ambientales, limpieza, utilización.	Resistencia del equipo a las agresiones industriales. Mantenimiento de la función protectora durante toda la duración de la del equipo. Conservación de las agresiones.

Riesgos debidos a la utilización del equipo		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Eficacia insuficiente de la protección	<p>Mala elección del equipo.</p> <p>Mala utilización del equipo.</p> <p>Suciedad, desgaste o deterioro del equipo.</p>	<p>Elección del equipo en función de la naturaleza y la importancia de los riesgos y condicionamientos industriales. Respeto de las indicaciones del fabricante (instrucciones de uso). Respeto del marcado del equipo (clases de protección, marca correspondiente a una utilización específica, etc.). Elección del equipo en función de los factores individuales del usuario.</p> <p>Utilización apropiada del equipo y conocimientos del riesgo. Respetando las indicaciones del fabricante.</p> <p>Mantenimiento en buen estado. Controles periódicos. Sustitución oportuna. Respeto de las indicaciones del fabricante.</p>

▲ Protección de las extremidades inferiores:

Las extremidades inferiores pueden ser sometidas a muy variados riesgos como son el riesgo mecánico, eléctrico, térmico, químico, etc.

La protección se basa en :

- Cubrir la extremidad mediante calzado de seguridad adecuado, como son botas, zapatos, sandalias, que deberán ser de un material acorde al riesgo a proteger.
- Frente a riesgos mecánicos, existen calzados con puntera de seguridad para proteger los dedos de golpes, atrapamientos, etc., con plantilla de seguridad para evitar pinchazos, y mixtos con puntera y plantilla.

- La plantilla de protección frente a taladro, puede ser un elemento individual a colocar en el interior del calzado.
- Asimismo, existen botas resistentes al agua y a la humedad, así como mixtas, que valen frente a éstas y los anteriores riesgos mecánicos.



PROTECCIÓN DE LOS PIES.
BOTAS IMPERMEABLES.



PROTECCIÓN DE LOS PIES.
BOTA CON PUNTERA

La utilización de botas en el manejo de plaguicidas, preferiblemente de caña alta, es muy aconsejable cuando se realicen tratamientos en los invernaderos, plantas de huerta, etc., evitando mojarse la pierna y el pie con las propias plantas o con el producto aplicado. De igual manera, su uso sería conveniente si el producto utilizado es sólido.

En ocasiones, bien por la duración del tratamiento, o por el excesivo calor ambiental, se hace incómoda la utilización de la bota, siendo aconsejable que éstas lleven un forro interior. Se llevarán botas de goma altas, al menos que cubran hasta la mitad de la pantorrilla, aunque sería óptimo las que llegan hasta la rodilla o de pescador. La pernera del pantalón deberá situarse por fuera de la bota, para que en el caso del derrame por la misma el líquido no penetre en el interior de la bota y forme un pequeño charco dentro de la misma. Si no se dispone de este calzado se podrá utilizar otro, impermeable y sin aperturas. Nunca utilizar sandalias, alpargatas o chanclas, que dejen pasar el plaguicida y permitan el contacto del mismo con la piel.

Según el Real Decreto 773/97, en lo referente a la ropa de protección, debemos fijarnos en los siguientes aspectos de cara a cubrir determinados riesgos y a conocer derivados de su utilización.

Riesgos que deben cubrirse		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Acciones mecánicas	Caídas de objetos o aplastamientos de la parte anterior del pie.	Resistencia de la punta del calzado. Capacidad del tacón para absorber energía.
	Caída e impacto sobre el talón del pie. Caída por resbalón.	Refuerzo del contrafuerte.
	Caminar sobre objetos puntiagudos o cortantes.	Resistencia de la suela al deslizamiento. Calidad de la suela antiperforación. Existencia de una protección eficaz.
	Acción sobre: Los maléolos, el metatarso y la pierna.	De los maléolos. Del metatarso. De la pierna.
Acción químicas	Polvos o líquidos agresivos.	Estanqueidad, resistencia.

Eficacia insuficiente de la protección

Mala utilización del equipo.

Respetando las normas de uso, de las informaciones e instrucciones del fabricante, de los organismos de seguridad y de los laboratorios de ensayo.

Suciedad, desgaste o deterioro del equipo.

Mantenimiento en buen estado. Controles periódicos. Sustitución oportuna. Respeto de las indicaciones del fabricante así como de las normas de seguridad.

Tienen como misión permitir que el usuario disponga de aire respirable cuando esté expuesto a una atmósfera contaminante y/o cuya concentración de oxígeno sea insuficiente.



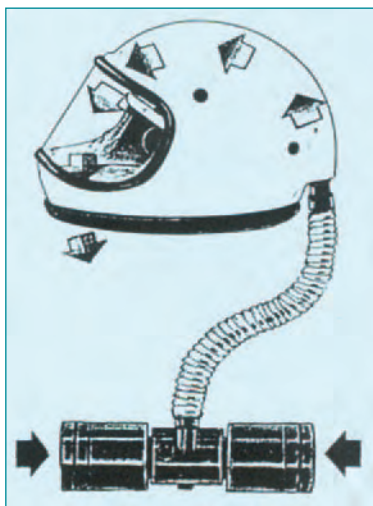
Los equipos respiratorios tienen la misión de proporcionar al usuario aire respirable, es decir, aquél que no contenga contaminantes químicos, o que los contenga en una proporción despreciable o segura para el trabajador.

Por la forma de llegada del aire al trabajador en un INVERNADERO, los equipos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

▲ **Equipos independientes del aire de la zona de tratamiento:** Proporcionan al usuario aire respirable de un lugar diferente a aquél en el que se encuentra. Se distinguen varios tipos:



- **Equipos semiautónomos con suministro exterior:** Cuando el suministro de aire no es transportado por el trabajador, llegando por medio de una manguera o línea de conducción (red de aire en el interior del invernadero) desde un lugar próximo (almacén agrícola, generalmente). Pueden ser de aire fresco o de aire comprimido.
 - **Equipos autónomos con bombona:** El aire que respira el trabajador es transportado por el mismo. Dicho aire respirable procede de unas botellas de presión que transporta el usuario, teniendo el aire exhalado salida libre al exterior.
 - Teóricamente un aparato respiratorio independiente del aire de la zona de tratamiento no tiene limitación de tiempo para actuar en un lugar con deficiente cantidad de O_2 , o bien con altas concentraciones de contaminante, sin embargo existen productos que pueden ser contaminantes por vía cutánea y ser absorbidos así, por lo que este equipo respiratorio debe ir acompañado por una protección integral de la persona en muchas ocasiones.
- ▲ **Equipos dependientes del aire de la zona de tratamiento:** Purifican mediante **filtros** el aire del medio en el que se desenvuelve el usuario, dejándolo en condiciones adecuadas para ser respirado. Se tendrán en cuenta las características del contaminante, tiempo de exposición y concentración de O_2 . En cuanto a este último aspecto, su concentración limitará la utilización de estos aparatos si es que se encuentra por debajo del 18% en el aire que respira el trabajador, para lo cual se harán las oportunas mediciones y comprobaciones periódicas. Se distinguen dos tipos:
- **Equipos de presión positiva o motorizados:** Suministran un caudal de aire continuo a través de un ventilador. El aire pasa a través de uno o varios filtros para descontaminarse antes de llegar a la unidad de cabeza que lleva el trabajador, que puede ser una máscara facial, casco o capucha.
 - **Equipos de presión negativa:** Son equipos donde el paso del aire a través del filtro se realiza por la propia inhalación (durante la respiración) del trabajador.



■ EQUIPO DE PRESIÓN POSITIVA

Los equipos de presión negativa pueden ser autofiltrantes o sin mantenimiento cuando están constituidos por una mascarilla y un filtro, que forman una unidad integral que cubre la nariz y boca. El conjunto se desecha en su totalidad al final de su vida útil. Estos equipos están marcados por las siglas "FF" a las que le siguen las que clasifican al filtro, como se verá más adelante.

También, existen equipos de presión negativa que necesitan mantenimiento, y se componen de un adaptador facial reutilizable hasta su caducidad, y de filtros desechables al final de su vida útil. A su vez podemos distinguir dos tipos fundamentalmente:

- **MÁSCARAS O MÁSCARAS FACIALES:** Cubren la nariz, boca y ojos (la cara) e incorporan un visor más filtros. Pueden emplearse cuando la concentración de contaminante está entre 10 y 100 veces su **TLV**.

- **MASCARILLAS O MEDIAS MÁSCARAS:** Cubren la nariz y boca. Pueden emplearse en concentraciones de hasta 10 veces su TLV. Están dotadas de adaptador facial y filtro, a diferencia de la mascarilla autofiltrante que es un protector respiratorio, cuyo cuerpo de mascarilla es a la vez cuerpo filtrante.



■ MÁSCARA FACIAL.



■ MASCARILLA O MEDIA MÁSCARA.

Tanto máscaras como mascarillas incorporan válvulas de exhalación e inhalación, con las cuales se facilita la respiración. En ambos casos, de presión negativa y positiva, es necesaria la utilización de los **filtros**. Los filtros son un conjunto de elementos que retienen o transforman el agente agresivo de forma mecánica o físico- química.

Los filtros empleados en los adaptadores faciales deberán usarse en ambientes cuyo contenido en oxígeno sea superior al 18%. La utilización de los filtros es correcta cuando se realice en espacios abiertos o semiabiertos y ventilados, en donde la concentración de oxígeno es prácticamente constante, aún así puede en ocasiones, ser conveniente realizar valoraciones de concentraciones de contaminantes y de oxígeno. En caso de duda sobre su eficacia se utilizarán equipos semiautónomos o autónomos.

Los filtros, generalmente, están contenidos en un estuche metálico, estando compuesto por unas **mallas filtrantes**, normalmente de **celulosa** en el caso de los **filtros mecánicos** y de **carbón activo**, como materia más habitual, en el caso de los **filtros químicos**. La Norma DIN 3181 y EN 141/143 agrupa a los filtros químicos y mecánicos, identificándolos mediante banda de color y una letra para aplicación específica en contaminantes con unas determinadas características. Como ya hemos visto los filtros o cualquier equipo de protección individual (EPI) deben estar marcados por el símbolo CE, según la Directiva 89/686-CEE de 21 de diciembre.

Todos los filtros del tipo que sean que lleven inscritas las letras FF, indican que son **DESECHABLES**, además si no van acompañados de ningún subíndice 1, 2 ó 3 la protección será 1. Los filtros por sus características de retención, ya sean utilizados en equipos con o sin mantenimiento, se clasifican en :

▲ **De retención mecánica:** el aire es sometido a una filtración mecánica, reteniendo partículas (polvos, humos, nieblas). La retención se basa en mallas de fibras que forman un entramado.



Estos filtros se identifican por el color blanco de la etiqueta y se nombran con la letra P seguida de un número (1,2 ó 3) según sea su poder de retención (EN-140/143).

Tipo	Poder de retención
P1	Normal sólo partículas sólidas (< de 22 partículas hacia el interior)
P2	Alta (< de 8 partículas hacia el interior)
P3	Máxima (< de 2 partículas hacia el interior) - polvo fino y tóxico, humos y neblinas

Además podrán diferenciarse si se añaden o no las siglas S ó L , es decir:

Siglas	Protección complementaria
Sin siglas S,L	Partículas sólidas y líquidas
Con S	Partículas sólidas
Con S,L	Partículas sólidas y líquidas



FILTRO RETENCIÓN MECÁNICA CON VÁLVULA DE EXHALACIÓN. EN-149. FFP2S.

> EJEMPLOS:

- Un filtro que lleve marcadas las siglas “FFP2” indica que se trata de un filtro desechable (equipo autofiltrante) con poder de retención alta para partículas sólidas y líquidas en suspensión.
- Un filtro que lleve marcadas las siglas “FFP1” indica que se trata de un filtro desechable con poder de retención normal para partículas sólidas y líquidas en suspensión.
- Un filtro que lleve marcadas las siglas “P3_{SL}” indica que se trata de un filtro con poder de retención máxima para partículas sólidas y líquidas en suspensión. El equipo está recomendado para atrapar partículas sólidas o aerosoles que contienen aceite, es decir, dicho equipo es capaz de atrapar las gotitas generadas en una pulverización que contenga aceite.

▲ **De retención o retención y transformación física y/o química:** el aire es sometido a una filtración a través de sustancias que retienen o retienen y transforman los agentes nocivos por reacciones físicas y/o químicas. Retienen gases y vapores químicos en miles de microporos de carbón activo impregnado con un tratamiento químico específico. Existen diferentes tipos de adsorbentes para los distintos tipos de gases o vapores existentes.

Se clasifican dependiendo de la clase de contaminante sobre el que actúen y la capacidad de adsorción, en tipos y clases respectivamente. Se identifican con una letra y un color de la etiqueta.

Banda de color	Letra	Aplicación
Marrón	AX	Gases, vapores orgánicos con punto de ebullición < 65 °C
	A	Vapores orgánicos con punto de ebullición > 65 °C, disolventes y pinturas
Gris	B	Gases y vapores inorgánicos (CNH, SH), gases ácidos y halógenos.
Amarillo	E	Dioxido de azufre, ClH y gases ácidos
Verde	K	Amoníaco
Negro	CO	Monóxido de carbono
Rojo	HG	Vapores de mercurio
Azul	NO	Gases nitrosos
Naranja	Reactor	Yodo radiactivo

EN AZUL LOS MÁS UTILIZADOS EN LOS INVERNADEROS DE ALMERÍA.

Al igual que los filtros de partículas, como ya hemos visto, estos filtros se identifican por un color de la etiqueta y se nombran con una letra determinada seguida de un número (1,2 ó 3) según sea su poder de retención - protección (EN-141).

Tipo (acompañado de una letra)	Poder de retención / Protección
1	Normal
2	Alta
3	Máxima



> EJEMPLOS:

- Un filtro que lleve marcadas las siglas “FFA2” indica que se trata de un filtro desechable con poder de retención alto para vapores orgánicos con punto de ebullición > 65 °C, disolventes y pinturas.
- Un filtro que lleve marcadas las siglas “K3” indica que es un filtro no desechable con poder de retención máxima para amoníaco.

FILTRO RETENCIÓN QUÍMICA. EN-141. PROTEGE CONTRA GASES Y VAPORES ORGÁNICOS. A1.

▲ **Mixtos:** cuando se unen ambos. Protegen al mismo tiempo contra gases y polvos o partículas en suspensión. Se distinguen por la combinación de letras y colores de sus etiquetas. Estos filtros son aconsejados para la mayoría de los tratamientos fitosanitarios.



FILTRO RETENCIÓN MIXTO EN MÁSCARA FACIAL. EN-141. ABEK1.

> EJEMPLOS:

- Un filtro que lleve marcadas las siglas “A3B3E3K3” indica que se trata de un filtro con poder de retención máxima para:

- > **Vapores orgánicos con punto de ebullición > 65 °C, disolventes y pinturas.**
- > **Gases y vapores inorgánicos, gases ácidos y halógenos.**
- > **Dioxido de azufre, ClH y gases ácidos.**
- > **Amoniaco.**

- Un filtro que lleve marcadas las siglas “A2B2E2K2P3” indica que se trata de un filtro con poder de retención máxima para partículas sólidas y líquidas en suspensión y alta para:

- > **Vapores orgánicos con punto de ebullición > 65 °C, disolventes y pinturas.**
- > **Gases y vapores inorgánicos, gases ácidos y halógenos.**
- > **Dioxido de azufre, ClH y gases ácidos.**
- > **Amoniaco.**

Un aspecto de gran importancia a la hora de elegir un determinado equipo de protección respiratoria, es el grado de eficacia protectora que ofrece. Este dato viene expresado por el denominado Factor de Protección (-FP-), que puede definirse como la relación que existe entre la **concentración ambiental de un contaminante** y la **concentración del mismo en el aire inhalado por el trabajador**.

De manera práctica, el factor de protección es la cifra por la que se puede multiplicar el **valor límite ambiental (VLA, TLV o similar)** del contaminante para deducir la máxima concentración a la que puede utilizarse con seguridad tal EPI. Deben indicarse los factores de protección de cada tipo de equipo de protección respiratoria en su manual de instrucciones, y ser plenamente conocidos por los usuarios. También, de manera habitual, suele realizarse una corrección de este valor teórico, dividiendo por dos la cifra real que ofrezca el resultado de multiplicar el FP por el VLA o **TLV (valor límite umbral)** correspondiente.

La duración de los filtros depende de factores como calidad del material, concentración del contaminante, condiciones de humedad, temperatura, densidad del agente filtrante, etc. La vida de un filtro químico sin desprecintar está marcada en la etiqueta. Normalmente puede oscilar, dependiendo de las características, de tres a cinco años. Una vez desprecintado, aunque no se haya utilizado, su duración máxima será de seis meses, con independencia de la fecha de caducidad que marque la etiqueta. La duración de un filtro mecánico sin desprecintar es ilimitada. El agotamiento de un filtro se nota, comúnmente, por la dificultad de respiración del usuario, debiendo proceder a su cambio.

Según el Real Decreto 773/97, en lo referente a la ropa de protección, debemos de fijarnos en los siguientes aspectos de cara a cubrir determinados riesgos y a conocer aquéllos derivados de su utilización.

Estos factores pueden resumirse en la siguiente tabla:

Tipos de equipos de protección	Factor de protección	
Mascarillas autofiltrantes (EN-149)	FFP1	4
	FFP2	10
	FFP3	50
Mascarillas con filtro mecánico (EN-136 + EN- 143)	P1	5
	P2	15
	P3	1000
Mascarillas con filtro frente a gases y vapores	A,B,1	20
	A,B,2	
	A,B,3	
Máscara con filtro frente a gases y vapores	A,B,2	2000
	A,B,3	
Equipo filtrante de partículas con ventilador acoplado a casco o capuz (EN-146)	THP1	10
	THP2	20
	THP3	50
Equipo filtrante de partículas con ventilador acoplado a máscara o mascarilla (EN-147)	TMP1	20
	TMP2	100
	TMP3	2000

Riesgos que deben cubrirse

Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Acciones de sustancias peligrosas contenidas en el aire respirable	Contaminantes atmosféricos en forma de partículas (polvos, humos, aerosoles).	Filtros de partículas de eficacia apropiada (clase de filtración) a la concentración, a la toxicidad/nocividad para la salud y al espectro granulométrico de las partículas. Merecen especial atención las partículas líquidas (gotitas, nieblas).
	Contaminantes en forma de gases y vapores.	Elección de los tipos de filtro antigás apropiados y de las clases en función de las concentraciones, la Toxicidad/nocividad para la salud, la duración de la utilización prevista y las dificultades del trabajo.
	Contaminantes en forma de aerosoles de partículas de gases.	Elección de las combinaciones adecuadas de filtros análoga a la de los filtros frente a las partículas y los filtros antigás.
Falta de oxígeno en el aire respirable	Retención de oxígeno. Descenso de oxígeno.	Garantía de alimentación de aire respirable del equipo. Respeto de la capacidad de suministro de aire respirable del equipo en relación con el tiempo de intervención.



Riesgos debidos al equipo		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Incomodidad y molestias al trabajar	Insuficiente confort de uso. Tamaño. Volumen. Alimentaciones. Resistencia respiratoria. Microclima bajo la máscara. Utilización.	Diseño ergonómico: Adaptabilidad. Volumen escaso, buen reparto de los volúmenes. Libertad de movimiento para la cabeza. Resistencia respiratoria y sobrepresión en la zona respiratoria. Aparato con válvulas, ventilación asistida. Manipulación/utilización sencilla.
Accidentes y peligros para la salud	Mala compatibilidad. Falta de higiene. No estanqueidad (fuga). Enriquecimiento de CO ₂ del aire inspirado. Contacto con llamas, chispas o proyecciones en metales en fusión. Reducción del campo visual. Contaminación.	Calidad de los materiales. Facilidad de mantenimiento y desinfección. Apoyo estanco de la pieza facial sobre la cabeza del portador; estanqueidad del equipo. Equipo provisto de válvulas respiratorias, según el caso, con ventilación asistida o absorbedores de CO ₂ . Utilización de materiales ininflamables. Amplitud suficiente del campo visual. Resistencia, aptitud para la descontaminación. .
Alteración de la función protectora debido al envejecimiento	Intemperie, condiciones ambientales, limpieza, utilización.	Resistencia del equipo a las agresiones industriales. Mantenimiento de la función protectora durante toda la duración de utilización.

Riesgos debidos a la utilización del equipo		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Eficacia insuficiente de la protección	Mala elección del equipo.	Elección del equipo en función de la naturaleza y la importancia de los riesgos y condicionamientos industriales. Respeto de las indicaciones del fabricante (instrucciones de uso). Respeto del marcado del equipo (clases de protección, marca correspondiente a una utilización específica, etc.).
Eficacia insuficiente de la protección	Suciedad, desgaste o deterioro del equipo.	Mantenimiento en buen estado. Controles periódicos. Sustitución oportuna. Respeto de las indicaciones del fabricante.

▲ **Protección digestiva:**

Depende del propio trabajador, ya que como tal no existe. Debe concienciarse al usuario para que no coma, beba o fume durante el tiempo de trabajo. Los trabajadores serán informados verbalmente y por medio de instrucciones escritas, de los riesgos inherentes a su actividad, medidas a tomar para su propia protección y medios previstos para su defensa (Art. 138 de la O.G.S.H.T.).

■ **MEDIOS INTEGRALES DE PROTECCIÓN**

Son aquellos que protegen al individuo frente a riesgos que no actúan sobre partes o zonas determinadas del cuerpo (por ejemplo, ropa de trabajo, cinturón de seguridad, etc.).

Los equipos más utilizados son:

▲ **Ropa de trabajo y protección:**

Estos equipos cubren total o parcialmente el cuerpo del operario para defenderlo frente a riesgos de origen químico, sustancias caústicas, origen térmico, calor y frío mecánico, proyecciones, radioactivo o biológico.

Para ellos se emplean:



■ **TRAJE DE PROTECCIÓN.**

- Prendas tales como mandiles, chaquetas, monos, etc., cuyo material será apropiado para cubrir el riesgo.
- Prendas de señalización: Estos equipos están constituidos por prendas de material reflectante en forma de brazaletes, guantes, chalecos, etc., a utilizar en aquellos lugares que necesariamente han de permanecer oscuros o poco iluminados, y existe riesgo de colisión, atropellos, etc.

Todo trabajador que esté sometido a determinados riesgos vendrá obligado al uso de ropa de trabajo que le será facilitada gratuitamente (Art. 142 O.G.S.H.T.).

La Norma UNE-EN-340 define la ropa de protección como aquella que sustituye o cubre la ropa personal, y que está diseñada para proporcionar protección contra uno o más peligros.

Esta ropa debe ser diseñada y fabricada de forma que:

- Los materiales y componentes no afecten adversamente al usuario.
- Debe ofrecer mayor grado de comodidad, en consonancia con la protección adecuada.
- Debe ser tan ligera como sea posible, sin perjuicio de la resistencia y eficacia del diseño.
- De fácil mantenimiento.
- Debe ser de la mejor calidad, determinándose ésta en función del agente agresivo con más alto grado de riesgo, y de su mayor duración.
- Debe ponerse y quitarse con rapidez.



Entre las fibras resistentes a productos químicos, existen en el mercado numerosas fibras plásticas de distinta naturaleza (acrílicas, poliamidas, poliésteres, polietilenos,...), que han sido sometidas a diferentes ensayos recogidos en las Normas EN-463/464 y las propuestas de Normas Pr EN-943/944/946, según los requerimientos específicos para cada condición particular de uso de la ropa de protección.

Siempre que sea posible se utilizarán prendas homologadas, manteniéndolas limpias y en perfecto estado de conservación. **El problema de la ropa de trabajo en los inveranderos es que no existe un traje homologado para tratamientos fitosanitarios debido a la utilización de mezclas de productos en las aplicaciones**, no obstante, y según la normativa europea, los trajes de protección contra productos químicos se clasifican en siete tipos atendiendo a su diseño, cada uno de los cuales recibe un número del 1 al 7. Los tipos 1, 2, 3 y 4 están fabricados con materiales impermeables, mientras que los del tipo 5 y 6 son permeables. Los trajes del tipo 7 sólo ofrecen protección a partes concretas del cuerpo y pueden estar fabricados en ambos tipos de materiales.

La ropa más adecuada será la impermeable, que ajuste perfectamente al cuello, muñecas y tobillos, pero sin que apriete demasiado. Para paliar el calor que la misma puede producir se han ensayado con relativo éxito prendas impermeables de algodón, livianas y de color blanco, que entre todas las probadas han sido las que menos sensación agobiante han dado, con una protección suficiente. Esta ropa no tendrá orificio alguno, y si es posible tampoco bolsillos. Los cierres, protegidos por una tela superpuesta del mismo tejido, serán de cremallera con preferencia a los botones, por su mayor ajuste y su facilidad para liberar al trabajador intoxicado del mono de trabajo. Además de la ropa, sería conveniente utilizar un mandil o delantal impermeable, y sombrero si existe el riesgo de que el plaguicida caiga sobre la cabeza.

Según el Real Decreto 773/97, en lo referente a la ropa de protección, debemos fijarnos en los siguientes aspectos de cara a cubrir determinados riesgos y conocer aquéllos derivados de su utilización.

Riesgos que deben cubrirse		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Acciones generales	Por contacto. Desgaste debido a su utilización.	Protección del tronco. Resistencia al rasgado, alargamiento, resistencia al comienzo del rasgado..
Acción químicas	Daños debidos a acciones químicas.	Estanqueidad y resistencia a las agresiones químicas.
Acciones de la humedad	Penetración del agua.	Permeabilidad del agua.

Riesgos debidos al equipo		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Incomodidad y molestias al trabajar	Insuficiente confort de uso.	Diseño ergonómico: Dimensiones, progresión de las tallas, volumen de la superficie, confort, permeabilidad al vapor de agua.
Accidentes y peligros para la salud	Mala compatibilidad. Falta de higiene. Adherencia excesiva.	Calidad de los materiales. Facilidad de mantenimiento. Forma ajustada, hechura.
Alteración de la función protectora debido al envejecimiento	Intemperie, condiciones ambientales, limpieza, utilización.	Resistencia del equipo a las agresiones industriales. Mantenimiento de la función protectora durante toda la duración de utilización. Conservación de las dimensiones.

