

 **Análisis**
De Suelo-Agua-Planta
Y Su Aplicación En La Nutrición
De Cultivos Hortícolas En La
Zona Peninsular *Antonio Casas Castro*
2ª Edición *Elena Casas Barba*

A JO

**EL ANÁLISIS DE SUELO-AGUA-PLANTA Y SU
APLICACIÓN EN LA NUTRICIÓN DE LOS
CULTIVOS HORTÍCOLAS EN LA ZONA DEL
SURESTE PENINSULAR**

ANTONIO CASAS CASTRO

ELENA CASAS BARBA



© AUTORES:

ANTONIO CASAS CASTRO

ELENA CASAS BARBA

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS

EDITA:

CAJA RURAL DE ALMERÍA

I.S.B.N.: 84-922785-3-6

DEPÓSITO LEGAL: AL-238-1999

IMPRIME: ESCOBAR IMPRESORES, S.L.

Presentación

La constante integración en la moderna agricultura y más especialmente en la horticultura protegida, que cada día adquiere mayor auge, de los más modernos avances científicos y tecnológicos obliga a técnicos y agricultores a una incesante puesta al día de nuevas ideas, conceptos y técnicas de cultivo. Esta obligación ha de llevarlos a que sus explotaciones estén siempre en las mejores condiciones para obtener los máximos rendimientos.

La diversificación de especies y de nuevos híbridos, con mayores y mejores cualidades en múltiples aspectos, conservación, mejor tolerancia al transporte, alta productividad, color, sabor, resistencia a enfermedades producidas por hongos o virus, etc. y las nuevas técnicas de cultivo, como la hidroponía, y cultivo bajo invernadero también obligan a una constante puesta al día del empresario agrícola.

Ello conduce a la adopción de métodos de cultivo cada vez más tecnificados, depurados y específicos, así como nuevos materiales, fertilizantes, agroquímicos, semillas, etc., más eficientes, específicos e idóneos para mejorar la competitividad, siendo esta la vía que, de forma más directa, impulsa el crecimiento cuantitativo y sobre todo cualitativo de la horticultura, con la consiguiente mejora de la rentabilidad.

Pero el agricultor, entre sus múltiples funciones, bien directamente o por medio de Técnicos agrónomos debe mantener una alerta permanente acerca del estado y requerimientos nutricionales de sus cultivos, que podrían, por carencias o desequilibrios convertirse en factores limitantes de la rentabilidad de la explotación.

El libro que nos honramos en presentar acomete de forma clara y exhaustiva todo cuanto concierne tanto a la extracción de los nutrientes por los cultivos así como el transporte de los mismos dentro de la planta, tanto por vía xilema como floema.

El capítulo relativo a aguas, además de los temas de salinidad, alcalinidad,

toxicidad iónica y limitación de rendimientos en diferentes cultivos, en función de su tolerancia, aporta algunas soluciones a estos problemas. Además, pueden encontrarse datos analíticos de "aguas tipo" de diferentes localizaciones de la provincia de Almería como de una de la de Granada.

Importante y detalladamente expuesto es el minucioso estudio de los suelos, tanto salinos como no salinos y su caracterización y la tolerancia de los diferentes cultivos a niveles de salinidad en suelo, así como todo lo relativo a análisis químicos, físicos y de fertilidad.

El estudio de la asimilación de los macro y micronutrientes aprovechados por los diferentes cultivos sólo puede ser conocido mediante análisis foliar, estando influenciada esta absorción por múltiples condicionantes, aún dentro de la misma especie, como la variedad o cultivar de que se trate, estado fenológico de la planta, desarrollo del sistema radicular, manejo del suelo y del cultivo, poda, riego, sanidad del cultivo, etc.

Se estudian los cultivos de: pimiento, pepino, judía, tomate, berenjena, melón, sandía, calabacín, col china y lechuga. De todos ellos, además de las condiciones de la toma de muestras, se dan cuadros de interpretación de resultados, síntomas de las carencias y medidas a tomar para su corrección.

El libro cuenta con 118 fotografías a todo color sobre carencias y fitotoxicidades de estos diez cultivos.

La exposición amena y didáctica, clara y minuciosa y sobre todo útil en que está redactado este libro es fruto del dominio, amplios conocimientos y experiencia que poseen los autores del mismo, avalada por los muchos años de trabajo de laboratorio y de campo.

Esta publicación viene a llenar un gran vacío en la temática de los cultivos hortícolas tanto protegidos como al aire libre y no dudamos que se convertirá en un consultor y consejero de inestimable valor no sólo para técnicos sino también para los agricultores, y contribuirá de manera importante en la mejora de los rendimientos de sus explotaciones.

Almería, abril de 1999
Francisco Bretones Castillo

Prólogo

La incorporación de tecnología en un sector productivo, no es la simple importación o adopción de productos, ni siquiera de técnicas o procedimientos, sino que, para que constituya una aportación relevante, requiere la generación del esfuerzo tecnológico necesario para aprovechar las potencialidades, minimizando sus impactos negativos. Estas mejoras subsiguientes a la introducción de una tecnología, son un factor determinante de su adaptación a las características locales, en su sentido más amplio, y una mayor o menor adaptación va a determinar, decisivamente, el ritmo de difusión de la nueva tecnología y por tanto su influencia en el crecimiento económico.

La capacidad para realizar este esfuerzo tecnológico de forma lo suficientemente rápida, amplia y profunda como para que sea efectivo, dependerá del conocimiento y de las infraestructuras científicas de que se disponga, pero no debe ignorarse que se trata de una tarea que no pueden desempeñar aisladamente los Centros de investigación y las Universidades, sino que corresponde a todo el entramado tecnológico en el que ha de incluirse a las empresas del sector.

En una actividad agroalimentaria sometida a la competencia del mercado internacional, este proceso innovador se repite continuamente, con ritmos más o menos intensos e inducido por estímulos de diversa naturaleza, conformándose con el tiempo una compleja malla tecnológica en cuyos nudos confluyen acciones de muy diversos orígenes, que se conoce como el Sistema Ciencia-Tecnología-Producción.

Esto es, esquemáticamente, lo que ha sucedido en la producción hortícola intensiva en Almería, donde en los últimos cuarenta años, desde los enarenados hasta los actuales cultivos sin suelo en invernaderos con control climático, se ha producido uno de los procesos de desarrollo tecnológico más importantes de la agricultura española. A lo largo de un proceso de estas características, inciden multitud de personas e instituciones públicas y privadas. Dos de ellas, con reconocido prestigio por su eficaz y dilatada actuación, han tomado la iniciativa de publicar este libro. Se trata de la Caja Rural de Almería y de Antonio Casas

Castro, acompañado en esta ocasión por su hija Elena Casas, muestra del relevo generacional que se está produciendo en la zona y que constituye la mejor garantía para el futuro.

EL ANÁLISIS DE SUELO-AGUA-PLANTA Y SU APLICACIÓN EN LA NUTRICIÓN DE LOS CULTIVOS HORTÍCOLAS DE LA ZONA DEL SURESTE PENINSULAR, tiene a mi juicio una vocación de manual, en el sentido de que es el resultado de un esfuerzo por poner a disposición del lector un compendio de lo más esencial de las bases científicas que gobiernan el continuo agua-suelo-planta por lo que a la nutrición vegetal se refiere, con una forma expositiva clara y concisa, y ésta es su primera virtud. Pero su mayor interés, radica en que nos permite acceder, de forma ordenada, al caudal de conocimientos que a lo largo de su actuación profesional ha ido acumulando Antonio Casas.

Se trata, de un ejemplo paradigmático del modelo de generación de tecnología anteriormente expuesto. Las indicaciones sobre los criterios de muestreo de aguas suelos y plantas, los métodos analíticos recomendados, la interpretación de los resultados obtenidos, las recomendaciones para la corrección de los posibles desajustes, etc. que el lector encontrará en este libro, no son el resultado del desarrollo de una teoría científica propia de los autores, pero tampoco la simple traslación de métodos o teorías desarrollados externamente al sistema productivo de Almería. Son el resultado de un intenso y dilatado proceso de estudio y experimentación apoyado en la sólida formación de Antonio y Elena Casas, que a través de este libro lo transfieren al resto del sistema productivo de la zona.

La mayor parte de la actividad profesional de Antonio Casas se ha desarrollado en el sector privado y fundamentalmente en el seno de su propia empresa de asesoramiento técnico sobre la fertilización de los cultivos. A lo largo de esa actividad ha tenido que adaptarse a las innovaciones tecnológicas introducidas en el sistema de producción: nuevas especies y variedades, nuevos materiales y estructuras de invernaderos, nuevos sistemas de riego, nuevas épocas de producción, nuevas posibilidades de control de la fertilización, el riego y las condiciones ambientales, los cultivos sin suelo,..... Esto le ha permitido adquirir un notable conocimiento empírico de la influencia en la nutrición de factores como la temperatura ambiente, temperatura de suelo, luminosidad, la salinidad, sobre la sensibilidad y calibración de los diversos métodos de diagnóstico y, además, conocer la respuesta, a escala de producción comercial, a los diversos tratamientos correctores. Todo ello confiere al libro un valor singular para los que tengan que manejar estas técnicas tan complejas.

Especialmente interesante me ha parecido el tratamiento dado a la interpretación de los resultados analíticos del extracto saturado de suelo. No es habi-

tual encontrar publicaciones que utilicen estos resultados analíticos con fines de fertilidad. Es más, en los procedimientos más clásicos, la pasta saturada de suelo y su correspondiente extracto sólo se analizan cuando tras un test previo se detecta un nivel de salinidad en el suelo que aconseja su caracterización mas detallada. Por ello, la información que aquí se aporta al respecto es muy valiosa.

Merecen destacarse, asimismo, las abundantes referencias a los factores ambientales, tan importantes para la interpretación de los análisis foliares, que pocas veces se consideran de una forma tan detallada para una zona como en este caso. Esto no sólo hace más precisos sus criterios cuando se aplican a las condiciones locales, sino que facilita su extrapolación a otras zonas productoras.

La necesidad de alcanzar la competitividad exigida en cada momento por los mercados internacionales, que ha sido un estímulo que ha llevado al sistema productivo del sureste peninsular a alcanzar las cotas de desarrollo científico y tecnológico que hoy ostenta, no aminora. Por el contrario, las disposiciones de la Agenda 2000 profundizan en una liberalización de los mercados, que seguramente continuará progresando posteriormente. La disminución de las rentas agrarias derivadas de la previsible reducción de los precios, habrá de compensarse vía costes y con el incremento y la diversificación de calidades y producciones. Todo ello, junto con la mejora de la seguridad alimentaria y el control del impacto ambiental, serán los estímulos para proseguir en la vía de la innovación tecnológica y continuar elaborando instrumentos para la transmisión de los nuevos conocimientos que se adquieran. Esta publicación, por su calidad y el generoso planteamiento de los autores, será un ejemplo a seguir.

Tenerife, abril de 1999
José Manuel Hernández Abreu

Agradecimientos

A la Caja Rural de Almería, y en particular a Francisco Bretones por la iniciativa de la publicación de este libro, y a Juan Carreño por su colaboración en la corrección y preparación.

ÍNDICE

1. ABSORCIÓN Y TRANSPORTE DE NUTRIENTES POR LA PLANTA	27
1.1. Absorción de nutrientes por la planta	27
1.2. Transporte de nutrientes	29
1.2.1. Transporte vía xilema.	29
1.2.2. Transporte vía floema.	30
2. AGUAS	33
2.1. Origen de las sales	33
2.2. Clasificación de las aguas de uso agrícola	34
2.2.1. Salinidad y alcalinidad	34
2.2.2. Salinidad y permeabilidad	36
2.2.3. Infiltración	39
2.2.4. Toxicidad iónica	41
2.2.5. Efectos diversos	42
2.2.6. Soluciones a los problemas de salinidad	44
2.2.7. Soluciones a los problemas de infiltración	48
2.2.8. Soluciones a los problemas de toxicidad	49
2.2.9. Ejemplos de diferentes tipos de aguas de Almería y zonas limítrofes	51
3. SUELOS	57
3.1. Caracterización de suelos	57
3.1.1. Suelos no salinos	57
3.1.2. Suelos salinos	58
3.1.3. Suelos salino-sódicos	59
3.1.4. Suelos sódicos	60
3.2. Análisis químico de suelos	61
3.2.1. Muestreo	61
3.2.2. Extracto saturado	64
3.2.3. Conductividad eléctrica	65
3.2.4. pH	70
3.2.5. Análisis del extracto saturado. Cationes y aniones solubles	71
• Sodio	71
• Cloruros	72
• Potasio	72
• Calcio	76
• Magnesio	81
• Nitrógeno	84
• Fósforo	88
• Sulfatos	89
• Bicarbonatos y carbonatos	91
• Boro	91
3.2.6. Cationes de cambio y capacidad de intercambio catiónico de un suelo. ...	93
• Interpretación de los resultados	95

3.2.7. Análisis de la fertilidad	98
• Nitrógeno	98
• Fósforo	100
• Potasio	104
• Materia orgánica	105
• Caliza	111
3.2.8. Microelementos.	114
• Hierro	114
• Manganeso	115
• Cobre	116
• Zinc	117
• Boro	117
• Molibdeno	117
3.3. Análisis físico de suelos	118
3.3.1. Densidad aparente	118
3.3.2. Densidad real	118
3.3.3. Porosidad	119
3.3.4. Tamaño de partícula. Textura	120
3.3.5. Ejemplos de diferentes texturas de suelos de la zona de Almería	121
4. PLANTAS	125
4.1. Factores que influyen en la composición de nutrientes	125
4.1.1. Variedad o cultivar	125
4.1.2. Etapa de crecimiento	126
4.1.3. Tamaño, longitud y estado sanitario del sistema radicular	126
4.1.4. Nivel de producción del cultivo	126
4.1.5. Clima	128
4.1.6. Nivel de riego	129
4.1.7. Manejo del suelo y del cultivo.	129
4.1.8. Estado sanitario de la planta	130
4.1.9. Interacciones entre nutrientes	130
4.2. Muestreo foliar	131
4.2.1. Objetivo del muestreo	131
4.2.2. Elección de las plantas	132
4.2.3. Elección de la hoja de muestreo	132
4.3. Pimiento, <i>Capsicum annum</i> L	133
4.3.1. Muestreo.	133
4.3.2. Interpretación de los resultados	133
4.3.3. Sintomatología de las carencias. Corrección	136
• Nitrógeno	136
• Fósforo	136
• Potasio	136
• Calcio	137
• Magnesio	137
• Hierro	138
• Manganeso	138
• Cobre	139
• Zinc	139
• Boro	140

4.4. Pepino, <i>Cucumis sativus</i> L	140
4.4.1. Muestreo	140
4.4.2. Interpretación de los resultados	142
4.4.3. Sintomatología de las carencias. Corrección	143
• Nitrógeno	143
• Fósforo	144
• Potasio	144
• Calcio	145
• Magnesio	145
• Azufre	145
• Hierro	146
• Manganeso	146
• Cobre	146
• Zinc	147
• Boro	147
• Molibdeno.	147
4.5. Judía, <i>Phaseolus vulgaris</i> L	148
4.5.1. Muestreo	148
4.5.2. Interpretación de resultados	148
4.5.3. Sintomatología de las carencias. Corrección	150
• Nitrógeno	150
• Fósforo	150
• Potasio	151
• Calcio	151
• Magnesio	152
• Azufre	152
• Hierro	152
• Manganeso	153
• Cobre	153
• Zinc	153
• Boro	154
• Molibdeno	154
• Toxicidad por sodio y cloruros	155
4.6. Tomate, <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill	155
4.6.1. Muestreo	155
4.6.2. Interpretación de resultados	156
4.6.3. Sintomatología de las carencias. Corrección.	158
• Nitrógeno	158
• Fósforo	159
• Potasio	160
• Calcio	160
• Magnesio	161
• Azufre	162
• Hierro	162
• Manganeso	162
• Cobre	163
• Zinc	163
• Boro	164
• Molibdeno	164

• Sodio y cloruros	164
4.7. Berenjena, <i>Solanum melongena</i> L	165
4.7.1. Muestreo	165
4.7.2. Interpretación de resultados	165
4.7.3. Sintomatología de las carencias. Corrección	166
• Nitrógeno	166
• Fósforo	166
• Potasio	167
• Calcio	167
• Magnesio	167
• Azufre	168
• Hierro	168
• Manganeso	168
• Cobre	168
• Zinc	169
• Boro	169
• Molibdeno	169
• Sodio y cloruros	169
4.8. Melón, <i>Cucumis melo</i> L	170
4.8.1. Muestreo	170
4.8.2. Interpretación de resultados	171
4.8.3. Sintomatología de las carencias. Corrección	172
• Nitrógeno	172
• Fósforo	173
• Potasio	173
• Calcio	173
• Magnesio	174
• Azufre	174
• Hierro	174
• Manganeso	174
• Cobre	175
• Zinc	175
• Boro	175
• Molibdeno	176
• Sodio y cloruros	176
• Alteraciones en el fruto, rajado	176
4.9. Sandía, <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Mansf.	176
4.9.1. Muestreo	176
4.9.2. Interpretación de resultados	177
4.9.3. Sintomatología de las carencias. Corrección	178
• Calcio	178
• Manganeso	178
• Boro	178
4.10. Calabacín, <i>Cucurbita pepo</i> L	178
4.10.1. Muestreo	178
4.10.2. Interpretación de resultados	179
4.10.3. Sintomatología de las carencias. Corrección	180
• Nitrógeno	180
• Fósforo	180

• Potasio	180
• Calcio	180
• Magnesio	181
• Hierro	181
• Manganeso	181
• Cobre	181
• Zinc	182
• Boro	182
• Molibdeno	182
4.11. Col china, <i>Brassica campestris ssp. pekinensis</i>	182
4.11.1. Muestreo	182
4.11.2. Interpretación de resultados	183
4.11.3. Sintomatología de las carencias. Corrección	184
• Nitrógeno	184
• N-Nítrico	184
• Fósforo	185
• Potasio	185
• Calcio	186
• Magnesio	187
• Hierro	187
• Manganeso	187
• Cobre	187
• Zinc	188
• Boro	188
4.12. Lechuga, <i>Lactuca sativa</i> L	188
4.12.1. Muestreo	188
4.12.2. Interpretación de resultados	188
4.12.3. Sintomatología de las carencias. Corrección.	190
• Nitrógeno	190
• Fósforo	190
• Potasio	190
• Calcio	191
• Magnesio	191
• Hierro	191
• Manganeso	191
• Cobre	192
• Zinc	192
• Boro	192
5. APÉNDICE FOTOGRÁFICO	193
6. BIBLIOGRAFIA	239

ÍNDICE FOTOGRÁFICO

PIMIENTO

1. Carencia de nitrógeno	194
2. Carencia de nitrógeno en planta de semillero	194
3. Carencia de nitrógeno en planta de semillero	194
4. Carencia de nitrógeno en planta de semillero	195
5. Carencia de fósforo	195
6. Carencia de potasio en planta de semillero	196
7. Carencia de potasio	196
8. Carencia de potasio	197
9. Carencia de calcio	197
10. Carencia de calcio, BER en fruto	197
11. Carencia de magnesio	198
12. Carencia de hierro	198
13. Carencia de hierro	199
14. Carencia de manganeso	199
15. Carencia de manganeso en planta de semillero	200
16. Toxicidad de manganeso	200
17. Toxicidad de manganeso	200
18. Carencia de zinc	201
19. Carencia de boro	201
20. Carencia de boro	201
21. Fitotoxicidad por hexaflumurón (Consult) por vía foliar	202
22. Fitotoxicidad por clorpirifos (Dursban) por vía foliar	202
23. Carencia de hierro en planta de semillero	202
24. Toxicidad de zinc en planta de semillero	203

PEPINO

25. Carencia de nitrógeno en fruto	203
26. Carencia de potasio	203
27. Carencia de potasio en fruto	204
28. Carencia de calcio (haz)	204
29. Carencia de calcio (envés)	204
30. Carencia de magnesio	205
31. Exceso de salinidad por NaCl	205
32. Fruto curvado	205
33. Carencia de hierro en hoja y fruto	206
34. Carencia de hierro	206
35. Carencia de hierro	206
36. Carencia de manganeso	207
37. Carencia de zinc	207
38. Carencia de molibdeno (hoja basal a media)	207
39. Estrangulamiento en fruto	208
40. Accidente climático, «piel de lagarto»	208
41. Fitotoxicidad por vía radicular del herbicida	208

JUDÍA

42. Carencia de fósforo	209
43. Carencia de potasio (planta pequeña, primera hoja)	209
44. Carencia de potasio	210
45. Carencia de calcio (haz)	210
46. Carencia de calcio (envés)	210
47. Carencia de magnesio	211
48. Carencia de hierro	211
49. Carencia de manganeso	212
50. Carencia de zinc	212
51. Carencia de zinc, hoja basal	212
52. Exceso de manganeso	213
53. Carencia de boro	213
54. Salinidad y exceso de boro	213
55. Toxicidad de boro	214

BERENJENA

56. Carencia de fósforo	214
57. Carencia de potasio	214
58. Carencia de calcio (BER en fruto)	215
59. Carencia de calcio (BER en fruto)	215
60. Carencia de hierro	216
61. Carencia de manganeso	216
62. Carencia de zinc	217
63. Frutos rosáceos	217

CALABACÍN

64. Carencia de hierro	217
65. Carencia de manganeso	218
66. Carencia de boro	218

NOTA

67. Compactación de arenas de enarenado por formación de fosfatos cálcicos. Zona El Alquián - La Cañada	218
--	-----

COL CHINA

68. Carencia de potasio (hoja externa)	219
69. Carencia de potasio (hoja externa)	219
70. Carencia de magnesio	219
71. Carencia de manganeso	220
72. Carencia de boro	220
73. Carencia de calcio (Tip burn externo)	221
74. Carencia de calcio (Tip burn externo)	221
75. Carencia de calcio (Tip burn interno)	222
76. Fitotoxicidad por exceso de nitratos (Gomasho)	222
77. Fitotoxicidad por exceso de nitratos (Gomasho)	223

LECHUGA

78. Carencia de calcio (Tip burn interno)	223
79. Carencia de calcio (Tip burn interno)	224
80. Toxicidad en planta de semillero, inicio de los síntomas	224
81. Toxicidad en planta de semillero, síntomas avanzados	225

TOMATE

82. Carencia de nitrógeno	225
83. Carencia de nitrógeno	226
84. Carencia de fósforo (envés)	226
85. Carencia de fósforo (haz)	226
86. Carencia de potasio	227
87. Carencia de calcio	227
88. Carencia de calcio en fruto (BER)	227
89. Carencia de calcio en fruto (BER)	228
90. Carencia de magnesio	228
91. Carencia de magnesio extrema	228
92. Carencia de magnesio extrema, foliolos	229
93. Carencia de hierro, inicio	229
94. Carencia de hierro extrema	229
95. Carencia de manganeso	230
96. Toxicidad de manganeso (haz)	230
97. Toxicidad de manganeso (envés)	230
98. Carencia de zinc	231
99. Carencia de boro	231
100. Carencia de boro, foliolos	231
101. Toxicidad de boro	232
102. Carencia de molibdeno	232
103. Fruto rajado	232
104. Fruto con blotchy ripening	233
105. Fitotoxicidad por vía radicular	233
106. Fitotoxicidad por clormecuat + cloruro de colina (Cycocel)	233
107. Fitotoxicidad de cobre en plantas de semillero	234
108. Fitotoxicidad de zinc en plantas de semillero	234

MELÓN

109. Carencia de potasio (hoja basal)	234
110. Carencia de potasio (hojas de plantas pequeñas)	235
111. Carencia de manganeso	235
112. Carencia de zinc	235
113. Carencia de molibdeno	236
114. Fitotoxicidad en plantas de semillero por exceso de salinidad y nitrógeno amoniacal	236
115. Fitotoxicidad en plantas de semillero por herbicida	236
116. Fruto de melón rajado (zona de Agadir - Marruecos)	237

SANDÍA

117. Carencia de manganeso	237
118. Carencia de boro	238

1

ABSORCIÓN Y TRANSPORTE DE NUTRIENTES POR LA PLANTA





1. ABSORCIÓN Y TRANSPORTE DE NUTRIENTES POR LA PLANTA

1.1. Absorción de nutrientes por la planta

Las plantas absorben el agua y los nutrientes a través de la raíz y de la hoja. Estos nutrientes se encuentran en la solución del suelo en forma iónica y como tales son absorbidos por el sistema radicular. A su vez, los iones están dotados de movimiento en el entorno de la raíz. Este movimiento se debe a dos causas: a) la agitación térmica provocada por las micelas coloidales del suelo, denominado movimiento browniano del suelo y b) a las diferencias de potenciales electroquímicos originados por las distintas concentraciones de electrolitos, o iones, entre una y otra parte del sistema radicular.

El movimiento de los iones en el entorno de la raíz favorece su absorción. El mecanismo de esta absorción consiste en una etapa de difusión a través del tejido de la célula de la raíz, el plasmalema, para cada ion. Esta difusión se realiza sobre la superficie de los pelos radiculares de las raíces jóvenes. Esto es debido a que estas raíces jóvenes poseen una gran área superficial de contacto con el exterior. Se caracterizan por tener unas membranas especialmente finas y unas vacuolas anormalmente grandes. Sobre estos pelos radiculares tiene lugar la absorción de agua y nutrientes minerales.

La absorción es un proceso de intercambio de cargas electrostáticas sobre una superficie sólida. Los iones pueden ser intercambiados entre las posiciones del tejido de la raíz y la solución del suelo. Este mecanismo origina el movimiento y absorción de iones por la planta. A veces, puede existir intercambio directo entre coloides del suelo y el plasmalema, sin pasar a través de la solución del suelo.

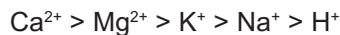
La capacidad de intercambio catiónico de la raíz varía según las especies. En monocotiledóneas oscila entre 10-30 me100g⁻¹ s.m.s. (sobre materia seca), y en dicotiledóneas entre 40-100 me100g⁻¹ s.m.s. Los cationes son intercambiados según su valencia por uno o dos H⁺ y los aniones por iones OH⁻ y HCO₃⁻, de la

misma forma. Es por ello que los desequilibrios en la absorción de cationes acidulan la solución del suelo y en caso contrario, aniones, la alcalinizan.

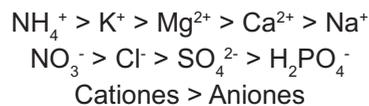
La difusión y la adsorción sobre la raíz son mecanismos de tipo pasivo. Sólo un mecanismo activo puede llevar a la siguiente etapa de absorción. Esta etapa activa consume grandes cantidades de energía, que son aportadas por la respiración. Los procesos activos y pasivos son alternativos. La difusión y el intercambio iónico de entrada son mecanismos pasivos que promueven el movimiento en el interior de la vacuola. La difusión de iones a través de la vacuola y el simplasma, para transferir a la vacuola de la célula adjunta y así sucesivamente, son procesos de tipo activo. Los procesos activos facilitan el movimiento de nutrientes a través de gradientes de concentración, sin el flujo inverso de iones. Es la denominada bomba metabólica. El movimiento a través de gradiente puede ser pasivo para algunos iones, en particular para el calcio, Ca^{2+} . En este caso si existe un flujo inverso de iones de igual carga electrostática. La absorción pasiva es selectiva. Las tasas de difusión están inversamente relacionadas con el tamaño del ion. En soluciones acuosas el radio del ion hidratado y no el ion sólo es el que controla la difusión. La clasificación para cationes, en la difusión, es la siguiente:



En los procesos de intercambio catiónico, la clasificación en función de la adsorción sobre la membrana es la siguiente:



En los procesos activos del movimiento de iones a través de la membrana, la clasificación se establece, entre aniones y cationes, de la siguiente manera:



Martin-Prével, 1984.

El efecto de la absorción selectiva hace que la composición de las plantas varíe en función del medio donde crecen. La influencia de la selectividad de las diferentes fases de la absorción, particularmente de los mecanismos específicos de los iones, difiere mucho entre especies, variedades e individuos. Muchos factores a los que se suma el genotipo y la capacidad de respiración influyen en las tasas de absorción. Algunos son fisiológicos (tipo, edad y estado de las células) y



algunos físico - químicos (aporte de agua, temperatura, pH y concentración de iones en el medio). La temperatura estimula la respiración e incrementa las tasas de difusión. La luz influye en la absorción indirectamente, por aumento de la fotosíntesis e incrementa el aporte de asimilados por la raíz para la respiración.

1.2. Transporte de nutrientes

Durante el crecimiento y desarrollo de la planta existen dos movimientos opuestos que transportan agua y nutrientes de un órgano a otro para su desarrollo. El movimiento desde la raíz a las partes superiores de la planta se realiza a través del xilema. En este flujo la savia está compuesta de agua e iones de la solución del suelo. También contiene productos de los compuestos de reducción de los nitratos, ya que en algunas especies tiene lugar en la raíz. Esta savia pasa a los tallos y hojas y se almacena. En sentido opuesto, de las hojas hacia otros órganos de la planta, desciende a través del floema una savia enriquecida por procesos de fotosíntesis. Contiene agua con elevadas cantidades de azúcares y otros metabolitos y una pequeña cantidad de nutrientes minerales que serán redistribuidos en otras partes de la planta.

La hoja contiene dos tipos de tejidos. El parenquima, donde tiene lugar la actividad fotosintética y los vasos, por donde sube o baja la savia. El peciolo une la hoja con el tallo, es un claro tejido conductor y conecta similares tejidos de la hoja y del tallo.

La absorción de nutrientes y su posterior traslocación está unido a su utilización en procesos metabólicos. En este proceso los elementos nutritivos cambian su estado químico, combinándose en sustancias más o menos complejas (Martin-Prével, 1984).

1.2.1. Transporte vía xilema

El transporte a larga distancia, por la planta, ocurre a través del xilema. Es por lo tanto el tejido conductor del agua y nutrientes minerales desde la raíz al resto de la planta.

Los mecanismos de transporte de esta savia se explican bien para las plantas herbáceas, por la presión radicular, pero no es suficiente para sostener la circulación en plantas de mayor altura. Por lo tanto no es el mecanismo principal

de funcionamiento en el xilema.

Según la teoría de la tensión-cohesión, la fuerza impulsora proviene de arriba, de la energía de transpiración. Esto es debido a la existencia de un gradiente hídrico entre la planta y la atmósfera. La energía necesaria para el movimiento del agua por el xilema es la de la evaporación del agua por las hojas, transpiración.

1.2.2. Transporte vía floema

Si para el transporte vía xilema existe una teoría generalmente aceptada, no ocurre lo mismo con el transporte de solutos por el floema. La evidencia indica que el transporte desde las hojas a las demás partes de la planta tiene lugar fundamentalmente a través de los tubos cribosos del floema. Este transporte no es solo descendente sino también ascendente.

El floema transporta, aparte de agua e iones inorgánicos, en una forma comparable al xilema, aunque no idéntica: 1. Carbohidratos con ausencia de azúcares reductores; 2. Sustancias nitrogenadas, fundamentalmente aminoácidos, como el ácido aspártico y glutámico y sus aminas, glutamina y asparraguina. En general, todas las sustancias nitrogenadas de bajo peso molecular pueden ser fácilmente transportadas. Se detecta, igualmente, la presencia de proteínas; 3. Ácidos orgánicos y sustancias inorgánicas. Los primeros, en pequeñas cantidades. El catión predominante es el potasio, aunque también aparecen sodio, calcio y magnesio. Como aniones, fosfatos, sulfatos, cloruros, nitratos y bicarbonatos. 4. Sustancias de crecimiento; 5. Otras sustancias como la tiamina, niacina, ácido ascórbico y ATP. Compuestos artificiales como herbicidas, fungicidas, insecticidas y reguladores de crecimiento sintéticos.

El transporte de solutos por el floema se considera un movimiento entre órganos productores y consumidores. Como órganos productores se encuentran aquellas partes de la planta en las que se producen o almacenan sustancias orgánicas, sobre todo carbohidratos, en los que la disponibilidad de éstos excede a su utilización. Por ejemplo: hojas viejas, cotiledones, etc.

Como órganos consumidores aquellos que utilizan sustancias orgánicas para la formación de nuevos órganos o para la acumulación de sustancias de reserva, por ejemplo, hojas jóvenes, meristemas, etc. El transporte de solutos entre los órganos productores y consumidores, se distribuye entre hojas inferiores y la raíz, hojas superiores y hojas apicales y de hojas medias a la raíz y zonas apicales (Barceló, 1987).

2

AGUAS





2. AGUAS

2.1. Origen de las sales

Cuando tratamos de evaluar la calidad de un agua de riego, con fines agrícolas, deberemos de partir de su composición química, es decir, de su análisis. En éste encontraremos los diferentes elementos o iones que contiene. Esencialmente están constituidas por sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. En aguas naturales no suelen encontrarse, o raramente aparecen, contenidos apreciables en amonio, fosfatos y nitritos. Si en cambio nitratos, debido a problemas de contaminación de los acuíferos en zonas de fuerte implantación agrícola.

Esta composición reflejará la composición química de las rocas donde se encuentra y será independiente del clima y de las condiciones hidrogeológicas.

En rocas sedimentarias las aguas se encuentran en areniscas cuya composición es fundamentalmente silíceas. En ellas, expresada en meL^{-1} , $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ y $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. Este bicarbonato origina un CO_2 fuertemente reactivo debido a valores bajos en calcio y magnesio, dando origen a un pH ácido. Las aguas más mineralizadas son aquellas en contacto con depósitos de evaporitas, con niveles altos en sulfatos, cloruros, calcio y magnesio, según los minerales presentes (Eghbal, 1989). Los contenidos salinos de estas aguas suelen ser altos.

Las rocas calizas contienen aguas con niveles apreciables de carbonatos y bicarbonatos y bajos contenidos en cloruros, sulfatos y sales totales. Esta salinidad aumentará conforme aumenta la superficie externa de la roca caliza debido a la disminución del diámetro por la ruptura de la roca.

Las rocas arcillosas poseen una alta porosidad, que puede superar el cin-

cuenta por ciento. Esto hace que el contacto entre el agua y la superficie de la roca sea grande. Esto origina una adsorción e intercambio de iones sobre las partículas coloidales. Estas aguas contienen altos niveles de sales, con valores de sulfatos y cloruros mayores que de bicarbonatos. Por lo general, niveles altos de sulfatos se corresponden con altos contenidos de calcio y magnesio. Así mismo, grandes concentraciones de sodio van asociadas a cloruros elevados.

Las rocas eruptivas, granitos, o las metamórficas, gneis, tienen unas aguas ligeramente mineralizadas, con contenidos en sodio mayores que en calcio y magnesio y unos valores en bicarbonatos y sodio mayores que en cloruros.

En rocas volcánicas, basaltos, los contenidos son similares, aunque calcio y magnesio suelen ser mayores que el sodio (Swaine y Schneider, 1971).

El agua en contacto con este tipo de rocas sufre cambios debido a procesos de tipo químico y/o físico. Estos originarán aumento o disminución de la concentración de las sales en el agua si han habido disoluciones o procesos de intercambio iónico. Estos estarán siempre influenciados por la presión, temperatura, superficie de la roca en contacto y el tiempo de permanencia en ella.

La composición química del agua reflejará la composición química de la roca que ha estado en contacto con ella.

2.2. Clasificación de las aguas de uso agrícola

Mediante el análisis químico de un agua podemos conocer su composición iónica. En función de las concentraciones existentes se puede evaluar la calidad de ésta para su uso en agricultura. Los criterios de clasificación de este tipo de aguas tienen su origen en las pautas que marcó el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos en Riverside, California. Su publicación "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils", Richards, 1954, Handbook, 60, sirvió para marcar las directrices que debe tener un agua y los riesgos de éstas cuando se aplican a un suelo de cultivo.

2.2.1. Salinidad y alcalinidad

Las aguas se clasificaban en función de su salinidad, mediante la medida de su conductividad eléctrica, de fácil determinación, y su relación con las sales



totales de esta. A su vez, la conductividad está relacionada con la presión osmótica y la capacidad de absorción de agua por la raíz de la planta:

$$PO = 0,36 \cdot CE$$

PO = Presión osmótica en atm.

CE = Conductividad eléctrica en dSm^{-1}

Esta clasificación, en función del riesgo de salinidad, variaba entre 0,250 dSm^{-1} como valor bajo, hasta 2,25 dSm^{-1} de riesgo alto. El segundo criterio para evaluar las aguas era su sodicidad o alcalinidad y sus efectos sobre la estructura del suelo. Para ello establecieron la relación que deberían mantener el sodio frente al calcio y el magnesio como índice de sodio o peligro de sodificación. Esta relación de adsorción de sodio, denominada SAR o RAS, se definió como:

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

expresándose los iones en meL^{-1} .

Las aguas se clasificaban en función del SAR, en riesgo bajo, menor de diez y en riesgo alto, mayor de veintiséis.

Los suelos sódicos se forman por acumulación de sodio en el complejo de cambio, afectándose por ello la estructura del suelo. Se obtuvo una fórmula empírica que relacionaba el SAR con el porcentaje de sodio intercambiable en el suelo, PSI:

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

Se establece entre los dos criterios anteriores de salinidad y sodicidad, CE y SAR, una clasificación para las aguas en dieciséis tipos diferentes denominados C-S que se ha estado utilizando durante bastantes años y hoy en día ha quedado obsoleta.

El Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos introduce así mismo el concepto de carbonato sódico residual, CSR o RSC, de Eaton, 1950. Se basaba en los efectos que originarían los iones bicarbonato y carbonato sobre los iones calcio y magnesio cuando son aportados al suelo. Se definió como:

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

los iones expresados en meL^{-1} .

Su efecto es claro sobre los mecanismos de adsorción del sodio, ya que conforme el calcio va siendo precipitado en el suelo en forma de carbonato cálcico, el complejo húmico-arcilla responderá cediendo calcio para restablecer el equilibrio anterior. Estas posiciones que irán quedando vacías en el complejo serán ocupadas por el ion sodio. Incidirá claramente sobre la alcalinidad del suelo, y por tanto, sobre la infiltración de este.

Las aguas se clasificaban según los siguientes valores:

- RSC < 1.25 apta para riego
- > 2.5 no apta

Se hacía notar en la publicación de Richards, 1954, que estas conclusiones estaban basadas en datos muy limitados y tenían un carácter tentativo únicamente. Lo cierto es que hacían notar que mejoradores químicos, acidulación, podrían permitir el uso dudoso, en principio, de estas aguas de riego.

2.2.2. Salinidad y permeabilidad

Estos valores de CE, SAR y RSC se consideraron muy restrictivos y conservadores, dando origen a un replanteamiento global de éstos, por Ayers y Westcot, 1976, en su estudio "Calidad del agua para la agricultura". FAO. Riego y Drenaje, 29.

Se establecieron cuatro directrices para evaluar las aguas de riego en función de la salinidad, permeabilidad, toxicidad iónica específica y efectos diversos (Cuadro 1).

Los valores de CE se diferencian con respecto a los comentados anteriormente a efectos de la salinidad, estableciéndose nuevos datos, menos restrictivos, como se observa en el cuadro de directrices.

En cuanto a la permeabilidad o tasa de infiltración de agua en el suelo introduce el SAR_{ajustado}, concepto propuesto por Bower, 1968. Este SAR_{ajustado} se calcula mediante una modificación del SAR de Richards, 1954, en donde se incluyen las variaciones en la precipitación o disolución del calcio en el suelo, en función de los niveles de bicarbonato y carbonato.



CUADRO 1.
DIRECTRICES PARA INTERPRETAR LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

	No hay problema	Problema creciente	Problema grave
Salinidad CE_a dSm^{-1}	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Permeabilidad			
CE_a dSm^{-1}	>0.5	0.5-0.2	<0.2
$SAR_{ajustado}$			
Montmorillonita-esmectita	<6.0	6.0-9.0	>9.0
Illita-vermiculita	<8.0	8.0-16.0	>16.0
Caolinita-sesquióxidos	<16.0	16.0-24.0	>24.0
Toxicidad iónica específica			
Sodio			
Riego superficial meL^{-1}	<3.0	3.0-9.0	>9.0
Riego aspersion meL^{-1}	<3.0	>3.0	
Cloruros			
Riego superficial meL^{-1}	<4.0	4.0-10.0	>10.0
Riego aspersion meL^{-1}	<3.0	>3.0	
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, riego aspersion meL^{-1}	<1.5	1.5-8.5	>8.5

Para ello se introdujo el concepto de pH_c , o $pH_{calculado}$, que nos da la tendencia de un agua de riego para disolver o precipitar carbonato cálcico en el suelo (Cuadro 2). Se calcula mediante la ecuación:

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

pK'_2 y pK'_c son los logaritmos, con signo negativo, de la segunda constante de disociación del ácido carbónico y de la constante de solubilidad del carbonato cálcico. Ambas corregidas para el valor de la fuerza iónica. Se obtienen a partir de los valores de $Na + Ca + Mg$ en meL^{-1} .

$p(Ca + Mg)$ es el logaritmo con signo negativo de la concentración molar de calcio más magnesio y se obtiene a partir de los valores de $Ca+Mg$ en meL^{-1} .

$p(Alk)$ es el logaritmo negativo de la concentración de carbonatos más bicarbonatos. Se obtiene a partir de los valores de $CO_3 + HCO_3$ en meL^{-1} .

CUADRO 2. CALCULO DEL pH_c .