Riesgos debidos a la utilización del equipo		
Riesgos	Origen y forma de los riesgos	Factores que deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
Eficacia insuficiente de la protección	Mala elección del equipo.	Elección del equipo en función de la naturaleza y la importancia de los riesgos y condicionamientos industriales. Respeto de las indicaciones del fabricante (instrucciones de uso). Respeto del marcado del equipo (clases de protección, marca correspondiente a una utilización específica, etc.). Elección del equipo en función de los factores individuales del usuario.
	Mala utilización del equipo.	Utilización apropiada del equipo y conocimientos del riesgo. Respetando las indicaciones del fabricante.
	Suciedad, desgaste o deterioro del equipo.	Mantenimiento en buen estado. Controles periódicos. Sustitución oportuna. Respeto de las indicaciones del fabricante.



ANEXO I (Código y descripción de los distintos preparados fitosanitarios)

(BOE de 5 de junio de 1995).

Código	Descripción de la presentación
AB	Cebo en granos
AE	Aerosol
AL	Otros líquidos para aplicar sin diluir
BB	Cebos en bloques
BR	Pastilla de liberación controlada
CB	Cebo concentrado
CG	Gránulo encapsulable
CS	Suspensión de cápsulas
DC	Cocnentrado dispersable
DP	Polvo para espolvoreo
DS	Polvo para tratamiento en seco de semillas
EC	Concentrado emulsionable
ED	Líquido cargable eléctricamente
EO	Emulsión de agua en aceite
ES	Emulsión para tratamiento de semillas
EW	Emulsión de aceite en agua
FD	Bote fumígeno
FG	Granulado fino
FK	Candela fumígena
FP	Cartucho fumígeno
FR	Barrita fumígena
FS	Suspensión concentrada para tratamiento de semillas
FT	Tablata fumígena
FU	Preparado fumígeno
FW	Granulado fumígeno
GA	Gas
GB	Cebo en gránulos
GE	Fumigante
GG	Macrogranulado
GP	Polvo ligero
GR	Granulado
GS	Grasa
HN	Producto para nebulización en caliente

Código	Descripción de la presentación
KN	Producto para nebulización en frío
LA	Laca
LS	Solución para tratamiento de semillas
Código	Descripción de la presentación
MG	Microgranulado
OF	Suspensión oleomiscible (sustancia activa oleosa en una suspensión miscible)
OL	Líquido oleomiscible
OP	Polvo dispersable en aceite
PA	Pasta
PB	Cebo en plaquitas
PC	Gel o pasta concentrada
PR	Tablilla impregnada con un producto fitosanitario
PS	Semilla recubierta con una sustancia activa
RB	Cebo
SB	Cebo troceado
SC	Suspensión concentrada (concentrado fluido)
SE	Suspo-emulsión
SG	Gránulos solubles en agua
SL	Concentrado soluble
SO	Aceite formador de película
SP	Polvo soluble en agua
SS	Polvo soluble para tratamiento de semillas
SU	Suspensión para aplicación por ULV
TB	Tabletas
TP	Polvo esparcible rodenticida
UL	Líquido para aplicación por ULV
VP	Difusor de capores
WG	Granulado dispersable en agua
WP	Polvo mojable en agua
WS	Polvo mojable para tratamiento de simientes
XX	Varios

ANEXO II (Símbolos, pictogramas e indicaciones de peligro de las sustancias y preparados peligrosos)
(BOE de 5 de junio de 1995).

Símbolos	Definición
E	Explosivo
O	Comburente
F	Fácilmente inflamable
F+	Extremadamente inflamable
T	Tóxico
T+	Muy tóxico
C	Corrosivo
Xn	Nocivo
Xi	Irritante
N	Peligroso para el medio ambiente

ANEXO III (Frasas de riesgo y seguridad).

Frasas R: Indican los riesgos más importantes. **Frasas S:** Indican las precauciones a tomar.

FRASES DE RIESGO "R"

R1 Explosivo en estado seco	R18 Al usarlo pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas/inflamables
R2 Riesgo explosión por choque, fuego, fricción u otras fuentes de ignición	R19 Puede formar peróxidos explosivos
R3 Alto riesgo de explosión por choque, fricción u otras fuentes de ignición	R20 Nocivo por inhalación
R4 Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles	R21 Nocivo en contacto con la piel
R5 Peligro de explosión en caso de calentamiento	R22 Nocivo por ingestión
R6 Peligro de explosión, en contacto o sin contacto con el aire	R23 Tóxico por inhalación
R7 Puede provocar incendios	R24 Tóxico en contacto con la piel
R8 Peligro de fuego en contacto con materias combustibles	R25 Tóxico por ingestión
R9 Peligro de explosión la mezclar con materias combustibles	R26 Muy tóxico por inhalación
R10 Inflamable	R27 Muy tóxico en contacto con la piel
R11 Fácilmente inflamable	R28 Muy tóxico por ingestión
R12 Extremadamente inflamable	R29 En contacto con agua libera gases tóxicos
R14 Reacciona violentamente con el agua	R30 Puede inflamarse fácilmente al usarlo
R15 Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables	R31 En contacto con ácido libera gases tóxicos
R16 Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes	R32 En contacto con ácido libera gases muy tóxicos
R17 Se inflama espontáneamente en contacto con el aire	R33 Peligro de efectos acumulativos
	R34 Provoca quemaduras
	R35 Provoca quemaduras graves
	R36 Irrita los ojos
	R37 Irrita las vías respiratorias
	R38 Irrita la piel
	R39 Peligro de efectos irreversibles muy graves
	R40 Posibilidad de efectos irreversibles



R41 Riesgo de lesiones oculares graves	R54 Tóxico para la flora
R42 Posibilidad de sensibilización por inhalación	R55 Tóxico para la fauna
R43 Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel	R56 Tóxico para los organismos del suelo
R44 Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado	R57 Tóxico para las abejas
R45 Puede causar cáncer	R58 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el ambiente
R46 Puede causar alteraciones genéticas hereditarias	R59 Peligroso para la capa de ozono
R48 Riesgos de efectos graves de salud en caso de exposiciones prolongadas	R60 Puede perjudicar la fertilidad
R49 Puede causar cáncer por inhalación	R61 Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto
R50 Muy tóxico para los organismos acuáticos	R62 Posible riesgo de perjudicar la fertilidad
R51 Tóxico para los organismos acuáticos	R63 Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto
R52 Nocivo para los organismos acuáticos	R64 Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna
R53 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático	

• **COMBINACIÓN DE LAS FRASES DE RIESGO “R”**

R14/15 Reacciona violentamente con el agua, liberando gases extremadamente inflamables	R36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias
R15/29 En contacto con el agua, libera gases tóxicos y extremadamente inflamables	R37/38 Irrita las vías respiratorias y la piel
R20/21 Nocivo por inhalación y en contacto con la piel	R39/23 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación
R20/22 Nocivo por inhalación y por ingestión	R39/24 Tóxico: Peligro de efectos irreversibles muy graves en contacto con la piel
R20/21/22 Nocivo por inhalación y por ingestión y en contacto con la piel	R39/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión
R21/22 Nocivo en contacto con la piel y por ingestión	R39/23/24 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel
R23/24 Tóxico por inhalación y en contacto con la piel	R39/23/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión
R23/25 Tóxico por inhalación y por ingestión	R39/24/25 Tóxico: Efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión
R23/24/25 Tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel	R39/23/24/25 Tóxico: peligro de efectos muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión
R24/25 Tóxico en contacto con la piel y por ingestión	R39/26 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación
R26/27 Muy tóxico por inhalación y en contacto con la piel	R39/27 Muy tóxico: efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel
R26/28 Muy tóxico por inhalación e ingestión	R39/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión
R26/27/28 Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel	R39/26/27 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel
R27/28 Muy tóxico en contacto con la piel y por ingestión	
R36/37 Irrita los ojos y las vías respiratorias	
R36/38 Irrita los ojos y la piel	

R39/26/28 Muy tóxico: peligro de efectos muy graves por inhalación e ingestión	R48/21/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión
R39/27/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión	R48/20/21/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión
R39/26/27/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión	R48/23 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación
R40/20 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación	R48/24 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel
R40/21 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles en contacto con la piel	R48/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión
R40/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por ingestión	R48/23/24 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel
R40/20/21 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación y contacto con la piel	R48/23/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión
R40/20/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación e ingestión	R48/24/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión
R40/21/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles, contacto piel e ingestión	R48/23/24/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión
R40/20/21/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación, contacto con la piel e ingestión	R50/53 Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo efectos negativos en el medio ambiente acuático
R42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel	R51/53 Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo efectos negativos en el medio ambiente acuático
R48/20 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación	R52/53 Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo efectos negativos en el medio ambiente acuático
R48/21 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel	
R48/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión	
R48/20/21 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel	
R48/20/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión	

• **FRASES DE SEGURIDAD "S"**

S1 Consérvese bajo llave	S4 Manténgase lejos de locales habitados
S2 Manténgase fuera del alcance de los niños	S5 Consérvese en...(líquido apropiado a especificar por el fabricante)
S3 Consérvese en lugar fresco	



- S6** Consérvase en...(gas inerte a especificar por el fabricante)
- S7** Manténgase el recipiente bien cerrado
- S8** Manténgase el recipiente en lugar seco
- S9** Consérvase el recipiente en lugar ventilado
- S12** No cerrar el recipiente herméticamente
- S13** Lejos de alimentos, bebidas y piensos
- S14** Consérvase lejos de...(materiales incompatibles a especificar por el fabricante)
- S15** Conservar alejado del calor
- S16** Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas. No fumar
- S17** Manténgase lejos de materiales combustibles
- S18** Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia
- S20** No comer ni beber durante su utilización
- S21** No fumar durante su utilización
- S22** No respirar el polvo
- S23** No respirar los gases, humos, vapores y aerosoles (denominaciones adecuadas a especificar por el fabricante).
- S24** Evítase el contacto con la piel
- S25** Evítase el contacto con los ojos
- S26** En caso de contacto con los ojos, lávese inmediatamente y abundantemente con agua y acúdase a un médico
- S27** Quítase inmediatamente la ropa salpicada o manchada
- S28** En caso de contacto con los ojos, lávese inmediatamente y abundantemente con...(productos a especificar por el fabricante)
- S29** No tirar los residuos por el desagüe
- S30** No echar jamás agua a este producto
- S33** Evítase la acumulación de cargas electrostáticas
- S35** Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles
- S36** Úsese indumentaria protectora adecuada
- S37** Úsense guantes adecuados
- S38** En caso de ventilación insuficiente, úsese el equipo respiratorio adecuado.
- S39** Úsese protección para los ojos, cara
- S40** Para limpiar el suelo y los objetos contaminados por este producto, úsese... (a especificar por el fabricante)
- S41** En caso de incendio y/o explosión, no respire los humos
- S42** Durante las fumigaciones/pulverizaciones, úsese equipo respiratorio adecuado
- S43** En caso de incendio, utilizar...(los medios de extinción los debe especificar el fabricante). (Si el agua aumenta el riesgo, se deberá añadir no usar nunca agua).
- S45** En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico y muéstrele la etiqueta o envase.
- S46** En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muestre la etiqueta o envase
- S47** Consérvase a una temperatura no superior a ...grados (a especificar por el fabricante)
- S48** Consérvase húmedo con ... (medio apropiado a especificar por el fabricante)
- S49** Consérvase únicamente en el recipiente de origen
- S50** No mezclar con ...(a especificar por el fabricante)
- S51** Úsese únicamente en lugares bien ventilados
- S52** No usar sobre grandes superficies en lugares habitados
- S53** Evítase la exposición recábense instrucciones especiales antes del uso
- S56** Elimínense esta sustancia y su recipiente en un punto de recogida pública de residuos especiales o peligrosos
- S57** Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente
- S59** Remitirse al fabricante o proveedor para obtener información sobre su reciclado o recuperación
- S60** Elimínese el producto y su recipiente como productos peligrosos
- S61** Evítase su eliminación al medio ambiente.
- S62** Recábense instrucciones específicas de la fichas de datos de seguridad
En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstrele la etiqueta o envase

• COMBINACIÓN DE LAS FRASES DE SEGURIDAD "S"

S1/2 Consérvase bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños

S3/7 Consérvase el recipiente bien cerrado y en lugar fresco

<p>S3/9/14 Consérvese en lugar fresco y ventilado y lejos de... (materiales incompatibles a especificar por el fabricante)</p> <p>S3/9/14/49 Consérvese únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado y lejos de ..(materiales incompatibles a especificar por el fabricante)</p> <p>S3/9/49 Consérvese únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado</p> <p>S3/14 Consérvese en lugar fresco y lejos de ... (materiales incompatibles a especificar por el fabricante)</p> <p>S7/8 Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco</p> <p>S7/9 Manténgase el recipiente bien cerrado y consérvese a una temperatura no superior a ...grados centígrados (a especificar por el fabricante)</p>	<p>S7/47 Manténgase el recipiente bien cerrado y consérvese a una temperatura no superior a ...grados centígrados (a especificar por el fabricante)</p> <p>S20/21 No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización</p> <p>S29/56 No tirar los residuos por el desagüe</p> <p>S36/37 Úsese indumentaria y guantes adecuados y protección adecuada</p> <p>S36/37/39 Úsese indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/ la cara</p> <p>S36/39 Úsese indumentaria adecuada y protección para los ojos/ la cara</p> <p>S37/39 Úsense guantes adecuados y protección para los ojos/ la cara</p> <p>S47/49 Consérvese únicamente en el recipiente de origen y a temperatura no superior a grados centígrados (a especificar por el fabricante)</p>
--	--

4. (BIBLIOGRAFÍA]

■ **3M Seguridad (1999)**. Protección respiratoria 3M: Respiradores de filtros y equipos con línea de aire. Catálogo. Madrid.


■ **Cabrera Bonet, R.; Del Río Muñoz, P. A.; Mejía Morales, M. C.; Álvarez Martín, L. y Torrecilla Jiménez, J. (2000)**. Manual de Prevención de Riesgos en el Manejo de Plaguicidas. Ed. Fraternidad-Muprespa. Madrid.

■ **Callejón Ferre, A.J.; López Martínez, J. A. y Valera Martínez, D. L. (2001)**. Equipos de protección individual en el proceso productivo agrícola almeriense. Ed. Universidad de Almería. Almería.

■ **Climax (2000)**. Catálogo general. Productos Climax. Barcelona.

■ **Personna, S.A. (2000)**. Artículos para la protección laboral. Catálogo. Almería.

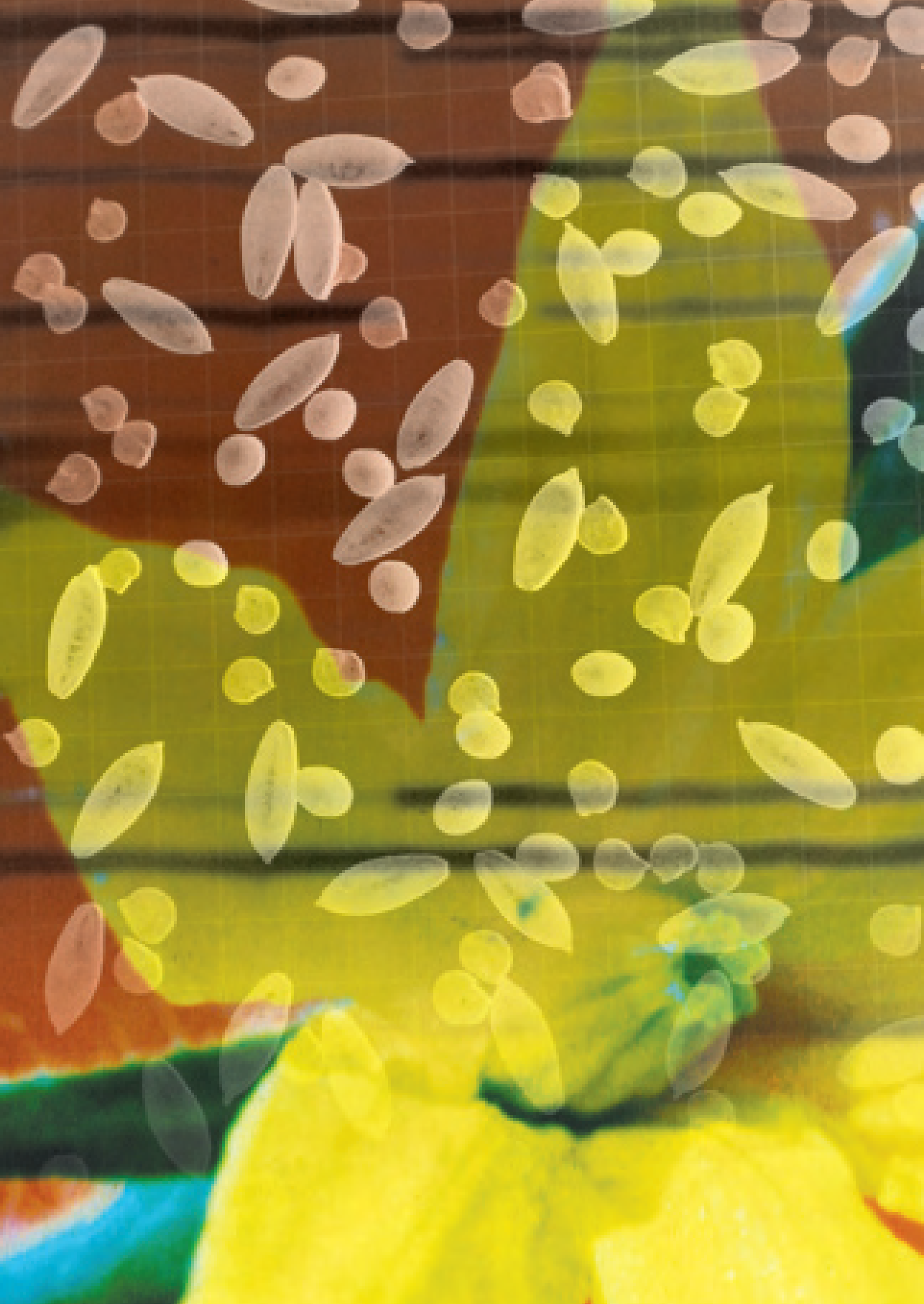
(TEMA 10]



MEJORA GENÉTICA DE HORTÍCOLAS MEDIANTE MARCADORES DE ADN

Alicia Borja Carrillo
María Salinas Navarro
Rafael Lozano Ruiz

Departamento de Biología Aplicada. Universidad de Almería





1. (INTRODUCCIÓN)

El elevado nivel de desarrollo tecnológico que ofrece actualmente la agricultura, y en particular la horticultura intensiva, no sólo es atribuible al desarrollo de modernas técnicas de cultivo y de gestión de las explotaciones, sino a la integración de nuevas metodologías en los programas de mejora genética basadas en el conocimiento del genoma de los vegetales. Ello ha favorecido la obtención de nuevas variedades, más productivas y rentables, adaptadas a las distintas zonas de producción, portadoras de mejores características agronómicas, cuyo cultivo pretende ser cada vez más respetuoso con el medio ambiente. En este contexto, el desarrollo de la genética molecular ha ofrecido a la mejora vegetal criterios inequívocos para seleccionar los individuos portadores de aquellos caracteres agronómicos que se desean incorporar o mantener en una variedad. Son los marcadores moleculares, fragmentos de ADN, cuya identificación no sólo permite conocer si un individuo es o no portador de un determinado carácter, sino que su utilidad se extiende a otros campos de gran interés en mejora vegetal. Tal es el caso del análisis de la variabilidad genética y la evaluación de germoplasma o la posibilidad de establecer la proximidad genética entre diferentes líneas, lo que sin duda constituye una información privilegiada para los programas de cruzamientos dirigidos a la obtención de poblaciones segregantes heterogéneas, o de líneas puras e híbridos comerciales.

De igual forma, marcadores moleculares están permitiendo la elaboración de mapas genéticos altamente informativos en el genoma de casi todas las especies cultivadas, lo que sin duda representa una herramienta de gran utilidad en la mejora vegetal.

Desde el establecimiento de la mejora vegetal como una “actividad” científica y técnica, esto es, desde que ésta se fundamentó en los principios de la genética mendeliana, el mejorador ha tratado de seleccionar los genotipos (individuos) más apropiados a partir de la variabilidad que muestran los caracteres de interés agronómico. Ello significa que la variabilidad seleccionable de la que disponía el mejorador hasta hace no muchos años sólo podía ser evaluada a partir de las diferencias que mostraban los individuos de una población para ciertos rasgos externos o (fenotipos). Nos referimos a la producción total, el tamaño, forma y color de los frutos, la precocidad, el nivel de tolerancia o susceptibilidad a factores ambientales extremos, o la presencia/ausencia de síntomas y daños ocasionados por enfermedades y plagas. Más recientemente se han incluido cómo caracteres de selección otros cuya estima resulta algo más compleja, como son la calidad del fruto o la fertilidad de polen, o parámetros de naturaleza bioquímica, relacionados con características agronómicas importantes. Entre estos últimos figuran la determinación del nivel de sólidos solubles y ácidos orgánicos, indicativos del rendimiento del extracto y del sabor de frutos como el tomate.

Sin embargo, una gran parte de la variabilidad existente entre individuos, variedades o especies, no se traduce en diferencias fenotípicas observables a simple vista, sino que reside en cambios en la secuencia de ADN de regiones genómicas (genes) que pueden o no codificar para características externas de la planta. Se trata de variabilidad potencial, no seleccionable mediante el uso de caracteres (marcadores) fenotípicos pero sí mediante marcadores moleculares. Sea de uno u otro tipo, la mayor parte de la variabilidad debe ser aprovechada por el mejorador, hasta tal punto que sin ella sería difícil

entender un programa de mejora genética. Y es en este aspecto en el que el espectacular desarrollo de la Genética, ocurrido a partir del conocimiento de la naturaleza y estructura del ADN (ácido desoxirribonucleico), está permitiendo la aplicación de toda una batería de herramientas moleculares que van desde el propio aislamiento y clonación de los genes de importancia económica, hasta el desarrollo de nuevos métodos de cultivos “in vitro” y marcadores de gran utilidad en lo que se ha venido a denominar mejora molecular (del inglés *molecular breeding*).

En este capítulo revisaremos la naturaleza de la variabilidad existente en el ADN de las plantas, y cómo ésta puede ser analizada y utilizada con fines diversos en mejora genética. Describiremos los principales tipos de marcadores moleculares desarrollados hasta el momento y sus aplicaciones más importantes, desde la evaluación de germoplasma y el conocimiento del grado de pureza de híbridos hasta la identificación de marcadores ligados a genes de importancia económica, así como el desarrollo de mapas genéticos necesarios para el estudio de caracteres cuantitativos.

2. (MARCADORES MOLECULARES]

Bajo el término de marcador molecular se entiende cualquier fragmento de ADN o proteína variable, es decir, polimórfico, en secuencia o tamaño, entre individuos o poblaciones. A diferencia de los caracteres morfológicos utilizados como marcadores de selección, estos de naturaleza molecular son independientes de las condiciones ambientales en las que se desarrolle el cultivo (nutricionales, daños por patógenos, temperaturas adversas, etc.) y se heredan de forma mendeliana, lo que permite predecir la proporción de individuos portadores y no portadores de dicho marcador. Junto a estas, otra característica importante de los marcadores moleculares es la posibilidad de ser identificados en fases muy tempranas del desarrollo de la planta. Ello sin duda supone un considerable ahorro en espacio, tiempo y dinero ya que se pueden realizar diagnósticos precoces e inequívocos en fase de plántula, lo que a su vez permite manejar poblaciones de mejora de tamaño adecuado. Esta ventaja resulta de especial relevancia cuando se trata de caracteres sólo observables en fases avanzadas del crecimiento. Así por ejemplo, el análisis de una población F2 compuesta por varios cientos de individuos y segregante para un carácter del fruto (forma, tamaño, contenido en azúcares, color de la carne, sabor, etc.) se podría realizar a partir de un trozo de cotiledón de cada plántula, en un tiempo relativamente corto sin necesidad de que la planta llegue a fructificar. Sólo se precisaría haber identificado el marcador responsable del carácter objeto de selección.

Durante bastante tiempo han sido los isoenzimas (variantes de un mismo enzima) los únicos marcadores de carácter molecular, no morfológicos, empleados. Por su propia naturaleza bioquímica (se trata de proteínas producto de la expresión de un gen) pueden verse influenciados por factores externos, si bien la metodología y técnicas requeridas para su aplicación no son excesivamente complejas. Marcadores isoenzimáticos han sido profusamente utilizados en el análisis de la variabilidad y diferenciación poblacional, el establecimiento de relaciones filogenéticas e incluso como marcadores de selección indirecta. Casos de ligamiento como el del gen *Mi* que confiere resistencia a nemátodos



en tomate y el que controla la actividad acetil-fosfatasa 1 (*Aps-1*), o el del isoenzima glutamato oxalato transaminasa 2 (*Got-2*) y los genes 1, 2 y 3 de resistencia a *Fusarium oxysporum* ssp. *lycopersici*, siguen vigentes en los programas de selección asistida por marcadores. No obstante, a pesar del esfuerzo realizado en este campo, se ha de reconocer que el número de isoenzimas es claramente insuficiente como para reflejar, siquiera mínimamente, la diversidad genética real, por lo que su aplicación a otros ámbitos de la mejora vegetal resulta muy limitada. Es por ello que en los últimos años la atención se ha centrado en el desarrollo de marcadores, capaces de detectar variaciones en la propia molécula de ADN, y que por ello encajan mejor en el concepto de “marcador molecular” que hoy se tiene. Características antes comentadas como su independencia de las condiciones ambientales, el elevado grado de polimorfismo que revelan y los escasos requerimientos de material de partida para su observación, junto a otras como su amplia distribución en el genoma, estabilidad y rapidez y relativa facilidad para obtener patrones de ADN altamente informativos, los han convertido en herramientas extraordinariamente poderosas en diversos campos de la agricultura, ganadería, medicina, etc. Su utilidad abarca objetivos tan diversos como la evaluación de germoplasma o el diagnóstico de enfermedades (de todas ellas hablaremos en los apartados siguientes).

En este capítulo nos referiremos a los marcadores moleculares capaces de detectar variaciones en el tamaño y/o en la secuencia de ADN (polimorfismos moleculares) entre individuos, especies o poblaciones. Estos se pueden englobar en dos grandes grupos dependiendo de la metodología seguida para su detección. Los marcadores obtenidos mediante técnicas de hibridación de ADN fueron los primeros en ser desarrollados, mientras que los marcadores basados en la PCR (del inglés *Polymerase Chain Reaction*) lo han sido a partir del enorme abanico de aplicaciones que esta técnica han propiciado.