Concentración meL^{-1}	$pK_2 - pK_c$	$p(Ca+Mg)$	$p(Alk)$
0.05	2.0	4.6	4.3
0.10	2.0	4.3	4.0
0.15	2.0	4.1	3.8
0.20	2.0	4.0	3.7
0.25	2.0	3.9	3.6
0.30	2.0	3.8	3.5
0.40	2.0	3.7	3.4
0.50	2.1	3.6	3.3
0.75	2.1	3.4	3.1
1.00	2.1	3.3	3.0
1.25	2.1	3.2	2.9
1.5	2.1	3.1	2.8
2.0	2.2	3.0	2.7
2.5	2.2	2.9	2.6
3.0	2.2	2.8	2.5
4.0	2.2	2.7	2.4
5.0	2.2	2.6	2.3
6.0	2.2	2.5	2.2
8.0	2.3	2.4	2.1
10.0	2.3	2.3	2.0
12.5	2.3	2.2	1.9
15.0	2.3	2.1	1.8
20.0	2.4	2.0	1.7
30.0	2.4	1.8	1.5
50.0	2.5	1.6	1.3
80.0	2.5	1.4	1.1

Los valores del cuadro 2, basados en el $SAR_{ajustado}$, están referidos al tipo dominante de mineral arcilloso en el suelo (Rallings, 1966 y Rhoades, 1972).

El $SAR_{ajustado}$ se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

Los valores utilizados por Ayers y Westcot, 1976, para el $SAR_{ajustado}$ deberán ser modificados según el trabajo de Miyamoto, 1980, ya que éste refleja el SAR de la solución del suelo, SAR_{ss} , si las concentraciones de ion bicarbonato y calcio en el agua de riego son similares. Si la relación anterior es mayor de la unidad, el $SAR_{ajustado}$ será menor que el SAR_{ss} pero si es inferior, el $SAR_{ajustado} > SAR_{ss}$.

Según Miyamoto la influencia del ion bicarbonato es mucho menor de la propuesta anteriormente.



2.2.3. Infiltración

En las nuevas directrices de Ayers y Westcot, 1987. FAO. Riego y Drenaje, 29, 1ª revisión, ya se introducen modificaciones importantes a las de 1976 (Cuadro 3).

CUADRO 3. VARIACIONES SOBRE LAS DIRECTRICES ANTERIORES

	No hay problema	Problema creciente	Problema grave
Salinidad STD mgL ⁻¹	<450	450-2000	>2000
Infiltración			
SAR = 0-3 CE _a dSm ⁻¹ =	>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

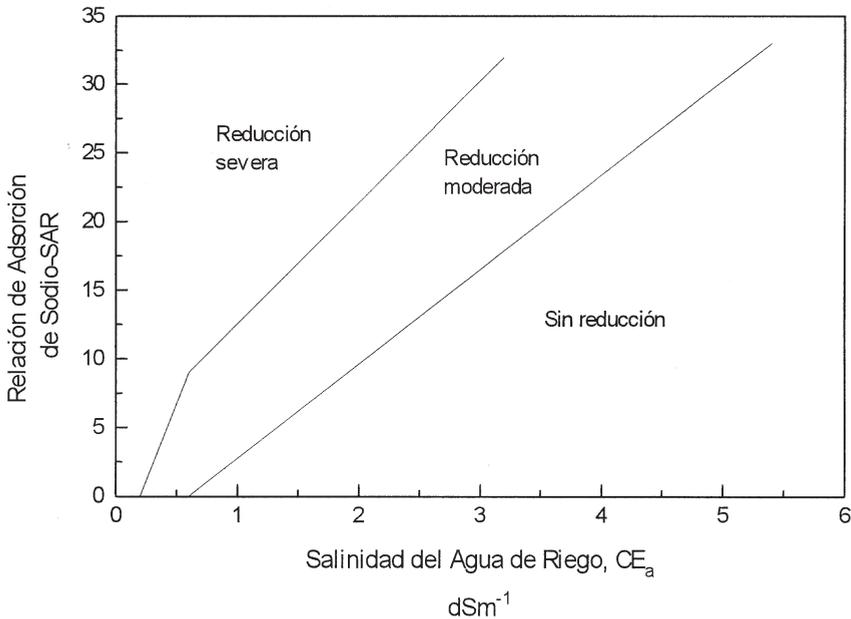
Los criterios de salinidad quedan inalterados, aunque se incluye el de sales totales disueltas, que se obtiene de la suma de los cationes y aniones del análisis del agua expresado en mgL⁻¹.

En cuanto a la permeabilidad, que se utilizaba en las directrices de 1976, es sustituida por la infiltración. La primera se refería a la conductividad hidráulica del suelo, la cual es función del tamaño del poro del suelo y de la cantidad de agua en el mismo y 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 y se desplaza en los primeros centímetros del suelo. Esto resulta ser un problema fundamental en zonas como el Poniente Almeriense, por su sistema de cultivo en suelos enarenados.

Los problemas de infiltración son función de la calidad del agua de riego, CE y SAR, y de la textura del suelo donde se utilizará este agua, contenido en arcilla, tipo de ésta, y de la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

La infiltración aumenta con la conductividad eléctrica y disminuye cuando aumenta el SAR (Figura 1).

FIGURA 1.
REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN PROVOCADA POR LA SALINIDAD Y EL SAR. FAO. 1987. Riego y Drenaje 29. Rev. 1.



Las aguas de baja salinidad, $CE < 0.2 dSm^{-1}$, crean graves problemas de infiltración debido a su gran poder de disolución ya que son capaces de disolver las arcillas del suelo. Igualmente, altas relaciones Na/Ca, que dan origen a SAR elevados, afectan a la infiltración debido al hinchamiento de las arcillas del suelo y originan una disminución de la porosidad de éste.

Tomando como referencia los datos de Miyamoto, 1980; Oster y Rhoades, 1976; Oster y Schroer, 1979; y Suárez, 1981, se decidió 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, éste se encuentra siempre soluble y en equilibrio con el sodio en el complejo de cambio. El ion calcio puede precipitarse en forma de carbonato cálcico o sulfato cálcico cuando se alcanza su producto de solubilidad y puede posteriormente redisolverse. La conclusión que se obtuvo fue que el SAR_{ajustado} sobrestimaba el peligro del sodio y que los valores reales eran aproximadamente un cincuenta por ciento del determinado en las directrices de 1976.

En las directrices de 1987 el SAR de Richards de 1954 se modifica a un nuevo SAR⁰, SAR corregido. Para ello se calcula un nuevo Ca⁰, calcio corregido.



Este nuevo valor del calcio se determina a partir de su aumento o disminución del que contiene inicialmente el agua de riego y depende del contenido de bicarbonatos, carbonatos y CE del agua (se calcula mediante el Cuadro 4).

CUADRO 4.
CONCENTRACIÓN DE Ca^0 EN FUNCION DE LA RELACION HCO_3/Ca y CE_a . FAO.1987

HCO_3/Ca	$\text{CE}_a \text{ dSm}^{-1}$											
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.25	4.51	4.65	4.66	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17

HCO_3 , Ca en meL^{-1} y CE en dSm^{-1} .

Se han excluido del cuadro 4 los valores de la relación HCO_3/Ca entre 0.05-0.20 y 4.00-30.00, correspondientes a los valores finales e iniciales del cuadro. Esta eliminación se hace por considerar que las aguas comentadas están fuera de estas zonas.

2.2.4. Toxicidad iónica

Está provocada por aquellos iones específicos que afectan a la planta originando problemas a su crecimiento. En ellos se incluyen el sodio, cloruros y boro.

- **Sodio y cloruros**

Actúan de distinta manera ya que a diferencia del sodio, que puede ser intercambiado en el suelo, el ion cloruro no lo es. Existe una gran diferencia en su

tolerancia de unas especies a otras.

Se clasifican:

Cl	< 4 meL ⁻¹	sin problemas en el cultivo
	4-10 meL ⁻¹	ligeros problemas en el cultivo
	> 10 meL ⁻¹	problemas en el cultivo
Na	< 3 meL ⁻¹	sin problemas
	3-9 meL ⁻¹	ligeros problemas en el cultivo
	> 9 meL ⁻¹	problemas en el cultivo

• ***Boro***

A diferencia del sodio, que es un elemento innecesario en el desarrollo de la planta y el cloruro que si es imprescindible, aunque en cantidades muy pequeñas, el boro es un elemento esencial. Las necesidades de la planta en cuanto a este elemento son pequeñas, pero su ausencia provoca claros síntomas de deficiencia. Al igual que en los casos anteriores existe una tolerancia en función de la especie.

B	< 0.7 mgL ⁻¹	sin problemas para el cultivo
	0.7-3.0 mgL ⁻¹	ligeros problemas para el cultivo
	> 3.0 mgL ⁻¹	problemas para el cultivo

2.2.5. 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 vecería. Es la denominada producción alterada, debido a altas relaciones N/P que afectan a la floración.

En el caso de los cultivos hortícolas se deberá tener en cuenta únicamente al calcular la fertilización, ya que las concentraciones que, por lo general, se encuentran en las aguas no inducirán el problema comentado anteriormente.



- **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 .

$$I_L = pH_a - pH_c$$

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 adsorción 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 $Ca/Mg < 1$, 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 éste sea más peligroso conforme más baja es la relación anterior (Rahman y Rowel, 1979).

2.2.6. 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 el cuadro 5 se incluyen los valores de tolerancia para determinados cultivos según FAO, 1987. En el aparecen las CE_{es} máximas para un rendimiento potencial determinado.

**CUADRO 5.
TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE CULTIVOS EN RELACIÓN CON
SU RENDIMIENTO POTENCIAL**

Cultivos	Rendimiento Potencial				
	CE_{es} 100%	CE_{es} 90%	CE_{es} 75%	CE_{es} 50%	CE_{es} 0%
Calabaza (Cucurbita pepo melopepo)	3.2	3.8	4.8	6.3	9.4
Brócoli (Brassica oleracea botrytis)	2.8	3.9	5.5	8.2	14.0
Tomate (Lycopersicon esculentum)	2.5	3.5	5.0	7.6	13.0
Pepino (Cucumis sativus)	2.5	3.3	4.4	6.3	10.0
Apio (Apium graveolens)	1.8	3.4	5.8	9.9	18.0
Col (Brassica oleracea capitata)	1.8	2.8	4.4	7.0	12.0
Maíz dulce (Zea mays)	1.7	2.5	3.8	5.9	10.0
Pimiento (Capsicum annum)	1.5	2.2	3.3	5.1	8.6
Lechuga (Lactuca sativa)	1.3	2.1	3.2	5.1	9.0
Judía (Phaseolus vulgaris)	1.0	1.5	2.3	3.6	6.3



A medida que la conductividad eléctrica aumenta, los rendimientos de los cultivos disminuyen (Cuadro 6). Una de las formas de paliarlo será aumentando las dosis de lavado o lixiviado. Este puede estar limitado por la textura del suelo en el caso de los suelos arcillosos pero no en 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. (Cuadro 6).

CUADRO 6.
PRODUCCIÓN RELATIVA DE PLANTAS HORTÍCOLAS EN FUNCIÓN DE LA SALINIDAD EN LA ZONA RADICULAR. LA SALINIDAD EXPRESADA COMO CE_{es} (CARTER, 1981).

Descenso en la producción relativa. % a una CE_{es} (dSm^{-1})						
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	-	81	65
5	51	75	25	-	68	52
6	37	65	6	-	55	39
7	23	55	0	-	42	26
8	8	46	-	-	29	13
9	0	36	-	-	16	0
10	-	26	-	-	3	-
11	-	16	-	-	0	-
12	-	6	-	-	-	-
(A)	1.5	2.5	1.0	1.2	2.5	1.3
(B)	14.1	9.9	18.9	-	13.0	13.0

(A) Es el valor de CE_{es} a partir del cual existe pérdida de producción, (S_u).

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

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:

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

donde Y se expresa en porcentaje. CE_{es} es la conductividad del extracto saturado expresada en dSm^{-1} , Su es la salinidad umbral del extracto saturado y b expresa la disminución de rendimiento por aumento de un dSm^{-1} en la salinidad.

Los valores de Su se encuentran en el cuadro 6 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:

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

CE_{es}^1 es la conductividad eléctrica del extracto saturado para un rendimiento $Y=0\%$. (Cuadro 5).

En el cuadro 5 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 Su se refieren a 100% de producción.

	Su	
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 del cuadro 5 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 sí aparecerán problemas debido a un aumento en la CE del suelo.



• **Lavado 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.

Los cuadros de tolerancia anteriores están calculados 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.

$$CE_{es} = 0.2CE_a (1 + 1 / FL)$$

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 los cuadros de la FAO que están referidos 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.

2.2.7. 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 éstos. 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, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. 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 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 empleada 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 se 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 en forma sólida, como estiércol de ganado, compost de residuos agrícolas, etc., o en 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.

2.2.8. 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:

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

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

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

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 desde 5-7 meL^{-1} para cultivos sensibles, hasta 25 meL^{-1} para 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 Ayers y Westcot, 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, vid)
"	0.75-1.0	(fresa, judía)
Moderadamente sensible	1.0-2.0	(pimiento, patata, pepino)
Moderadamente tolerante	2.0-4.0	(lechuga, col, apio, maíz, 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 podrán 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, 1984). En cambio, la fertilización amoniacal incide agravando el problema por acumulación de este cloruro en la planta. 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.



2.2.9. Ejemplos de diferentes tipos de aguas de Almería y zonas limítrofes

• **Zona de El Ejido:** vamos a exponer dos tipos de aguas, una de ellas de conductividad 0.490 dSm^{-1} y otra de 3.17 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 meL^{-1}	K	0.43 meL^{-1}
Ca	1.81 “	Ca	5.99 “
Mg	2.30 “	Mg	8.55 “
CO ₃	0.56 “	CO ₃	0
HCO ₃	3.58 “	HCO ₃	5.09 “
Cl	0.60 “	Cl	21.26 “
NO ₃	0	NO ₃	0.99 “
SO ₄	0.46 “	SO ₄	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
SAR ⁰	0.49	SAR ⁰	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 “
CO ₃	0	CO ₃	0.19 “
HCO ₃	11.68 “	HCO ₃	3.20 “
Cl	10.75 “	Cl	13.97 “
NO ₃	0	NO ₃	0.42 “
SO ₄	3.50 “	SO ₄	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
SAR ⁰	13.0	SAR ⁰	7.86

• **Zona de Nijar:** 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 “
CO ₃	0	CO ₃	0
HCO ₃	17.24 “	HCO ₃	5.15 “
Cl	27.94 meL ⁻¹	Cl	128.00 meL ⁻¹
NO ₃	0	NO ₃	0
SO ₄	5.95 “	SO ₄	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 de SAR⁰ es un valor estimado.

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

CE	2.16 dSm ⁻¹
pH	7.91
Na	8.91 meL ⁻¹
K	0.16 “
Ca	9.13 “
Mg	7.23 “
CO ₃	0
HCO ₃	5.10 “
Cl	9.56 “
NO ₃	0.30 “
SO ₄	10.40 “
SAR	3.11
RSC	-11.26
pH _c	6.76
I _L	1.15
SAR ⁰	3.84

• **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
pH	7.09
Na	3.91 meL ⁻¹
K	0.22 “
Ca	21.00 “
Mg	9.78 “
CO ₃	0
HCO ₃	3.97 “
Cl	2.37 “
SO ₄	28.52 “
NO ₃	0.20 “
SAR	1.0
RSC	-26.81
pH _c	6.62
I _L	0.47
SAR ⁰	1.36

3

SUELOS





3. SUELOS

Richards, 1954, en 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

3.1.1. Suelos no salinos

Son aquellos que no presentan problemas agronómicos, 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
CE	0.780 dSm^{-1}
PS	36.79

Extracto Saturado

Na	1.54 meL^{-1}
K	0.20 “
Ca	6.18 “
Mg	1.60 “
NO_3	0.24 “
Cl	1.67 “
SAR	0.78

Cationes de Cambio

	<i>me100g⁻¹</i>	%
Na	0.43	4.13
K	0.37	3.55
Ca	7.49	72.02
Mg	2.11	20.29
CIC	10.40	

3.1.2. 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.

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

pH	7.68
CE	6.00 dSm^{-1}
PS	57.02



Extracto Saturado

Na	15.43 meL ⁻¹
K	13.04 “
Ca	14.84 “
Mg	16.04 “
NO ₃	34.20 “
Cl	17.18 “
SAR	3.92

Cationes de Cambio

	<i>me100g⁻¹</i>	%
Na	0.69	4.56
K	2.79	18.47
Ca	8.22	54.44
Mg	3.40	22.51
CIC	15.10	

3.1.3. 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.

Ejemplo: suelo salino-sódico de origen natural, zona de Níjar.

pH	8.03
CE	6.94 dSm ⁻¹
PS	60.15

Extracto Saturado

Na	57.17	meL ⁻¹
K	1.36	"
Ca	3.04	"
Mg	9.04	"
NO ₃	0	"
Cl	54.51	meL ⁻¹
SAR	23.26	

Cationes de Cambio

	me100g⁻¹	%
Na	4.78	26.85
K	1.92	10.78
Ca	2.22	12.47
Mg	8.88	49.89
CIC	17.80	

3.1.4. 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.

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



pH	8.49	
CE	2.78	dSm ⁻¹
PS	128.95	

Extracto Saturado

Na	20.43	meL ⁻¹
K	2.22	“
Ca	1.07	“
Mg	2.55	“
NO ₃	0.29	“
Cl	18.22	“
SAR	15.18	

Cationes de Cambio

	me100g⁻¹	%
Na	2.57	10.58
K	1.99	8.19
Ca	12.60	51.85
Mg	7.14	29.38
CIC	24.30	

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 ser rehabilitado, en caso de que sea necesario, o hacer un aporte en forma de abonado de fondo. Durante el cultivo, nos sirven para tratar de diagnosticar problemas de salinidad o nutricionales.

3.2.1. 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. Tomar una muestra de cada perfil

si se aprecian diferencias en cuanto a color ó 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 5000 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/5000 m², eliminando siempre los primeros centímetros de suelo y siguiendo un recorrido superficial de la parcela en forma de X ó 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 $CE_{es} 2.5 \text{ dSm}^{-1}$ en la zona de bulbo y $CE_{es} 10 \text{ dSm}^{-1}$ 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 unido a elevados 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 es conveniente lavar un suelo sin aportar antes 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 a franco-limoso, 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 (Foto nº 67).

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.

Ejemplo: de tierra de cañada. Clasificación por el sistema USDA y SI.

USDA	arcilla 41.7 % limo 36.1 % arena 22.2 % clasificación: arcillosa.
SI	arcilla 41.7 % limo 24.8 % arena 33.5 % clasificación: arcillosa-gruesa.

3.2.2. 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. Aquella, PS, es aproximadamente 1.8-2 veces la capacidad de campo y ésta 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, es más fiable 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-limosa.

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.



3.2.3. 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:

$$PO = 0.36 \cdot \text{CE}_{\text{es}}$$

donde $PO = \text{atm}$

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 dSm^{-1}
Calabaza	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 dSm ⁻¹
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 $CE_{es} \simeq 1.2-1.5 CE_a$. Es imprescindible llegar a alcanzar los niveles anteriores para evitar tener problemas de floración motivados por los bajos niveles de radia-



ción 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 superan 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 $1.5\text{-}1.8 \text{ dSm}^{-1}$ en las épocas de más temperatura. Si es en invierno hay que elevarlos a $2.0\text{-}2.2 \text{ dSm}^{-1}$. En el primer caso y en producción, se debe mantener una CE_{es} de $2.0\text{-}2.2 \text{ dSm}^{-1}$ y en el segundo de $2.5\text{-}2.7 \text{ dSm}^{-1}$. 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 $550 \text{ w m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, 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 inver-

nadero 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 elevándolos 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 que existen a su vez dos tipos diferentes de aguas. Unas con concentraciones altas en Cl^- y Na^+ , frente a otras que tienen 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 $CE_{es} = 4.0 dSm^{-1}$ 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 $CE_{es} = 3dSm^{-1}$. Aparecerán claros problemas de salinidad, con limitación de la absorción de agua por parte de la planta, con $CE_{es} > 4dSm^{-1}$ y muy graves con $CE_{es} = 7.0 dSm^{-1}$, 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. (Foto nº 103).

- ***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 $2.7\text{-}3.2 \text{ dSm}^{-1}$ en plena producción. Hay que evitar CE_{es} altas, entre $5.0\text{-}6.0 \text{ dSm}^{-1}$, 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 sigue a 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 $2.5\text{-}3.0 \text{ dSm}^{-1}$ y se elevará a $3.5\text{-}4.0 \text{ dSm}^{-1}$ desde el inicio de la floración hasta el cuajado. Se bajará a $3.0\text{-}3.5 \text{ dSm}^{-1}$ 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 $2.5\text{-}3.0 \text{ dSm}^{-1}$, para tener en el suelo una CE_{es} entre $4.0\text{-}5.0 \text{ dSm}^{-1}$. 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 $10\text{-}12 \text{ meL}^{-1}$. 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, debidos a la condensación en el interior de los invernaderos, provocan rajados en los frutos. Es conveniente una buena ventilación para evitar estos desajustes. (Foto nº 116).

• **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.

3.2.4. 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 $10-15 \text{ dSm}^{-1}$ es frecuente encontrar pH menores de siete. En los suelos neutros, sin caliza, éstos 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-a).