2.1. (**Marcadores moleculares obtenidos mediante hibridación de ADN: minisatélites, microsátélites y RFLPs**)

La aparición de este tipo de marcadores se debe a una característica inherente del ADN, cual es la capacidad que tiene una cadena sencilla de unirse (hibridar) con otra si las secuencias de bases de ambas cadenas son complementarias (homólogas). A pesar de haber sido ampliamente utilizados, hoy día prácticamente están en desuso porque el principal inconveniente de los marcadores obtenidos mediante la hibridación con sondas, además de su elevado coste económico y laboral, es el requerimiento de información previa a su evaluación. En este grupo se incluyen aquellos marcadores (fragmentos) polimórficos cuya detección tiene lugar tras la hibridación del ADN de un individuo con una sonda (fragmento de ADN) capaz de unirse a aquellas regiones homólogas del genoma. Previamente el ADN habrá sido cortado mediante enzimas de restricción y los distintos fragmentos resultantes separados electroforéticamente según su tamaño. El empleo de sondas marcadas (radioactivamente o mediante una reacción quimioluminiscente) permiten visualizar en un gel de electroforesis diversas bandas correspondientes a los fragmentos de ADN reconocidos por la sonda.

Los primeros marcadores desarrollados lo fueron utilizando las llamadas sondas multilocus, capaces de reconocer múltiples sitios en el genoma que variaban significativamente de unos individuos a otros. Son los denominados loci hipervariables o

minisatélites, regiones de ADN repetido en las que una secuencia o motivo básico de 10 a 60 pares de bases (pb) se repite en tandem (una repetición a continuación de otra) cientos o miles de veces, y a su vez ello en multitud de loci en un mismo individuo. Su descubrimiento por el grupo de Jeffreys a mediados de los 80, y sus primeras aplicaciones en humanos, supuso un avance considerable en el concepto de marcador molecular y en el desarrollo de nuevos tipos de marcadores (Jeffreys y col., 1985a, b). A diferencia de éstos, los microsatélites o secuencias simples repetidas (SSRs) muestran un menor número de repeticiones de un motivo más corto (1-10 pb) si bien el número de loci que pueden detectar aumenta considerablemente en cualquier genoma.

Inicialmente, el análisis genómico llevado a cabo mediante minisatélites y microsatélites tuvo como labor previa la necesidad de disponer de sondas adecuadas en cada especie. Para ello, los diferentes grupos de investigación invirtieron esfuerzos considerables en aislar y clonar sondas de ADN repetido que posteriormente secuenciaron al objeto de determinar el tamaño y número de repeticiones que dicha sonda contenía así como la naturaleza de la unidad de repetición. Tales sondas han sido y son empleadas directamente para analizar polimorfismos moleculares como los aquí descritos. En ocasiones también se han utilizado como sondas oligonucleótidos sintéticos complementarios a SSRs [(GATA)_n, por ejemplo] cuyo diseño se ha visto facilitado por el gran volumen de información existente sobre secuencias homólogas en las diferentes especies. El alineamiento de éstas y la identificación de las regiones conservadas, permite deducir la secuencia de la sonda a emplear. Merece señalar que la aparición de los minisatélites como loci marcadores de regiones variables del genoma constituyó el punto de partida de una nueva metodología genética cuyo objetivo inicial fue el establecimiento un patrón de bandas de ADN (marcadores moleculares) que pudieran ser utilizadas a modo de “huella genética” característica de cada individuo. De ahí el nombre de DNA fingerprinting que, incluso en el argot científico castellano, se utiliza para designar genéricamente a los patrones de micro y/o minisatélites identificados mediante hibridación con diferentes sondas en el genoma de una especie. Posteriormente se ha podido constatar la enorme utilidad que en diversos campos de la actividad científica ha tenido la aplicación de esta metodología (véase Weising y col., 1995).

La base molecular de los polimorfismos en regiones minisatélites y microsatélites reside en la acumulación de mutaciones en las unidades de repetición, que pueden afectar desde unos pocos nucleótidos a secuencias de mayor tamaño (inserciones, deleciones, translocaciones o inversiones). Normalmente, las mutaciones que tienen lugar en dichas regiones no suponen alteraciones en rasgos fenotípicos, esencialmente porque se trata de ADN no codificante, sin información directa o indirecta para carácter alguno. Estas regiones de ADN repetido tienen un margen de variación más amplio que las regiones codificantes toda vez que las mutaciones que en ellas han ocurrido a lo largo de la evolución no han sido cribadas por la selección (natural o artificial) lo que las convierte en excelentes sitios del genoma donde encontrar polimorfismos moleculares con una alta probabilidad. Los polimorfismos en regiones mini o microsatélites se pueden reflejar en la presencia/ausencia de un determinado fragmento debida a la existencia o no de homología con la sonda empleada. También pueden consistir en diferencias en el número de copias de la secuencia repetida en cada locus y, consecuentemente, en variaciones en el tamaño del fragmento detectado. Es por ello que en



algunas publicaciones, este tipo de polimorfismos hayan sido denominados VNTR (del inglés *Variable Number Tandem Repeats*).

Un tercer tipo de marcadores ampliamente utilizados en mejora de hortalizas es el que permite detectar polimorfismos en la longitud de los fragmentos de restricción o RFLPs (del inglés *Restriction Fragment Length Polymorphisms*). La técnica empleada en la obtención de patrones RFLP no difiere de la anteriormente descrita para microsátelites, de no ser porque en lugar de sondas multilocus, se emplean sondas específicas de un sólo locus que proporcionan un patrón electroforético sencillo, con uno o pocos fragmentos detectables. Un segundo aspecto que distingue a los RFLPs es que en su génesis se suelen utilizar sondas específicas, esto es, clonadas a partir del genoma de la misma especie, mientras que las regiones de ADN repetido se pueden detectar con sondas de especies diferentes (heterólogas), pues se trata de secuencias conservadas en casi todos los organismos. Ambos tipos de marcadores tienen en común el hecho de ser codominantes, lo que significa que permiten distinguir entre individuos homocigóticos y heterocigóticos para dicho locus.

La aparición de polimorfismos tipo RFLP puede ser debida a mutaciones que, en caso de ser puntuales (cambios de base, pérdida o ganancia de algún nucleótido), impiden la actuación de las enzimas de restricción y con ello la digestión del ADN, pero que si afectan a una secuencia de mayor tamaño, harán que el fragmento reconocido por la sonda sea de un tamaño diferente. O incluso que una región inicialmente homóloga, ya no lo sea, y por consiguiente, la sonda sería incapaz de reconocerla, lo que significaría la ausencia del marcador.

Conviene indicar que el desarrollo de marcadores RFLP en número suficiente para los distintos objetivos de mejora supone una tarea laboriosa, pues se requiere del aislamiento y clonaje de sondas apropiadas a partir de librerías genómicas o de ADNc (ADN complementario a un ARN mensajero). Las técnicas moleculares empleadas en su detección son asimismo de cierta complejidad (digestión de ADN, transferencia a membrana, marcaje de sondas, etc.) y a menudo requieren de instrumental específico y personal cualificado. A pesar de ello, multitud de RFLPs han sido identificados en plantas, especialmente en cultivos de importancia económica como tomate, melón, lechuga, brásicas, cereales, arroz y algunas especies ornamentales, entre otros. Con ellos se han confeccionado mapas genéticos de gran utilidad, que se están completando actualmente con otro tipo de marcadores moleculares. Su empleo como marcadores, en estudios filogenéticos e identificación de cultivares es destacable, no tanto el de su aplicación a programas de selección, probablemente por la laboriosidad metodológica que requieren.

A diferencia del ADN nuclear, el ADN presente en cloroplastos (ADNcp) y mitocondrias (ADNmt) se hereda únicamente vía materna (herencia uniparental). En ambos orgánulos, el ADN se encuentra en múltiples copias y su análisis puede llevarse a cabo de manera similar a lo anteriormente descrito. El elevado nivel de conservación del ADNcp, de aproximadamente 150 kb (kilobases), hace innecesario el empleo de sondas específicas de cada especie, habiéndose aplicado su estudio mediante RFLPs al establecimiento de filogenias a nivel interespecífico e intergenérico. No se puede decir algo parecido del ADNmt que, aunque también es poco variable entre especies, en lo que a secuencia se refiere, sí que mantiene diferencias importantes en la arquitectura de las distintas moléculas.

las presentes en cada célula. Y ello debido esencialmente a fenómenos de recombinación intragenómica que hace que se puedan encontrar formas y tamaños diferentes de ADNmt en un individuo, lo que dificulta enormemente su análisis mediante RFLPs. No obstante, su estudio mediante marcadores moleculares se ha llevado a cabo para caracteres muy concretos, como es el caso de la androesterilidad citoplásmica.

Para concluir este apartado dedicado a los marcadores cuya detección precisa de la hibridación entre el genoma de la planta a analizar y sondas de ADN, conviene precisar que el nivel de polimorfismo que una sonda es capaz de mostrar en el genoma de una especie depende de, al menos tres factores: (1) el sistema reproductivo de la especie en cuestión (autogamia, alogamia, propagación vegetativa o apomixis), (2) las características moleculares del fragmento de ADN con el que hibridará la sonda, así como de las regiones flanqueantes (tasa de mutación, conformación de la cromatina, etc.), y (3) de las enzimas de restricción elegidas para digerir el ADN.

2.2. (**Marcadores desarrollados mediante técnicas de PCR**)

Para los marcadores obtenidos mediante hibridación con sondas, sean estas específicas o no, el principal inconveniente estriba en la disponibilidad de sondas para los diferentes propósitos. Ello depende del éxito en la identificación y la clonación de las secuencias de ADN correspondientes, que permita obtener un gran número de copias de la secuencia a utilizar. Esta dificultad quedó solventada en 1985 con la) siempre que éste se encuentre localizado entre dos secuencias cortas (10-25 nucleótidos) complementarias a las de los dos oligonucleótidos o cebadores que intervienen en la reacción. Así, a partir de una pequeña cantidad de ADN (en el rango de los 10^{-9} gramos), millones de copias de uno o varios fragmentos contenidos en el mismo pueden ser obtenidas de forma rápida y selectiva. Este proceso de amplificación requiere de la desnaturalización previa del ADN que actuará como molde, al objeto de separar las dos cadenas y permitir la hibridación (anillamiento) de los cebadores empleados. La posterior síntesis (extensión) de la nueva cadena complementaria tiene lugar gracias a la actividad de una enzima termoestable (Taq polimerasa) capaz de añadir nucleótidos a la cadena en formación. Un ciclo de desnaturalización-hibridación-síntesis se repite varias veces (de 35 a 60 ciclos, según los objetivos) durante los cuales el número de copias del fragmento o fragmentos amplificados aumenta exponencialmente hasta alcanzar el valor final de 2^n copias (n es el número de ciclos). En función del propósito para el cual se utilice la técnica de PCR, la complejidad del genoma de la especie, del tamaño del fragmento a amplificar y de la especificidad de los cebadores empleados, las condiciones de reacción difieren, especialmente en lo que a temperatura y tiempo de hibridación de los cebadores y duración de la síntesis. Detalles más precisos acerca de la técnica en sí misma pueden ser encontrados en los manuales de McPherson (1991) y Newton y Graham (1994).

De los distintos condicionantes que influyen en una reacción de PCR quizás merezca cierta consideración el relativo a la secuencia de los cebadores. Esta puede ser tan específica o arbitraria como el objetivo requiera. Así, la amplificación de un gen o región de secuencia conocida deberá llevarse a cabo con cebadores específicos, complementarios a las regiones que flanquean a dicho gen (los denominados sitios de anillamiento de los cebadores).

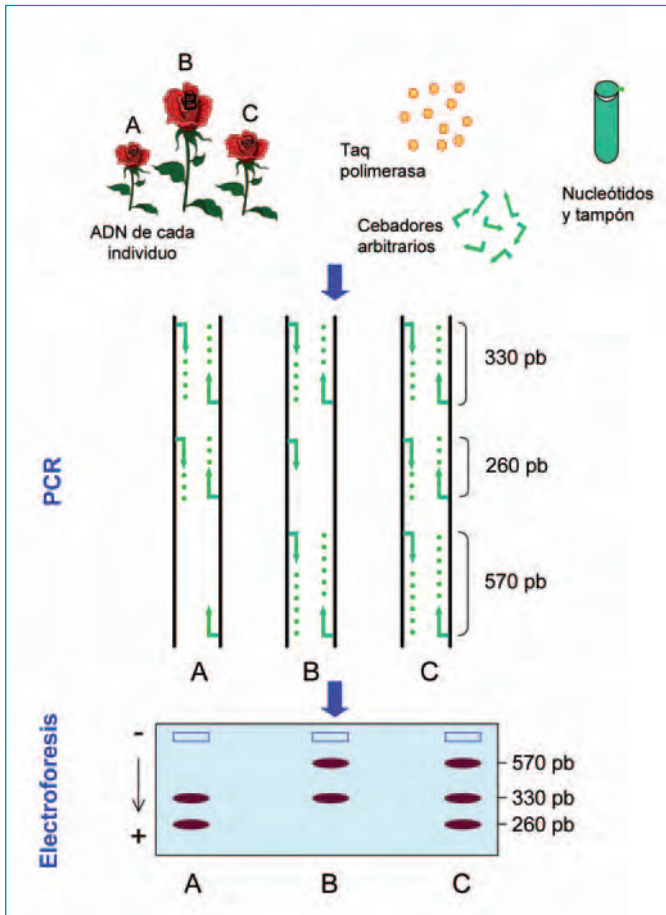


FIGURA 1. POLIMORFISMOS EN UNA REACCIÓN DE PCR EN LA QUE SE EMPLEÓ UN CEBADOR DE SECUENCIA ARBITRARIA (FLECHA). LA FALTA DE HIBRIDACIÓN DE DICHO CEBADOR EN SITIOS DISTINTOS DEL GENOMA (LÍNEA NEGRA) GENERA PATRONES DE ADN DIFERENTES EN CADA INDIVIDUO (A, B Y C). LOS MARCADORES AQUÍ REPRESENTADOS SE CORRESPONDERÍAN CON LOS DESCRITOS POSTERIORMENTE COMO RAPDS.

Por el contrario, la utilización de cebadores arbitrarios, cuya secuencia, aunque conocida, no se ajusta a ninguna previamente establecida, permite amplificar al azar en número discreto de fragmentos, tantos como regiones homólogas se encuentren en el genoma analizado. Entre ambos extremos se encuentran los cebadores semiespecíficos utilizados para amplificar SSRs o regiones parcialmente conservadas entre los distintos genomas (genes ribosomales y de ARNt, familias repetidas de forma dispersa como las regiones Alu y SINE, sitios de procesamiento de intrones, etc.). Las diferentes posibilidades que ofrece la PCR, sólo en lo que combinaciones de cebadores se refiere, proporcionan una idea del potencial que esta técnica tiene para diferentes propósitos. Los resultados también difieren según el tipo de cebadores empleados. Mientras los cebadores específicos normalmente generan un patrón simple de ADN, con una banda o marcador único correspondiente al locus amplificado, el uso de cebadores de secuencia aleatoria da lugar a un patrón de ADN más o menos complejo, con marcadores diferentes, similar a los obtenidos con sondas microsatélites y minisatélites.

Mediante PCR, distintos tipos de polimorfismos pueden ser puestos de manifiesto. Los más sencillos, pueden detectar la presencia o ausencia de un determinado marcador debidos a variaciones en la secuencia de los sitios de anillamiento de los cebadores empleados, o bien a mutaciones en dichas secuencias que favorezcan o dificulten el reconocimiento de los cebadores. Ello significa la amplificación o no del correspondiente fragmento, y consecuentemente que un determinado marcador se comporte como polimórfico, esto es, presente en unos individuos y no en otros, de la población bajo estudio. Un esquema acerca de posibles polimorfismos detectados mediante PCR se muestra en la Figura 1. En otros casos, no se tratará de un polimorfismo de presencia/ausencia de un marcador, sino en diferentes alternativas (alelos) para el tamaño del mismo, para lo cual los cebadores a utilizar se encuentran conservados en todos los individuos, si bien éstos difieren en la longitud del fragmento amplificado.

Conviene señalar que la aplicación de las técnicas de PCR no se restringe en modo alguno al desarrollo de marcadores moleculares. Hoy día, resulta difícil pensar en una metodología científica que implique técnicas de biología molecular, que no incluya a la PCR como soporte indispensable, desde la medicina forense hasta la agricultura más moderna.

El conocimiento de las regiones de ADN repetido en tándem, así como de las secuencias nucleotídicas situadas a ambos lados de las primeras, ha facilitado enormemente el diseño de cebadores específicos o semiespecíficos con los que amplificar e identificar polimorfismos moleculares en tales loci. Ello, unido al hecho de que algunas de estas secuencias flanqueantes se encuentran altamente conservadas en especies más o menos próximas, da muestra de la gran aplicación que marcadores del tipo minisatélites y, sobre todo, SSRs, encuentran en la evaluación de germoplasma, la identificación genotípica, el análisis de pureza de híbridos, la búsqueda de ligamiento a genes de interés o el incremento de los niveles de heterosis a partir de líneas seleccionadas, entre otras. De igual forma, algunos trabajos han probado la utilidad como cebadores de las mismas unidades de repetición que se utilizan como sondas cuando marcadores tipo SSR o minisatélites son obtenidos tras protocolos de hibridación. Así, cebadores contenido los motivos $(CA)_8$, $(CT)_8$, $(CAC)_5$, $(GTG)_5$, $(GATA)_4$ y $(GACA)_4$, promueven patrones polimórficos para más de un locus, si bien es cierto que la variabilidad intraespecífica escapa a sus posibilidades de detección.

En la actualidad, son quizás los polimorfismos SSR, junto con los AFLPs de los que hablaremos a continuación, los marcadores de mayor importancia y utilidad en las diferentes facetas de la investigación agronómica, incluyendo la patología vegetal, la fisiología, y por supuesto la mejora genética. En el caso concreto de los microsateélites, éstos añan el alto grado de polimorfismo residente en las regiones de ADN satélite de cualquier genoma y su naturaleza codominante, con la sencillez, fiabilidad y rapidez de las técnicas de PCR.

Una variante de los SSRs son los cebadores ISSRs. Para su detección se emplean cebadores que reconocen regiones SSRs y amplifican por PCR el fragmento existente entre ambos cebadores. Se suelen amplificar varios fragmentos a la vez y en mayor número que los RAPDs. La principal ventaja que presentan respecto a estos es que poseen una mayor reproducibilidad.



Los marcadores RAPDs (del inglés *Random Amplified Length Polymorphisms*) son marcadores PCR obtenidos con cebadores de secuencia arbitraria, con una amplia repercusión en el sector hortícola. La génesis de un marcador tipo RAPD parte de una reacción estándar de PCR en la que usualmente sólo interviene un cebador de 10 nucleótidos y de secuencia aleatoria. Dos condiciones más deben concurrir para la amplificación de un fragmento RAPD, a saber, la distancia entre los dos sitios de anillamiento del cebador, uno en cada cadena, no debe exceder de unas pocas kilobases (los fragmentos pequeños se amplifican más eficientemente que los grandes), y su riqueza en nucleótidos GC debe ser alta (al menos del 50%, para mantener estable la unión del cebador al DNA durante la síntesis). Una colección amplia de cebadores con estas características ha sido sintetizados por diferentes firmas comerciales (Operon Technologies, Pharmacia LKB o Genosys) y se encuentran disponibles en el mercado. Casi simultáneamente a la aparición de los RAPDs, cebadores arbitrarios aún más cortos proporcionaban también perfiles polimórficos de ADN, aunque menos reproducibles, eran los denominados AP-PCR (del inglés *Arbitrary Primer-PCR*), con los cuales poco o nada se ha seguido investigando.

De la propia naturaleza del cebador utilizado en los RAPDs se deduce que estos marcadores se corresponden con regiones “anónimas” del genoma, de las que poca información acerca de su identidad o localización se puede obtener en un principio. Existen, no obstante, metodologías específicas para ubicar en el mapa genético de una especie, cualquier marcador obtenido así como para conocer si realmente se trata de una secuencia anónima o de un locus conocido. Respecto al nivel de variabilidad detectada con RAPDs, esta parece depender de la complejidad del genoma y del cebador, pero en términos generales entre 2 y 15 loci por reacción pueden ser identificados por término medio. En este caso, los polimorfismos pueden ser debidos a diferentes fenómenos, entre ellos, la inserción de un fragmento grande entre los dos sitios de anillamiento del cebador, que generaría a su vez un fragmento de longitud excesiva para ser amplificado por la polimerasa, la delección de parte del sitio de anillamiento de uno o ambos cebadores, y la consiguiente desaparición del RAPD, una sustitución de nucleótidos en los mismos sitios, que impida la hibridación de los cebadores o la aparición de nuevos sitios de anillamiento y consecuentemente nuevos marcadores, o la inserción o pérdida una secuencia de ADN que conlleve un cambio en el tamaño del fragmento amplificado. Como quiera que ésta última explicación, raramente ha sido observada, lo normal es que un marcador RAPD se encuentre presente (alelo A) o ausente (alelo a), y por tanto, a todos los efectos se comporta como un marcador dominante, toda vez que los individuos homocigóticos (AA) son indistinguibles de los heterocigóticos (Aa) (ambos muestran el marcador).

En ocasiones se ha argumentado la baja reproducibilidad de los RAPDs como un grave inconveniente de estos marcadores. Si bien las opiniones se contraponen al respecto, lo cierto es que este aspecto queda sobradamente compensado con otras ventajas como la sencillez técnica que requieren, su rapidez, la posibilidad de automatizar el proceso de obtención y, particularmente, el relativamente elevado nivel de variabilidad que ponen de manifiesto. Desde 1990, año en el que Williams y col. desarrollaron este tipo de marcadores, hasta nuestros días, estas y otras cuestiones ha sido extensamente investigadas y discutidas en diferentes trabajos.

En 1995 se publicó por primera vez el desarrollo de un tipo de marcadores moleculares, los AFLPs (*Amplified Fragment Length Polymorphisms*), que representan polimorfismos en fragmentos de restricción amplificados selectivamente. Realmente la metodología empleada en la obtención de AFLPs incluye procedimientos de los RFLPs y otros propios de la PCR. Así, el ADN genómico de un individuo es digerido con dos enzimas de restricción (una de corte frecuente y otra de corte poco frecuente), y a los fragmentos obtenidos se les una secuencia o adaptador de dos o tres nucleótidos selectivos; posteriormente el conjunto de fragmentos es amplificado mediante PCR con cebadores en cuya secuencia figuran nucleótidos específicos complementarios a los del adaptador. La visualización de los fragmentos de restricción amplificados se puede realizar, bien en un gel de poliacrilamida de alta resolución o mediante electroforesis capilar y cromatografía. En el primer caso, los polimorfismos, al igual que los RAPDs, se manifiestan como presencia o ausencia de una banda, mientras en el segundo, cada marcador queda representado por un pico de densidad en el correspondiente cromatograma. La diferencia más notable entre los AFLPs respecto a cualquier otro tipo de marcadores es el número de loci que se pueden detectar por reacción. Mientras que no más de 1 SSR ó 10-15 RAPDs se obtienen por cebador (o pareja de cebadores) y reacción, este número aumenta a más de 100 cuando se trata de AFLPs. Tal es el potencial polimórfico de estos últimos que ya son numerosos los trabajos publicados en los que se recoge su aplicación con diferentes objetivos de mejora.

La utilidad de los RAPDs, AFLPs y RFLPs puede aumentar, convirtiendo estos marcadores en marcadores específicos de PCR de más fácil utilización. Para ello se pueden seguir dos vías, ambas pasan por clonar y secuenciar el fragmento genómico correspondiente. La primera consiste en identificar posibles variaciones nucleotídicas en la secuencia clonada que coincidan con alguna de las múltiples dianas de restricción conocidas. La posterior digestión del fragmento con el enzima adecuado permitirá visualizar tales polimorfismos con una diferencia en el número de bandas obtenidas tras la digestión del ADN. Son los denominados en este caso CAPS (*Cleaved Amplified Polymorphic Sequences*), (Konieczny and Ausubel, 1993). Pero a veces, dicha secuencia no coincide con ninguna diana de restricción. Para solventar esto se ha empleado la técnica dCAP que consiste en introducir una mutación en el cebador de manera que al amplificar el fragmento, origine un nuevo sitio de restricción artificial en uno de los alelos amplificados. La otra posibilidad es diseñar cebadores específicos de mayor longitud (22-25 bases) y de secuencia complementaria a los extremos del marcador original clonado, ya sea RAPD, AFLP o RFLP. Las diferencias alélicas se encuentran en los sitios de anillamiento de los cebadores o bien en el tamaño del fragmento amplificado; en cada caso se podrán amplificar marcadores específicos de cada alelo o SCARs (*Sequence Characterised Amplified Regions*) (Paran and Michelmore 1993).

Los STSs (Olson y col., 1989) son marcadores basados en la amplificación de una región de ADN conocida previa secuenciación de clones genómicos o de cDNA. Se puede obtener un STS a partir de un SSR, un RFLP u otro marcador para lo cual hay que secuenciar dicho marcador y posteriormente diseñar cebadores que lo amplifiquen por PCR. El resultado de la amplificación son varios fragmentos de ADN de distinto tamaño separables en un gel de agarosa. Una ventaja de estos marcadores sobre los RAPDs es que estos generalmente amplifican un mayor número de bandas y tienen una mejor reproducibilidad.



Los SSCPs (Orita y col., 1989) estudian las diferencias conformacionales de fragmentos de ADN monocatenario. Como consecuencia de un cambio nucleotídico, el ADN de cadena simple adquiriría una conformación distinta. Estas conformaciones se detectan por cambio de movilidad en un gel de poliacrilamida de alta resolución no desnaturante. Es útil para bandas de ADN de gran tamaño. El ADN se mezcla con un agente desnaturante y se corre en un gel no desnaturante, de tal forma que aparecen tres bandas: ADN bicatenario, ADN monocatenario simple y ADN monocatenario con una conformación especial (bucle, ovillo debido a la existencia de secuencias internas complementarias); es esta última la que varía. Hay que ajustar muy bien la temperatura porque la conformación es característica de una temperatura determinada. A distintas temperaturas puede haber conformaciones distintas. Estas técnicas permiten una detección muy precisa de pocos pares de bases.

Los S-SAP son marcadores cuya detección es similar a los AFLPs con la diferencia de que uno de los cebadores de la amplificación selectiva es sustituido por un cebador específico de la frecuencia que se quiere amplificar.