3.2.5. Análisis del extracto saturado. Cationes y aniones solubles

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

$$Na_{es} = 1.2Na_a$$

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 éste 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 del 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 Cl^-/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. Weigel, 1973, para el cultivo de la judía y Kafkafi, 1984 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 en 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 Yoles, 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 meL^{-1} , que se irán aumentando conforme se desarrolla la planta hasta llegar a 2.5 meL^{-1} , en plena producción. Contenidos inferiores a 0.5 meL^{-1} indicarán la posibilidad de la existencia de una carencia de este 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 aportado 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 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 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 de 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 $CE_{es} = 3.5 \text{ dSm}^{-1}$, sin problemas. Esto ocurre en los meses invernales, cuando la demanda de agua de la planta es baja, siempre y cuando se mantengan valores de calcio adecuados. Es común la carencia de magnesio provocada por un exceso de potasio, aportado para 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 $<0.5-0.75 \text{ meL}^{-1}$ puede aparecer la carencia de potasio, 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 meL^{-1} y se aumentarán a $3.5-4.0 \text{ meL}^{-1}$ cuando entren en producción. Con aguas moderadamente salinas, con $CE_a = 3.0-3.5 \text{ dSm}^{-1}$, el nivel en el extracto saturado debe ser de $2.5-3.0 \text{ meL}^{-1}$ en el principio para pasar a $4.0-5.0 \text{ meL}^{-1}$ 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 $2.0-2.5 \text{ meL}^{-1}$. Con temperaturas moderadamente altas este valor no debe superar los $3.0-3.5 \text{ meL}^{-1}$ y la CE_{es} máxima será de 4.0 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 meL^{-1} y $CE_{es} > 6.0 \text{ dSm}^{-1}$. 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 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 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 meL^{-1} y se aumentará hasta 3.0 meL^{-1} en producción. Valores superiores a $4.0-4.5 \text{ meL}^{-1}$ pueden inducir la aparición de blossom - end rot (BER) 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 meL^{-1} . Valores inferiores a 1.0 meL^{-1} de potasio en el extracto saturado pueden causar problemas de carencia de potasio 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 $2.0-2.25 \text{ meL}^{-1}$, que se elevará con el desarrollo de los frutos hasta $4.0-4.5 \text{ meL}^{-1}$ 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 $1.0-1.5 \text{ meL}^{-1}$ 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 melón, por lo que se puede aplicar lo comentado anteriormente de antes de su plantación. Como valor de partida es adecuado mantener 2.0 meL^{-1} que se subirá a $2.75-3.0 \text{ meL}^{-1}$ 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 deberán mantener valores próximos a 2.0 meL^{-1} . Se irán aumentando de manera progresiva hasta los $3.0-3.25 \text{ meL}^{-1}$. 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 $2.0-2.25 \text{ meL}^{-1}$. Hay que evitar los excesos de potasio en el suelo, $>3 \text{ meL}^{-1}$, 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 CaCO_3 total, los valores de calcio soluble en el suelo son bajos. Esto se debe a la muy baja solubilidad del CaCO_3 y a los bajos contenidos de este elemento en las aguas de riego. En las aguas de baja salinidad, $\text{CE}_a < 1 \text{ dSm}^{-1}$, las concentraciones de calcio varían entre $1.0\text{-}2.5 \text{ meL}^{-1}$. Conforme aumenta la conductividad eléctrica, los valores de calcio aumentan aunque relativamente poco. Así, en aguas de $\text{CE}_a = 2 \text{ dSm}^{-1}$, el calcio oscila entre $3.0\text{-}4.0 \text{ meL}^{-1}$. En algunas aguas de la zona de Adra, con $\text{CE}_a = 2.3 \text{ dSm}^{-1}$, se llegan a alcanzar valores próximos a $8.0\text{-}10 \text{ meL}^{-1}$ 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, $10\text{-}15 \text{ meL}^{-1}$. 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 $\text{CE}_a = 1.6 \text{ dSm}^{-1}$. 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 éste es bajo. Por ello es adecuado mantener en el suelo concentraciones próximas a $8\text{-}10 \text{ meL}^{-1}$ 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 $0.17\text{-}0.20$. 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 $7-8 \text{ meL}^{-1}$. 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 la Caja Rural de Almería para el consumo de agua. 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 $8-10 \text{ meL}^{-1}$ 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, $< 5 \text{ meL}^{-1}$, unidos a una humedad relativa excesiva, inciden en la aparición de frutos curvados, "pillow" (Casas, 1995-b). (Foto nº 32). Este problema se puede incrementar si la planta está sometida a estrés hídrico por exceso de salinidad. Relaciones 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 $12-15 \text{ meL}^{-1}$, durante el resto del ciclo, 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 , ($K=2.5 \text{ meL}^{-1}$, $Ca=12 \text{ meL}^{-1}$). Se aumentará hasta 0.35 en el invierno, ($K=4-5 \text{ meL}^{-1}$, $Ca=12-15 \text{ meL}^{-1}$). Esta relación se mantendrá menor de 0.4 ya que puede inducir problemas en la absorción de 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 $20-25 \text{ meL}^{-1}$ 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. Cuando hay carencia de calcio sin síntoma de BER en los



frutos, en esta zona y en los meses invernales, suele aparecer una típica fisiopatía causada por factores ambientales como bajos niveles de luz y alta humedad relativa, >90%, durante periodos de 10-12 días (Foto nº 82). 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-c).

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 externa. La relación K/Ca, en estos casos, es superior a 0.5. Generalmente estos excesos de potasio provienen de abonados inadecuados. En este 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. En cuanto a los problemas con el calcio, en primavera - verano, es más tolerante que el tomate. 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-b).

- **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 agravada por altos índices de nitrógeno amoniacal (Snowdon, 1991).

- **Calabacín:** en el comienzo del cultivo se mantendrán en el suelo niveles de $8.0\text{-}10 \text{ meL}^{-1}$ y una relación K/Ca de 0.25. Posteriormente, al elevar el nivel de potasio se mantendrán relaciones de 0.30-0.35. No es frecuente la existencia de 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 relacionada con excesos de potasio. Su corrección es prácticamente imposible por no poder actuar sobre la parte interna 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 $8\text{-}10 \text{ meL}^{-1}$. 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 $\text{CE}_{\text{es}} > 3\text{-}4 \text{ dSm}^{-1}$ 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 suele 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-c). 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. 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 antagonismo NH_4/Ca , Na/Ca , o 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 $\text{CE}_{\text{a}}=0.4 \text{ dSm}^{-1}$, 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 $\text{CE}_{\text{a}} > 1 \text{ dSm}^{-1}$ contienen niveles de magnesio del orden de 6 meL^{-1} . En zonas como El Alquíán - La Cañada, los niveles son aun 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 meL^{-1} , es conveniente que el magnesio esté próximo a $8.0\text{-}9.0\text{ meL}^{-1}$. Relaciones 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-a). 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 $5.0\text{-}6.0\text{ meL}^{-1}$, manteniendo una relación K/Mg de $0.35\text{-}0.40$. 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-b).
- **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 $4.0\text{-}5.0 \text{ meL}^{-1}$. La relación K/Mg deberá ser de $0.30\text{-}0.35$. 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 adecuada oscilará entre $1.2\text{-}1.5$ a $2.5\text{-}2.75$. 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 éstas 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 $10\text{-}12 \text{ meL}^{-1}$. La relación óptima K/Mg se encuentra entre $0.25\text{-}0.35$ 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 $5.0\text{-}7.0 \text{ meL}^{-1}$ y una relación K/Mg entre $0.25\text{-}0.35$. 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 $1.2\text{-}1.5$. 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 Rabita (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; Casas, 1996-a).
- **Berenjena:** no suele ser un cultivo que presente problemas con este elemento. Con aguas de baja salinidad, con valores que no llegan al mínimo de $3.0\text{-}4.0 \text{ meL}^{-1}$, 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 pro-

blemas 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 concentracio-



nes 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 meL⁻¹. En El Alquíán-La Cañada pueden llegar a 1.0 meL⁻¹ y en La Vega de Motril hasta 2.0 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. Será adecuado mantener unos valores mínimos de nitratos en el suelo 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 meL⁻¹, y como nivel máximo a 18 meL⁻¹ (Kafkafi, 1984).

- **Pimiento:** los niveles de nitratos en el extracto saturado del suelo oscilan entre 7.0-8.0 meL⁻¹ en plena producción. En el inicio de la floración se consideran valores adecuados 4.0-6.0 meL⁻¹ y una relación N/K entre 2.2-2.4, que se elevará a 3.0-3.2 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 asociados 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 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 NH₄/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 8.0-10 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 3.5-4.0 y disminuirá hasta 2.75-3.0 cuando disminuyan los niveles de luz. El nivel de fertilización oscilará entre 16-18 meL⁻¹ con altos niveles de radiación solar, pero evitando siempre que la CE_{es} sea superior a 2.5 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 meL⁻¹, para altos niveles de luz, hasta los 6.0 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 K₂SO₄, 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 8.0-12 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 del 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 NH₄⁺ 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 visibles, 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 7.0-8.0 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 meL^{-1} en el extracto saturado y se irá aumentando hasta 10-12 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 de 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 N/K 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 meristemas 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 (Takahashi, 1981; Casas, 1996-c).

- **Lechuga:** es aplicable en este apartado lo dicho para la col china, con la excepción de la fisiopatía “gomasho”, que no se ha observado. Si 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 la interpretación de los resultados. El problema que se presenta con este método, desarrollado por Olsen en 1953, 1954, 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 desorbidos (ver 3.2.7. Análisis de la fertilidad. Fósforo). 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 Ha 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 visibles 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 niveles normales 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. En el apartado de fertilidad se expondrán los valores óptimos de fósforo por el método de Olsen.

• **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. Referimos 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, aunque afortunadamente la tolerancia a los niveles altos de sulfatos es muy superior a la de cloruros (Bunt, 1988).

Se deberá tener muy en cuenta, a la hora de interpretar los resultados analíticos de ion sulfato, que los valores pueden ser superiores a los que existen realmente en capacidad de campo. El motivo es la posible solubilidad de CaSO₄ 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 CaSO₄ aumenta en función de la salinidad del suelo, o lo que es lo mismo, de la concentración total de sales. En el siguiente cuadro 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).

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 $1/3 \text{ Na}^+$, $1/6 \text{ Ca}^{2+}$, $1/3 \text{ Cl}^-$ y $1/6 \text{ SO}_4^{2-}$.

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, 1976, 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:

$$\% \text{ Ca}_{\text{ppdo}} = -0.0001([\text{Ca}][\text{SO}_4])^2 \pm 0.13([\text{Ca}][\text{SO}_4]) + 44.3$$

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 éstos aparecen 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 encuadradas en las del 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 $0.5-1.5 \text{ meL}^{-1}$. Se consideran altas por encima de 5.0 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 ésta. En la zona del Poniente son bajos, no llegando a superar 1.0 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	“	“ “
Lechuga	Moderadamente Tolerante	2.0-4.0 “
Melón	“	“ “
Tomate	Tolerante	4.0-6.0 “

Según Bresler, 1982:

Judía	Sensible	0.75 mgL ⁻¹
Pimiento	Semitolerante	1.25 “
Tomate	“	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 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 mgL⁻¹. La carencia es menos frecuente que en el cultivo anterior. No se observan problemas 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 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 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 mgL⁻¹, suficiente para las necesidades del cultivo. La toxicidad suele aparecer en aquellas aguas con valores superiores a los 3.5-4.0 mgL⁻¹.
- **Berenjena:** no se detectan plantaciones con síntomas de carencia o toxicidad.
- **Melón:** igual que la berenjena.



- **Sandía:** sí aparecen, aunque raramente, plantaciones con síntomas de carencia cuando se utilizan aguas de riego con bajos índices de boro, menor de 0.1 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:** éstos 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. Otra de las causas es la aplicación excesiva de fertilizantes fosforados que bloquean la absorción de boro por la planta en suelos neutros o ligeramente ácidos.

3.2.6. 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/100g 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).

$$CIC = S \times \Gamma (*)$$

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

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/100g. 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/100g, 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 Mn^{2+} de cambio, muy fitotóxicos para el cultivo del pimiento (Casas, 1995-a).

• ***Interpretación de los resultados***

– **Sodio:** este ion se evalúa en porcentaje, PSI (porcentaje de sodio intercambiable), 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, éstos 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 éste se evalúa en me/100g, mgkg⁻¹, o porcenta-

je. 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 cambiante, 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 intercambiante oscilan, en función de la textura del suelo, entre 100-500 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 me/100g 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 me/100g. 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 intercambiante. 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, para cultivos hortícolas, 1.2 me/100g (López-Ritas, 1978). Para Hernández-Abreu, 1980, valores inferiores al 10% del complejo de cambio 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 me/100g, en suelos de textura gruesa, y 4.5 me/100g en los de estructura fina. En el resto de las zonas los niveles de magnesio superan los 2 me/100g. Por tanto se mantienen siempre valores superiores al mínimo. Niveles mayores de 5 me/100g 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 del complejo de cambio han sido ocupadas por el magnesio.

El magnesio intercambiante 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 me/100g). 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 fertirrigación 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 motivado 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/100g 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 la necesidad de aportar en fondo cantidades de potasio, en forma de sulfato potásico, superiores a los 2000 kg/ha. Esto puede causar problemas de CE_{es} altas 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 salino-sódicas, 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/100g). Valores menores de uno son claramente deficitarios en calcio

y los 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.

3.2.7. Análisis de la fertilidad

Todo este apartado de análisis de la fertilidad está enfocado a los elementos nitrógeno, fósforo y potasio de un suelo.

• **Nitrógeno**

Las fuentes principales de nitrógeno para un cultivo son dos. El suministrado por la materia orgánica o compost, que se aporta al suelo y que en el caso de los cultivos en enarenado se aproxima a los $50 \cdot 10^3 \text{kg/Ha}$ y los fertilizantes nitrogenados, aportados en la fertirrigación.

Teniendo en cuenta la aportación estimada anteriormente, tendremos en el suelo un contenido en nitrógeno total de 740 mgkg^{-1} y 1.2% de materia orgánica. Las materias orgánicas utilizadas en los enarenados suelen contener una humedad del 35%, una riqueza en nitrógeno total del 2.5% y un contenido en materia orgánica del 40%. Estas aportaciones al suelo enarenado, denominadas retranqueo, se deberían de efectuar cada tres o cuatro años. Todo este nitrógeno orgánico aportado no es asimilable de manera inmediata por la planta. Sólo una pequeña parte está en forma inorgánica (ion NH_4^+), nada en forma nítrica y el resto en forma de aminoácidos y azúcares aminados. Cuando se hace el aporte de materia orgánica al suelo, ésta contiene, además de nitrógeno, fósforo y azufre. Estos controlan la expansión de la población de microorganismos, ya que formarán parte de las células de éstos, cuando son absorbidos. La materia orgánica fresca estimula el crecimiento de bacterias saprofitas, hongos y actinomicetos. Estos microorganismos son los que atacan a los constituyentes orgánicos del estiércol. Una parte del carbono es destruido en forma de CO_2 y la otra se incorpora a la biomasa. La expansión de los microorganismos origina las pérdidas de carbono y la tendencia del sistema a llegar a desarrollar una relación C/N/P/S similar a la del tejido celular de éstos. Esta relación es aproximadamente 100-10-1-1, en la fracción orgánica del suelo y puede ser considerada como estable. Esta es la razón por la que la materia orgánica incorporada al suelo debe tener una relación C/N igual a 10. Si esta es muy superior a diez, cuando tenga lugar la mineralización del nitrógeno orgánico, grandes cantidades de nitrógeno pueden ser inmovilizadas en los tejidos celulares de los microorganismos (Haan, 1976).



La cantidad de nitrógeno que puede ser mineralizado durante un cierto periodo de tiempo depende de una serie de factores externos. Entre éstos están la temperatura, el pH, el oxígeno, la humedad y la presencia de otros nutrientes.

El primer proceso de descomposición del nitrógeno orgánico comienza con la amonificación, dando origen a los aminoácidos. Estos pueden ser:

- a. Inmovilizados al ser metabolizados por microorganismos.
- b. Adsorbidos por las arcillas, dando origen a complejos organominerales.
- c. Absorbidos por las plantas.
- d. Incorporados a la fracción humus.
- e. Continuar la descomposición por amonificación de estos aminoácidos para dar origen a NH_4^+ . Este NH_4^+ puede ser absorbido por las plantas, fijado en el complejo húmico-arcilla, lixiviado del suelo o nitrificado para pasar a NO_3^- (Hernández-Abreu, 1980; Söderlund, 1976; Hagin, 1982).

En la reacción de $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ tiene lugar un paso intermedio, debido a la formación de NO_2^- . La reacción será de tipo consecutivo, en la que el amonio se descompone pasando a nitrito y éste, a su vez, se descompone en nitrato. Las velocidades de reacción en la formación de nitritos y en su posterior descomposición son iguales. Esto tiene como consecuencia que nunca se acumulen los nitritos. En algunos suelos del Norte de la Península, de tipo orgánico y de características ácidas, si es frecuente la acumulación de nitritos en el suelo, dando origen a problemas de fitotoxicidad en praderas.

Acumulaciones de amonio pueden ocurrir en suelos con problemas de encharcamiento y por tanto, falta de aireación, que favorecen las condiciones reductoras. Si el suelo es de características ligeras, pueden existir problemas graves debido al fuerte antagonismo $\text{NH}_4^+/\text{Ca}^{2+}$, por la presencia de iones amonio en la solución del suelo.

El nitrato formado en el proceso de nitrificación es absorbido directamente por el sistema radicular de la planta, acumulándose inicialmente en la hoja, caso del tomate. Este nitrato es a su vez descompuesto en amonio pasando, como en el suelo, por un proceso intermedio de formación de nitritos. Este amonio será incorporado a la formación de aminoácidos y estos a su vez, al de las proteínas. El amonio puede ser incorporado directamente del suelo, a través del sistema radicular, sin pasar por los procesos intermedios anteriores. El amonio existente en la disolución del suelo, estará en equilibrio con el amonio intercambiable y con formas de amonio fijadas. La capacidad de fijación en el suelo está en relación con la presencia de arcillas del tipo 2:1, no expansibles (minerales tipo micáceos, vermiculitas, etc.). Esta capacidad varía entre 1.0-6.0 me/100g.

El nitrógeno en forma de aminoácidos también es asimilable para la planta, aunque siempre se utiliza en dosis pequeñas. Podemos resumir, de manera general, que el nitrógeno es almacenado en el suelo en forma orgánica y es asimilable o disponible para la planta, en forma inorgánica.

Es fundamental conocer, desde el punto de vista analítico, la relación C/N de partida. Como se verá en el apartado de materia orgánica, es conveniente hacer un aporte de nitrógeno ureico o amoniacal para así tratar de conseguir que la relación C/N esté próxima a 10.

El contenido en nitrógeno amoniacal, después de efectuar el abonado de fondo, será de 50 mgkg^{-1} , el de nitrógeno nítrico se calculará a través del contenido de nitratos del extracto saturado. Para ello bastará con multiplicar los meL^{-1} por 0.14 y por PS (porcentaje de saturación del suelo), obteniéndose así el contenido de $\text{N}(\text{NO}_3)$ expresado en mgkg^{-1} . Los valores de éste oscilan, en función del PS, entre $40\text{-}50 \text{ mgkg}^{-1}$.

• ***Fósforo***

A diferencia del nitrógeno, los compuestos de fósforo son más insolubles y más difíciles de lavar del suelo (Pierrou, 1976). Por ello, este elemento no suele ser un factor limitante en los cultivos de las zonas comentadas. Los problemas encontrados con este elemento han sido casi siempre debidos a las malas condiciones de absorción por el sistema radicular de la planta. Excesos de nitrógeno, pH alto en el suelo y bajas temperaturas son, por lo general, los causantes de su mala absorción y no la falta de este elemento en el suelo.

Sólo una pequeña porción del fósforo aportado en la fertilización es absorbido por la planta. El resto es inmovilizado en el suelo de diferentes formas. La casi totalidad de los suelos de las zonas comentadas contienen cantidades apreciables de carbonato cálcico y el fósforo es adsorbido sobre la superficie de éste. Los iones son captados debido a las irregularidades que presenta la superficie del carbonato cálcico, así como a la presencia de otros iones (Singh, 1976). El primer paso es la precipitación del fosfato bicálcico. La formación de compuestos menos solubles requiere tiempo, es el caso del fosfato octacálcico, $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y apatitos, que pueden requerir varios meses. Esto se debe a que los procesos de adsorción de los fosfatos en suelos se rigen por la ecuación de Langmuir. Inicialmente esta ecuación fue desarrollada para explicar los fenómenos de adsorción de gases sobre superficies sólidas y que posteriormente fue adaptada a la adsorción de fosfatos (Barrow, 1976). En los parámetros de esta ecuación se define la superficie del adsorbente y la energía específica de adsorción. En el caso de la superficie del carbonato cálcico, la energía de adsorción es baja,



mientras que en los suelos ácidos, la superficie de los óxidos hace que la energía de adsorción sea elevada. Esta es la causa de la relativa mayor disponibilidad de fosfatos en suelos calcáreos (Hagin, 1982).