Los SNPs son polimorfismos basados en un cambio nucleotídico único. Constituyen la variación más frecuente en el DNA puesto que son cambios puntuales no deletéreos (Wang y col., 1998). Son obtenidos después de secuenciar ADN de diferentes individuos y su utilización es excesivamente cara. En realidad, muchos de los polimorfismos revelados con otros marcadores son SNPs, esto es, son distintos mecanismos que detectan una mutación puntual en el genoma

Una exposición más detallada de los diferentes tipos de marcadores de ADN aparece publicada en manuales recientes (García-Mas y col., 2000; Martín , 2002).

2.3. (Comparación de los distintos tipos de marcadores moleculares]

Aún hoy día, una buena parte de la mejora vegetal se realiza utilizando como criterios de selección marcadores o caracteres morfológicos, a pesar de ser todos (mejoradores y productores) conscientes de la poca exactitud de los mismos, debido a su influencia ambiental, y por tanto, de la necesidad de separar la variación fenotípica de la genotípica. Por su parte, los isoenzimas son marcadores codominantes, fáciles de obtener y de bajo coste, pero que subestiman enormemente la variabilidad genética existente, el número de loci detectables es escaso y, a menudo requieren de material fresco de partida, lo que dificulta su análisis para determinados propósitos. Estos problemas son en su mayoría resueltos por los marcadores moleculares.

Las ventajas e inconvenientes de cada uno de los tipos de marcadores moleculares descritos lo son dependiendo de la utilidad que de ellos se pretenda obtener. De hecho, sería difícil decidir si en realidad existe un tipo de marcador de aplicación universal. Algunas características esenciales que debe reunir un marcador universal son: comportamiento polimórfico, herencia codominante, presencia frecuente en el genoma, amplia distribución en el genoma, que sea selectivamente neutro, de fácil y rápida detección, de gran estabilidad y posibilidad de intercambio entre distintos laboratorios. Ninguno de los marcadores moleculares actualmente conocidos reúnen todas estas características. Algunos son de bajo nivel de polimorfismo (RFLPs), otros no son codominantes

(RAPDs) o su detección es técnicamente compleja (AFLPs y los que precisan de hibridación con sondas marcadas). De ahí que, en definitiva, la elección del tipo de marcador a emplear esté condicionada por el material vegetal, el objetivo que se persigue, la existencia de otro tipo de marcadores previos y de un mapa genético, las disponibilidades presupuestarias y la capacidad técnica y científica del personal que llevará a cabo el trabajo. No conviene olvidar que marcadores que se pudieran considerar “obsoletos” como son los isoenzimas, algunos de ellos fueron desarrollados para aplicaciones tan específicas (selección indirecta de caracteres concretos) que no precisan necesariamente ser sustituidos. Otros como los minisatélites siguen manteniendo sus aplicaciones en el campo del diagnóstico, especialmente en genética humana.

En caso de comenzar de nuevo un trabajo de marcadores moleculares, los obtenidos mediante PCR se consideran de más fácil detección, mayor nivel de polimorfismo, amplia divulgación entre laboratorios y menor coste. Dentro de estos, la simplicidad y elevado nivel de polimorfismo de los RAPDs, los hace recomendables en análisis de variabilidad genética, e incluso para la evaluación de germoplasma. Si se dispone de la tecnología, el personal y el presupuesto adecuados, los AFLPs y SSRs pueden ser aún más resolutivos en menor tiempo. La búsqueda de marcadores ligados a genes de interés y para las aplicaciones en mejora asistida por marcadores, AFLPs y microsatélites constituyen la mejor elección. Los segundos además son, en cualquier caso, siempre codominantes, cosa que no ocurre con los AFLPs.

3. (UTILIDAD DE LOS MARCADORES MOLECULARES EN MEJORA VEGETAL]

Desde que los marcadores moleculares se comenzaron a emplear en el análisis genómico de plantas en 1988, muchas y diversas han sido las aplicaciones en las que este tipo de herramientas ha mostrado su utilidad. Unas de utilidad en medicina y sanidad, otras en genética de poblaciones y en la conservación de los recursos naturales y otras en agronomía. Entre las últimas, destacan las relativas a la identificación de genotipos, líneas y cultivares híbridos, la evaluación de germoplasma y el análisis de relaciones genéticas, la realización de mapas genéticos, la identificación de marcadores ligados a genes de interés agronómico. De estas aplicaciones se hablará en los párrafos siguientes.

3.1. (Análisis de la variabilidad genética: evaluación de germoplasma y relaciones entre genotipos]

Una de las propiedades más relevantes del genoma de cualquier especie con reproducción sexual es su exclusividad. Y en ella reside una de las primeras aportaciones de los marcadores moleculares, su potencial para diferenciar dos individuos (genotipos) por muy estrechamente relacionados que se encuentren. Aplicados al análisis de poblaciones heterogéneas (cultivares tradicionales, variedades locales, especies emparentadas, etc.) o a colecciones de germoplasma, cualquiera de los marcadores antes descritos identifica patrones de ADN únicos y exclusivos de cada individuo, tanto más cuanto mayor sea la capacidad para detectar polimorfismo del marcador utilizado. El estudio de estos perfiles individuales asimismo proporciona una información bastante precisa acerca de los niveles de variabilidad intra e interpoblacional (Figura 2).

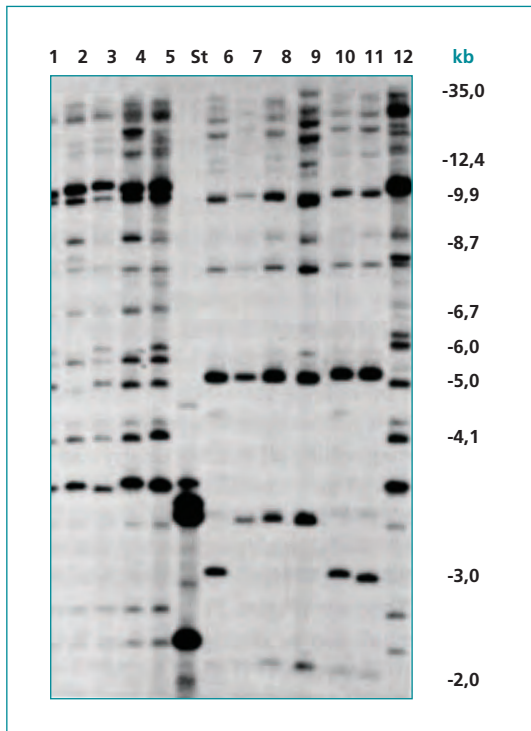


FIGURA 2. COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE VARIABILIDAD EN DOS POBLACIONES, UNA COMPUESTA POR CINCO INDIVIDUOS (1-5) Y LA OTRA POR SIETE (6-12). LOS MARCADORES FUERON DETECTADOS TRAS DIGERIR EL ADN DE CADA INDIVIDUO E HIBRIDARLO CON UNA SONDA (GACA) 4. EL CARRIL ST CORRESPONDE A UN CONTROL DE LA REACCIÓN. EL ESTUDIO DE LOS PATRONES DE ADN PERMITE CONOCER EL GRADO DE DIFERENCIACIÓN DE AMBAS.

En las colecciones de germoplasma conviene preservar toda la variabilidad de una especie. Sin embargo, el espacio y los recursos de estas instalaciones en ocasiones impide que puedan reproducirse un número suficiente de individuos que garantice el mantenimiento de la variabilidad. Cuando esto ocurre, la manera de solventarlo consiste en evaluar la colección para un número suficiente de loci en cada multiplicación

e incluso en cada recolección de nuevo germoplasma. De esta forma se puede comprobar que no se está seleccionando para ningún genotipo en particular y que se mantiene la variabilidad genética de la especie, o lo que es lo mismo, que los distintos alelos de cada loci se encuentran presentes y en frecuencias similares a las inicialmente descritas.

Una aproximación similar puede utilizarse para conocer el grado de proximidad genética (o su inversa, la distancia genética) entre genotipos distintos. Los índices de similaridad (índice de Nei, índice de Jaccard o cualquier otro) deducidos de la proporción de marcadores comunes y no comunes para cada par de genotipos se incluirán como datos de un análisis multivariante o análisis de clusters (UPGMA o PCA), el cual determinará los grupos de genotipos más coincidentes (también los más divergentes) en su constitución genética. El conocimiento de las distancias genéticas que separan a los distintos genotipos puede ser de gran utilidad para diseñar cruzamientos entre líneas lo suficientemente alejadas como para aumentar los posibles efectos de heterosis en sus descendencias híbridas.

La bibliografía sobre las aplicaciones descritas en apartado es bastante extensa. A modo de referencia citaremos el trabajo realizado recientemente en el Laboratorio de Genética y Mejora de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Almería. En él se han analizado mediante RAPDs y caracteres agronómicos, más de un centenar de líneas de melón pertenecientes a los distintos tipos varietales cultivados de esta especie, galia, piel de sapo, amarillo, japonés, cantalupo, rochet y americano (García y col.,

1998). Los resultados no sólo han constatado las relaciones de proximidad genética entre las distintas líneas del mismo o distinto tipo varietal, sino que han proporcionado la explicación sobre el valor agronómico de diferentes híbridos de líneas seleccionadas en base a caracteres morfológicos. Las mejores combinaciones híbridas correspondieron a cruzamientos entre líneas muy separadas genéticamente, según sus perfiles de ADN, mientras que progenies debían mostrar excelentes características, no lo hicieron al nivel esperado porque realmente se obtuvieron a partir de líneas poco divergentes a nivel molecular. Este y otros muchos trabajos realizados en otras hortalizas, cereales y frutales corroboran el hecho de que la variabilidad puesta de manifiesto por los marcadores moleculares constituye una información valiosa en la mejora vegetal.

3.2. (Identificación genética: pureza de híbridos y evaluación de dihaploides)

Una excepción a la heterogeneidad aludida en el apartado anterior lo constituyen las variedades híbridas o variedades F1, en las que todos los individuos son, o al menos deben ser, genéticamente iguales, porque proceden del cruzamiento entre dos líneas puras altamente homocigóticas. Aún así, las líneas parentales utilizadas se consideran homocigóticas para los genes responsables de los caracteres agronómicos por los cuales tales líneas, y sus híbridos respectivos, han sido seleccionadas. Pero difícilmente lo serán para todos los genes, lo que hace que, incluso en los híbridos comerciales, exista cierto grado de variabilidad molecular, oculta en regiones no codificantes del genoma, que no representa problema alguno para el agricultor. Dicha variabilidad será tanto menor cuanto más fijadas sean las líneas parentales.

Al margen de la variabilidad antes señalada, durante el proceso de producción de semilla híbrida pueden ocurrir fecundaciones no deseadas cuyo origen puede estar en un mal control de la polinización (autofecundaciones) o el empleo de parentales equivocados. Como consecuencia, la semilla híbrida contendrá cierto grado de impureza, el cual puede ser fácilmente determinado mediante marcadores moleculares. En este caso, los AFLPs constituyen, por el elevado nivel de polimorfismo que detectan, una buena elección. En caso de disponer de los genotipos parentales, la naturaleza codominante de los microsátélites puede resultar también muy informativa. Con cualquiera de ellos se puede determinar el porcentaje de plantas fuera de tipo, aquellas cuyo perfil de ADN no coincide con el esperado suponiendo un patrón de herencia mendeliano de los marcadores empleados. Y es que todo marcador que se encuentre en uno de los genotipos parentales, también lo debe estar en el híbrido, y a la inversa, ningún marcador presente en el híbrido puede dejar de estarlo en alguno de los progenitores. En caso de no disponer de éstos, el análisis se ha de realizar por comparación con lotes de semilla certificada de la variedad en litigio, así como con genotipos sospechosos y otros no relacionados (controles negativos).

Una utilidad similar tienen los marcadores moleculares en especies donde la reproducción es predominantemente apomíctica, como por ejemplo en el género *Citrus*. En ocasiones, la mejora de poblaciones y variedades se realiza a partir de cruzamientos, en los que es posible conocer el perfil molecular de cada parental, de tal manera que la selección de verdaderos híbridos puede llevarse a cabo de manera fiable.

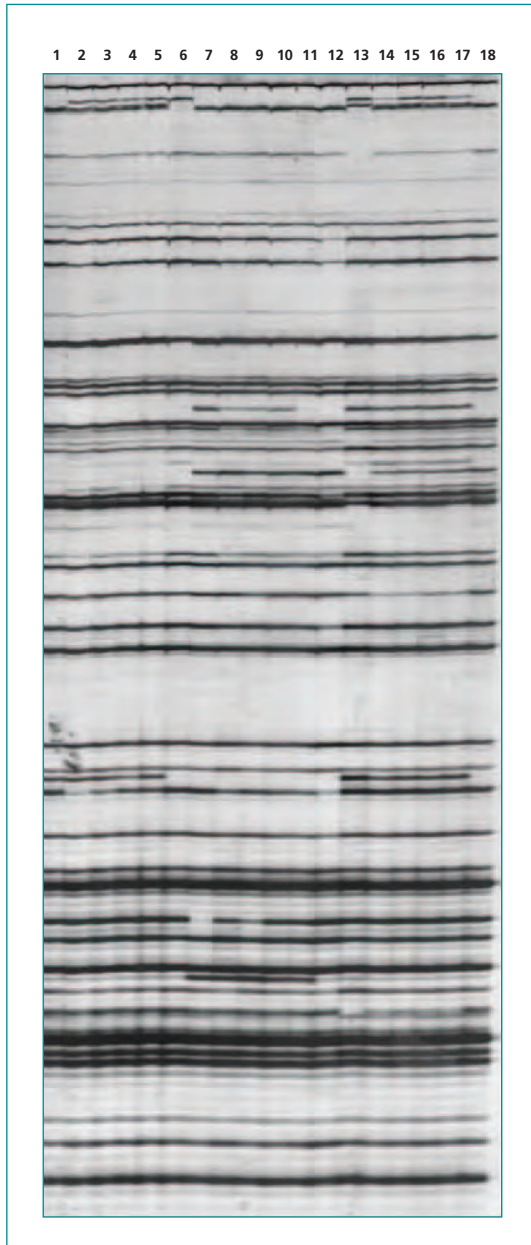


FIGURA 3. UTILIDAD DE LOS MARCADORES AFLP EN EL ANÁLISIS DE PUREZA DE UNA VARIEDAD HÍBRIDA. LOS CARRILES 1 Y 6 CORRESPONDEN A LAS LÍNEAS PARENTALES Y LOS CARRILES 2 A 5 A CUATRO PLANTAS PROCEDENTES DE SEMILLA CERTIFICADA PROCEDENTES DEL CRUZAMIENTO DE AMBOS PARENTALES. PUEDE OBSERVARSE QUE COMO PLANTAS HÍBRIDAS SUS PATRONES DE ADN COINCIDEN. POR EL CONTRARIO, LOS CARRILES 7 A 18 CORRESPONDEN A PLANTAS FUERA DE TIPO TAL Y COMO SUGIERE SU PATRÓN DE AFLPS. COMO EJEMPLO NOS FIJAREMOS EN LOS MARCADORES A Y B, QUE SÓLO ESTÁN PRESENTES EN LAS PLANTAS "PROBLEMA", LO QUE INDICA QUE POSEEN UN GENOMA DISTINTO AL DEL HÍBRIDO. ANALIZADOS EN SU CONJUNTO, LOS RESULTADOS PODRÍAN INDICAR QUE LAS PLANTAS 7 A 18 PROBABLEMENTE PROCEDAN DE UNA AUTOFECONDACIÓN DEL PROPIO HÍBRIDO (DE HECHO TIENEN ALGUNOS MARCADORES COMUNES, C), O BIEN DE UNA FECUNDACIÓN CON UN POLEN INAPROPIADO.

En el campo de la identificación genotípica, los marcadores moleculares son igualmente excelentes herramientas para la evaluación de haploides. Obtenidos por cultivos "in vitro" a partir de un individuo heterocigoto, las progenies dihaploides que luego se generan deben ser homocigóticas para cada uno de los loci analizados puesto que en ellas se ha duplicado toda la información genética presente en el gameto inicial. De esta forma, la identificación de individuos heterocigóticos, aunque sólo sea para un locus, significará que no se trata de un verdadero haploide. Además, cada uno de los loci debe segregarse en una proporción 1:1, lo que indicaría que se han recuperado todos

los gametos que el individuo parental generó. Desviaciones de estas segregaciones sugieren que la población de haploides está sesgada, bien debido a un bajo número de descendientes (efecto cuello de botella) o que se está produciendo alguna forma de selección a favor de un tipo particular de combinación alélica.

3.3. (Selección asistida por marcadores moleculares)

Uno de los problemas básicos con los que se encuentra a diario el mejorador de plantas deriva de la necesidad de identificar los buenos genotipos sobre la base de rasgos fenotípicos. Con ellos, el grado de acierto en la selección depende del nivel de correspondencia entre el genotipo y el fenotipo, es decir de la heredabilidad del carácter. Si tenemos en cuenta que en un programa de mejora se contemplan diversos caracteres agronómicos (uniformidad, producción, resistencias, calidad, precocidad, etc.), algunos de ellos difíciles de evaluar, el problema se agrava si no se dispone de marcadores eficaces para la selección. Estos además deben ser de rápida y fácil detección, estables de unos genotipos a otros, codominantes preferentemente, y selectivamente neutros (sin efectos pleiotrópicos). Todas estas características las reúnen los marcadores moleculares descritos.

De ahí que una de las utilidades de los marcadores moleculares, es la de servir como señales que permitan la selección de genes que se encuentren ligados al marcador, esto es, localizados en el mismo cromosoma y a una distancia mínima del gen de interés. En este contexto, los marcadores moleculares no son sino instrumentos de selección indirecta de los genotipos apropiados, en tal medida que la utilidad de un marcador ligado a un gen aumenta cuanto mayor es la dificultad de evaluar el fenotipo del gen asociado. Esto explica el enorme esfuerzo realizado en los últimos años en la identificación de marcadores moleculares ligados a genes agronómicamente importantes.

Por su parte, las técnicas que permiten la identificación de nuevos marcadores son cada vez más resolutivas, lo que ha propiciado un volumen de información relativa a la posición de distintos tipos de marcadores en regiones cromosómicas muy próximas a los genes de interés, sin precedentes en la historia de la ciencia. Por esto en ciertas especies el esquema de búsqueda de marcadores ligados a genes de importancia económica ha cambiado y hoy día lo que se puede realizar es la búsqueda de múltiples marcadores moleculares. Estos son mapeados en poblaciones segregantes y los datos obtenidos se emplean en la realización de mapas genéticos cada vez más completos. De esta forma, cuando se identifica un nuevo gen de interés agronómico, éste es localizado en el mapa genético de la especie correspondiente, junto a los marcadores más próximos, de los cuales se suelen seleccionar los más estrechamente ligados al gen (los más cercanos).

Conforme estos mapas son más completos es posible identificar marcadores para caracteres más complejos como son los controlados por varios genes o poligénicos que, por su naturaleza cuantitativa se habían mostrado esquivos al análisis molecular. Entre estos caracteres se encuentran los que controlan la producción y otros determinantes en cualquier programa de mejora. A los genes que controlan este tipo de caracteres se les denomina "QTLs", que proviene de las siglas en inglés de "loci que controlan una carácter cuantitativo" (*Quantitative Trait Loci*). Por el momento, es posible conocer, a través de diferentes metodologías, qué parte de la variación fenotípica observada está controlada por un determinado QTL, y consiguientemente, si existen genes más determinantes (genes mayores) que otros (genes menores).

La búsqueda de marcadores ligados puede seguir diferentes estrategias dependiendo de la naturaleza del material vegetal de partida. La opción quizás más sencilla con

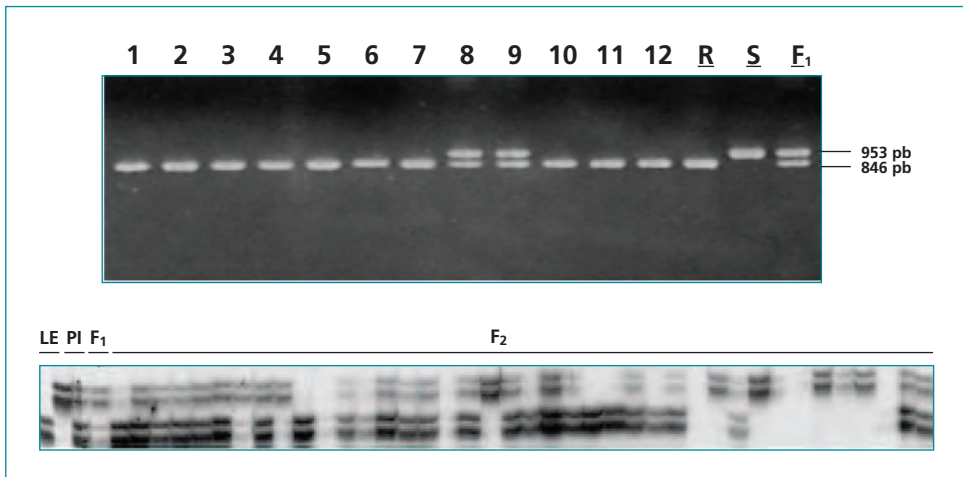


FIGURA 4. ARRIBA : MARCADOR SCAR LIGADO AL GEN R DE RESISTENCIA A UN PATÓGENO Y ENSAYADO EN DISTINTAS LÍNEAS DE MELÓN. R = PARENTAL RESISTENTE, S = PARENTAL SUSCEPTIBLE, Y F1= HÍBRIDO DEL CRUCE DEL PARENTAL RESISTENTE X PARENTAL SUSCEPTIBLE. LOS NÚMEROS REPRESENTAN DISTINTAS LÍNEAS DE MELÓN. ABAJO : MARCADOR SSR LIGADO AL GEN DE RESISTENCIA A UN PATÓGENO. ANÁLISIS INDIVIDUALIZADO DE UNA POBLACIÓN F₂ PARA AVERIGUAR EL NUMERO DE INDIVIDUOS RECOMBINANTES. LE = LYCOPERSICON ESCULENTUM, PI=LYCOPERSICON PIMPINELLIFOLIUM, F1 = HÍBRIDO RESULTANTE DEL CRUCE.

siste en comparar dos líneas isogénicas o casi isogénicas (NILs, del inglés *Near Isogenic Lines*), es decir, genéticamente idénticas pero que sólo difieren en un carácter concreto. Así pues, la identificación de un marcador polimórfico entre ambas líneas indica cierto grado de ligamiento del marcador al gen que controla dicho carácter. De forma similar se pueden proceder comparando líneas puras recombinantes (RILs, del inglés *Recombinant Inbred Lines*) obtenidas tras más de cinco generaciones de autofecundación a partir de una población segregante F₂. Cada planta representa pues una combinación genética única, en la que varios sucesos de recombinación han tenido lugar entorno al gen de interés. Ello permite encontrar polimorfismos en marcadores cercanos a dicho gen empleando un número reducido de individuos. Sin embargo, estas dos estrategias requieren de la obtención previa de las líneas a analizar, trabajo que puede durar varios años. El problema se puede simplificar si el análisis se lleva a cabo en una población F₂ segregante, obtenida de dos líneas puras muy divergentes genéticamente. En ella, el agrupamiento de los individuos en dos conjuntos o “bulks”, uno con los portadores y otro con los no portadores del carácter, y el posterior análisis de ambos grupos, permitirá identificar marcadores supuestamente ligados al carácter para el que estos difieren (en ambos grupos está representada la misma variación genética para los restantes caracteres). Este método denominado análisis masal en poblaciones segregantes o BSA (*Bulk Segregant Analysis*), con sus diferentes alternativas, ha sido sin duda, el que mayor número de marcadores ligados ha proporcionado a los mejoradores. Sea cual fuere la metodología empleada, ésta es sólo identifica marcadores ligados; la determinación del grado de ligamiento suele requerir del análisis individualizado de una población F₂ en la que averiguar el número de individuos recombinantes presentes, pues es de esta forma como se establece la distancia genética entre el gen y el marcador (Figura 4).

En los programas de mejora genética vegetal en los que se realizan múltiples cruzamientos, la selección mediante marcadores moleculares supone la identificación rápida e inequívoca de los genotipos de interés, y con ello la posibilidad de acortar sensiblemente la duración de tales programas, uno de los escollos hasta hace poco insalvables. Quizás sean los programas de retrocruzamiento los que mayores beneficios pueden reportar con el empleo de marcadores moleculares, como se ilustra en el siguiente ejemplo. Así, la mejora por retrocruzamiento de una línea parental, de buenas características agronómicas, pero que carece de alguna otra necesaria, como puede ser la resistencia a un patógeno, en caso de que dicha resistencia sea monogénica recesiva, precisa de un cruzamiento de la línea a mejorar (parental recurrente) con otra portadora del carácter que se desea introgresar (parental donador). En la mayoría de casos ocurre que la línea donadora también posee algunas (si no muchas) características agronómicas no deseadas. A partir de la F_1 de ese cruzamiento se realiza un retrocruce con el parental recurrente o BC_1 , cuya descendencia se compone de individuos homocigóticos como el parental recurrente e individuos heterocigóticos, o portadores del alelo de interés (ambos en idénticas proporciones). Cuando el gen que se desea introgresar es dominante, la selección del genotipo portador no plantea problemas si el marcador es estable. Sin embargo, si el gen es de naturaleza recesiva resulta imposible identificar los individuos heterocigóticos, por lo que la selección de estos necesita de la autofecundación de todos los individuos BC_1). En la generación posterior se podrán seleccionar los homocigotos recesivos (test de progenie), que deben entonces ser retrocruzados de nuevo con el parental recurrente BC_2).

Hay que tener en cuenta que el programa requiere de al menos 5-6 generaciones de retrocruzamiento, con el consiguiente aumento de los recursos humanos y materiales, y todo ello para la selección de un sólo gen. Sin embargo, si se dispone de un marcador molecular ligado al gen de interés (figura 4), es posible identificar en cada generación los individuos heterocigóticos y rechazar los homocigotos dominantes, reduciendo a la mitad el número de generaciones. Además, la selección fiable de las plantas heterocigóticas permite una presión más eficaz para otras características agronómicas deseables, presentes en el parental recurrente, con lo que la duración real del programa puede disminuir aún más, manteniendo siempre la certeza de que las plantas elegidas serán portadoras del gen de interés.

Esta reducción del número de generaciones resulta más efectiva cuando se dispone de marcadores estrechamente ligados al gen y a la vez, de marcadores flanqueantes, es decir, de un mapa genético de la región genómica donde se localiza el gen. De esta forma es posible la selección temprana de individuos que, siendo portadores del gen objeto de selección, presentan el menor contenido cromosómico del parental donador, y por ende, el menor número de caracteres no deseados heredados del mismo. Teóricamente, tras cinco ciclos continuados de retrocruzamiento con el parental recurrente, la cantidad del parental donante que se mantendría en la línea objeto de mejora del 1,56%. En realidad, la existencia de fuertes ligamientos conduce a mantener una fracción mayor del genoma donante. Algunos autores han mostrado que para un genoma con diez cromosomas de 100 cM cada uno (aproximadamente la situación del maíz), la proporción del genoma donante presente en la descendencia del quinto retrocruce (BC_5) es del 6,5%.

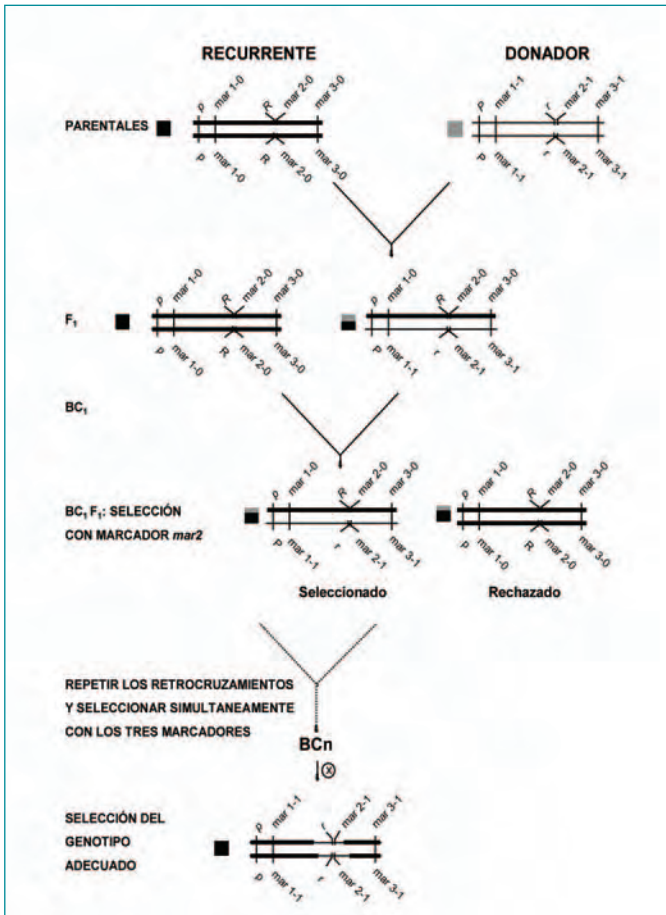


FIGURA 5. ESQUEMA EN EL QUE ILUSTRAMOS LA UTILIDAD DE LA MEJORA GENÉTICA ASISTIDA POR MARCADORES. LOS MARCADORES MAR 1, MAR 2 Y MAR 3 SE ENCUENTRAN LIGADOS AL GEN DE RESISTENCIA A DISTANCIAS DE 11, 0,5 Y 7,5 CM RESPECTIVAMENTE. CON UNA LÍNEA GUESA SE HAN REPRESENTADO LOS CROMOSOMAS DEL PARENTAL SUSCEPTIBLE AL PATÓGENO (RR) Y CON UNA LÍNEA DELGADA LOS CROMOSOMAS DEL PARENTAL RESISTENTE (RR). CON UN CUADRO DE COLOR SE HA REPRESENTADO EL CONTENIDO DEL TOTAL DEL GENOMA, EN NEGRO DEL PARENTAL RECURRENTE Y EN CLARO DEL DONADOR. EL MARCADOR MÁS ESTRECHAMENTE LIGADO AL GEN DE RESISTENCIA PERMITE LA SELECCIÓN, EN POCAS GENERACIONES DE INDIVIDUOS RESISTENTES AL PATÓGENO Y LOS MARCADORES FLANQUEANTES AQUELLOS RECOMBINANTES CON LA MENOR PROPORCIÓN DE GENOMA DEL PARENTAL DONADOR.

La localización precisa en el mapa genético de marcadores que bordean al gen o genes seleccionables podría facilitar la introgresión de éste sin perder el valor agronómico de una determinada línea, reduciendo con ello la duración del proceso y de los recursos necesarios. Bastaría con poder seleccionar en cada ciclo aquellas plantas que mostraran el marcador ligado al alelo de interés, presente en el parental donante, y además, los marcadores adyacentes presente en el genoma del parental recurrente.

De esta forma, se puede llevar a cabo la introgresión de varios caracteres de forma simultánea, habida cuenta que la tecnología es en todos los casos la misma, y que los marcadores moleculares no muestran fenómenos de epistasis o de incompatibilidad. Esta es probablemente la alternativa más eficaz de introgresar caracteres poligénicos o QTLs, cuya traba más importante a veces reside en el limitado tamaño de la población de selección, que reduce las posibilidades de encontrar el individuo con la mejor combinación de genes favorables. Sirva como ejemplo un programa de mejora en el que se desea introgresar 5 genes *AA bb CC DD ee* en una línea recurrente de genotipo *aa BB cc*

dd EE. Además, *ee* está ligado a 10 cM a una carácter indeseable *ff*. El primer cruce *AA bb CC DD e-f / e-f* x *aaBBccddE-F / E-F* daría paso a una F_1 de genotipo *Aa Bb Cc Dd E-F / e-f*, que sería entonces retrocruzada con el parental recurrente (*aa BB cc dd E-F / E-F*). En los descendientes de este retrocruce, habría, para cada gen, una proporción igual de homocigotos y heterocigotos, luego la probabilidad de encontrar un individuo heterocigótico para los cinco genes sería de 0,03125, esto es $(1/2)^5$. Pero teniendo en cuenta que se desea romper el ligamiento existente entre *e-f*, y que la distancia que les separa es de 10 cM, tan sólo en 1/10 de las plantas tendrá lugar la recombinación entre ambos loci que permita deshacer el ligamiento. Esto aumenta el número de plantas a analizar puesto que sólo una de cada 320 (el producto de 1/10 por 1/32) será del genotipo deseado. Para tener la certeza del 99% de encontrar este genotipo en una población segregante, se han de analizar aproximadamente 4 veces más plantas, esto es unas 1200 plantas, para encontrar al menos una (y puede que sólo una) portadora de los alelos *A, b, C, D*, y de la combinación *e-F*.

El uso de marcadores moleculares que identifiquen cada uno de los alelos de estos genes permitiría realizar este análisis en etapas tempranas del desarrollo (sólo se necesitaría ADN de plántulas con cotiledones expandidos. Para conocer el genotipo de *A/a* se realizarían reacciones de PCR de las 1200 plantas y una vez identificadas aquellas de genotipo *Aa*, se descartarían las restantes para posteriores análisis. Las 600 plantas seleccionadas serían ahora analizadas para el gen *B/b* y de nuevo sólo quedarían 300 plantas que se esperarían fuesen heterocigóticas *B/b*. De ellas, 150 serán también de genotipo *Cc*, estas plantas se analizarían para *D/d* donde se espera que 75 sean heterocigóticas. El análisis simultáneo para *E/e* y *F/f* de estas últimas decidirá en cuáles de ellas el alelo *e* esté ligado a *F*. Todos estos análisis pueden estar concluidos en un plazo de días dependiendo de la capacidad de laboratorio analista, con la seguridad de haber identificado, al menos una planta del genotipo deseado, si bien la media de individuos seleccionados suele ser superior. En el caso de querer continuar el programa de retrocruzamiento, sería necesario un número mayor de plantas que pueden ser seleccionadas de igual forma.

En un programa de mejora clásico es posible que alguno de los genes implicados en un carácter cuantitativo, sólo pueda ser discernible en la edad adulta de la planta o en sus descendientes. Supongamos en el ejemplo anterior que *f* determina la forma apeszonada del fruto; se precisaría crecer las plantas hasta la edad adulta para seleccionar las que posteriormente cruzar, con el consiguiente gasto en tiempo y dinero. Incluso es posible que alguno de esos caracteres pueda necesitar de fitotests, para los cuales es necesario inocular aproximadamente 20 descendientes por planta (1200 x 20), para seleccionar el adecuado. Si además alguno de los genes es recesivo, se requeriría de una generación más para seleccionar “algo” que necesitaba de varios días de análisis con marcadores moleculares.

Es cierto que la reducción de inversiones y tiempo que facilita el uso de marcadores moleculares está haciendo posible el estudio de más caracteres agronómicos, y de otros hasta ahora difíciles de abordar. Y es cierto que ello promueve la salida al mercado de nuevas variedades cada vez más productivas y rentables. Pero no todo son ventajas cuando se habla de selección asistida por marcadores moleculares; su contribución a la



mejora de plantas sería casi nula si no estuviese coordinada con el trabajo de mejora genética que hasta hoy se viene haciendo, fruto del cual son la práctica totalidad de variedades y nuevas obtenciones comerciales. Es pues la integración de las técnicas de biología molecular, con el conocimiento adquirido a lo largo de muchos años por mejoradores, fisiólogos y patólogos el que debe proporcionar el éxito de un programa de mejora genética de plantas.

Merece señalar que los esfuerzos realizados en el análisis genómico de un gran número de especies vegetales, en la mayoría de las especies la porción genómica analizada es casi insignificante en relación a la aún desconocida. Sin embargo, en otras especies como *Arabidopsis* ya se dispone de la secuencia completa de algunos cromosomas, y en unos años se espera haber completado el “proyecto genoma” de esta especie, a la que sin duda seguirán otras de interés aplicado.

3.4. (Mapas genéticos]

El uso de mapas de ligamiento constituye una herramienta muy útil tanto en la selección asistida por marcadores como en la búsqueda y análisis de genes de interés, ya que permite el análisis de genes de gran interés y la selección conjunta de varios genes. La utilidad de los mapas genéticos está en el uso de éstos en la selección asistida por marcadores, en la clonación de genes, o en el uso de la sintenia para localizar regiones de ADN de una especie a otra. Un mapa genético consiste en una serie de marcadores o loci puestos en orden indicando la distancia genética relativa entre los marcadores según los valores de recombinación entre ellos. En aquellas especies en las que se dispone de un mapa génico saturado de marcadores, éste facilita la selección de aquellos genes que nos resulten de interés. Los mapas genéticos resultan especialmente interesantes para el análisis y caracterización de caracteres más complejos que están determinados por varios genes y que, por su naturaleza cuantitativa, sería prácticamente imposible estudiar por otros métodos.

La manera más sencilla de construir un mapa genético es hacer cruzamientos entre líneas puras (homocigotas) que muestren muchas diferencias entre sí. La F_1 híbrida puede seguir varios caminos para producir una población donde podamos ver la segregación o separación de los genes. Podemos seguir varios caminos: autopolinizar la población F_1 para obtener una población F_2 ; podemos cruzar la F_1 con uno de los parentales para obtener una población de retrocruce; podemos construir líneas recombinantes por autopolinización durante varias generaciones, contruir líneas casi isogénicas (NILs), etc. Debemos tener una población parental una población F_1 y una población segregante donde buscar marcadores moleculares polimórficos.

La construcción de mapas genéticos se basan en el concepto de ligamiento y recombinación. Cuando dos loci se encuentran ligados, es decir, están situados en el mismo cromosoma o grupo de ligamiento, no se transmiten a la descendencia de manera conjunta. Cuanto más lejos se encuentran estos loci entre sí, más probabilidad hay de que se transmitan de manera independiente. La causa de esta segregación es que los cromosomas homólogos intercambian segmentos durante la meiosis. La recombinación es el proceso por el que aparecen nuevas combinaciones de genes. La proporción en

que se forman nuevas asociaciones entre dos pares de loci respecto al número total de asociaciones se denomina frecuencia de recombinación. Cuanto más próximos están situados dos genes en el cromosoma más improbable es que ocurra entre ellos un intercambio de ADN. Es decir, la fracción de recombinación aumenta al aumentar la distancia física. Así surgió la idea de que la fracción de recombinación podía usarse como una medida de la distancia entre los genes. De este modo se definió la distancia genética entre dos loci como el valor de la fracción de recombinación entre ellos. La unidad de medida de esta distancia genética es la unidad de mapa, que es igual al 1 por ciento de recombinación entre dos genes. A esta unidad también se le llama centimorgan (cM).

La caracterización molecular de la población segregante mediante el uso de un gran número de marcadores va a permitir el cálculo de las frecuencias de recombinación entre marcadores y, por tanto, las distancias que los separan (Figura 6).

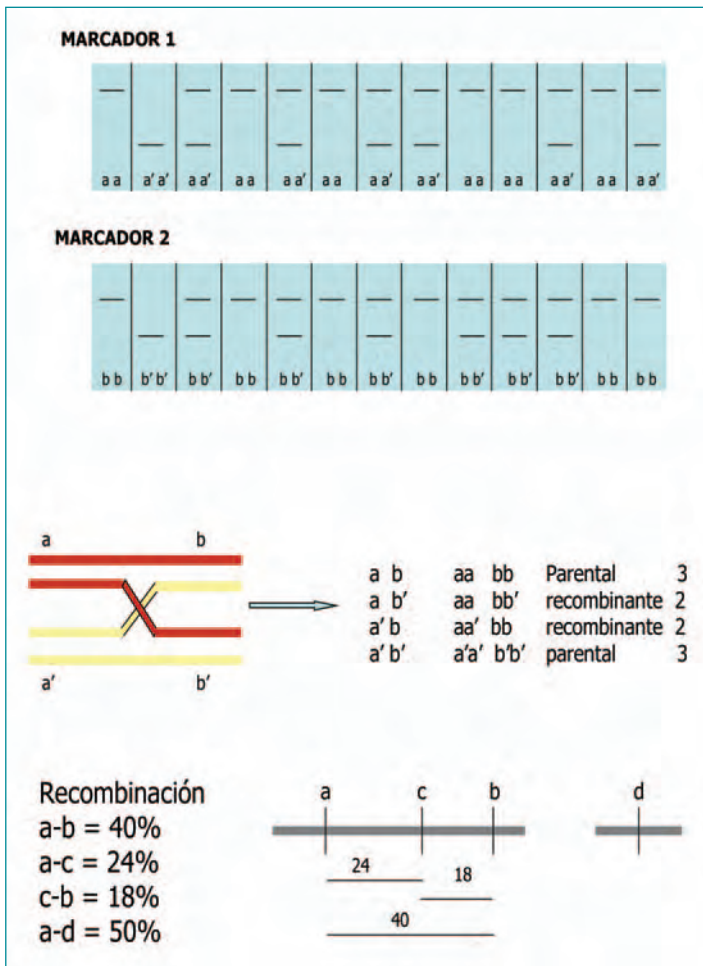


FIGURA 6. CONSTRUCCIÓN DE UN MAPA GENÉTICO BASADO EN LAS FRECUENCIAS DE RECOMBINACIÓN ENTRE MARCADORES (MODIFICADO DE JONES Y COL., 1997).



Una vez que hemos construido un mapa, situar un gen en él es relativamente simple. Si, por ejemplo, en una población segregante para la presencia o ausencia de una resistencia a un patógeno se descubre que el alelo de resistencia está junto a un marcador concreto, se puede situar el gen en cuestión junto al marcador en el mapa y utilizar este marcador como predicho de la resistencia al patógeno. Además, si el gen está situado en una zona saturada de marcadores moleculares podemos abordar la clonación posicional del mismo. De esta forma, si disponemos de una genoteca, es decir, de una colección de fragmentos de ADN de una especie en concreto, podemos movernos a partir del clon que lleva el marcador hasta el clon que lleva el gen de interés pasando por una serie de clones intermedios que se van solapando y conduciendo mediante “paseo cromosómico” hasta nuestro objetivo. Existen en la actualidad varios genes clonados mediante este método, sobre todos relacionados con la resistencia a patógenos. Como ejemplo podemos citar *Cf2*, *Cf5*, *Sw5*, genes de resistencia, o el gen que controla la abscisión de la flor *Jointless* (Dixon y cols., 1996; Dixon y cols., 1998; Folertsma y cols. 1999; Mao y cols., 2001).

En el caso de caracteres cuantitativos este proceso se complica porque éstos muestran una segregación continua donde el carácter muestra un amplio rango de valores desde los extremos de la distribución. Entonces, los QTLs no pueden ser cartografiados como hemos descrito porque no pueden ser identificados los loci individuales. El principio para el cartografiado de QTLs es asociar estadísticamente los QTLs a los marcadores (Figura 7). En teoría se podrían asociar el carácter cuantitativo a muchos marcadores con diferentes efectos sobre el fenotipo. Cuando detectamos un QTL que es responsable de una gran parte de la varianza fenotípica del carácter (>20%) podemos abordar su clonación, sabiendo que es responsable de buena parte de la herencia del carácter.

Igual que para caracteres monogénicos, algunos poligenes han sido también caracterizados por disección cromosómica. Así se ha llegado a saber que el gen responsable del QTL para el peso del fruto *fw2.2* corresponde a un intervalo de 150 Kb (Alpert y col. 1996) que contiene el gen *ORFX* y se ha comprobado su acción mediante el uso transgénicos, observándose una reducción significativa en el peso del fruto cuando se han introducido copias de este gen en el tomate (Frery y col. 2000). *ORFX/fw2.2* además de determinar del tamaño del fruto por un control de la división celular, tiene efectos secundarios sobre el número de frutos y distribución de los fotoasimilados (Nesbitt y Tanksley, 2001).

Los mapas de alta resolución nos permiten, además, otra forma de clonar QTLs. Utilizando líneas de introgresión o NILs se consigue incrementar el número de recombinantes en la zona que contiene el gen. Esto hace que esa región quede cada vez delimitada a una zona más pequeña hasta ocupar el espacio de un gen. El uso de estos recombinantes intragénicos ha determinado que el QTL *Brix9-2-5* que afecta al contenido de glucosa y fructosa en el fruto de tomate se localiza en un intervalo de 484 pb que contiene un gen de la invertasa (*Lin5*), enzima relacionada con el metabolismo de los azúcares (Fridman y cols., 2000). En la región cercana a *Lin5/brix9-2-5* se ha encontrado otro QTL, *PW9-2-5*, estrechamente ligado a éste (0.3cM) que afecta también al contenido en sólidos solubles en el fruto, al peso de la planta y a la producción, determinando que el gen candidato a este QTL es *Self Pruning* (Fridman y cols. 2002).

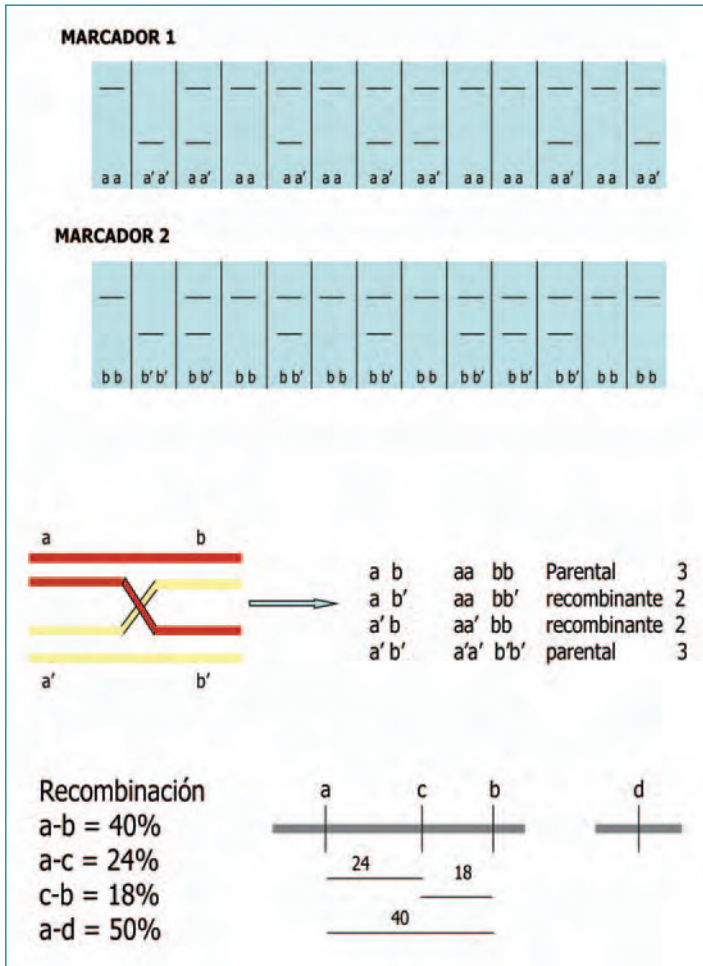


FIGURA 7. PROCEDIMIENTO PARA CARTOGRAFIAR UN QTL. SEGÚN EL LIGAMIENTO EXISTENTE ENTRE UN MARCADOR Y UN DETERMINADO QTL, SE OBTIENE UN TIPO DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS FENOTÍPICAS U OTRO AL DIVIDIR LA POBLACIÓN EN CLASES GENOTÍPICAS BASADO EN JONES Y COLS. 1997.

4. (BIBLIOGRAFÍA)

Alpert, K.B. y Tanksley S.D. (1996). High-resolution mapping and isolation of a yeast artificial chromosome contig containing *fw2.2*: A major fruit weight quantitative trait locus in tomato. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 93: 15503-15507.

Dixon, M.S., Hatzixanthis, K., Jones, D.A., Harrison, K. y Jones, J.D.G. (1998). The tomato *Cf-5* disease resistance gene and six homologs show pronounced allelic variation in leucine-rich repeat copy number. Plant Cell 10: 1915-1925.

Folertsma, R.T., Spassova, M.I., Prins, M., Stevens, M.R., Hille, J. y Goldbach, R.W. (1999). Construction of a bacterial artificial chromosome (BAC) library of *Lycopersicon esculentum* cv Stevens and its application to physically map the *Sw-5* locus. Mol. Breed., 5: 197-207.

Frary, A., Nesbitt, T.C., Frary, A., Grandillo, S., van der Knaap, E., Cong, B., Liu, J., Meller, J., Elber,



R., Alpert, K.B. y Tanksley S.D. (2000). *fw2.2*: A Quantitative Trait Locus Key to the Evolution of Tomato Fruit Size. *Science* 289: 85-88.

■ Fridman, E., Pleban, T. y Zamir D. (2000). A recombination hotspot delimits a wild-species quantitative trait locus for tomato sugar content to 484 bp within an invertase gene. *PNAS* 97:4718-4723.

■ García, E., Jamilena, M., Alvarez, J.L, Arnedo, T., Oliver, J.L. y Lozano, R. (1998). Genetic relationships among melon breeding lines revealed by RAPD markers and agronomic traits. *Theoretical and Applied Genetics* 96: 878-885

■ García-Mas, J., Graciano, E., Aranzana, M. J., Monforte, A., Oliver, M., Ballester, J., Viruel, M. A. y Arús, P. (2000). Marcadores de ADN: concepto, tipos, protocolos. En "Los marcadores genéticos en la mejora vegetal" (Eds. F. Nuez y J.M. Carrillo), págs. 91- 151. Universidad Politécnica de Valencia.

■ Fridman, E., Liu, Y.S., Carmel-Goren, L., Gur, A., Shoshitaishvili, M., Pleban T., Eshed Y. y Zamir D. (2002). Two tightly linked QTLs modify tomato sugar content via different physiological pathways.

■ Jeffreys, A.J., Wilson, V. y Thein, S.L. (1985a). Hypervariable "minisatellite" region in human DNA. *Nature* 314: 67-73.

■ Jeffreys, A.J., Wilson, V. y Thein, S.L. (1985b). Individual specific "fingerprints" of human DNA. *Nature* 316: 76-79.

■ Jones, N., Ougham, H. y Thomas, H. (1997). Markers and mapping: we are all geneticists now. *New Phytol.*, 137: 165-177.

■ Konieczny, A. y Ausubel, F. M. 1993. a procedure for mapping *Arabidopsis* mutations using co-dominant ecotype-specific PCR-based markers. *Plant J.*, 4:403-414

■ Mao, L., Begum, D., Goff, S.A. y Wing, R.A. (2001). Sequence and Analysis of the Tomato JOINTLESS Locus. *Plant Physiology* 126: 1331-1340.

■ Martin, M. (2002). Los marcadores genéticos en la mejora vegetal. En: *Genómica y Mejora Vegetal* (Eds. F. Nuez, J.M. Carrillo & R. Lozano), págs. 37-64. Junta de Andalucía-Mundi-Prensa.

■ McPherson M.J., Quirke, P. y Taylor, G.R. PCR. A practical approach. IRL Press 1991

■ Nesbitt, T.C. y Tanksley S.D. (2001). *fw2.2* Directly Affects the Size of Developing Tomato Fruit, with Secondary Effects on Fruit Number and Photosynthate Distribution. *Plant Physiology* 127: 575-583.

■ Newton C.R., y Graham, A. PCR. Introduction to Biotechniques. Bios Scientific Publ., 1994.

■ Olson, M., Hood, L., Cantor, C. y Botstein, D. 1989. a common language for physical mapping of the human genome. *Science*, 245: 1434-1435

■ Orita, M., Iwahana, H., Kanazawa, H., Hayashi, K. y Sekiya, T. 1989. Detection of polymorphisms of human DNA by gel electrophoresis as single-stranded conformation polymorphisms. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86: 2766-2770.

■ Paran, I., Kesseli, R. and Michelmore, R. 1991. Identification of RFLP and RAPD markers linked to downy mildew resistance genes in lettuce using near-isogenic lines. *Genome*, 34: 1021-1027

■ Poehlman, J.M. y Sleper, D.A. *Breeding Field Crops*, 4th edition. Iowa State University Press, 1996.

■ Tautz, D. (1993) Notes on the definition and nomenclature of tandemly repetitive DNA sequences. En: *DNA Fingerprinting: State of the Science*. S.D.J. Pena, R. Chakraborty, J.T. Eppelen & A.J. Jeffreys, Eds. Birkhäuser, Basel, pp. 21-28.

■ Wang, D. G., Fan, J.B., Siao, C.-J., Berno, A., Young, P., Sapolsky, R., Ghandour, G., Perkins, N.,

Winchester, E., Spencer, J., Kruglyak, L., Stein, L., Hsie, L., Topaloglou, T., Hubbell, E., Robison, E., Mittman, M., Morris, M.S., Shen, N., Kiburn, D., Rioux, J., Nusbaum, C., Rozen, S., Hudson, T. J., Lipshutz, R., Chee, M. y Lander, E. S. 1998. Large-scale identification, mapping and genotyping of single-nucleotide polymorphisms in the human genome. *Science*, 280: 1077-1082

■ Weising, K., Nybom, H., Wolff, K. y Meyer, W. *DNA Fingerprinting in Plants and Fungi*. CRC Press, 1995.

(TEMA 11)



INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRARIO

Jerónimo J. Pérez Parra

Doctor Ingeniero Agrónomo

Director de la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”.