Aparte de la adsorción sobre la superficie de carbonato cálcico, también hay que incluir la que ocurre sobre los minerales de arcilla. En ambos casos existen procesos de transferencia de iones entre la fase sólida-sólida y la líquida. El mecanismo de fijación de fosfatos por precipitación en la solución del suelo es, sin embargo, el que suele prevalecer.

El H_2PO_4^- existente en la solución del suelo se transforma en HPO_4^{2-} cuando el pH del suelo es mayor de 7.2-7.3. En presencia de ion Ca^{2+} precipita $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, fosfato bicálcico. Este, a su vez, se hidroliza en fosfato octacálcico, $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, conforme se eleva el pH del suelo. Este fosfato octacálcico es, sin embargo, metaestable y se convierte lentamente en hidroxiapatito, $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ y flúorapatito, $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$. Este mecanismo puede ser considerado como el mayor causante de las pérdidas de fósforo en suelos calcáreos. En el caso de suelos ácidos los mecanismos están relacionados con las precipitaciones de fosfatos de hierro y aluminio, en suelos ricos en óxidos de estos elementos (Gillman, 1976).

En los suelos de las zonas comentadas y sobre todo en El Alquíán - La Cañada, aparte de las cantidades de calcio existente en la solución del suelo, aparecen también cantidades apreciables de magnesio soluble. En estos casos aparece conjuntamente a la precipitación de $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ el fosfato bimagnésico, $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, el cual a su vez se transforma en $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$. Este mecanismo representa una pérdida del fósforo soluble existente en el suelo. El sistema radicular de la planta lo absorbe en forma de H_2PO_4^- y en menor medida como HPO_4^{2-} de la solución del suelo. Esta absorción está relacionada con el tamaño y diámetro de la raíz. Así la absorción por unidad de área superficial de la raíz se incrementa cuando el radio de la raíz disminuye. A su vez, el tamaño de la raíz aumenta la capacidad de absorción de fósforo de tal manera que a mayor absorción la longitud de la raíz es mayor. En el caso contrario, a menor absorción, el tamaño es también menor. Las tasas de transporte de fósforo de la solución del suelo al sistema radicular de la planta dependen de varios factores. Los más importantes son 1) el gradiente de concentración del fosfato en disolución, entre el suelo y la superficie de la raíz; 2) el coeficiente de difusión y 3) la capacidad del suelo para reponer el absorbido por la planta, de la solución del suelo.

Según Olsen, 1965, la variación de la textura del suelo influye sobre estos tres factores. El fósforo puede estar más limitado en un suelo arenoso que en uno arcilloso, aún cuando la concentración de éste sea la misma, así como la capaci-

dad de absorción por parte de la planta. Esto se debe a que a una tensión mátrica determinada, los suelos arcillosos tienen un nivel de humedad mucho más alto que los arenosos y por lo tanto, un mayor volumen de difusión para la raíz.

El fósforo de la solución del suelo se encuentra en equilibrio con el fósforo de la fase sólida. La posibilidad de transferencia de la fase sólida a la disolución, depende de varios factores como son: 1) su estructura cristalina; 2) su área superficial y 3) la solubilidad de los compuestos. Dos formas de fosfatos se pueden distinguir en la fase sólida: a) fosfato lábil en equilibrio con el fosfato en disolución y b) otro fosfato no lábil, en equilibrio con el fosfato lábil. Los límites entre las dos formas son difíciles de marcar, así como su composición química, que no está plenamente identificada.

En suelos calcáreos los fosfatos lábiles son los fosfatos bicálcicos y octacálcicos, junto a los iones fosfatos adsorbidos a la superficie de las partículas de carbonato cálcico y de arcilla. Estos fosfatos lábiles se encuentran en equilibrio con los fosfatos en disolución. La variación de este equilibrio estará en función de los ritmos de absorción por la planta, así como de los aportes de fosfato en la fertirrigación. Se establece un equilibrio de desorción-adsorción de fosfatos. Nuevos aportes en la fertilización hace que parte de estos fosfatos sean transferidos de la solución del suelo a formas lábiles. Esto ocurre mediante procesos de adsorción y de reacción con otros iones como el calcio y el magnesio.

En suelos calcáreos los fosfatos no lábiles están formados por minerales de apatito. El paso de los apatitos a fosfatos bicálcicos y octacálcicos es un proceso lento, debido a la baja solubilidad de estos compuestos (Hagin, 1982).

Existe también en el suelo un fósforo orgánico. Su mineralización sigue un proceso similar al del nitrógeno orgánico visto anteriormente. A partir de los compuestos mineralizados se forman compuestos cada vez más simples, liberando al final, ácido ortofosfórico. La velocidad de liberación depende de la temperatura, pH y humedad del suelo (Hernández-Abreu, 1980).

– **Determinación del fósforo asimilable:** Se han propuesto muchos métodos para conocer el nivel de fósforo asimilable de un suelo. Así, Hagin, 1982, propone los siguientes métodos:



Método	Extracción
Olsen	NaHCO ₃
Van der Paauw	H ₂ O
Bray-1	HCl-NH ₄ F
Mehlich	HCl-H ₂ SO ₄
Hernando	AcOH-H ₂ SO ₄ más Ca + Mg
-	Resina de intercambio aniónico
-	Isótopos radiactivos
Russel	E-valor
Larsen	L-valor
Fried y Dean	A-valor

El método comúnmente usado en las zonas comentadas, en suelos calcáreos y neutros, es el de Olsen, 1954. Se basa en la extracción de fosfatos del suelo con una solución 0.5 M NaHCO₃, pH=8.5. En la extracción los iones HCO₃⁻ y OH⁻ desorben los fosfatos del suelo. Estos fosfatos provienen, por lo general, de fosfatos lábiles, aunque es posible la extracción de pequeñas partes de fosfatos no lábiles. Barrow, 1976, desarrolló un método de extracción que permite minimizar esta extracción secundaria. Aumentando la concentración de NaHCO₃ a 1.0 M, disminuye la adsorción secundaria y no tiene efectos significativos sobre el desplazamiento inicial. El efecto es más marcado a bajas concentraciones de fósforo. El aumento del pH de la disolución de 0.5 M incrementa las cantidades de fosfato inicialmente desplazadas, pero no tiene efecto sobre la adsorción secundaria. Barrow, 1976, explica que el aumento del pH de la solución de HCO₃⁻ disminuye la solubilidad de los iones calcio y por tanto la precipitación de iones fosfato, en forma de fosfatos cálcicos, se reduce.

Los valores estimados según el método de Olsen para los suelos calcáreos y neutros, en función de la textura y en cultivos hortícolas, son, para el fósforo asimilable:

	Textura gruesa y media	Textura fina
Muy bajo	<17 mgkg ⁻¹	<10 mgkg ⁻¹
Bajo	18-34 “	11-20 “
Medio	35-70 “	21-40 “
Alto	71-142 “	41-80 “
Muy alto	>142 “	>80 “

López-Ritas, 1978.

El resto de los métodos y su utilización para otros tipos de suelos, que no son significativos para las zonas comentadas, se pueden encontrar en Fixen y Grove, 1990, y en Cope y Evans, 1985.

- **Potasio**

Junto con el nitrógeno y el fósforo es uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas. De las cantidades de potasio que existen en el suelo, sólo una pequeña porción está en forma asimilable. Se establece un equilibrio entre el potasio no asimilable, 90-98% del total, el potasio ligeramente asimilable, 1-10% y el potasio asimilable, 1-2%. Este último potasio está a su vez en equilibrio con el de la solución del suelo. Podría resumirse en cuatro fases: 1) el de la solución del suelo, 2) el intercambiable, 3) el no intercambiable y 4) la fase mineral. El potasio en la fase de solución más el intercambiable pueden ser considerados como los potasios asimilables del suelo.

La fase no intercambiable contiene una pequeña parte asimilable, ligado a arcillas del tipo illita y otras del tipo 2:1. La fase mineral se puede considerar no asimilable y está formada por minerales primarios de potasio, tipo feldspatos y micas.

La aplicación de potasio en la fertilización origina un aumento en la fase de solución del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de éste permanece en la solución del suelo durante un corto periodo de tiempo. El resto se transferirá a la fase intercambiable. El tiempo parece ser relativamente corto en esta primera transformación, para en la segunda, paso de intercambiable a no intercambiable, ser bastante lento (Selim, 1976).

El potasio de la solución del suelo se determina en el extracto de saturación de éste. El potasio intercambiable se utiliza comúnmente para estimar el potasio asimilable. El método de extracción con AcONH_4 1N pH=7, comentado anteriormente, extraerá del suelo el potasio intercambiable más el soluble. El determinado a través del extracto saturado, soluble, se deberá de restar del potasio asimilable. En suelos alcalinos y calcáreos es un buen método de evaluación del potasio asimilable (Esteban, 1974).

La utilización de valores de potasio asimilable de un suelo, sin tener en cuenta el potasio en la solución de éste, conlleva con frecuencia graves problemas de interpretación y de resultados en la producción. Así, es posible encontrar suelos con altos contenidos de potasio intercambiable y niveles de producción bajos. Esto es debido al efecto depresivo que origina altas reservas de potasio intercambiable. Existe en estos casos una correlación negativa entre potasio y producción. Sí existe una correlación positiva entre el potasio de la solución del suelo y la producción. Por ello, es posible que con altos contenidos de arcilla en el suelo, tierras de cañada, se tengan niveles bajos de potasio en la solución del suelo. Se debe tener en cuenta que las plantas se nutren fundamentalmente del



potasio soluble del suelo. Para Mengel, Grimme y Nemeth, 1969, sólo se absorbe el potasio de la solución del suelo y no es posible la transferencia desde las partículas sólidas del suelo a la raíz. Por lo dicho, Grimme, 1976, sugería que el potasio intercambiable no era el reflejo del potasio asimilable en suelos con niveles altos de arcilla y por tanto, de textura pesada.

Cuando se compara un suelo arcilloso a uno arenoso y los niveles de potasio intercambiable frente a los de soluble, se observa que, a igualdad de incremento de potasio intercambiable, el aumento de potasio soluble es mayor en un suelo arenoso a uno arcilloso (Schroeder, 1974).

A la hora de evaluar el potasio asimilable se deben tener en cuenta las características físicas que tiene el suelo y la capacidad de intercambio de éste. En suelos de características muy pesadas se deberán tener más en cuenta los valores de potasio soluble y pensar que una parte de este potasio intercambiable será de difícil extracción por parte del sistema radicular. En cambio, en los suelos ligeros y medios este potasio intercambiable estará más disponible, vía solución del suelo, para la planta.

• ***Materia orgánica***

La descomposición de los restos vegetales, junto a los residuos animales, estiércoles, son los constituyentes básicos de la materia orgánica. En la descomposición se origina anhídrido carbónico, que vuelve a la atmósfera y aparecen elementos, como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio y micronutrientes, que pueden ser asimilables por las plantas. Parte del carbono, unido al nitrógeno, fósforo y azufre, es invertido por los microorganismos del suelo, en la fabricación de su pared celular. Otra parte es convertida en humus. Stevenson, 1994, incluye en el término materia orgánica del suelo, al conjunto de los desechos de plantas, residuos animales, fracciones ligeras orgánicas, biomasa microbiana, compuestos orgánicos solubles en agua y materia orgánica estable, a la que denomina humus. Al primer grupo, en el que se incluyen los desechos orgánicos de los cultivos y animales, la denomina "materia macroorgánica". Las fracciones ligeras son las originadas por la primera descomposición de la materia macroorgánica. Estas pueden constituir hasta el 30% de la materia orgánica de los suelos. La biomasa microbiana es la originada por la primera descomposición de los residuos de las plantas por bacterias y actinomicetos, unido a los compuestos orgánicos solubles en agua, sustancias no húmicas. A este primer grupo se le denomina "fracción activa o lábil" y son una fuente de nutrientes para el crecimiento de las plantas, fundamentalmente de nitrógeno, fósforo y azufre. El segundo grupo, formado por humus, es la denominada "fracción pasiva o estable". Su función es de reserva de nutrientes para la planta y su uso es a largo plazo.

En el proceso de descomposición de la materia orgánica, la primera fase comienza con un fuerte ataque microbiano que origina pérdidas importantes en carbono, utilizado por las células en su formación, biomasa. En la descomposición se originan productos como CO_2 , NH_3 , H_2S , ácidos orgánicos y otras sustancias no oxidadas totalmente. En la segunda fase, los compuestos orgánicos intermedios son nuevamente descompuestos por los microorganismos, produciendo nueva biomasa y nuevas pérdidas de carbono como CO_2 . En la etapa final se origina la descomposición de las partes más resistentes de la planta, como la lignina, por actinomicetos y hongos.

Se deberán de tener en consideración las posibles variaciones en la descomposición de los residuos orgánicos, cuando están sometidos en el suelo a condiciones de baja aireación, motivadas por problemas de encharcamiento. En estos casos pueden modificarse los productos finales obtenidos.

Según Stevenson, 1994, el nivel de carbono existente en el suelo, proveniente de residuos vegetales, es función de la temperatura del suelo. Se puede estimar en un tercio, después del primer año, la proporción en forma lábil y una cantidad similar en forma de humus estable. Este último puede ser más resistente a la descomposición, pudiendo llegar a encontrarse hasta el 50% de éste después de cuatro años.

La materia orgánica juega un papel claramente beneficioso sobre las propiedades físicas de los suelos, ya que mejora su estructura, aireación y retención de agua. Desde el punto de vista químico es una fuente de nitrógeno, fósforo y azufre para el cultivo de las plantas y desde el punto de vista biológico, de la actividad de los microorganismos del suelo.

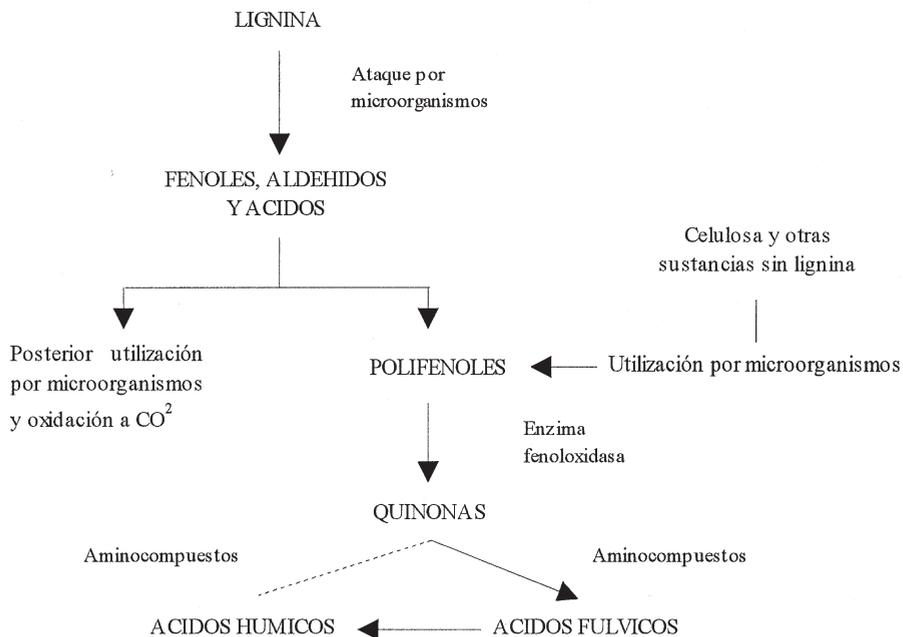
Englobado dentro del término humus se encuentra un grupo heterogéneo de compuestos orgánicos que se pueden clasificar en dos grandes grupos: 1) sustancias no húmicas, en las que se encuentran incluidos aminoácidos, carbohidratos y lípidos y 2) sustancias húmicas de alto peso molecular, formadas por reacciones de síntesis secundarias, caracterizadas por tener grupos funcionales ácidos (COOH), fenólicos y/o enólicos (OH), alcohólicos (OH) y de quinonas (C=O).

Los dos grupos no están totalmente separados ya que los carbohidratos se pueden convertir en sustancias húmicas.

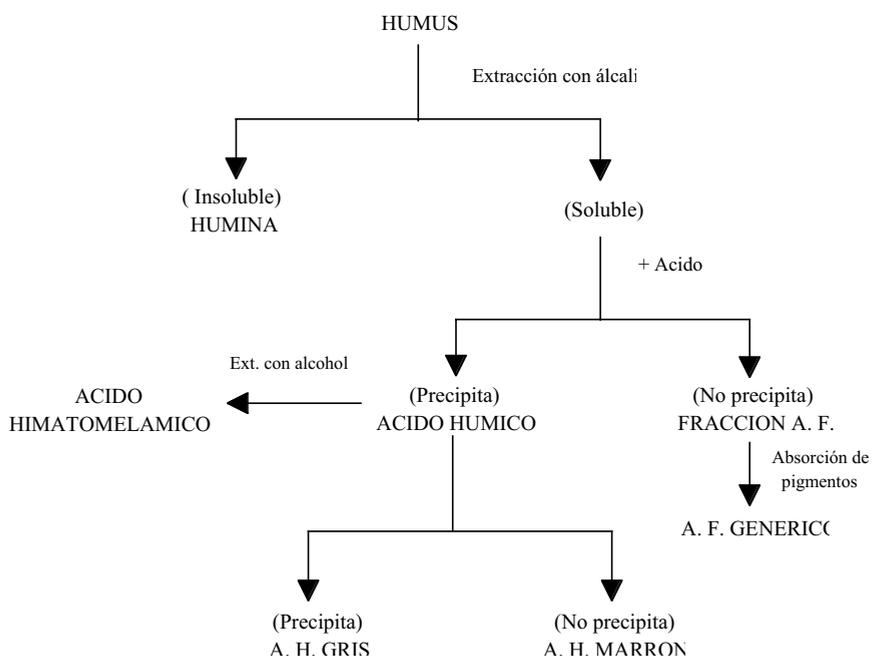
Las propiedades generales del humus y sus efectos sobre el suelo se pueden resumir en los siguientes apartados (Stevenson, 1994).



ESQUEMA DE FORMACION DE ACIDOS HUMICOS, SEGUN STEVENSON, 1994



EXTRACCION DE LAS SUSTANCIAS HUMICAS DEL SUELO Y SU FRACCIONAMIENTO, SEGUN STEVENSON, 1994



1) Retención de agua: debido a que la materia orgánica puede retener hasta 20 veces su peso en agua, ayuda a mantener unos niveles adecuados de ella en suelos de características arenosas.

2) En suelos arcillosos permite la formación de agregados, mejorando la estructura y por tanto, incrementando la permeabilidad. Mejora las condiciones de aireación.

3) Agente quelante: forma complejos estables con manganeso, cobre y zinc, aumentando su asimilación por la planta.

4) Insolubilidad en agua: debido a que parte de ésta se encuentra asociada a las arcillas la hace insoluble, así como las sales de metales divalentes y trivalentes asociadas a éstas.

5) Efecto buffer: presenta un efecto buffer o tampón en suelos ligeramente ácidos, neutros y alcalinos, ayudando a mantener una reacción uniforme en el suelo, ya que estabiliza el pH de éste.

6) Intercambio catiónico: las fracciones aisladas de humus pueden llegar a oscilar entre 300-1400 me/100g de capacidad de intercambio catiónico. Por tanto, pueden llegar a incrementar la CIC de un suelo desde un 20-70%.

7) Mineralización. La descomposición de la materia orgánica origina CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y SO_4^{2-} , los cuales son una fuente de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

8) Combinación con xenobióticos. Afecta a la asimilación, persistencia y biodegradabilidad de pesticidas, ayudando a la pérdida de efectividad y fitotoxicidad de los mismos, aunque en determinados suelos se la relaciona con una mayor adsorción de herbicidas.

9) Fuente de energía para los microorganismos del suelo. La materia macroorgánica y la fracción ligera sirven de fuente para los macro y microorganismos del suelo. Numerosas bacterias, hongos y actinomicetos están relacionados con el proceso de formación del humus.

10) Crecimiento de las plantas. Determinados productos de la descomposición de la materia orgánica pueden tener diferentes efectos sobre las plantas. Así, ciertos ácidos fenólicos presentan propiedades fitotóxicas. En cambio, las auxinas mejoran el crecimiento de éstas. Se puede resumir que las materias orgánicas, por



lo general, ayudan al crecimiento y producción de las plantas, sustituyendo en parte el aporte de fertilizantes de origen inorgánico. Según Stevenson, 1994, a similares conclusiones se llega con la utilización de ácidos húmicos cuyo origen son los lignitos, leonarditas, en la mejora de las condiciones de absorción, sobre todo en suelos arenosos.

11) Incidencia de patógenos para las plantas. Es bien conocida la incidencia de estos organismos patógenos relacionados directa o indirectamente con la materia orgánica. Puede verse favorecido el crecimiento de organismos saprofitos que disminuyan la población de otros microorganismos beneficiosos. Al mismo tiempo, la aparición de compuestos biológicamente activos en el suelo, como antibióticos y algunos ácidos fenólicos, pueden aumentar la resistencia de determinadas plantas para soportar posibles ataques de microorganismos patógenos.