Estación experimental
Cajamar



1. (INTRODUCCIÓN]

El sistema hortícola almeriense constituye uno de los sistemas tecnológicos e institucionalmente más complejos y dinámicos de cuantos integran el sector agrario español (Calatrava, 1998) con una intensa y continua demanda de conocimientos e innovaciones.

El desarrollo económico asociado a la agricultura intensiva está ligado a mecanismos de incorporación continua de innovaciones tecnológicas a los procesos de producción, siendo este un fenómeno global y con un crecimiento muy acelerado cuya base es el conocimiento científico.

De acuerdo con Frascati (1993), la investigación y el desarrollo experimental son una parte del proceso de innovación científica y tecnológica que, a través de un trabajo creativo, realizado de forma sistemática, pretende incrementar el volumen de conocimientos y su aplicación en la obtención de nuevos productos y procesos o en una modificación significativa de estos. Investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental son las tres actividades incluidas en la definición de I+D.

La influencia que sobre el bienestar de la sociedad en su conjunto, y de cada uno de los ciudadanos, tiene el desarrollo de la ciencia y la tecnología exige un esfuerzo, público y privado, creciente de fomento y coordinación de la investigación científica, el desarrollo y la innovación tecnológica.

Los dos componentes claves del sistema Ciencia-Tecnología-Empresa en el sector agrario, y en otros sectores económicos, son los centros públicos de investigación y las empresas. Con carácter general, los primeros participan generando ciencia y/o desarrollando tecnología y actúan como oferta y los segundos plantean la demanda y participan absorbiendo tecnología y transformándola en innovaciones, a partir de las cuales se generan beneficios económicos. Un dilema clásico dificulta la interrelación entre investigación y empresa: los periodos de tiempo en que se mueven la oferta y la demanda son distintos. La investigación se desarrolla con horizontes a medio y largo plazo y, muchas veces, sin plantearse la aplicabilidad inmediata de sus resultados, mientras que la demanda empresarial exige plazos de respuesta cortos, respuestas globales y beneficios económicos evidentes. La necesidad de superar este dilema está cambiando en los últimos años los mecanismos de gestión de la financiación pública de la investigación tratando de crear estructuras que permitan interconectar las dos partes, respetando el papel fundamental, imprescindible y complementario que cada uno desempeña.

El importante papel de la investigación y la experimentación agraria en el desarrollo socio-económico, en la seguridad alimentaria y el medio ambiente es analizado en el presente capítulo. Asimismo se revisa el marco institucional en que se desenvuelve la actividad de I+D agraria en la actualidad y se relacionan las principales líneas de trabajo de las instituciones que desarrollan actividades de I+D agraria en la provincia de Almería.

2. (INVESTIGACIÓN, DESARROLLO ECONÓMICO, MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA]

La ciencia y la tecnología, mediante inversiones en investigación agronómica, han

contribuido brillantemente al crecimiento del sector agrícola en muchas partes del mundo en desarrollo. Desde mediados del decenio de 1960, la producción mundial de alimentos ha aumentado en el 80 por ciento. El crecimiento agrícola, gracias a la adopción de tecnologías modernas, ha contribuido a aumentar la seguridad alimentaria y a mitigar la pobreza en el mundo en desarrollo (FAO, 1996).

Las tecnologías agrarias desarrolladas sobre la base de la investigación científica son esenciales para elevar la productividad sin dejar de mantener e incluso mejorar la sostenibilidad de los recursos naturales y el medio ambiente.

Los rendimientos de la investigación agronómica han sido impresionantes y suelen estimarse en el orden del 20 al 190 por ciento en los países en desarrollo. Estas tasas elevadas indican que los beneficios de las inversiones justifican cumplidamente los costos de las investigaciones. En los países en desarrollo, un aumento del 1 por ciento en el crecimiento agrícola se asocia a un aumento del 1,5 por ciento de la tasa de crecimiento del sector no agrícola (Birdsall, 1995). El crecimiento del PIB per cápita ha sido más rápido cuando el crecimiento agrícola ha sido mayor (Banco Mundial, 1990).

En los últimos cuarenta años ha habido importantes aumentos del rendimiento de los principales cereales de consumo humano en todo el mundo. Los rendimientos del maíz, el arroz y el trigo casi se duplicaron en el período de 1960 a 1994, lo que se debe en gran medida al cultivo de variedades mejoradas, el riego, los fertilizantes y una serie de tecnologías avanzadas de gestión de cultivos y recursos, muchas de las cuales contribuyeron a la Revolución Verde. La introducción de variedades de crecimiento rápido ha contribuido a aumentar la producción de alimentos y ha dado más rentabilidad a los recursos costosos utilizados por los agricultores, mientras que las tecnologías de gestión de cultivos y recursos han mejorado la sostenibilidad del medio ambiente y de los recursos. El cultivo de tierras menos favorables, posibilitado por las nuevas variedades de plantas (por ejemplo, variedades resistentes a la sequía), ha contribuido también a elevar la producción de alimentos (Plucknett, 1993). Tampoco hay que olvidar que las innovaciones de la industria química han permitido reducir el precio de los fertilizantes y otros productos agroquímicos, aun cuando las fluctuaciones en el precio mundial del petróleo influyan sobre el precio pagado por los agricultores. Análogamente, las inversiones en infraestructura de riego han equivalido a subvenciones masivas a la agricultura de regadío. Con insumos más baratos, los costos de producción han descendido y se ha estimulado la producción.

Los rápidos progresos de la productividad han hecho descender, en general, los costos de los alimentos y han mejorado la seguridad alimentaria. En el caso de los Estados Unidos, por ejemplo, sin los progresos de la productividad logrados desde los años cincuenta, los consumidores estarían ahora pagando unos 100.000 millones de dólares anuales más por sus alimentos (USDA, 1994). También en los países en desarrollo la investigación agronómica ha desempeñado un papel importante en la mejora de la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza y la promoción de un desarrollo económico de amplia base. Las ofertas tecnológicas de la Revolución Verde fueron el resultado de intensas investigaciones. Los amplios efectos de la investigación agronómica se reflejan en varios indicadores importantes de la seguridad alimentaria y el desarrollo económico, a saber:



- **Suministros alimentarios más abundantes y estables en los planos nacional y familiar.**
- **Descenso de los precios internacionales y nacionales de los cereales.** Los precios reales del trigo, el arroz y los cereales secundarios en los mercados internacionales bajaron un 50 por ciento entre 1960 y 1990 (USDA, 1994b).
- **Menor dependencia de la ayuda alimentaria en porcentaje del consumo total de alimentos.** Entre 1970 y 1990 la ayuda alimentaria mundial descendió en el 14 por ciento, mientras que para Asia lo hizo en el 65 por ciento (FAO, 1995b).
- **Mayores oportunidades de empleo e ingresos gracias al crecimiento económico impulsado por la agricultura.** El crecimiento de la productividad agrícola se traduce en mayores posibilidades de empleo en y fuera de la explotación agrícola y constituye un importante estímulo para el conjunto de la economía. Los efectos multiplicadores del crecimiento del sector agrícola sobre el no agrícola son considerables.
- **Disminución de la pobreza.** Todos los países que han progresado en la agricultura (como Indonesia, Malasia y Tailandia) han experimentado un descenso radical en la pobreza rural y han mejorado enormemente su seguridad alimentaria (Tweeten *et al.*, 1996). En Indonesia, por ejemplo, el porcentaje de pobres entre la población rural bajó del 58 por ciento al 14 por ciento entre 1970 y 1990; en Malasia, el descenso fue del 21 por ciento al 4 por ciento en el mismo periodo (Naylor y Falcon, 1995).

La investigación agronómica ha tenido también, efectos positivos sobre el medio ambiente, gracias en especial al aumento de la productividad que ha permitido reducir los cultivos en zonas marginales. En la India, por ejemplo, con las tecnologías de los años sesenta los agricultores habrían necesitado casi 60 millones de hectáreas de tierras adicionales para producir la cantidad de trigo que hoy se consume (GICAI, 1995). La mayor productividad ha contenido también la transformación de bosques, pastizales y marismas en tierras de cultivo. Tweeten (1994), estima que en los Estados Unidos el uso de la tecnología de 1950 en lugar de la actual, requeriría más del doble de tierras para alcanzar el mismo nivel de producción. En Almería, sin la tecnología necesaria para la producción intensiva de hortalizas, sería necesario incrementar entre 3 y 4 veces la superficie cultivada para lograr los niveles de producción actuales. Asimismo, la investigación agronómica ha ayudado a reducir de forma drástica el gasto de agua para riego gracias a los avances logrados en la tecnología del riego, la producción en invernadero o el desarrollo de variedades adaptadas a condiciones de sequía. Otro aspecto donde se han logrado importantes mejoras es en la reducción del uso de insumos químicos innecesarios a través de la puesta a punto de técnicas de control integrado de plagas y enfermedades (CIP), cuyos resultados son notablemente favorables, de los logros de los mejoradores en la introducción de resistencias o tolerancias a plagas y enfermedades o del desarrollo de técnicas de desinfección de suelos alternativas al uso de biocidas como el bromuro de metilo. Incluso en tierras de secano menos controladas, más diversas y expuestas a riesgos, la investigación agronómica ha tenido éxitos notables. Los cultivos de secano con variedades de cereales de alto rendimiento superan de hecho a los de regadío (Byerlee, 1993).

La mejora de la productividad lograda desde la investigación agronómica ha contribuido notablemente al bienestar de productores disminuyendo la incertidumbre sobre las producciones, incrementando su nivel de ingresos y mejorando las condi-

ciones de trabajo. De igual modo, las inversiones en I+D han hecho posibles grandes avances tecnológicos que han promovido un nuevo concepto ampliado de seguridad alimentaria, que no solo implica disponibilidad estable y abundante de alimentos sino que incorpora garantías para la salud de los consumidores.

La investigación agronómica ha estado a menudo en vanguardia de las ciencias biológicas, estadísticas y sociales, abriendo camino para las aplicaciones en otros sectores. Algunos de los nombres más ilustres de la ciencia han estado estrechamente asociados a la agricultura: Gregor Mendel, R.A. Fischer, Paul Samuelson y muchos otros. Hoy en día, la investigación agronómica puede hallar gran parte de su inspiración tanto en los progresos de las ciencias naturales y biológicas como en las ciencias sociales aplicadas.: La cartografía de genomas (con instrumentos de la biología molecular y métodos de la biometría para sintetizar conceptos de genética clásica) se reconoce como un enfoque valioso para la mejora del germoplasma y ofrece también otras posibilidades, especialmente respecto a los genes que afectan a caracteres cuantitativos o resistencia a la enfermedad. La tecnología del ácido nucleico impulsará también la investigación sobre microbiología del suelo. Puede determinarse en cualquier suelo la composición de la población de microorganismos, lo que permitirá precisar mejor la manera de tratar los suelos para mejorar la productividad sin poner en peligro la sostenibilidad de tales recursos naturales. En los últimos diez años se han suscitado grandes esperanzas con los cultivos transgénicos: se espera que las modificaciones genéticas beneficien elevando la productividad y aumentando la resistencia a las enfermedades y a los insectos, lo cual a su vez producirá otro beneficio ambiental, el de disminuir el uso de productos químicos de protección. En cuanto a la gestión de los recursos naturales, las opciones sobre uso de las tierras son resultado de complicados procesos decisorios que tienen en cuenta las informaciones sobre suelos, climas, vegetación, situación, infraestructura, usos potenciales, mercados y recursos económicos disponibles. Los adelantos en la formación y aplicación de las técnicas de sistemas de información geográfica (SIG) influirán sobre la comprensión y la gestión futuras de los procesos relacionados con el uso de los recursos naturales para la agricultura.

Con una previsión de aumento de la población mundial en 88 millones anuales en los próximos diez años, los alimentos adicionales necesarios tendrán que conseguirse mediante una mayor productividad de los recursos disponibles. Aunque actualmente el principal uso de los recursos terrestres, hídricos y biológicos del mundo es el agrícola, la mayor presión demográfica hará que esos recursos sean más disputados. El margen de expansión de las tierras cultivables es limitado y la competencia sobre la demanda de agua dulce crecerá debido al crecimiento de la población urbana y de la industrialización. La investigación agronómica tendrá que orientarse en el futuro hacia las tecnologías de producción que aprovechen al máximo los beneficios de los recursos naturales disponibles, sin dejar de protegerlos y restaurarlos al mismo tiempo para su uso futuro. La ordenación y el uso de los recursos naturales para elevar la productividad y para la conservación de la base de recursos requerirán nuevas tecnologías y estrategias de base científica.

Las impresionantes contribuciones de la ciencia y la tecnología para satisfacer las necesidades alimentarias fueron posibles gracias a las inversiones en investigación



agronómica. Los progresos futuros dependen de la continuidad o aumento de tales inversiones, para hacer frente a nuevos y más amplios problemas. La investigación debe proporcionar tecnologías para mantener el ritmo de progreso realizado hasta hoy y elevar aún más la producción, pero debe hacerlo dentro de un contexto de conservación de los recursos de los que depende la agricultura y de protección del medio ambiente natural contra los posibles efectos nocivos derivados de la intensificación agrícola.

3. (EL MARCO INSTITUCIONAL DE LA INVESTIGACIÓN AGRARIA)

Organizaciones e instituciones de diverso tipo realizan en todo el mundo investigaciones agronómicas. Los sistemas nacionales de investigación agraria son y seguirán siendo la piedra angular del sistema de investigación agronómica mundial, en la medida en que trabajan para elevar la productividad y la rentabilidad agropecuarias en sus respectivos países. Los SNIA están constituidos por instituciones públicas de investigación agronómica, universidades, empresas del sector privado, organizaciones no gubernamentales y organizaciones de agricultores.

Uno de los hechos más significativos en la investigación agronómica en los últimos años ha sido la mayor actividad del sector privado en los países desarrollados y en los países en desarrollo más avanzados. Sus realizaciones en biotecnología y su aplicación en las explotaciones han sido muy prometedoras. No obstante, el sector privado sólo investiga sobre tecnologías y productos que pueden ser protegidos por los derechos de propiedad intelectual (por ejemplo, variedades híbridas que no pueden repetir los agricultores, pla-guicidas, etc.).

Un sector agrícola próspero es una condición necesaria para el crecimiento económico y para la mejor conservación de los recursos y protección del medio ambiente.

4. (INVESTIGACIÓN AGRARIA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ALMERÍA)

La puesta en marcha de cuatro fincas experimentales por parte de Caja Rural de Almería, hoy Cajamar, en 1975 fue un paso determinante para el desarrollo de la investigación y el desarrollo tecnológico agrario en la provincia de Almería. Cuando se crea el Centro de Investigación y Formación Hortícola (CIFA) en 1980, en la provincia sólo existe otro Centro dedicado a la Investigación y Desarrollo en Horticultura en invernaderos: la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”, no existiendo, o en muy escasa cuantía, investigación en las empresas privadas relacionadas con el sector. La investigación y desarrollo era abordada por otros OPIs no radicados en la provincia, bien solos bien en colaboración con la E.E. de Cajamar “Las Palmerillas” (p.e.: CRIDA-10 de Córdoba, Universidad de Córdoba, Universidad Politécnica de Madrid o Valencia).

La situación, al día de hoy es completamente distinta: se crea la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola (en 1987), posteriormente, la Universidad de Almería (en 1993); las empresas privadas incrementan las actividades de investigación y desarrollo realizadas en Almería y se pone en marcha la Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA) a finales de la década de los 80

del pasado siglo, con el objetivo de integrar y coordinar los esfuerzos en I+D agraria públicos y privados realizados en la provincia. La reciente creación de la fundación TECNOVA y el futuro parque tecnológico de Almería (PITA) completan un esperanzador entramado institucional para el futuro de la investigación agraria y el desarrollo tecnológico en Almería.

En el cuadro 1 se resumen los recursos actuales de la investigación y desarrollo agrario en la provincia de Almería. En dicho cuadro se presenta una estimación de los recursos destinados a I+D, del sector público y privado, en Almería, en el año 2002. Los datos de empresas han sido estimados a partir de información facilitada por las mismas.

CUADRO 1. ENTORNO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ALMERÍA, OTROS CENTROS / ENTIDADES, DATOS DE 2002.

Centros situados en Almería	Recursos humanos				Presupuesto anual estimado (Millones de EUROS.)
	Doctor	Tit.Sup.	Otros	Total	
Centros públicos					
Univ. de Almería, EEZA (CSIC) y CIFA	30	22	30	88	3,5
Centros privados y fundaciones					
E. E. de CAJAMAR "Las Palmerillas", empresas Y FIAPA	15	40	80	135	15,0
TOTAL	45	66	110	223	18,5

4.1. (Líneas de trabajo principales de los centros y grupos de investigación de Almería en el ámbito de la agricultura]

Las principales áreas y líneas de trabajo de los grupos de investigación que desarrollan su actividad en la Estación Experimental de Cajamar "Las Palmerillas", el CIFA "La Mojonera y La Cañada", y la Universidad de Almería se resumen a continuación.

ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE CAJAMAR "LAS PALMERILLAS"

La actividad investigadora de la E.E. de Cajamar se estructura en las áreas que se citan a continuación destacando el esfuerzo realizado en relación con el uso del agua y los aspectos físicos (estructuras y clima) de la producción en invernadero.

▲ ÁREA DE HORTICULTURA

▲ Gestión del clima en invernadero

- Sistemas de refrigeración en invernadero: ventilación, sombreado y sistemas evaporativos.
- Sistemas de calefacción en invernadero y sistemas de ahorro de energía.
- Mallas anti-insecto: eficacia y efecto sobre la tasa de ventilación.



▲ Estructuras y materiales de cubierta

- Evaluación de materiales plásticos de cubierta.
- Mejora del diseño y análisis de estructuras de invernadero.

▲ Uso de agua en invernadero

- Programación de riegos en invernaderos enarenados.
- Estrategias de riego en tiempo real en cultivos de invernadero.
- Manejo del riego mediante el uso de sensores de planta y humedad del suelo.
- Estudio del efecto de la salinidad sobre el tomate en cultivo sin suelo.
- Sistema de riego por goteo subterráneo usando agua depurada.

▲ Otros programas

- Evaluación de nuevas variedades de las principales especies hortícolas.
- Nuevas técnicas de cultivo de hortalizas.
- Evaluación de diferentes técnicas de cultivo forzado de espárrago verde.
- Aplicaciones de energías alternativas en invernadero.

▲ ÁREA DE FRUTICULTURA

▲ Níspero japonés

- Utilización de estrategias de riego deficitario controlado (rdc) en níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cv 'algerie'
- Fisiología de la maduración en níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl.)
- Estudio de alternativas al aclareo manual de estructuras reproductivas en níspero japonés. Aclareo químico
- Cultivo intensivo forzado de níspero japonés cv 'Magdall'

▲ Uva de mesa

- Mejora de la precocidad de uvas apirenas tempranas (sugraone y flame seedless) mediante su cultivo forzado bajo plástico. Respuesta fisiológica y productiva.
- Evaluación de la adaptación de variedades apirenas tempranas y tardías en Almería.

▲ Caquis

- Evaluación agronómica de los cultivares de persimonia (*Diospyros kaki*) 'fuyu imoto' y 'fuyu jiro', injertados sobre *Diospyros lotus* y *Diospyros kaki*.

▲ Frutales de hueso

- Evaluación agronómica y comercial de cultivares de melocotonero (*Prunus persica*) con bajos requerimientos en horas-frío.

▲ Mango

- Evaluación agronómica de distintos cultivares de mango (*Mangifera indica* L.).

▲ Cítricos

- Evaluación agronómica de patrones (procedentes del IVIA) resistentes a la tristeza, posibles sustitutos del citrange Carrizo.

- Evaluación agronómica de patrones enanizantes (procedentes del IVIA).
- Estudio de distintas formas de aporte de materias organo-húmicas en cítricos.

■ CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA (CIFA) “LA MOJONERA Y LA CAÑADA”

En el CIFA de la Junta de Andalucía en Almería, además de las líneas de investigación que se resumen a continuación, es destacable el amplio programa de formación que se desarrolla tanto para agricultores como para técnicos sobre aspectos relacionados con la agricultura protegida.

▲ AREA: PROTECCIÓN VEGETAL

▲ **Control de Plagas**

- Estudios de parámetros ecológicos y colonizadores de las especies plagas hortícolas para la ayuda de la toma de decisiones fitosanitarias en los programas de protección integrada.
- Evaluación de la acción de los productos fitosanitarios químicos sobre la fauna auxiliar beneficiosa autóctona, incluida en los programas de protección integrada.

▲ **Virología**

- Identificación de nuevos virus causando enfermedades en cultivos hortícolas de invernadero.
- Desarrollo de métodos de control de enfermedades en hortícolas causadas por virus conocidos.
- Optimización de métodos de diagnóstico de virus en hortalizas mediante técnicas de la biología molecular (RT-PCR y sondas de hibridación) para su uso en los cultivos en invernadero.

▲ **Micología**

- Etiología de las podredumbres del tallo del tomate y pepino.
- Métodos de control de *Phytophthora* spp. en el agua de riego con hipoclorito.
- Sanidad de los cultivos hortícolas sobre sustratos.
- Viabilidad de fitopatógenos de cultivos hortícolas tras el compostaje de restos de cosecha.
- Evaluación del estado sanitario de los sustratos utilizados para la producción de plántulas de hortícolas.

▲ AREA: TECNOLOGIA HORTICOLA

▲ **Optimización de la fertirrigación**

- Adecuación del aporte de fertilizantes a las necesidades nutricionales de los cultivos basado en estudios de composición mineral de las plantas.
- Evaluación de la calidad del agua residual depurada de origen urbano, mediante determinación de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas, para su utilización en fertirrigación.



▲ Fisiología

- Adaptación de la técnica de enriquecimiento carbónico a la horticultura mediterránea.
- Valoración de la eficiencia de diferentes sistemas de calefacción sobre la producción de cultivos hortícolas.
- Desarrollo de un modelo para la gestión de la fertirrigación en los cultivos en sustrato.
- Desarrollo y evaluación de un sistema de reutilización de la solución lixiviada en los cultivos sin suelo.
- Gestión de fertirrigación en sustrato en sistemas abiertos y recirculantes.

▲ AREA: BIOTECNOLOGIA Y MEJORA DE HORTÍCOLAS

- Puesta a punto de método de multiplicación in vitro de sandías triploides (sin semilla).
- Identificación/certificación varietal de vides para uva de mesa y vino mediante marcadores moleculares microsátélites.
- Mejora de las técnicas de bio-polinización en cultivos de pimiento en invernadero.

▲ AREA: CULTIVOS ALTERNATIVOS A LA HORTICULTURA

▲ Fruticultura

- Evaluación de la influencia del riego deficitario controlado en naranjo.
- Estudio de variedades de ciruelo japonés para zonas cálidas.
- Comportamiento de diferentes variedades de cítricos en Almería.
- Estudio de la higuera y granado como cultivos alternativos para la provincia de Almería.
- Evaluación de la influencia del riego con agua salinas en olivo.
- Control del Minador de las hojas (*Phyllocnistis citrella* Stainton) en plantones de cítricos.

▲ Ornamentales

- Evaluación de las posibilidades agronómicas de nuevos cultivos a partir de especies autóctonas, mediante estudios nutricionales y mediante estudios de propagación y cultivo intensivo.
- Recolección y conservación de semillas de especies autóctonas de interés agronómico y medio ambiental.

■ UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

De acuerdo con la información disponible de la Universidad de Almería, (OTRI,2003) la actividad investigadora en agroalimentación se estructura según los grupos y líneas siguientes:

▲ GRUPO: PROTECCIÓN VEGETAL DE CULTIVOS EN INVERNADEROS

- Control químico de plagas: eficacia biocida y tecnológica.
- Lucha integrada contra plagas y enfermedades.

- Enfermedades causadas por hongos de suelo en hortícolas: identificación, patogenicidades y métodos de control.
- Modelos matemáticos aplicados: planta-plaga, plaga-enemigo natural.
- Plagas de hortícolas: identificación, ecología, enemigos naturales, métodos de lucha química y biología.
- Virosis en hortícolas: biotecnología y estrategias de control.

▲ GRUPO: NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL

- Bioquímica digestiva de peces y rumiantes.
- Desarrollo y aplicación de sistemas de digestibilidad *in vitro* para peces y rumiantes.
- Evaluación nutritiva de fuentes proteicas vegetales en piensos para peces.
- Relación pasto-herbívoro.
- Biotecnología enzimática aplicada a la conservación de crustáceos.

▲ GRUPO: RESIDUOS DE PLAGUICIDAS

- Desarrollo de métodos para el análisis de pesticidas en el medio ambiente y en alimentos.
- Estudios de procesos de oxidación avanzada para la mineralización de pesticidas y otros contaminantes en aguas y afluentes.
- Estudios interdisciplinarios de vigilancia de contaminantes en el medio ambiente.
- Evaluación de pesticidas y productos de transformación en tecnologías de descontaminación.
- Evaluación de toxicidad en aguas industriales y muestras medioambientales.

▲ GRUPO: SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN PLASTICULTURA E INFORMACIÓN APLICADA A LAS CIENCIAS AGRARIAS Y MEDIOAMBIENTALES

- Aplicaciones de Internet en las ciencias agropecuarias, asesoría, formación, investigación y comercialización.
- Diseño, simulación y enseñanza con ayuda de ordenador sobre invernaderos.
- Economía agraria y medioambiental, comercialización agraria.
- SIGs en planificación rural y ordenación del espacio.
- Tecnologías del manejo de invernaderos, gestión de la producción hortícola.

▲ GRUPO: GENÉTICA Y FISIOLÓGÍA DEL DESARROLLO VEGETAL

- Análisis genético y molecular de la inducción floral y el desarrollo del fruto.
- Fisiología e interacción génico-hormonal de los procesos de floración y fructificación.
- Mejora biotecnológica de la calidad de fruto (sabor, larga vida, contenido en pigmentos, azúcares y otros compuestos).
- Mejora genética de plantas asistidas por marcadores moleculares.



▲ GRUPO: FISIOLÓGÍA, PRODUCTIVIDAD Y PROTECCIÓN DE LOS VEGETALES

- Control biológico.
- Divulgación sobre micología.
- Taxonomía fúngica.
- Uso del CO₂ en el agua de riego sobre la productividad de los cultivos almerienses.

▲ GRUPO: INGENIERÍA RURAL

- Aplicación y gestión óptima de recursos hídricos en zonas áridas.
- Desarrollo de equipos para la mecanización de las labores en cultivos protegidos. Climatización de invernaderos.
- Elaboración, evaluación, planificación y gestión técnica y ambiental de proyectos agrarios y alimentarios. Diseño y construcción de invernaderos y de infraestructuras y equipamientos agrarios.
- Ingeniería cartográfica, topografía y geodesia. Aplicaciones S.I.G. a actuaciones en el medio rural.
- Uso de energías alternativas en agricultura.

▲ GRUPO: TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN AGRARIA EN ZONAS SEMIÁRIDAS

- Generación y explotación de modelos de terrenos.
- Ingeniería rural.
- Mecanización de los cultivos en invernadero.
- Modelización y animación gráfica en el diseño de maquinaria e industrias agrarias
- Teledetección, fotointerpretación y SIG para el análisis y evaluación de recursos productivos.

▲ GRUPO: PRODUCCIÓN VEGETAL EN SISTEMAS DE CULTIVOS MEDITERRÁNEOS

- Sanidad de semillas hortícolas.
- Evaluación de la sanidad en los cultivos sin suelo con recirculantes y filtros biológicos.
- Evaluación de la biofumigación y de la biofumigación con solarización como desinfectante y mejorador del suelo.
- Nuevos métodos y tecnologías en Producción Integrada de hortalizas bajo invernadero: técnicas ecocompatibles.
- Injerto en hortícolas
- Producción y calidad de frutos, hortalizas y ornamentales; optimización; post-cosecha.
- Control climático en invernaderos mediterráneos.
- Programación de riegos, uso del agua y nutrientes en cultivos y su modelización.
- Control del fertirriego en cultivos hortícolas
- Valoración y aspectos fitosanitarios del compost, su agronomía.

▲ GRUPO: FRUTICULTURA SUBTROPICAL Y MEDITERRÁNEA

- Fisiología de la floración.
- Fructificación en frutales mediterráneos y subtropicales
- Maduración y precocidad de los frutos
- Mejora de frutales
- Técnicas de cultivo y material vegetal en frutales.

▲ GRUPO: SISTEMAS DE CULTIVO HORTÍCOLAS INTENSIVOS

- Control climático en invernaderos.
- Estudio bioquímico y enzimático de cultivos hortícolas intensivos.
- Prácticas de manejo del N en cultivos hortícolas intensivos que minimizan las pérdidas de nitratos.
- Uso de agua, relaciones hídricas y programación de riegos en cultivos hortícolas.

▲ GRUPO: DESARROLLO DE TÉCNICAS MICROBIOLÓGICAS PARA LA MEJORA DE SUELOS

- Biodegradación y reutilización de residuos agrícolas.
- Microbiología del suelo.
- Microorganismos ligninolíticos.
- Microorganismos antagonistas.
- Producción de biopolímeros.

▲ GRUPO: AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

- Degradación química y contaminación por metales pesados y sustancias potencialmente contaminantes del suelo, sustratos y cultivos en horticultura protegida.
- Eficiencia agronómica en los procesos de absorción, transporte y asimilación de agua y nutrientes en especies de horticultura intensiva.
- Evaluación y cartografía edafo-paisajística.
- Optimización y gestión integral del agua y los fertilizantes (fertirrigación) en cultivos hortícolas intensivos.

▲ GRUPO: ECOLOGÍA DE ZONAS ÁRIDAS

- Biología de la conservación, biodiversidad y biogeografía.
- Demografía de poblaciones de plantas y animales y análisis de viabilidad.
- Estudios integrados y desarrollo de sistemas expertos para la evaluación y restauración de ecosistemas y paisajes áridos.
- Fisiología de plantas de zonas áridas.
- Relaciones suelo-agua-planta, erosión y modelos bioclimáticos.



5. (BIBLIOGRAFÍA]

■ **Anderson, K. y Tyres, R. 1990.** How developing countries could gain from agricultural trade liberalization in the Uruguay Round. En I. Goldin y O. Knudsen, eds. *Agricultural trade liberalization*. París, OCDE y Banco Mundial.

■ **Banco Mundial. 1990.** *World development report 1990*. Washington, D.C.

■ **Birdsall, N. 1995.** The coexistence of global food surpluses and famine: poverty's role in the food equation. En *A 2020 vision for food, agriculture, and the environment*. Washington, D.C., IIPA.

■ **Bonte-Friedheim, C., Tabor, S. y Roseboom, J. 1994.** *Financing national agricultural research: the challenge ahead*. ISNAR Briefing Paper No. 11. La Haya, Países Bajos, ISNAR.

■ **Brown, L. y Kane, H. 1994.** *Full house*. World Watch Environmental Alert Series. Nueva York, Norton & Company.

■ **Byerlee, D. 1993.** Modern varieties, productivity and sustainability: recent experience and emerging challenges. Paper presented at the African Adult Education Association (AAEA)/IFPRI pre-conference workshop *Post-Green Revolution Agricultural Development Strategies in the Third World: What Next?* Orlando, FL, Estados Unidos.

■ **Carroll, T. 1992.** *Intermediary NGOs: the supporting link in grassroots development*. West Hartford, CT, Estados Unidos, Kumarian Press.

■ **Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas (ECOSOC). 1995.** *Concise report on the monitoring of world population trends and policies – report of the Secretary General*. Nueva York.

■ **Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1991.** *Food cost reviews*. Washington, D.C.

■ **Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1994a.** *PSD dataset*. Washington, D.C.

■ **Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1994b.** *Grain: world markets and trade*. Washington, D.C.

■ **Echeverría, R.G., Trigo, E.J. y Byerlee, D. 1995.** *Toward institutional mechanisms for effective financing of agricultural research in Latin America*. Summary report from a regional workshop, Argentina, 8 y 9 de agosto.

■ **FAO. 1995a.** *Agricultura mundial: hacia el año 2010*. Estudio de la FAO. N. Alexandratos, ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid y FAO, Roma.

■ **FAO. 1995b.** *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1995*. Roma.

■ **FAO. 1996.** *Cumbre mundial sobre la alimentación*. Roma.

Fuglie, K., Klotz, C. y Gill, M. 1996. Graphically speaking: intellectual property rights encourage private investment in plant breeding. *Choices*, 1st quarter: 22-23.

■ **GCIAI. 1995a.** *Renewal of the CGIAR: sustainable agriculture for food security in developing countries*. Summary of the proceedings of the ministerial-level meeting, Lucerna, Suiza, 9 y 10 de febrero. Washington, D.C.

■ **GCIAI. 1995b.** *Renewal of the CGIAR: an overview, 1995*. En *Background documents on major issues, ministerial-level meeting*, Lucerna, Suiza, 9 y 10 de febrero. Washington, D.C.

■ **Goldin, I. y Knudsen, O. 1990.** *Agricultural trade liberalization: implications for developing countries*. París, OCEDE y Banco Mundial.

■ **Hart, R.B. 1994.** *Global electronic partnerships*. *Outlook Agric.*, 23(4): 237-241.

- **Hazell, P. 1993.** Implications of grain trade liberalization for LDC food security. En R. D. Reinsel, ed. *Managing food security in unregulated markets*. Boulder, CO, Estados Unidos, Westview Press.
- **IIPA. 1995.** A 2020 vision for food, agriculture, and the environment: the vision, challenge, and recommended action. Washington, D.C.
- **IIPA. 1996.** Feeding the world, preventing poverty, and protecting the earth: a 2020 vision. Washington, D.C.
- **IRRI. 1990.** A continuing adventure in rice research. Annual Report 1990-91. Los Baños, Filipinas.
- **Islam, N., ed. 1995.** Population and food in the early 21st century: meeting future food demand of an increasing population. Washington, D.C. IIPA.
- **Johnson, D.G. 1975.** World agriculture, commodity policy, and price variability. *Am. J. Agric. Econ.*, 57: 823-828.
- **Lele, U. y Coffman, R., eds. 1995.** Global research on the environmental and agricultural nexus for the 21st century: a proposal for collaborative research among US universities, CGIAR centres, and developing country institutions. Report of the Taskforce on Research Innovations for Productivity and Sustainability. Gainesville, FL, Estados Unidos, Universidad de Florida.
- **López-Pereira, M.A. y García, J.C. 1994.** The maize seed industries of Brazil and Mexico: past performance, current issues, and future prospects. México, CIMMYT.
- **López Segura, J. 2003.** Memoria del CIFA 2002. Comunicación personal
- **McCalla, A.F. 1994.** Agriculture and food needs to 2025: why we should be concerned. Sir John Crawford Memorial Lecture, 27 de octubre. Washington, D.C. GCIAl.
- **Mitchell, D. e Ingco, M. 1993.** The world food outlook. Washington, D.C., Banco Mundial.
- **OTRI .2003.** Oferta científica y tecnológica. Universidad de Almería
- **Pardey, P.G. y Alston, J.M. 1995.** Making science pay – the economics of agricultural R&D policy. Washington, D.C., American Enterprise Institute Press.
- **Pardey, P.G., Roseboom, J. y Bientema, N.M. 1995.** Investments in African agricultural research. EPTD Discussion Paper No. 14. Washington, D.C., IIPA.
- **Pardey, P.G., Roseboom, J. y Shenggen, F. 1996.** Trends in financing Asian agricultural research. Washington, D.C. IIPA.
- **Pinstrup-Andersen, P. 1995a.** Towards a consensus for action. En *A 2020 vision for food, agriculture and the environment*, págs. 104-108. Washington, D.C. IIPA.
- **Pinstrup-Andersen, P. 1995b.** The challenge for a 2020 vision: the extent of today's human suffering and a view toward 2020. Speech at international conference *A 2020 Vision for Food, Agriculture and the Environment*, Washington, D.C. 13-15 de julio.
- **Pinstrup-Andersen, P. y Pandya-Lorch, R. 1994.** Alleviating poverty, intensifying agriculture, and effectively managing natural resources. *Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 1*. Washington, D.C., IIPA.
- **Plucknett, D.L. 1993.** Science and agriculture transformation. IFPRI lecture, Washington, D.C.
- **Rosegrant, M., Agcaoili, M.C. y Pérez, N. 1995.** Global food projections to 2020: implications for investment. *Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 5*. Washington, D.C. IIPA.
- **Rozelle, S., Huang, J. y Rosegrant, M. 1996.** Why China will not starve the world. *Choices*, 1st quarter: 18-25.



■ **Secretaría del Comité Asesor Técnico del GCIAT. 1996a.** CGIAR priorities and strategies. SDR/TAC:IAR/96/6.1. Roma.

■ **Secretaría del Comité Asesor Técnico del GCIAT. 1996b.** A strategic review of natural resources management research on soil and water. SDR/TAC:IAR/96/9. Roma.

■ **Secretaría del Comité Asesor Técnico del GCIAT. 1996c.** Perspectives on policy and management research in the CGIAR. SDR/TAC:IAR/95/26.1. Roma.

■ **Turner, B.L. II y Benjamin, P.A. 1994.** Fragile lands: identification and use for agriculture. En V.W. Ruttan, ed. Agriculture, environment and health: sustainable development in the 21st century. Minneapolis, MN, Estados Unidos, University of Minnesota Press.

■ **Tweeten, L. 1994.** Are we investing enough in agricultural research and extension? Paper presented to Council of Agriculture Research, Extension and Teaching, Washington, D.C.

■ **Tweeten, L., Mellor, J., Reutlinger, S. y Pines, J. 1996.** Food security. En L. Tweeten, ed. Strategies for third world development. Columbus, OH, Estados Unidos, Ohio State University.

(TEMA 12]



UTILIZACIÓN DE PANTALLAS TÉRMICAS ALUMINIZADAS EN INVERNADEROS MEDITERRANEOS

Eduardo Jesús Fernández Rodríguez

Doctor Ingeniero Agrónomo. Catedrático de la Universidad de Almería

Manuel Díaz Pérez

Ingeniero Técnico Agrícola. Departamento de Producción Vegetal. Universidad de Almería

Ángel Jesús Callejón Ferre

Dr. Ingeniero Agrónomo. Mónsul Ingeniería, S.L. Profesor asociado de la Universidad de Almería





1. (INTRODUCCIÓN)

El productor de hortalizas bajo invernadero ha seguido tradicionalmente un camino hacia el crecimiento de su empresa incrementando el tamaño medio por explotación, el número de invernaderos por explotación, o concentrando bajo su gestión varias explotaciones geográficamente distantes (a veces sólo unos pocos kilómetros). La incorporación de innovaciones tecnológicas es la segunda vía por la que se apuesta desde una perspectiva empresarial, capitalizando la empresa mediante la inversión en la propia explotación, con el objetivo de optimizar la productividad alcanzada en la explotación por unidad de superficie.

En los mercados nacionales así como en los internacionales se busca incrementar la permanencia de los productos hortícolas, al objeto de poder abastecer la demanda a lo largo de casi todo el año. Gran parte de los invernaderos presentes en el sureste español aún hoy son considerados pasivos desde el punto de vista del control climático. Las infraestructuras y tecnologías dedicadas al control climático pueden aproximar las condiciones ambientales hasta niveles más próximos a los rangos deseados para los cultivos, atenuando efectos adversos sobre la fisiología y producción de cultivos debidos a déficit higrométricos, altas y bajas temperaturas.

Resulta bastante frecuente que bajo los invernaderos se desarrolle la producción vegetal bajo condiciones climáticas subóptimas, e incluso a veces, fuera de rangos aceptables. Tanto en los primeros meses de cultivo en los ciclos habituales practicados en el sureste español (julio, agosto, septiembre y octubre) como en los últimos (abril, mayo y junio) se registran condiciones térmicas e higrométricas alejadas de los valores considerados óptimos para los cultivos. Estas condiciones pueden provocar además de un severo estrés en los cultivos, una significativa reducción de la producción, tanto por problemas de fructificación y cuajado del frutos, fisiopatías, como por la limitación impuesta a la duración del ciclo. También las temperaturas bajas y la elevada humedad en los meses invernales (diciembre, enero y febrero) provocan un envejecimiento de la plantación y disminuyen el rendimiento y el calibre de los frutos (Castilla, 1986).

La elevada radiación solar y temperatura se traducen en elevadas tasas de evapotranspiración en los cultivos, limitando el suministro de agua que perciben a través de las raíces llegando a producirse quemaduras y/o marchitamientos irreversibles. El sombreado tiene como finalidad principal el reducir la temperatura de la planta y su ambiente circundante a la vez que disminuye su evapotranspiración al afectar al componente radiativo. La disponibilidad de radiación en el sureste español nos sitúa en una posición privilegiada a la hora de cultivar hortalizas bajo invernadero, convirtiéndose en un factor limitante de la producción según especies, sólo en determinados momentos durante la época invernal.

El blanqueo de la cubierta plástica, también denominado encalado, a base de carbonato cálcico o de cal apagada es el sistema de sombreado más extendido en la horticultura protegida mediterránea. En zonas de poca lluvia se prefiere el carbonato cálcico o blanco de España porque es más fácil de eliminar por lavado, mientras que en zonas más húmedas es preciso usar soluciones de cal apagada. La reducción de la radiación al encalar puede proporcionar niveles de trasmisividad próximos al 30% sobre la radiación

global exterior (Morales *et al*, 1998) aunque puede resultar muy superior en algunos casos llegando a registrarse transmisividades próximas al 10-15%. El encalado no está ligado en sí a una reducción fija de la transmisividad y puede ajustarse a la demanda incrementando o disminuyendo las dosis. Su aplicación y uniformidad se pueden ver afectadas por el régimen de vientos, creando fuertes variaciones en las condiciones de densidad de flujo fotosintético y temperatura ambiente en el interior del invernadero (Fernández-Rodríguez *et al*, 1998). Además, el encalado es lavable y necesita ser re-puesto (con inmediatez en numerosas ocasiones) después de la lluvia ya que las plantas se encuentran aclimatadas a un determinado nivel de radiación y la eliminación de la cal puede hacerlas pasar en muy pocas horas a vegetar en un ambiente con valores muy superiores de densidad de flujo de fotónica. En otras ocasiones su eliminación es gradual, debido a los efectos del rocío y condensación exterior o incluso una deficiente fijación a la cubierta debida a la presencia de ciertas sustancias que repelen a la propia cal. Para dar respuesta a esto último, existen formulados comerciales que prolongan la duración del encalado sobre la superficie del plástico, aunque su eliminación posterior requiere de mayor empeño por parte del agricultor.

En Almería se han registrado descensos de 2 °C con el empleo de cal, en estructuras tipo parral de 22 m de anchura y ventilación lateral. El encalado no logra por sí sólo un clima óptimo de cultivo en zonas cálidas, aunque su relativa efectividad y la economía de su uso explican la popularidad de esta técnica (Montero, 1994).

Entre las posibles alternativas hoy disponibles se encuentra la utilización de sistemas de sombreado móviles automatizados. En ellos la extensión de las pantallas puede decidirse a partir de un umbral térmico y/o radiativo, por tiempos, o por cualquier algoritmo que se desarrolle específicamente. El interés de estas tecnologías reside entre otras causas en su papel como herramienta de prevención de estrés hídrico (Stangellini, 1994).

Las mallas de sombreado aluminizadas presentan la ventaja de reflejar parte de la radiación solar, reduciéndose la intensidad luminosa y el calentamiento excesivo, tanto del ambiente como del suelo y las plantas. Con estos sistemas se consiguen descensos de temperatura de las plantas de 1-2 °C (Boulard *et al*, 1991), no obstante, para evitar reducciones térmicas indeseables deben de presentar un sistema de extensión móvil. La movilidad de las pantallas permite que su uso esté ligado a condicionantes sobre parámetros climáticos exteriores y/o interiores que permiten a los cultivos aprovechar la disponibilidad radiativa. Además, la uniformidad del tejido de la malla puede condicionar la homogeneidad de flujo de luz (Bakker y van Holsteijn, 1995) y temperatura en el invernadero (Post y Maawinkel, 1984; van Holsteijn, 1987).

La reducción de la transmisión después de un encalado depende de la intensidad del mismo. Nuestra Cátedra de Horticultura ha venido realizando varios trabajos al respecto encontrando valores muy variables. Fernández Rodríguez *et al*, (1999) encontraron reducciones de transmisión de PPFD durante las horas centrales del día del 29,1% , con un encalado de 30 g · m⁻² realizado en la segunda quincena de agosto en un invernadero de “raspa y amagado” de 4,5 m de altura. A la salida del invierno, tras un segundo encalado de 20 g m⁻², la reducción fue menor, sólo del 19,7%, debido a la menor cantidad de cal empleada. Estas diferencias muestran la variabilidad intrínseca a la técnica de encalado cuyos efectos además son dependientes del mayor o menor peso



de la reflexión de la radiación incidente debido a la inclinación de los rayos solares como consecuencia de las variaciones estacionales.

En otro de nuestros trabajos, los valores de transmisividad de la densidad de flujo fotónico fotosintético -PPFD- (Fernández Rodríguez *et al*, 1999) bajo las pantallas termorreflectivas móviles de tres densidades (40, 50 y 60% de sombra -Aluminet®) demostraron ser más uniformes que bajo el tradicional encalado, proporcionando a un cultivo de tomate un campo radiativo mucho más estable. Por otro lado, frente a las críticas que en algunas ocasiones reciben los fabricantes de estos materiales los valores determinados en dicho trabajo resultaron similares a los aportados por el fabricante (Polysack Plastic Industries RASCS Ltd). La investigación desarrollada demostró la fragilidad que representa el control de la disponibilidad radiativa bajo el encalado, que afectado por las condiciones ambientales, dificultó el mantenimiento de una transmisividad constante a lo largo del ciclo de cultivo. El tipo de pantalla que proporcionó valores de transmisividad más próximos a los registrados bajo el encalado en cultivo de tomate fue el 40%.

En el manejo de la transmisividad en un invernadero se han de tener en cuenta tanto la disponibilidad de radiación exterior, la inclinación de los rayos solares y su interacción con el material de cobertura del invernadero y su propia estructura. La propia transmisividad del material de cubierta ya supone una propiedad a considerar en la gestión de la radiación. En el mercado es común encontrarse con cubiertas plásticas tricapa, coextruidas que permiten el paso de porcentajes próximos al 80% PPFd. Además, la acumulación de polvo y el envejecimiento del plástico son factores que dificultan la estimación y control de la transmisividad del invernadero bajo condiciones semiáridas. En nuestros trabajos hemos encontrado descensos de transmisividad del 8% PPFd, como consecuencia de la acumulación de polvo procedente de una lluvia sahariana. Por el contrario, la limpieza de la cubierta plástica una vez finalizado el periodo de encalado a la entrada del otoño, puede incrementar la transmisividad de PPFd entre un 20-25% (Fernández-Rodríguez *et al*, 1998), aunque se han obtenido también importantes descensos (14-17%) después del lavado de invernaderos que no habían sido blanqueados a la salida del verano (Morales *et al*, 1998). La acumulación de suciedad puede traducirse en una reducción de rendimiento para un cultivo de tomate (Cockshull *et al*, 1992) especialmente en un ciclo largo de agosto/septiembre-mayo/junio, típico en el sureste de España. Cuando se desea eliminar la cal es común el lavado del plástico mediante manguera, y cuando resulta preciso se recurre a un cepillado activo, existiendo dispositivos que efectúan tal operación de forma mecanizada. En las estructuras sofisticadas tipo Venlo existen dispositivos robotizados que realizan esta operación de forma automatizada.

La utilización de pantallas térmicas aluminizadas móviles durante la noche es una técnica que reduce significativamente las pérdidas de calor en los invernaderos (Baille *et al*, 1985) aunque obviamente resulta dependiente de su densidad, encontrándose su uso cada vez más extendido en zonas frías para economizar los gastos de combustible en invernaderos con calefacción (Plaisier, 1991). En instalaciones altamente tecnificadas pueden coexistir en un mismo invernadero pantallas cerradas para ahorro energético, y pantallas de un determinado porcentaje de sombreo para su uso durante el día.

En nuestro caso, al tratarse de infraestructuras de invernadero tipo “raspa y amagado” no calefactado los trabajos se han planteado contemplando una doble aptitud de las pantallas, representando una inversión aproximada, incluyendo automatismos de 4,5 a 5 euros m⁻², amortizable en 5-6 años, en lo relativo a materiales de sombreo y 10 años en lo relativo a infraestructura fija.

2. (MANEJO DE LAS PANTALLAS TÉRMICAS ALUMINIZAS EN INVERNADEROS MEDITERRÁNEOS)

Un buen manejo en el control climático cuando se emplean mallas aluminizadas pasa por realizar un apropiado diseño que nos permita aprovechar al máximo las condiciones climáticas existentes en nuestra área, modificando sólo aquellos valores que son condicionantes para cada explotación. Esta modificación climática dependerá tanto de las diferentes variables bio-climáticas presentes en cada sistema de cultivo (tipo de cultivo y ciclo desarrollado, situación geográfica, exposición a vientos, etc.), como variables tecnológicas (tipo y dimensiones de la estructura, superficie y distribución de la ventilación, calefacción, etc).

Desde el punto de vista del manejo, el principal factor a considerar es el propio cultivo. Las pautas de control climático deben orientarse a partir del conocimiento de la influencia de los diferentes factores ambientales sobre el crecimiento y la fisiología del cultivo, eligiéndose siempre el porcentaje de sombreo y planificando la estrategia de control de la radiación, específicamente para cada caso.

Este reto plantea una dificultad intrínseca a la horticultura de invernadero actual. La variabilidad que representa el material vegetal, por su amplia oferta, su concepción para adaptarse a diferentes ciclos de cultivo, y su constante renovación, dificulta el ajuste de esa planificación a medida, ya que resulta dependiente de la variedad a utilizar. Desde este punto de vista creemos necesario profundizar en la investigación sobre la respuesta varietal en aspectos relacionados con la saturación de la fotosíntesis a determinados umbrales radiativos, los efectos del sombreo sobre el reparto de asimilados entre órganos cosechables y estructuras vegetativas no aprovechables por los cultivos, o la influencia de la reducción de la radiación sobre la gestión del agua y fertilizantes mediante el fertirriego. La falta de criterio y conocimiento ha llevado a algunos investigadores a plantear experimentos sobre especies cuya avidez por la luz ha demostrado la inoperatividad del sombreo.

Quizás en este sentido en el empleo de pantallas termoreflexivas a escala comercial, sea mucho más importante la pregunta **¿cómo debo emplear las pantallas?** que **¿qué densidad de pantalla debo instalar?**. En países como Israel se emplean para la producción de pimiento densidades del 30 al 40%. En nuestra experiencia hemos evaluado porcentajes comprendidos entre el 40 y el 60% para la producción comercial de tomates y pimientos del sureste español, y desde el punto de vista productivo, siempre la producción ha resultado superior en las densidades más bajas empleadas. Sin embargo, las ventajas derivadas del empleo de una determinada pantalla están netamente condicionadas por la variabilidad de las condiciones climatológicas a lo largo de un ciclo de cultivo, y lo que en un momento determinado puede representar un inconveniente (por ejemplo nuestra



experiencia constatada demuestra como con un sombreado excesivo se ralentiza el ritmo de maduración de los tomates de los primeros ramilletes, bajo pantallas del 60%), resulta ser una garantía en otras circunstancias. Cara a la prevención de daños por heladas, las pantallas más eficaces son las de mayor densidad, al permitir una mejor vegetación de las plantas, (que para el cultivo de tomate, afecta de forma significativa al cuajado de frutos durante la época más fría, lo cual puede suponer contar con ramilletes bien formados con un mayor número de frutos y de mejor presencia en el mercado, o incluso algo tan drástico como poder continuar con la producción en lugar de arrancar el cultivo).

La intensidad del sombreado puede traducirse en diferencias morfológicas como entrenudos más largos, plantas con un color más oscuro, con hojas más finas, con un contenido en materia seca inferior, y tal y como expresan los agricultores “más tiernas”, todo ello pese a presentar unos valores de eficiencia fotosintética generalmente superiores (Fernández-Rodríguez *et al*, 2001).

3. (MANEJO DIURNO DE LAS PANTALLAS TERMOREFLECTIVAS MÓVILES]

Durante el día la radiación solar penetra a través de la cubierta del invernadero y calienta las plantas y el resto de los elementos internos. En la Figura 1 podemos apreciar la evolución de la temperatura del aire en el invernadero describe una curva sinusoidal, en función del tiempo, con interferencias al igual que al aire libre derivadas de la transpiración (Rosenberg, 1974).