Lo visto anteriormente está referido a las aportaciones al suelo de materias orgánicas de origen animal o vegetal y sus efectos sobre el suelo así como sobre la nutrición de las plantas. En la zona de Almería y en los tradicionales cultivos de enarenado, las aportaciones de materia orgánica se realizan en la interfase entre la capa de suelo, denominada tierra de cañada, y la arena. Esta materia orgánica es de origen animal (estiércol) o vegetal (compostage de residuos agrícolas y turbas). Hoy día, debido al encarecimiento de la mano de obra, se retrasan cada vez más las nuevas aportaciones de materia orgánica a los suelos, operación denominada retranqueo. Estas se solían efectuar cada cuatro años y consistía en apartar la arena del suelo y hacer el nuevo aporte de materia orgánica. Por lo comentado ya, esta operación no se suele efectuar y ha quedado reducida a levantar la arena en surcos y aportar únicamente a esta zona, la materia orgánica. A esta operación se le denomina en carillas. Estas materias orgánicas ya no son, por lo general, las que se utilizaban hace unos años, en donde los niveles de materia orgánica no superaban el 30%. Hoy día son compostages de residuos orgánicos de animales o plantas, en los que se mantienen niveles superiores al 50%, pudiendo llegar al 75% en algunos humus de lombriz. El problema no suele estar en la falta de calidad de estas materias, ni en su precio de venta, sino en la mano de obra para la aportación al suelo del enarenado.

Por estas razones, cada vez se utilizan más y con más frecuencia ácidos húmicos líquidos por el sistema de riego. En los siguientes ejemplos pueden verse las respuestas a la aplicación de sustancias húmicas en diversos cultivos, según Chen, 1990.

a) Desarrollo radicular. Sladky, 1959, aplica ácidos húmicos y fúlvicos, en concentraciones de 50 mgL^{-1} , a un cultivo de tomate y observa un claro aumento en el tamaño y peso de la raíz. Sánchez-Conde y Ortega, 1968, utilizan una solución

nutritiva con ácidos húmicos, dosis de 8 y 160 mgL⁻¹, en cultivo de pimiento, y observan un incremento en el peso de la raíz del 56 % sobre el control. Rauthan y Schnitzer, 1981, cultivando pepino con adición de ácidos fúlvicos observaron un aumento en el peso de la raíz, a una concentración de 100 mgL⁻¹. A partir de 300 mgL⁻¹ el efecto se invierte. Schnitzer y Poapst, 1967, reportan los beneficiosos efectos del empleo de ácidos fúlvicos sobre el número de raíces y su crecimiento en cultivo de judía. Las concentraciones óptimas oscilaron entre 25-100 mgL⁻¹.

Las conclusiones que Chen, 1990, obtiene de lo anteriormente expuesto sobre el crecimiento radicular se pueden resumir en:

- Las sustancias húmicas de diversa procedencia potencian el crecimiento radicular de las plantas.
- La elongación y la iniciación radicular se mejoran.
- Por la experiencia parece ser que los ácidos fúlvicos tienen un efecto ligeramente superior al de los ácidos húmicos.
- La concentración de ácidos húmicos es importante y por lo general, la respuesta disminuye a concentraciones altas.

b) Desarrollo de la planta: Sladky y Tichy, 1959, compararon los efectos de la aplicación de sustancias húmicas, vía foliar y radicular, sobre planta de tomate. Por vía foliar, con una solución de 300 mgL⁻¹ de ácidos húmicos aumentaron el peso y el tamaño de las hojas jóvenes. Altas tasas de aplicación inhiben el crecimiento y causan deformaciones en las hojas. Rauthan y Schnitzer, 1981, estudiaron la estimulación de plantas de pepino con ácidos fúlvicos hasta la etapa de floración, seis semanas después del inicio de la plantación. Los resultados responden a una gráfica en la que se observa que el óptimo de crecimiento se encuentra entre 100-300 mgL⁻¹ de ácidos fúlvicos.

Se puede resumir que los ácidos húmicos y fúlvicos estimulan el desarrollo de la planta cuando se aplican vía foliar, a concentraciones de 50-100 mgL⁻¹ o cuando se aplican a la solución nutritiva en concentraciones de 25-300 mgL⁻¹.

c) Absorción de macroelementos: Sánchez-Conde y Ortega, 1968, utilizaron una solución que contenía 8, 80 y 100 mgL⁻¹ de ácidos húmicos en plantas de pimiento. Observaron un incremento en la absorción de nitrógeno, fósforo y magnesio, así como una disminución en la de sodio, potasio y calcio. Sin embargo, también observaron acumulaciones tóxicas de nitrógeno, fósforo y magnesio en la raíz. Fernández, 1968, publicó que los ácidos húmicos procedentes de estiércol aumen-



tan las tasas de absorción de nitrógeno, mientras que los extractados de turba presentan una actividad similar sólo a tasas de aplicación bajas. Rauthan y Schnitzer, 1981, cultivaron pepinos con una solución que contenía hasta 300 mgL^{-1} de ácidos fúlvicos y observaron que estimulaba la absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. El máximo de la absorción se encuentra entre $100\text{-}300 \text{ mgL}^{-1}$.

La conclusión a que se llega es que la estimulación en el crecimiento de la planta, por el empleo de ácidos húmicos vía radicular, está motivada por el incremento en la absorción de fósforo.

d) Absorción de microelementos: las sustancias húmicas incrementan la solubilidad del hierro en la solución del suelo, afectando positivamente a la translocación de éste de la raíz a las hojas. La aplicación de hierro a materias orgánicas tipo estiércol o turba ayuda a paliar la clorosis férrica inducida en suelos calcáreos. La razón de esto es que se produce la complejación del hierro por las sustancias húmicas de los materiales orgánicos. Así mismo, las sustancias húmicas estimulan ligeramente la absorción de zinc y cobre, e inhiben la de iones tóxicos como el cadmio (Chen, 1990).

• **Caliza**

La casi totalidad de los suelos de la costa mediterránea española son calizos. En las zonas comentadas de Almería, aparecen determinados tipos de suelos neutros, con pH próximos a 7 y en los que no se aprecia caliza, aunque son muy escasos. La excepción de suelos rojos, ácidos, se comentó anteriormente.

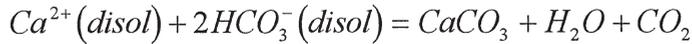
Bajo la denominación de suelos calizos o calcáreos se engloban los que contienen: calcita, CaCO_3 ; magnesio - calcita, $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}(\text{CO}_3)$; dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (Doner, 1989). Su origen puede ser:

a) La disolución de compuestos solubles en el suelo, como el yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, en presencia de iones carbonato, CO_3^{2-} , que originan la precipitación de CaCO_3 de forma inmediata.

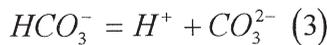
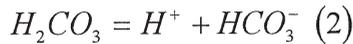
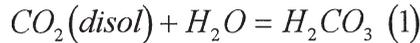
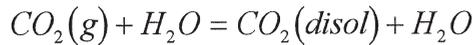
b) La lluvia, que por su pH relativamente bajo ≈ 6.5 y a su baja CE, es capaz de disolver minerales de arcilla del suelo. Estos minerales liberan iones calcio que pueden ser precipitados en forma de carbonato cálcico.

c) Las aguas de riego con niveles apreciables de calcio y bicarbonatos, en el momento de entrar en el suelo, pueden originar depósitos de carbonato cálcico, sobre todo aquellas con un índice de Languellier positivo.

La formación de la calcita en suelos sigue la siguiente reacción (Doner, 1989):



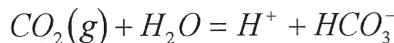
La concentración de Ca^{2+} , en la solución, depende de la presión parcial del CO_2 y de la temperatura. Las reacciones entre el CO_2 y el agua son las siguientes:



$CO_2(g)$, es la presión parcial del CO_2 en el ambiente. Es de $3 \cdot 10^{-5}$ MPa. La solubilidad del gas en el agua depende de la temperatura. Así, para una presión de CO_2 de 0.101 MPa (1 atm):

0.08 moles CO_2 / L H_2O	0 °C
0.03 “ “ “	25 °C
0.02 “ “ “	50 °C

En la práctica, las ecuaciones (1), (2) y (3) se pueden englobar en una sola, para obtener la primera constante de disociación del H_2CO_3 , K_1 :



$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{cP_{CO_2}} = 4.28 \cdot 10^{-7} \quad (25^\circ C) \quad (4)$$

$[H^+]$ y $[HCO_3^-]$ son los coeficientes de actividad de los iones.

$c=0.341 \text{ molL}^{-1}\text{MPa}^{-1}$, de la Ley de Henry.

P_{CO_2} es la presión parcial del CO_2 en MPa.

La segunda constante de disociación del ácido carbónico es K_2 :

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = 4.68 \cdot 10^{-11} \quad (25^\circ C) \quad (5)$$



La constante del producto de solubilidad de la calcita, K_{ps} , es:

$$K_{ps} = [Ca^{2+}][CO_3^{2-}] = 3.98 \cdot 10^{-9} \quad (25^\circ C) \quad (6)$$

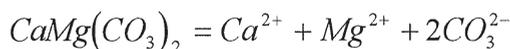
Combinando las ecuaciones (4), (5), y (6) se obtiene la siguiente:

$$2pH + \log P_{co_2} = 8.77 + \log \frac{1}{[Ca^{2+}]} \quad (7)$$

Existe un nomograma en la bibliografía de Doner, 1989, que permite resolver la ecuación anterior. En ella, se encuentra la relación entre el pH, presión parcial de CO_2 y actividad del ion calcio, para una presión total de 0.101 MPa de una solución saturada con respecto a la calcita.

Ejemplo: en una solución de $pH=8.0$ y una $P_{co_2} = 10^{-4}$ MPa, el coeficiente de actividad del ion calcio será $6 \cdot 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$.

En el caso de suelos que contengan dolomita y calcita, que están en equilibrio a $pH=7$, con una $P_{co_2} = 3 \cdot 10^{-4}$ MPa, se deben disolver de acuerdo a las siguientes reacciones:



En equilibrio, la reacción entre Mg^{2+} y Ca^{2+} en solución debe ser:

$$\frac{[Ca^{2+}][Mg^{2+}][CO_3^{2-}]^2}{[Ca^{2+}]^2[CO_3^{2-}]^2} = \frac{K_{ps_{dolomita}}}{K_{ps_{calcita}}} = \frac{10^{-17}}{(3.98 \cdot 10^{-9})^2} = 0.6 \quad (8)$$

A $pH=7.0$ y $P_{co_2} = 3 \cdot 10^{-4}$ MPa, la concentración de ion calcio será de $1.9 \cdot 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$ (de la ecuación 7). La concentración de magnesio deberá ser de $1.1 \cdot 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$ (de la ecuación 8). Asumiendo que la solución se mueve en las zonas inferiores del suelo a una $P_{co_2} = 10^{-4}$ MPa, por el secado parcial del suelo y que el pH se incrementa hasta 8.0, encontramos que la calcita debe estar precipitada. En el equilibrio la concentración de ion calcio debe ser $6 \cdot 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ y la de magnesio debe ser ligeramente inferior a $1.1 \cdot 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$ (Doner, 1989).

El carbonato cálcico puede influir sobre un suelo de distintas formas:

- a) Fijando fosfatos en la superficie de la calcita.
- b) Adsorción de zinc debido a la capacidad para ello de la calcita y dolomita. A concentraciones bajas, el manganeso y cadmio pueden ser quimiadsorbidos sobre la calcita.
- c) Jurinak y Griffin, 1972, publicaron que la calcita pura es capaz de adsorber ion nitrato, aunque en los suelos con carbonato cálcico no se aprecie.
- d) Posibilidad de cementación de las partículas de carbonato cálcico con partículas de arcilla o arenas finas en el suelo. Esto es debido a la gran área superficial de las calcitas, alrededor de $50 \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1}$, que humedecida puede llegar a incrementarse hasta $500 \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1}$.

3.2.8. 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***

La causa más común de la deficiencia de este elemento es un pH alto del suelo, originado por la presencia de carbonato cálcico. En este tipo de suelo es frecuente la existencia de concentraciones más o menos altas de calcio soluble. Estos iones compiten con los iones Fe^{2+} en las posiciones de enlace de la raíz de la planta, reduciéndose así la absorción de hierro. Estos suelos calcáreos contienen igualmente iones bicarbonato en la solución del suelo, que también interfieren cuando aparecen condiciones de encharcamiento. Según Hagin, 1982, el análisis del contenido total de carbonato cálcico, en un suelo, no refleja el peligro de clorosis. La clorosis es función de las fracciones denominadas activas, posiblemente relacionadas con la estructura cristalina y el área superficial de las par-



tículas de carbonato cálcico. El exceso de H_2PO_4^- soluble en el suelo induce también clorosis férrica por la precipitación del hierro. 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 una planta a la clorosis estará en función del balance $\text{H}^+/\text{HCO}_3^-$. De esta manera, las plantas con menos incidencia serán aquellas en que el balance esté a favor del H^+ . Esto conlleva a un descenso del pH en el entorno de la raíz de la planta, lo que favorece la absorción del hierro. La presencia de materia orgánica en el suelo favorece igualmente la absorción de este elemento, debido a su efecto quelante.

El hierro asimilable se determina en el laboratorio mediante el método Lindsay-Norvell, 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 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 del 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 Fe-EDTA 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***

Este elemento es absorbido por parte del sistema radicular de la planta como ion Mn^{2+} o en forma de quelato. Parte de este manganeso puede ser adsorbido en algunos suelos en el complejo de cambio. El que se encuentra en la solución del suelo puede, a su vez, ser oxidado a Mn^{3+} en forma de óxido, $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ o hidróxido, $\text{Mn}(\text{OH})_3$. Estos compuestos son muy inestables y se

transforman en Mn^{4+} , como $MnO_2 \cdot nH_2O$, que es la valencia más estable de este ion. En forma de MnO_2 , denominado también bióxido de manganeso, es totalmente inerte, no asimilable por la planta. La solubilidad de los compuestos de manganeso, así como su asimilación, se favorece a pH bajos. Por ello, la aparición de deficiencias de manganeso es bastante común en suelos calcáreos. Según Lindsay, 1991, el ion Mn^{2+} es el predominante en la solución del suelo y su solubilidad disminuye unas cien veces por cada unidad de incremento de pH. La deficiencia se favorece en suelos con una buena aireación y con características alcalinas.

El manganeso asimilable se puede determinar mediante la extracción con $AcONH_4$ 1N, o con DTPA, en Gambrell, 1982. Para este último, se consideran bajos los valores menores de 1.0 mgkg^{-1} y normales los mayores de 1.0 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**

Las necesidades de este elemento por las plantas son mínimas. Es raro encontrar problemas con él. El motivo es que en las zonas de cultivo el empleo de complejos con microelementos es normal y aunque aparezcan problemas con otros elementos, las necesidades de cobre siempre están cubiertas. Pueden aparecer carencias en suelos arenosos por lavado y en aquellos suelos con altos niveles en materia orgánica, que pueden complejar al cobre, impidiendo su absorción. Los humus del suelo contienen porfirinas que forman complejos estables con el cobre.

Como en el caso del hierro y del manganeso, su asimilación disminuye conforme se eleva el pH 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 mgkg^{-1} y normales los mayores de 0.2 mgkg^{-1} . En Almería, los niveles de cobre oscilan entre $0.5\text{-}2.0 \text{ mgkg}^{-1}$. 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 uno de los elementos que actualmente origina más problemas en cultivos como el tomate, judía o pimiento. Es de difícil detección si no es mediante análisis foliar. En sus inicios su sintomatología puede ser confundida con la de magnesio. En suelos arenosos, así como en aquellos con niveles altos de pH, disminuye su absorción. El motivo es la formación de hidróxidos, $Zn(OH)_2$ y $CaZn(OH)_4$ y en suelos calcáreos por la precipitación en forma de carbonato de zinc. La materia orgánica en el suelo favorece su absorción por parte del sistema radicular de la planta. La existencia de niveles altos de fósforo en el suelo induce la deficiencia de este elemento. Aparentemente la interacción entre fosfatos y zinc es debida a un efecto fisiológico y no a la formación de un fosfato de zinc, $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, Hagin, 1982. Altos niveles de fosfatos impiden tanto la absorción como la traslocación en la planta. Por ello, puede ocurrir que una aplicación de fósforo tratando de corregir una deficiencia en este elemento, origina una absorción inadecuada de zinc. Por tanto, se sugiere que la relación fósforo-zinc, a nivel foliar, es un buen indicador de la carencia de zinc.

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 mgkg^{-1} como bajos, entre $0.5-1.0 \text{ mgkg}^{-1}$ moderados y por encima de 1.0 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**

Incluido en el apartado de extracto saturado.

• **Molibdeno**

Es un elemento que se encuentra en el suelo en forma de anión. Es muy asimilable a pH superiores a 7. Su carencia se detecta, fundamentalmente, en cultivos como el melón y el tomate. Su sintomatología es muy similar a la de una carencia de nitrógeno. Las causas de la carencia han sido, por lo general, excesos de ion sulfato que antagonizan la absorción del molibdeno en forma de ion molibdato. No la detectamos en el suelo, sino mediante análisis foliar. La corrección se efectúa mediante la sal amónica o sódica del ácido molibdico. Su aplicación es por vía foliar.

3.3. 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.

3.3.1. Densidad aparente

Se denomina así a la relación entre la masa seca de un suelo y el volumen aparente de éste. 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} . Para ello, los valores anteriores se deberán multiplicar por mil.

3.3.2. 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 volu-



men 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.

3.3.3. 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 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_T (%)
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 total menor que 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).

3.3.4. 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 2 mm de diámetro y las superiores (Gee, 1986).

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

Para las partículas inferiores a 2 mm 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 2 mm 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.

3.3.5. Ejemplos 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 14.7 %
 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. Suelo 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

PLANTAS





4. PLANTAS

La capacidad de las plantas para absorber y utilizar nutrientes minerales se refleja en la concentración de cada nutriente en sus tejidos, así como en la relación que existe entre estas concentraciones. El análisis químico de tejidos seleccionados nos proporciona una información preciosa sobre el estado nutricional de la planta (Martin-Prével, 1984; Benton, 1991; Benton Jones, 1985).

Mediante el análisis del suelo conocemos el nivel de nutrientes minerales asimilables que existen en él. Estos serán la fuente para la absorción por el sistema radicular de la planta. Sólo el análisis foliar permitirá conocer el uso que hace la planta de estos elementos nutritivos.

La parte de la planta que generalmente se utiliza para el análisis foliar es la hoja. Esto se debe a que es muy activa metabólicamente y su composición es una buena guía de los cambios en el estado nutricional de la planta.

4.1. Factores que influyen en la composición de nutrientes

4.1.1. Variedad o cultivar

Se observa que las características genéticas inciden en alto grado sobre la absorción y concentración de nutrientes en la planta. Así se detecta en tomate, con las variedades tipo “larga vida”, que los problemas de carencia de zinc son más acusados que en otras variedades (Casas, 1996-a). Esto obliga a replantear los abonados en este microelemento, por su mayor exigencia. Las nuevas variedades de pepino, tipo “Almería”, obligan a modificar los estándares de contenido de nitrógeno a nivel foliar. Esto se debe a que moviéndonos según los criterios anteriores del análisis foliar de pepino, las plantas mostraban síntomas visibles de

carencia debida a niveles bajos en la fertilización nitrogenada (Casas, 1995-b). Ocurre lo mismo con el contenido en calcio en algunas variedades de tomate, se detecta la aparición de síntomas de carencia en unas variedades y no en otras, cuando estamos próximos al considerado nivel estándar. Igualmente, en el cultivo del tomate, se aprecian exigencias mayores en elementos como el magnesio, hierro y nitrógeno en función de la variedad (Casas, 1993). Posiblemente todas estas variaciones se relacionan con la diferente capacidad de la raíz para absorber un determinado nutriente.

4.1.2. Etapa de crecimiento

La composición de la hoja variará en función del estado fenológico de la planta. En cultivos hortícolas los niveles de N, P y K decrecen, por lo general, con la edad de la planta. En cambio, el Ca, Mg y Na se incrementan.

4.1.3. Tamaño, longitud y estado sanitario del sistema radicular

Debido a que menos del 1 % del volumen del suelo es ocupado por el sistema radicular, el tamaño de la raíz influye considerablemente sobre la asimilación de nutrientes del suelo por parte de la planta. El fósforo es el elemento que más influye sobre el tamaño (Silberbush, 1985).

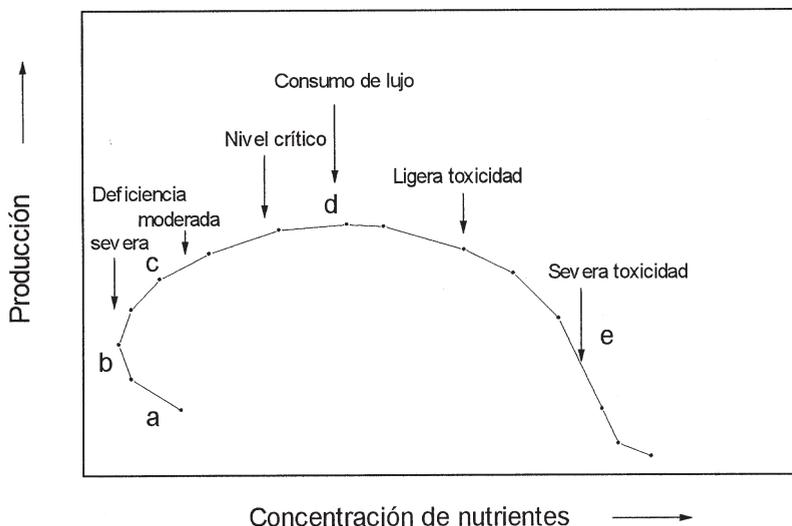
4.1.4. Nivel de producción del cultivo

El contenido de nutrientes en la hoja, crecimiento y producción siguen una curva típica (Figura 2).

Los diferentes tramos de esta curva corresponden a distintos estados nutricionales. La región de severa deficiencia es aquella que presenta unos síntomas característicos para cada elemento y afecta a la producción del cultivo. En la región de deficiencia moderada, la producción y el contenido de nutrientes, en el órgano seleccionado, se incrementa. Este incremento continúa conforme se aumenta la fertilización del cultivo hasta llegar a un máximo. A este óptimo de producción se le denomina nivel crítico. Por encima de él, aunque la concentración de nutrientes sigue aumentando, no lo hace la producción. Se dice que se ha entrado en una zona de consumo de lujo. Entre el tramo de la curva C y D, existe



FIGURA 2.
RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES.
(MARTIN PRÉVEL, 1984)

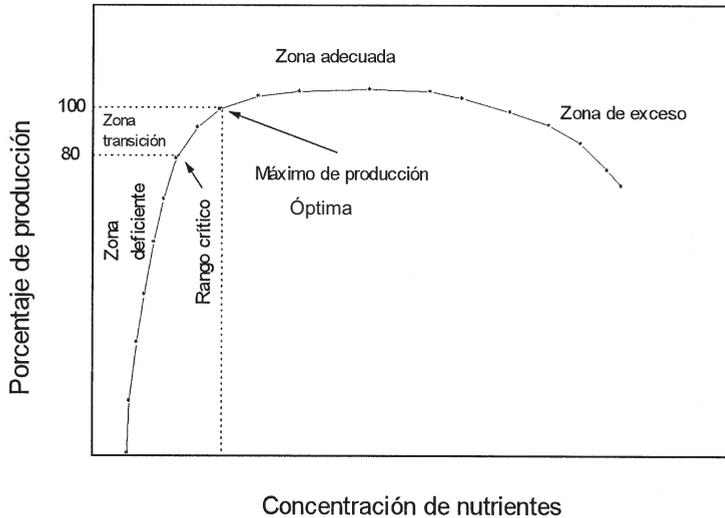


un punto denominado mínimo. Entre éste y el crítico hay una zona de respuesta a la fertilización. Esta será mayor cuanto más cerca se esté del mínimo. El nivel crítico no está en el punto de máxima cosecha, sino en el punto donde valores más bajos reducirán la producción (Martin-Prével, 1984).

Si se representa gráficamente porcentaje de producción en función de contenido de nutrientes (Figura 3), se observa que la concentración que corresponde a una producción del 100 % se denomina óptima y a partir de ésta comienza la zona denominada adecuada. Una reducción significativa de cosecha se produce cuando disminuye al 95-90%. En este punto se establece el nivel crítico. La zona entre el crítico y el óptimo se denomina zona de transición. Por debajo del nivel crítico se denomina zona de deficiencia.

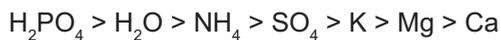
En la Figura 2, cuando se trabaja en concentraciones muy bajas, puede ocurrir que un pequeño incremento en la producción no esté en consonancia con un aumento en la concentración de nutrientes en la hoja. A este fenómeno se le denomina efecto de dilución y ha de tenerse en cuenta cuando se observa la evolución de una deficiencia severa (Hernández-Abreu, 1980).

FIGURA 3.
RELACIÓN ENTRE PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN MÁXIMO EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES (MUNSON, 1990).

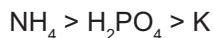


4.1.5. Clima

El grado de variabilidad en las condiciones climáticas afecta, de manera muy clara, a la nutrición de las plantas. La causa de ello es el descenso de las tasas de respiración y a que se retarda la absorción de nutrientes. La absorción de fósforo se incrementa cuando se eleva la temperatura del suelo y disminuye de manera significativa por debajo de los 16 °C. La inhibición en la absorción por bajas temperaturas sigue el siguiente orden:



Para altas temperaturas el orden es como sigue a continuación:



Otro de los elementos que se ve igualmente muy afectado por las bajas temperaturas en el suelo es el zinc. Existe una clara interacción entre la temperatura de la raíz y la intensidad de la luz. Los niveles en materia seca se reducen considerablemente con bajas intensidades luminosas así como temperaturas radiculares bajas. La absorción de calcio y potasio son, en este caso, las más afectadas.

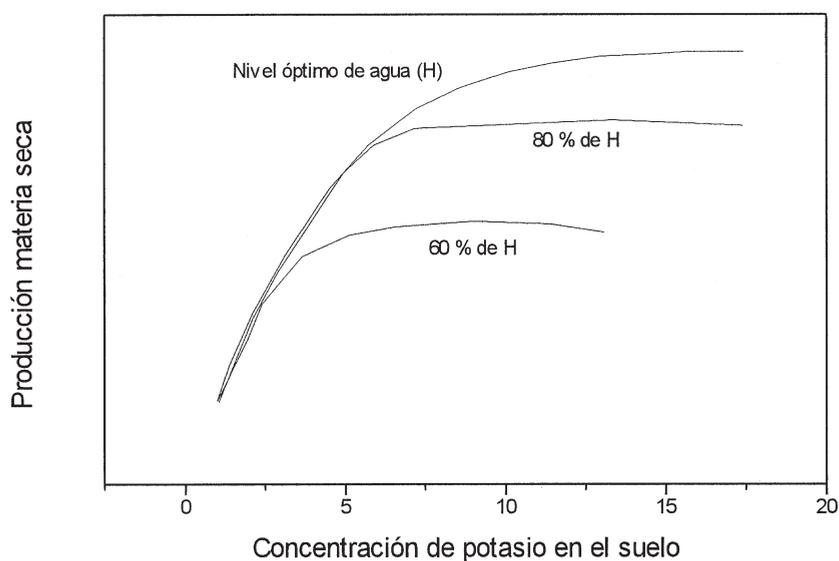


4.1.6. Nivel de riego

Las plantas necesitan un adecuado y continuo aporte de agua para su desarrollo. Excesos o insuficiencia de agua afectan a la actividad de la raíz y, por tanto, a la absorción de nutrientes. Aportes adecuados en potasio, manteniendo niveles bajos en el riego (Figura 4), disminuyen la producción frente a este mismo nivel de potasio con tasas adecuadas de agua. Niveles altos de sales o de iones tóxicos, como sodio, cloruros y/o boro, afectan de manera muy clara a la absorción de nutrientes.

FIGURA 4.

RELACIÓN ENTRE NIVEL DE AGUA Y FERTILIZACIÓN POTÁSICA (MARTIN-PRÉVEL, 1984.)



4.1.7. Manejo del suelo y del cultivo

Tiene una considerable importancia sobre la morfología del sistema radicular y por tanto en la absorción de nutrientes. Aplicaciones inadecuadas en nitrógeno afectan, por lo general, a los niveles foliares en fósforo y potasio, haciéndolos disminuir. En cambio, suele incrementar los niveles de manganeso. El sistema de riego influye, igualmente, en la absorción de nutrientes. Elementos como el fósforo o el potasio mejoran su absorción por la planta cuando se utilizan sistemas de riego localizado.

4.1.8. Estado sanitario de la planta

La utilización de productos para controlar las diferentes enfermedades de las plantas pueden modificar el contenido foliar de algunos elementos. La aplicación de insecticidas como “carbaril” y “mevinfos” aumentan los niveles de potasio, disminuyen el contenido de calcio así como el de magnesio, aunque sólo ligeramente. Productos como el “paratión” y el “diazinón” aumentan los niveles de fósforo en la hoja (Martin-Prével, 1984).

4.1.9. Interacciones entre nutrientes

En lo que afecta a los niveles foliares nos referiremos a la variación de los elementos en la hoja en función de los niveles en el suelo. Estas interacciones pueden ser positivas o negativas en función de la respuesta de la planta. También se puede dar el caso de que dos nutrientes sean sinérgicos cuando están presentes en baja concentración, pero antagónicos a concentración alta. El efecto inverso es raro. Para interpretar los datos analíticos correctamente se deberá conocer la naturaleza y dirección de estas interacciones. Esto tiene que realizarse para todos los nutrientes y a todos los niveles de concentración.

• *Relación de antagonismos*

Nitrógeno:	N-K	N-Cu			
Fósforo:	P-K	P-Cu	P-Fe	P-Zn	P-B
Potasio:	K-Ca	K-Mg	K-Mn		
Calcio:	Ca-Mg	Ca-B	Ca-Zn	Ca-P	Ca-K
Magnesio:	Mg-Ca				
Azufre:	SO ₄ -Mo				
Hierro:	Fe-P	Fe-Cu	Fe-Mn	Fe-Zn	
Manganeso:	Mn-Fe				
Cobre:	Cu-Fe	Cu-Mn			
Zinc:	Zn-Fe				
Molibdeno:	Mo-Cu				



- ***Relación de sinergismos***

Nitrógeno:	N-Mg	N-P
Fósforo:	P-Mg	
Calcio:	Ca-B	
Magnesio:	Mg-P	
Molibdeno:	Mo-Mn	
Boro:	B - Ca	

- ***Interacciones en serie***

Se trata de las relaciones que pueden existir entre un elemento, X, que interacciona con otro elemento, Y. Si un tercer elemento, Z, interacciona con X puede ocurrir que Z también modifique a Y. Por ejemplo, la deficiencia de boro puede estar causada por un exceso de potasio. El boro y el potasio no son antagónicos, aunque un exceso de potasio antagoniza al calcio, el cual es, a su vez, sinérgico con el boro. En estos casos, este último elemento se verá afectado (Martin-Prével, 1984). Los excesos de potasio o magnesio pueden afectar también al incremento o disminución del calcio.

En los apartados anteriores se puede observar lo complejo que resulta el estudio de la composición foliar de una planta, cuando se trata de realizar adecuadas recomendaciones en la fertilización. En cambio, la detección de problemas nutricionales en un cultivo es más simple. Por ello, es fundamental establecer una relación entre los nutrientes existentes en el suelo, su disponibilidad para ser absorbidos por la planta y los contenidos de éstos en la hoja de muestreo.

4.2. Muestreo foliar

4.2.1. Objetivo del muestreo

Se podrá utilizar para: a) diagnosticar posibles estados carenciales o de toxicidad con síntomas visibles; b) predecir posibles estados carenciales sin síntoma visible en las hojas pero con respuesta negativa en la producción. Ejemplo: descenso de la producción, parada en el desarrollo de la planta, etc.; c) conocer la eficiencia de un análisis de suelo; d) determinar la efectividad de un plan de abonado y de esta manera conocer el estado nutricional de la planta. De esta forma se puede tratar de mejorar la producción y la calidad, esto es, para llegar al óptimo de producción; e) determinar los efectos medioambientales sobre los nutrientes disponibles y su absorción por la planta, ejemplo: en la zona de Almería

es común hacer análisis para conocer el estado nutricional de la planta, en el paso del otoño al invierno. Debido a la existencia de descensos acusados de temperatura y/o luz y los efectos significativos que tienen sobre la absorción de fósforo y manganeso.

4.2.2. Elección de las plantas

En los casos anteriores, exceptuando el a), se elegirán aquellas plantas que no se encuentren en los pasillos ni próximas a las bandas del invernadero. Se trata así de eliminar el denominado efecto de borde. Se muestrearán las plantas que representen el estado general y medio de todas las plantas del invernadero. Se desestimarán los extremos, en cuanto a tamaño y aspecto en general. Se deben elegir aproximadamente una veintena de plantas por invernadero de tamaño medio, 5000 m². En el caso a) se deben muestrear aquellas plantas que presenten los síntomas visibles de los cuales se desea conocer su origen.

4.2.3. Elección de la hoja de muestreo

El criterio de muestreo, en los cultivos hortícolas, se centra siempre en la hoja joven completamente formada de aquellas plantas seleccionadas según lo comentado en el apartado 4.2.2. Esta, por lo general, equivale a la 4-6 hoja desde la parte superior de la planta hacia abajo. Las hojas se elegirán a ambos lados de las líneas de cultivo. Se trata así de evitar posibles efectos sobre la orientación de las hojas. Cuando nos referimos a la hoja completa, incluimos el limbo o lámina y el peciolo. En cultivos de hoja, como la col china y lechuga, se elegirá la hoja inmediata a la cabeza de la planta. En plantas de semillero se elegirá el segundo o tercer par de hojas verdaderas. Posteriormente en cada cultivo se verá el criterio para cada caso en particular. El número de hojas oscilará entre 15-40, dependiendo del cultivo.



4.3. Pimiento, *Capsicum annuum* L.

4.3.1. Muestreo

Se muestrearán, en el caso de plantas de semillero, con 4-6 hojas verdaderas, la tercera o cuarta hoja contando desde abajo (limbo y peciolo). En planta adulta elegiremos la hoja joven recién formada, equivalente a una cuarta hoja empezando desde arriba. Generalmente estará junto a una flor y como en el caso anterior, incluyendo limbo y peciolo. Cuando las tasas de luz y temperatura son bajas el criterio de muestreo puede variarse. Tomaremos en este caso la segunda hoja. La persona que efectúe el muestreo es quien podrá decidir que tipo de hoja será la más conveniente, para evitar tomar hojas envejecidas. Estas hojas viejas son de nula interpretación, pudiendo llegar a confundir el diagnóstico. En éstas suelen encontrarse acumulaciones de elementos como el calcio o el sodio, que no son representativos desde el punto de vista de la interpretación. En los muestreos se deberá siempre anotar si la plantación se ha tratado con fungicidas que contengan productos como “maneb” o “zineb”, ditiocarbamatos de zinc o manganeso. Las sales de cobre pueden también distorsionar los resultados si la muestra no se ha podido descontaminar bien en el proceso de lavado previo al análisis.

4.3.2. Interpretación de los resultados (Casas, 1995-a)

Niveles normales en hojas de planta de pimiento en el inicio del cultivo y en producción. Los resultados están expresados sobre materia seca.

NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES									
Nitrógeno: 3.3-5.0 %	En el inicio del cultivo, en verano, se considera un nivel normal 6.0%. En producción, en invierno, niveles superiores a 5.15% se consideran altos.									
N-Nítrico: 0.6-0.8 %	El contenido de 0.8% está asociado a 6.2% de N, el nivel 0.6% a 5.0% de N y 0.55% a 3.91% de N.									
Fósforo: 0.3-0.6 %	En el inicio puede llegar a ser nivel normal 0.8%. Se considera nivel normal de producción, invierno, 0.35%.									
Potasio: 4.5-5.5 %	Se considera como nivel mínimo a mantener en producción, invierno, 4.0%.									
Calcio: 1.5-3.5 %	En el inicio del cultivo el nivel normal es 1.5%. En producción 1.8-2.0%. Valores superiores a 3.0% pueden estar asociados a niveles bajos de potasio.									
Magnesio: 0.75-1.3 %	Al comienzo del cultivo los niveles normales oscilan entre 0.75-0.80%. En plena producción entre 0.9-1.2%. Niveles > 1.3% están, por lo general, relacionados con carencias de potasio.									
Sodio: <0.04 %	Valores superiores a 0.07% son altos, debido al uso de aguas salinas. Los valores normales, con aguas de buena calidad, son inferiores a 0.015%.									
Cloruros: <0.75 %	<p>Se consideran altos los niveles superiores a 2.66%, motivados por el uso de aguas salinas. Los niveles con aguas de calidad adecuada para este cultivo están en 0.48%. Contenidos en sodio y cloruros y su relación con problemas de salinidad.</p> <table data-bbox="551 833 1009 917" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Sin problemas</td> <td>Na=0.015%</td> <td>Cl=0.48%</td> </tr> <tr> <td>Problemas</td> <td>Na=0.075%</td> <td>Cl=2.07%</td> </tr> <tr> <td>Serios problemas</td> <td>Na=0.095%</td> <td>Cl=2.66%</td> </tr> </table>	Sin problemas	Na=0.015%	Cl=0.48%	Problemas	Na=0.075%	Cl=2.07%	Serios problemas	Na=0.095%	Cl=2.66%
Sin problemas	Na=0.015%	Cl=0.48%								
Problemas	Na=0.075%	Cl=2.07%								
Serios problemas	Na=0.095%	Cl=2.66%								
Hierro: >80 mgkg ⁻¹	Los niveles ideales oscilan entre 100-150 mgkg ⁻¹ . Excesos de hierro pueden estar asociados a deficiencias de manganeso.									
Manganeso: >90 mgkg ⁻¹	El nivel óptimo oscila entre 100-120 mgkg ⁻¹ .									
Cobre: >6 mgkg ⁻¹	Los niveles encontrados en la zona de Almería oscilan entre 6-15 mgkg ⁻¹ . Valores superiores a 50 mgkg ⁻¹ suelen deberse a problemas de contaminación foliar por tratamiento con fungicidas a base de sales de cobre.									
Zinc: >40 mgkg ⁻¹	Los niveles normales oscilan, por lo general, entre 40-60 mgkg ⁻¹ . Valores superiores a 100 mgkg ⁻¹ están relacionados a problemas de contaminación por fungicidas que contienen zineb.									
Boro: >30 mgkg ⁻¹	Los valores óptimos oscilan entre 35-45 mgkg ⁻¹ .									



NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno:< 2.0-2.5%	
Fósforo: < 0.25%	El comienzo de los síntomas de carencia visibles se aprecia a 0.25 % y los síntomas son muy claros a 0.2 %.
Potasio:< 2.5%	Ejemplos de análisis con diferentes deficiencias de potasio y acumulaciones de calcio y magnesio. Ligeros síntomas K=2.31 % Ca=1.76 % Mg=1.33 % Síntomas acusados K=1.77 % Ca=3.41 % Mg=2.14 % Síntomas muy acusados K=0.47 % Ca=3.30 % Mg=2.55 %
Calcio: < 1.0%	Se pueden apreciar ligeros síntomas a 1.2%. Son muy claros a 0.8%.
Magnesio:< 0.49%	Ejemplos de análisis con diferentes deficiencias de magnesio asociadas a excesos de potasio. Mg=0.49 % K=7.97 % K/Mg=16.2 Mg=0.34 % K=6.46 % K/Mg=19.0
Hierro:< 66 mgkg ⁻¹	Se aprecian ligeros síntomas a 66 mgkg ⁻¹ . Síntomas muy acusados a 50.8 mgkg ⁻¹ .
Manganeso:< 45 mgkg ⁻¹	Los síntomas se inician a 45 mgkg ⁻¹ y se incrementan a 30 mgkg ⁻¹ .
Cobre:< 4 mgkg ⁻¹	Es un dato de la bibliografía. No se conocen casos de deficiencia de este elemento en la zona de Almería.
Zinc:< 30 mgkg ⁻¹	Síntomas claramente visibles para 13.9-14.3 mgkg ⁻¹ .
Boro:< 25 mgkg ⁻¹	Se aprecian los síntomas de forma clara a 14.2 mgkg ⁻¹ .

Niveles tóxicos	Observaciones
Manganeso:>1000 mgkg ⁻¹	Corresponde a suelos rojos, ácidos, de la zona de El Solanillo. Se han llegado a detectar valores próximos a 2000 mgkg ⁻¹ .
Boro: 95 mgkg ⁻¹	Origina deformaciones en los frutos.

• ***Niveles en hojas de plantas de semillero***

	Normal	Alto	Deficiente
Nitrógeno (%)	5.88	7.10	3.60
Fósforo (%)	1.09	1.31	0.65
Potasio (%)	5.70	6.50	4.87
Calcio (%)	>1.0	-	0.50
Magnesio (%)	0.77	1.10	0.39

	Normal	Alto	Deficiente
Sodio (%)	0.08	0.47	-
Hierro (mgkg ⁻¹)	115	-	51
Manganeso (mgkg ⁻¹)	140	260	30
Cobre (mgkg ⁻¹)	6.1	-	-
Zinc (mgkg ⁻¹)	30	226	20
Boro (mgkg ⁻¹)	20	-	-

4.3.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

• ***Nitrógeno***

La planta presenta una coloración pálida. Los síntomas aparecen en las hojas basales y se mueven desde éstas hacia arriba. Es difícil de observar en explotaciones comerciales. Unicamente se han detectado después de lluvias en invernaderos de techo plano, por efecto del lavado del suelo. Las concentraciones de nitrógeno a nivel foliar se deberán evaluar en función de la época del año. Los niveles más altos aparecerán en la floración e irán disminuyendo hasta la recolección. En semillero suele aparecer en la época de verano, por exceso de riego para controlar la temperatura. En este caso los síntomas aparecen en la primera hoja verdadera. También pueden aparecer cuando el nivel de fertilización de nitrógeno es bajo, para así tratar de evitar que aparezcan plantas con un tamaño excesivo. Los contenidos en nitrógeno amoniacal, generalmente presente ya en el sustrato original, han dado problemas de toxicidad con síntomas de quemadura en la hoja. (Fotos nº 1 - 2 - 3 y 4).