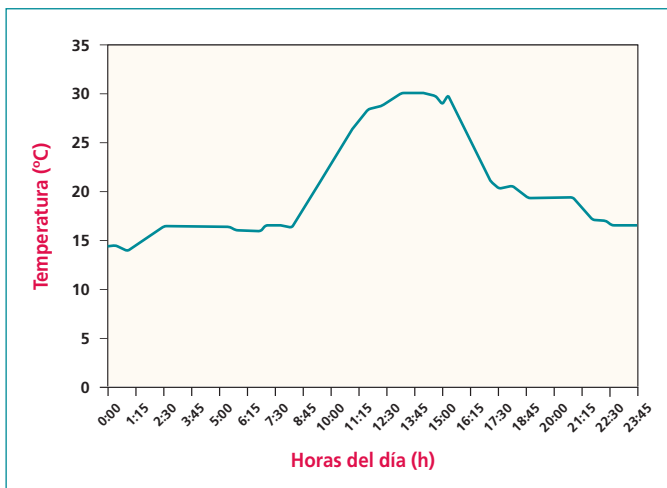


FIGURA 1. CURVA DE EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN UN INVERNADERO DE TIPO “RASPA Y AMAGADO” EN ALMERÍA CON CLUTIVO DE TOMATE A LO LARGO DE UN DÍA (11-6-1999).

Este patrón puede ser alterado en el invernadero si hay sistemas de calefacción, ventilación exterior o empleo de cubiertas móviles (Whittle, 1960). Las pantallas se utilizan para dar sombra en los momentos centrales del día, cuando la temperatura es excesiva,

ya que con una radiación extremadamente alta en el interior de los invernaderos la temperatura de las hojas pueden incrementarse excesivamente, produciendo irreversibles daños en la maquinaria fotosintética por encima de los 35 °C (Gijzen, 1994). Las altas temperaturas también pueden ejercer efectos negativos sobre la calidad de los frutos (Janse, 1988). Concretamente en tomate atributos como la firmeza, la coloración de los frutos (“cuello amarillo”) (Serrano, 1996) se ven modificados por temperaturas por encima de los 35 °C. Estos fenómenos son frecuentes de observar en condiciones mediterráneas en Almería en los meses primaverales (abril - mayo y junio). Nuestra experiencia ha demostrado la mayor consistencia de los frutos de tomate cultivados bajo pantallas del 60% de sombreo, aunque en contraposición el contenido en sólidos solubles disminuye al aumentar la intensidad de sombreo.

El criterio de extensión de las pantallas fundamentado en un umbral térmico sitúa como referencia a modo aproximativo como momentos aconsejables aquellos donde la temperatura diurna sobrepasa las temperaturas en el rango de 30 °C-35 °C sobre las hojas. Aspectos importantes como la aclimatación de las plantas al ambiente, su endurecimiento, y el propio desarrollo fenológico pueden, no obstante, cuestionar la validez de dicho umbral.

Su instalación, en teoría siempre que sea posible, ha de realizarse en el exterior del invernadero, dado que la reducción de temperatura es más adecuada (el sombreo se realiza desde fuera y no se genera una cámara superior en el interior del invernadero entre la pantalla y el material de cubierta, que, de no encontrar una fácil y eficiente salida al exterior termina por incrementar la temperatura de la zona situada bajo la pantalla). Como inconvenientes además de su mayor precio, se requiere de materiales más resistentes, condicionando éstos la vida útil de la malla y se complica la instalación, que debe prever la resistencia a inclemencias como vientos de elevada velocidad, ajuste a las dimensiones de los invernaderos, etc. No obstante, en la cuenca mediterránea cuando se recurre a la ubicación de mallas de sombreo en el exterior del invernadero se hace generalmente renunciando al control automatizado de la extensión y optando por una instalación fija de las pantallas, que se apoyan sobre el propio material de cubierta del invernadero. El manejo que puede realizarse cuando las pantallas se colocan sobre el exterior, consiste en pasar por un periodo intermedio durante el cual en los laterales de cada capilla las mallas se pliegan, dejando pasillos que permiten una aclimatación progresiva antes de su retirada definitiva. En otras ocasiones se opta por emplear una doble malla, pasando por una situación intermedia en la que sólo se emplea una malla, antes de su retirada.

La malla interior absorbe parte una parte de la radiación solar (en función de su color y tipología) otra parte se transmite y otra parte se refleja. La reflexión en el caso de las pantallas aluminizadas es importante, contribuyendo el diseño y disposición espacial de los filamentos a la dispersión de los rayos incidentes. En el caso de las pantallas ensayadas hemos encontrado muy buena uniformidad del campo radiativo, imputable precisamente a los múltiples ángulos de incidencia sobre los filamentos de polietileno aluminizado, circunstancia no común en otros tipos de materiales en los que su disposición espacial es plana. Como consecuencia de la reflexión de la radiación se acumula calor dentro del invernadero en la cámara superior, calor que debe ser evacuado por



ventilación cenital, siendo importante contar con una eficaz ventilación, especialmente cuando sobre las superficies de ventilación se instalan mallas de 20×10 hilos cm^{-1} . De modo genérico, por tanto, se deduce la recomendación de abrir las ventanas cenitales cuando las pantallas sean desplegadas. Por el contrario, cuando la pantalla se sitúa en el exterior no existe una división de zonas **supra** e **infra**-pantalla dentro del invernadero, y además se refrigera con el aire exterior del invernadero. Quizás, como solución técnica, la instalación de pantallas exteriores móviles automatizadas pueda representar ventajas en términos de productividad sobre las instalaciones interiores, pero a nuestro entender, dada la singularidad de las estructuras predominantes en el sureste español, económicamente no resulta rentable su transferencia a los productores de hortalizas.

Otro punto importante a tener en cuenta al instalar la malla de sombreado en el interior del invernadero es que, en ciertas ocasiones, en especial cuando el número de renovaciones de aire en el invernadero son muy bajas (circunstancia típica de días con vientos en calma, aún con el 100% de las ventanas abiertas), se provoca una disminución de los intercambios de aire entre la zona de vegetación y el medio exterior que pueden además de producir un efecto opuesto al deseado en el control de la temperatura de la planta, incluso reducir la concentración de CO_2 . Indiscutiblemente el sombreado y la ventilación han de ir asociados. Para aquellos casos en los que las condiciones ambientales provoquen una reducida tasa de renovación del aire, se pueden emplear varias estrategias. La primera consiste en no desplegar totalmente las pantallas, dejando unas franjas que pueden generar una mayor convección en el invernadero. La segunda consiste en realizar ciclos periódicos de extensión-plegado de las pantallas, para permitir el intercambio entre los dos ambientes bien definidos. La tercera, por supuesto la más costosa, pasa por la combinación de la tecnología de sombreado con sistemas de ventilación dinámica, bien mediante simples y económicos ventiladores agitadores, bien mediante extractores de mayor envergadura, cuyo dimensionamiento en muchas ocasiones hemos podido comprobar que resulta insuficiente e inoperativo. También resulta interesante valorar aspectos importantes como son la forma y dimensión de la ventana, la exposición de las ventanas a los vientos y por tanto la propia orientación del eje principal del invernadero.

En condiciones bajo invernadero mediterráneo el tiempo de extensión de las pantallas es variable para cada caso, así en los meses de mayo, junio, julio o agosto este tiempo puede oscilar entre $5-8$ horas día^{-1} reduciéndose periódicamente el tiempo de extensión hasta $1-0,25$ horas día^{-1} en el periodo otoñal (septiembre-octubre) acorde con las medidas solares en el interior del invernadero (Figura 3). La programación de la extensión por intervalos horarios, puede ser equivalente a la programación por radiación, pero cuenta como principal inconveniente la no consideración de las condiciones ambientales presentes, ya que días la extensión a una determinada hora en días más frescos, o nublados puede representar más un inconveniente que una ventaja. De esta forma interactuarían efectos positivos derivados de la respuesta fisiológica al sombreado, con efectos negativos (al convertirse por ejemplo en limitante el factor radiación solar) atenuándose las diferencias entre los procesos productivos (dado su carácter acumulativo), originadas por los distintos sistemas de control climático.

El criterio de extensión por disponibilidad radiativa, pasa por el establecimiento de un umbral, a partir del cual el automatismo recibe la orden de extensión de las pantallas,

marcándose un intervalo de seguridad, para que la posible incidencia de la nubosidad, no obligue a una cadena de órdenes contrapuestas que puedan generar problemas en el mecanismo. Sin duda alguna, la ubicación del sensor (ya sea luxómetro, piranómetro o de radiación fotosintéticamente activa) más aconsejada es la interior, aunque la representatividad del lugar elegido para su instalación debería ser tomada en cuenta instalando más de un punto de control (así se evita la posible influencia de la geometría de cubierta, sombras proyectadas por ventanas u otros elementos auxiliares, etc...). Los valores de las consignas que activen los mecanismos de extensión y plegado de pantallas, deben estudiarse con profundidad, siendo preciso dedicar mayor investigación al respecto.

En el periodo de otoño-invierno (octubre/noviembre-febrero/marzo), debido al déficit radiativo en los invernaderos mediterráneos no es usual emplear ningún método de sombreo durante el día.

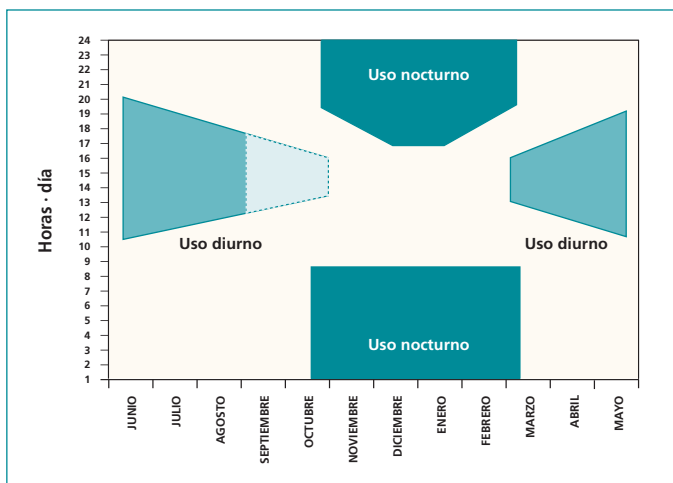


FIGURA 3. ESQUEMA ORIENTATIVO DE LA ESTRATEGIA DIARIA DE EXTENSIÓN DE PANTALLAS ALUMINIZADAS DURANTE UN CICLO DE CULTIVO DE TOMATE EN EL SURESTE ESPAÑOL.

No obstante, el manejo diurno de las pantallas termorreflexivas móviles está muy condicionado por el tipo de estructura, sistema y superficie de ventilación. Así en ciertos casos en los que la superficie de ventilación es reducida, la estructura presenta una baja tasa de renovación de aire, y las condiciones climáticas superan los 40 °C aún con las pantallas extendidas, es necesario combinar un encalado leve (15 g · m⁻²) junto con la extensión de las pantallas aluminizadas.

Por otro lado, dada la relatividad de la comparación entre encalado y sombreo mediante pantallas, es posible encontrar descensos térmicos superiores bajo intensos encalados que bajo pantallas aluminizadas. Ello ocurre asociado a casos en los que el descenso de la transmisividad del invernadero blanqueado le lleva a valores próximos al 10-15%, en los que obviamente se opta por el control de la temperatura en detrimento de la minoración de la disponibilidad radiativa (figura 4).



En este caso el acierto de una u otra técnica estará vinculado, no a las diferencias relativas, sino a los valores absolutos alcanzados. Entendemos que una diferencia del 10% o del 20% en transmisividad a la radiación no ejerce el mismo efecto si las temperaturas durante las horas centrales del día se sitúan próximas a 30 °C que a 40 °C.

Nuestra experiencia en pimiento nos ha permitido cuantificar mayor precocidad asociada a pantallas de menor densidad (40% Aluminet). Sin embargo puede que el criterio que el productor persiga sea la formación de una estructura de planta sin fructificación en los cinco primeros nudos, capaz de producir frutos a partir del 6º nudo, optando por un mayor sombreo y que a la hora de inducir fructificación se prescinda del sombreo para generar un estrés que aporte la deseada respuesta generativa.

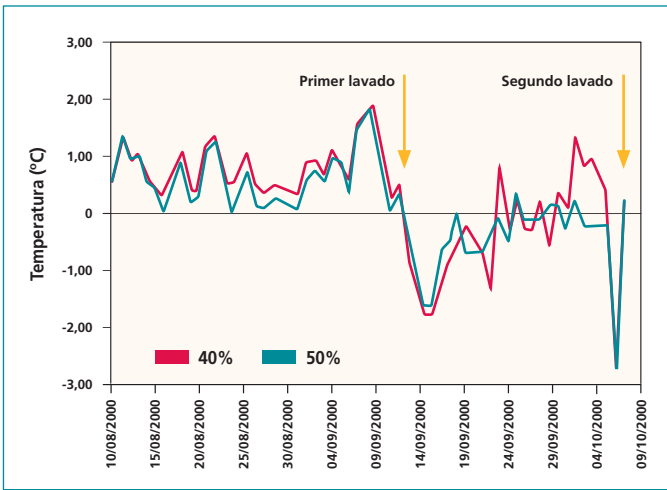


FIGURA 4. GRADIENTE TÉRMICO ENTRE LAS PANTALLAS DE SOMBRO (40% Y 50% ALUMINET) Y UN ENCALADO INTENSO (LÍNEA BASE), DURANTE EL PERIODO DEL 10/08/2000 AL 10/10/2000. LOS VALORES QUE SE PRESENTAN SE CORRESPONDEN CON LA TEMPERATURA MEDIA DEL DOSEL A PARTIR DE LAS LECTURAS TOMADAS ENTRE LAS 12:00 Y LAS 18:00H. SE OBSERVA EL EFECTO DE LA PRIMERA ELIMINACIÓN, NO ACTIVA, DEL BLANCO ESPAÑA. TRAS EL SEGUNDO LAVADO LAS PANTALLAS DEJARON DE EXTENDERSE DURANTE EL DÍA.

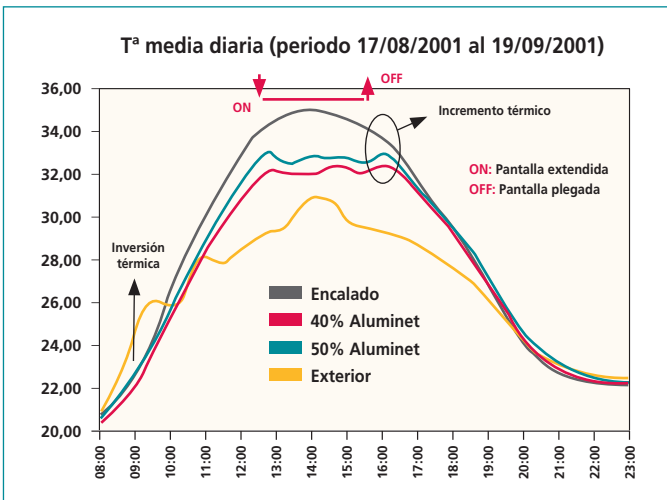


FIGURA 5. COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE TEMPERATURAS BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE SOMBRO ESTUDIADOS BAJO INVERNADERO TIPO "RASPA Y AMAGADO" Y EL EXTERIOR, EN ALMERÍA EN EL PERIODO DEL 17/08/2001 AL 19/09/2001. N=33 DÍAS.

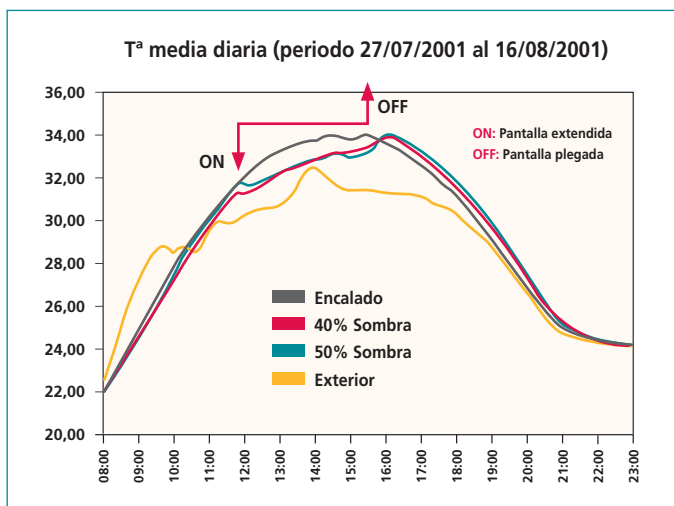


FIGURA 6. COMPORTAMIENTO TÉRMICO MEDIO DIARIO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE SOMBREO ESTUDIADOS BAJO INVERNADERO TIPO “RASPA Y AMAGADO” Y EL EXTERIOR, EN ALMERÍA EN EL PERIODO DEL 27/07/2001 AL 16/08/2001. N=21 DÍAS.

Los resultados alcanzados con la extensión de las pantallas demuestran como el la temperatura se mantiene de forma más estable que bajo el encalado con menor salto térmico y temperaturas unos 2°C inferiores, apreciándose al graficar “jorobas” típicas cuando el automatismo actúa extendiendo las pantallas e incluso plegando (figura 5).

No obstante, las condiciones climáticas exteriores, como la ausencia de viento, pueden hacer que la temperatura, pese a la extensión de la pantalla, aumente e incluso una vez plegada la temperatura se sitúe por encima de la registrada bajo el encalado (figura 6). En este último ejemplo, la gráfica cuestionaría el intervalo elegido para la extensión de las pantallas, ya que tras su plegado, la temperatura permanece en valores superiores durante dos horas más, encontrándose menor temperatura bajo el encalado.

4. (MANEJO NOCTURNO DE LAS PANTALLAS TERMOREFLECTIVAS MÓVILES)

Durante el invierno, la temperatura es un factor limitante del crecimiento de las hortalizas bajo invernaderos mediterráneos. La mayoría de los cultivos detienen su crecimiento y respiración a temperaturas próximas a los 10-14 °C según cultivos y variedades. El empleo de pantallas térmicas aluminizadas tienen la misión de limitar las pérdidas caloríficas por radiación infrarroja durante la noche y mantener entre 2 y 4 °C más en el interior del invernadero. Para un buen uso nocturno de estos materiales, debe de considerarse un adecuado manejo de las cubiertas plásticas junto a un buen hermetismo del invernadero para evitar pérdidas de calor. En un trabajo comparativo realizado en el sudeste almeriense registraron temperaturas del aire bajo pantallas aluminizadas 0,8-1,2 °C superiores al encalado (Fernández-Rodríguez *et al*, 1999).

Estos resultados son coincidentes con los de Teitel *et al* (1995) quienes encontraron cómo mediante el empleo de las pantallas termorefectivas la temperatura de la hoja en cultivo de pimiento aumentó entre 0,8-1 °C frente al encalado.



Con nuestros trabajos hemos encontrado diferencias de hasta 1,5 °C al comparar las temperaturas mínimas bajo pantallas del 50% y bajo encalado, mientras que para un 40% el incremento térmico ha resultado inferior a 1 °C (figura 7).

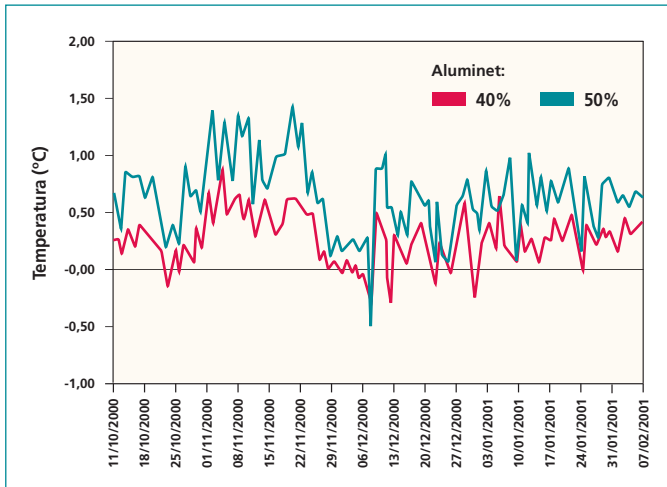


FIGURA 7. DIFERENCIAS DE TEMPERATURA MÍNIMA NOCTURNA BAJO 40% ALUMINET Y 50% ALUMINET EN INVERNADERO TIPO "RASPA Y AMAGADO" Y EL ENCALADO, EN ALMERÍA EN EL PERIODO DEL 11/11/2001 AL 7/02/2001. N=120 DÍAS.

5. (PANTALLAS E INVERSIÓN TÉRMICA)

La inversión térmica en el interior del invernadero se presenta cuando se registra mayor temperatura en el exterior del invernadero que en el interior. En contraposición a lo que intuitivamente se deduce cuando se estudia la definición de efecto invernadero, resulta muy común que bajo los invernaderos mediterráneos con control de clima pasivo se produzca inversión térmica durante las noches de invierno. Este fenómeno se encuentra asociado a la condensación en la cara interna de la cubierta plástica, cuya energía es tomada del ambiente protegido, resultando en un descenso térmico, que puede en términos generales amortiguar el salto térmico debido al efecto invernadero.

Nuestra experiencia demuestra que la inversión térmica es bastante común y su frecuencia es superior al 50% de las noches en las estructuras rústicas de invernadero de Almería. Este fenómeno puede verse atenuado mediante el empleo de pantallas térmicas aluminizadas cuando estas son empleadas como estrategia de conservación de energía. Comparando temperaturas mínimas diarias registradas bajo pantallas termorefectivas del 40, 50% de sombreado (Aluminet®) (Tabla 1), hemos observado que el encalado es el sistema que presenta mayor incidencia de este fenómeno. En contraste, la pantalla aluminizada de mayor densidad (50%), fue la que menor frecuencia presentó.

Así mismo, las diferencias que se obtuvieron entre los tres tratamientos estudiados fueron más importantes con el envejecimiento del plástico de cobertura. Por tanto, pese a las posibles diferencias climáticas interanuales, el efecto termoestable de la pantallas se vuelve más interesante conforme la cubierta plástica envejece.

■ TABLA 1. FRECUENCIAS DE INVERSIÓN TÉRMICA DURANTE EL PERIODO DE USO NOCTURNO DE LAS PANTALLAS DURANTE LAS CAMPAÑAS 2000/2001 Y 2001/2002.

Sistema de sombreo	Frecuencia (%) plástico viejo	Frecuencia (%) plástico nuevo
Encalado	77	51
40% Sombreo (Aluminet®)	63	52
50% Sombreo (Aluminet®)	43	42

6. (MANEJO COMBINADO DE LAS PANTALLAS TERMOREFLECTIVAS MÓVILES]

En algunos cultivos y durante algunos periodos la climatología puede permitir, en función de las consignas establecidas efectuar un uso combinado de las pantallas, por un lado persiguiendo como objetivo el ahorro energético extendiéndose durante las noches y por otro reduciendo las elevadas temperaturas durante las horas centrales del día.

7. (BIBLIOGRAFÍA]

■ Baille A., Kittas C. y Katsoulas N. 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107: 293-306.

■ Bakker J.C. y Van Holsteijn G.P.A. 1995. Greenhouse construction and equipment: screens. In: *Greenhouse climatic control. An integrated approach*. Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H., Van der Braak (Eds.) Wageningen Pers. 185-195.

■ Boulard T., Baille A., Lagier J. y Mermier M. 1989. Water vapour transfers and dehumidification in a inflatable plastic greenhouse. *Acta Horticulturae*, 245: 462-469.

■ Castilla N. 1996. Influencia de la radiación solar en invernadero sobre la calidad de la producción hortícola. *Actas de Horticultura*, 13: 37-43.

■ Cohen S., Moreshet S., Le Guillou L., Simon J.C. y Cohen M. 1996. Response of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. *J. Exp. Bot.*, 48: 35-44.

■ Fernández-Rodríguez E.J. y Callejón-Ferre A.J. 2003. Caracterización fitoclimática de invernaderos mediterráneos: El empleo de pantallas térmicas aluminizadas. En Fernández-Rodríguez E.J. (Coord.) *Innovaciones tecnológicas en cultivos de invernadero*, Ediciones Agrotécnicas. Madrid. 187-202.

■ Fernández-Rodríguez E.J., Pérez, D. Camacho F., Fernández J. y Kenig A. 2001. Effects of aluminized shading screens vs whitewash on tomato photochemical efficiency under a non heated greenhouse. *Acta Horticulturae* 559: 279-284.

■ Fernández-Rodríguez E.J., Fernández J., Camacho F., Vázquez J.J. y Kenig A. 2000. Radiative field uniformity under shading screens under greenhouse vs whitewash at Spain. *Acta Horticulturae*, 534: 22-26.

■ Fernández-Rodríguez E.J., Fernández J., Kenig A. y Camacho F. 1998. Uniformidad del campo radiativo bajo sistemas sombreo mediante pantallas aluminizadas en invernadero. *Actas de Horticultura*, 21: 37-44.

■ Gijzen H. 1994. Interaction between CO₂ uptake and water loss. In: *Greenhouse climate control:*



an integrated approach. Bakker, J.C., G.P.A., Challa, H., Van de Braak, N. Wageningen.

■ **Janse J. 1988.** Teelmaatregelen en kwaliteit bij paprika's: tegengestelde rakties vragen om weloverwogen instellingen. (Cultivation techniques and quality of sweet pepper: opposite responses require deliberate settings). *Tuinderij*, 68 (4): 22-23.

■ **Montero J.J., Castilla N., Gutiérrez E. y Bretones F. 1985.** Climate under plastic in the Almería area. *Acta Horticulturae*, 170: 227-234.

■ **Morales M.I., Hernandez J., Castilla N., Escobar I. y Berenguer J.J. 1998.** Transmisividad de radiación solar en invernaderos de la costa mediterránea española. *Actas de Horticultura*, 21: 33-36.

■ **Plaisier H.F. 1992.** Energy saving and climate improvement with thermal screens. *Tuinderij*, 305: 63-64.

■ **Post M.L. & Maaswinkel R.H.M. 1984.** Better horizontal temperature distribution with screens. *Tuinderij*, 64 (22): 24-27.

■ **Rosenberg N.J. 1974.** *Microclimate: The biological environment.* John Wiley and sons. New York, 315 p.p.

■ **Serrano Z. 1996.** Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Sevilla.

■ **Stangellini C. 1994.** Balance hídrico y manejo del microclima en invernadero. In: *Tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización.* F.I.A.P.A., Junta de Andalucía, 49-62.

■ **Teitel M., Peiper O. y Zvieli Y. 1995.** On the possibility of using shading screens for frost protection. Contribution from the Agricultural Research Organization. The Volcani Center. Bet Dagan, Israel. No. 1546-E. 20 pp.

■ **Van Holsteijn, G.P.A. 1987.** With energy screens towards smaller temperature differences. *Backblad voor de Bloemisterij*, 42 (49): 22-23.

■ **Whittle R.M. y Lawrence W.J.C. 1960.** The climatology of glasshouses III. Air-temperature. *Journ. Agric. Eng. Res. Vols. 5* nº 2.

NOTAS