- **Corrección:** aplicación de nitrógeno, en forma de nitrato cálcico, vía radicular.

• ***Fósforo***

Presenta manchas internerviales irregulares en las hojas bajas, de color marrón tabaco, fundamentalmente por el envés. La carencia se mueve de las hojas inferiores a las superiores, como en el nitrógeno. Suele aparecer en los invernaderos a finales de diciembre y enero, por efecto de las bajas temperaturas del suelo. A veces, por un efecto multiplicativo, debido a fuertes aplicaciones de sulfato potásico para tratar de conseguir una coloración del fruto más rápida. (Foto nº 5).

- **Corrección:** mediante aplicación foliar, con ácido fosfórico. Hay en el mercado productos comerciales de este ácido al 75 %, con pequeñas concentraciones de dimetilsulfóxido, con buen efecto de penetración. La respuesta es muy buena.

• ***Potasio***

Los síntomas se presentan en las hojas inferiores, manifestando una amarillez en los bordes. Esta se mueve hacia el interior de la lámina y hacia la parte superior de la planta. Produce enanismo y gran desfoliación de las hojas basales. A nivel foliar se observa siempre un incremento en la concentración de magnesio. Se suelen detectar después de lluvias, por lavado del suelo, si éste es de carac-



terísticas arenosas. En el caso de fertilizaciones inadecuadas, cuando existen fuertes extracciones, es posible la aparición de esta carencia. (Fotos nº 6 - 7 y 8).

- **Corrección:** mediante aplicaciones de potasio al suelo en forma de sulfato potásico, si los niveles de nitrógeno son adecuados. Si no es así, aplicarlo en forma de nitrato potásico.

• **Calcio**

Presenta decoloraciones blanquecinas en el borde de las hojas jóvenes. Suele estar acompañada de la aparición de blossom-en rot (BER), quemadura apical de los frutos. Su incidencia tiene una componente varietal y suele aparecer, sobre todo, por desequilibrios hídricos. Estos están provocados por inadecuadas frecuencias de riego y/o problemas de salinidad en el suelo. Excesos en la relación K/Ca, suelen ser también causantes de esta fisiopatía. Niveles altos de nitrógeno amoniacal, procedentes de estercolados, tienen igualmente incidencia en la aparición del BER. Se puede detectar en los meses de octubre-noviembre y en invernaderos de suelo arcilloso, por problemas de encharcamiento. El calcio, por ser un elemento muy poco móvil en la planta, siempre causa problemas en la interpretación de los resultados. Es frecuente que la fisiopatía del BER no se pueda detectar mediante análisis foliar. En estos casos es imprescindible efectuar un análisis del suelo y poder discernir si es un problema de absorción de agua por exceso de conductividad eléctrica, o un nivel alto de potasio frente al calcio. (Fotos nº 9 y 10).

- **Corrección:** a veces no hay una buena respuesta a las aplicaciones foliares de quelatos de calcio para este cultivo. Por tanto, se aplicará por vía radicular un quelato de calcio, controlando la humedad del suelo mediante tensiómetros. Es conveniente efectuar un análisis del suelo y confirmar con el análisis foliar.

• **Magnesio**

Su sintomatología aparece en las hojas bajas. Presenta una decoloración amarillenta internervial que se mueve desde el centro de la lámina hacia los bordes y desde las hojas inferiores a las superiores. Suele estar inducida, casi siempre, por acumulaciones de potasio en el suelo procedentes del cultivo anterior. A veces proviene de aportes de potasio en el riego para así elevar la conductividad eléctrica del suelo y de esta manera, frenar el desarrollo de la planta e inducir la floración. En carencias con síntomas muy visibles habrá que tener mucho cuidado de no confundirla con una fitotoxicidad por clorpirifos o una posible carencia de potasio. La equivocación en este último caso puede provocar la pérdida del

cultivo, ya que produce una fuerte defoliación. El análisis foliar es la mejor herramienta para detectar la carencia. (Fotos nº 11 y 22).

- **Corrección:** mediante aplicación foliar de sulfato de magnesio (epsonita), o quelato de magnesio.

• **Hierro**

Presenta sus síntomas en las hojas jóvenes y dentro de éstas, en la base del foliolo. Es muy fácil de observar. Aparece fundamentalmente por un exceso de radiación en el momento en que se desencala el invernadero. Otras causas que inciden en la carencia son el encharcamiento, alta humedad, pobre aireación, baja temperatura, aplicaciones elevadas de calcio y fósforo, así como altos contenidos de cobre, manganeso y zinc. Como elemento poco móvil que es, resulta difícil interpretar los resultados analíticos, sobre todo los de hierro total. Por ello, otros contenidos de hierro en forma soluble, en medio ácido, pueden dar otros resultados más fáciles de interpretar. (Fotos nº 12 - 13 y 23).

- **Corrección:** mediante aportación por el riego de hierro en forma quelatada. El tipo de quelato estará en función del pH del suelo.

• **Manganeso**

Presenta una ligera decoloración internervial, en la cuarta o quinta hoja empezando desde arriba. Aparece con relativa frecuencia en la zona de Almería. Es un microelemento fundamental ya que controla, junto al molibdeno y al cobre, la síntesis de nitratos a nivel foliar. Su asimilación se ve disminuida con altos contenidos de potasio y fósforo, así como de hierro, cobre y zinc. Las bajas temperaturas favorecen la aparición de la carencia. (Fotos nº 14 y 15).

- **Corrección:** aplicación por vía foliar de quelatos de manganeso. Se debe de tener en cuenta que hay riesgo de posibles quemaduras en días de fuerte insolación.

- **Toxicidad de manganeso:** se detectó en la zona de El Solanillo, en 1987, en plantaciones tempranas, sobre suelos rojos y ácidos de pH=5.5. Presenta una sintomatología característica debido a los depósitos de bióxido de manganeso, MnO_2 , de color negro, que aparecen en las hojas medias y jóvenes a lo largo de la nerviación central. El borde de la hoja se necrosa y se curva hacia el envés (Casas, 1995-a). (Fotos nº 16 y 17).



Corrección de la toxicidad: se podrá encalar el suelo si la zona afectada está claramente delimitada. Si no es así, lo mejor es posponer la plantación hasta que la temperatura baje y disminuya la movilidad del manganeso. Abonar con concentraciones altas en fósforo y potasio, el primero como fosfato monoamónico y el segundo como hidróxido potásico. No se deben utilizar ácidos, nítrico o fosfórico, en la fertirrigación.

• **Cobre**

El crecimiento se frena y las hojas toman una coloración oscura. El margen se curva hacia el envés. No ha sido detectada esta carencia en cultivos en Almería.

- **Corrección:** aportación por vía foliar de quelatos de cobre.

- **Toxicidad de cobre:** se ha detectado únicamente en semilleros, debido a tratamientos masivos con sales de cobre, tratando de esta manera de controlar el crecimiento de la planta. Su sintomatología es la de una clorosis férrica.

Corrección de la toxicidad: debido a que es una toxicidad inducida, se eliminará la fuente que la origina. El empleo de quelatos de hierro, unido a dosis elevadas de fósforo, permitirá amortiguar los efectos de la toxicidad.

• **Zinc**

Su carencia aparece en las hojas inferiores y medias. Presenta una decoloración internervial similar a la del magnesio en sus inicios. La planta frena su crecimiento, provocando enanismo, ya que este elemento participa en los mecanismos de las auxinas. Esto origina una disminución en las concentraciones de indolacético. Esta carencia se empezó a detectar en pimiento hace unos siete años, posiblemente provocada por el abandono paulatino de compuestos de zineb. Aunque estos compuestos no servirían para corregir una carencia, sí permitirían mantener unos niveles mínimos de este elemento. (Foto nº 18).

- **Corrección:** mediante tratamiento foliar con quelato de zinc. Algunas veces la carencia suele ir asociada a una de manganeso.

- **Toxicidad de zinc:** sólo se ha detectado en semilleros por el uso de tuberías de galvanizado de zinc. Estas generan zinc al pasar por ellas la solución nutritiva de riego. También pueden aparecer por caída del agua condensada en las partes metálicas del invernadero. La solución en el primer caso es no utilizar tuberías de este material y en el segundo tratar de mantener lo más seco posible el interior del invernadero. (Foto nº 24).

Corrección de la toxicidad: como en el caso de la toxicidad de cobre, el uso de hierro y fósforo ayudará a solucionar el problema.

- **Boro**

Los síntomas aparecen en las hojas jóvenes. Se inicia con una amarillez en el ápice, que se va extendiendo a toda la hoja. La causa de la carencia es un aumento de las concentraciones de ion fosfato en suelos neutros o ligeramente ácidos. En suelos calcáreos, con pH alto, no se detecta. Otro causante de la carencia es la no fertilización con compuestos de boro cuando el nivel de éste en el agua de riego es bajo. (Fotos nº 19 y 20).

- **Corrección:** mediante tratamiento foliar o radicular de boro en forma de ácido bórico, borax, etc.

- **Toxicidad de boro:** no se detecta ya que las aguas que contienen excesos de este elemento son salinas y no se emplean en este cultivo.

4.4. Pepino, *Cucumis sativus* L.

4.4.1. Muestreo

En el muestreo foliar, en plantas adultas, se elegirá la quinta o sexta hoja empezando por arriba, equivalente a la hoja joven recién formada. Al referirnos a la hoja incluimos limbo y peciolo. En épocas frías, con los cultivos muy ralentizados por las bajas temperaturas, se necesitará seleccionar muy cuidadosamente la hoja de muestreo. Se evitará así elegir una hoja vieja cuyos niveles son imposibles de interpretar. En hojas viejas tiene lugar una acumulación de elementos poco móviles, como es el calcio. En estos casos, el criterio a emplear será elegir la hoja recién desarrollada, que podrá ser la tercera ó la cuarta. Si la temperatura es excesivamente baja nos encontraremos con plantas totalmente paradas por el frío. En estos casos se desistirá del muestreo foliar. Se deberá anotar si la plantación ha sido tratada recientemente con fungicidas o abonos foliares. La hoja de pepino por sus características suele presentar problemas a la hora de ser descontaminada, lavada, para su posterior análisis. En el caso de los fungicidas anti-mildiu, conteniendo maneb o zineb, ditiocarbamatos de manganeso o zinc, serán prácticamente imposibles de eliminar en este proceso. Si se emplean soluciones ligeramente aciduladas para el lavado, podrán dar origen a pérdidas de elementos como el calcio o el hierro. La aparición de las carencias de manganeso o zinc suele ocurrir en los meses coincidentes con los ataques de mildiu. Esto



hace muy difícil de interpretar los resultados analíticos.

El diagnóstico foliar permitirá conocer el estado nutricional del cultivo y efectuar correcciones en el abonado. Esto se hace necesario cuando nos adentramos en épocas poco favorables con respecto a luz y temperatura. Pueden detectarse así carencias de manganeso antes de presentar sus síntomas visibles. En estos casos se muestrearán las hojas de aquellas plantas que representen el estado medio del cultivo. Cuando la plantación presente síntomas visibles de alguna carencia, se deberán muestrear únicamente las plantas afectadas.

El número de hojas completas que hacen falta para el muestreo foliar será de quince a veinte. Los niveles que se comentan a continuación están relacionados a hojas completas. Se deberá de tener sumo cuidado al utilizar la bibliografía referente a este cultivo ya que el método ADAS británico utiliza únicamente los limbos. El método INRA francés establece relaciones entre limbo y peciolo. Existen también métodos de diagnóstico utilizando exclusivamente el peciolo de la hoja. Por ello es muy importante, a la hora de comparar distintos niveles, el saber qué parte de la planta se ha utilizado.

4.4.2. Interpretación de los resultados (Casas, 1995-b)

Niveles normales en hojas de planta adulta. Resultados expresados sobre materia seca.

NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES																		
Nitrógeno: 4.0-5.5%	Valores superiores a 5.75 % se consideran altos. El nivel óptimo en otoño-invierno será de 4.5 %.																		
N-Nitrógeno: 0.3-1.0%	Se considera nivel óptimo 0.5%																		
Fósforo: 0.4-0.8%	Niveles superiores a 1.0% son excesivos. En época invernal, enero, se considera alto por encima de 0.7%. Los valores óptimos en otoño-invierno oscilan entre 0.5-0.6%.																		
Potasio: 3.25-4.80%	Valores superiores a 5% son altos. Los niveles óptimos, en función de la época, son: 4.5% en agosto, 3.5-4.0% septiembre-octubre y 3.25-3.5% en noviembre-diciembre. Excesos de potasio inducen carencias de calcio, ej.: K=5.04%, Ca=1.44% y K=6.02%, Ca=2.19% Las relaciones K/Ca, en ambos casos oscila entre 3.5-2.75, que son altas.																		
Calcio: 2.0-3.5%	Niveles superiores a 3.5-4.0% sugieren una clara acumulación. Se pueden detectar valores de calcio de 1.75 % asociados a niveles de potasio de 3.75% sin sintoma de carencia. Sólo se han detectado en cultivos sin suelo. El nivel óptimo se encuentra en 2.5-3.0%																		
Magnesio: 0.45-0.8%	Los contenidos superiores a 0.9-1.0% se consideran altos. Los niveles óptimos oscilan entre 0.55-0.65%.																		
Sodio: < 0.10%	Contenidos superiores a 0.14% son moderados y altos los mayores de 0.25%.																		
Cloruros: < 1.10%	Se consideran valores moderados por encima de 1.4% y altos a los >1.77%. La relación a nivel foliar entre cloruros y sodio es la siguiente: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>% Sodio</th> <th>% Cloruros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.093</td><td>1.10</td></tr> <tr><td>0.14</td><td>1.40</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>1.77</td></tr> <tr><td>0.26</td><td>1.93</td></tr> <tr><td>0.28</td><td>2.68</td></tr> <tr><td>0.33</td><td>2.58</td></tr> <tr><td>0.35</td><td>3.13</td></tr> <tr><td>0.40</td><td>3.45</td></tr> </tbody> </table> <p>El coeficiente de correlación es $r=0.9739$</p>	% Sodio	% Cloruros	0.093	1.10	0.14	1.40	0.25	1.77	0.26	1.93	0.28	2.68	0.33	2.58	0.35	3.13	0.40	3.45
% Sodio	% Cloruros																		
0.093	1.10																		
0.14	1.40																		
0.25	1.77																		
0.26	1.93																		
0.28	2.68																		
0.33	2.58																		
0.35	3.13																		
0.40	3.45																		
S-Sulfatos: 0.54-0.56%	Considerado como nivel de referencia en plantas con desarrollo óptimo.																		
Hierro: 90-200 mgkg ⁻¹	El nivel óptimo es siempre mayor de 100 mgkg ⁻¹ . Es conveniente aportar hierro con contenidos de 80 mgkg ⁻¹ .																		
Manganeso: 100-300 mgkg ⁻¹	Se considera ideal entre 100-150 mgkg ⁻¹ .																		
Cobre: 5-15 mgkg ⁻¹ .																			
Zinc: 40-100 mgkg ⁻¹	Se consideran valores adecuados entre 50-60 mgkg ⁻¹ . Los comprendidos entre 30-40 mgkg ⁻¹ son moderados y es conveniente aportar zinc.																		
Boro: 30-60 mgkg ⁻¹	Son altos los valores próximos a 90 mgkg ⁻¹ . Los ideales están próximos a 35 mgkg ⁻¹ .																		



NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: < 3.0%	Se detectan carencias con síntomas visibles en fruto a 3.8%. Tienen lugar en épocas de gran desarrollo de la planta y en variedades muy productivas. En estos casos el contenido de nitrógeno debería ser de 5.0-5.5%.
N-Nítrico: < 0.1%.	
Fósforo: < 0.3%	
Potasio: < 2.5%	Con claros síntomas visibles a 1.46%.
Calcio: < 1.5%	Ligeros síntomas con niveles de 1.8% en función del valor del potasio. Los síntomas son claros por debajo de 1.3% y muy acusados para el 1.0%.
Magnesio: < 0.29%	Los síntomas son muy claros para 0.23%. Las carencias de este elemento no suelen, por lo general, estar asociadas a acumulaciones de potasio. Es frecuente encontrar valores de magnesio de 0.29% y 0.23% asociados a contenidos en potasio de 4.5% y 4.18% respectivamente.
S-Sulfatos: < 0.25%	Este valor es el correspondiente a la bibliografía, según Winsor y Adams, 1987.
Hierro: < 70 mgkg ⁻¹	Se pueden detectar ligeros síntomas visuales a 77 mgkg ⁻¹ . La deficiencia con síntoma visual es muy clara a 70 mgkg ⁻¹ .
Manganeso: < 60 mgkg ⁻¹	Los valores próximos a 50 mgkg ⁻¹ presentan síntomas visibles muy marcados.
Cobre: < 3.0 mgkg ⁻¹	No se dispone de un valor adecuado de la carencia, sólo ha sido detectado un caso. Según la bibliografía estará entre 3.0-4.0 mgkg ⁻¹ .
Zinc: < 30 mgkg ⁻¹	Presenta síntomas visuales muy claros a 27 mgkg ⁻¹ .
Boro: < 25 mgkg ⁻¹	Los síntomas son fáciles de distinguir por debajo de 20 mgkg ⁻¹ .

4.4.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

• **Nitrógeno**

La planta muestra una coloración verde pálida muy generalizada. Los síntomas aparecen en las hojas inferiores y se desplazan hacia las superiores. Es de difícil observación. El crecimiento disminuye drásticamente. La sintomatología es fácil de observar en los frutos. Estos presentan un estrechamiento en su extremo al que se denomina "chupado". Se detectaron a raíz de la aparición de variedades nuevas muy productivas. Con aumento de la fertilización nitrogenada se consiguió corregir este problema. Esto indica que los contenidos de este elemento deberán elevarse en función de la época del año, del estado de desarrollo de la planta y de la variedad. (Foto nº 25).

- **Corrección:** aplicación de nitrato cálcico por el sistema de riego.

- **Toxicidad de nitrógeno:** se muestra con fuertes quemaduras en el borde de las hojas bajas. Cuando ésta es ligera aparece un borde blanquecino. Se suele detectar en los cultivos enarenados, después de aportaciones elevadas de estiércol. Se debe tener en cuenta que fertilizaciones excesivas en nitrógeno pueden provocar envejecimiento prematuro de la plantación. Los frutos pueden presentar coloración amarillenta por este motivo.

• **Fósforo**

El síntoma aparece en las hojas bajas. Estas muestran unas manchas de color marrón, de distribución irregular sobre la lámina, y que se mueven hacia las hojas superiores. Su sintomatología recuerda al de un mildiu recién tratado. Se detecta en las épocas muy frías del invierno. Es posible también su aparición si el nivel de fertilización es bajo o existen altos contenidos de calcio soluble en el suelo.

- **Corrección:** aplicación de fósforo por el riego o mediante vía foliar con ácido fosfórico al 75%. Existen en el mercado marcas comerciales de este ácido con pequeñas cantidades de dimetilsulfóxido que tienen un buen efecto de penetración.

• **Potasio**

Se muestra en las hojas bajas con un borde amarillento, que se desplaza hacia el interior de la lámina y se mueve hacia la zona superior de la planta. El síntoma inmediato es un acortamiento de los entrenudos, unido a un estrechamiento de los frutos junto al pedúnculo. El estrechamiento aparece en el extremo opuesto al del nitrógeno. Su origen puede estar motivado por inadecuados abonados cuando se utilizan relaciones altas N/K. Excesos en calcio y magnesio soluble en el suelo pueden bloquear de manera drástica la absorción de potasio. Es muy frecuente en determinadas zonas debido al exceso de estos iones en el agua de riego. El diagnóstico foliar es el mejor método de conocer este tipo de carencias. (Fotos nº 26 y 27).

- **Corrección:** estará en función de los niveles de nitrógeno existentes en el suelo. Si son normales, se aplicará el potasio en forma de nitrato potásico. Si el contenido de nitrógeno es ligeramente alto, se aplicará en forma de sulfato potásico. En ambos casos será siempre por vía radicular.



• **Calcio**

El síntoma de la carencia se muestra con un borde blanquecino en las hojas jóvenes. Su característica es muy peculiar, mostrando un curvamiento hacia el envés de la hoja. Es muy común en la zona del Poniente y su origen puede estar motivado por problemas de salinidad en el suelo. Una alta humedad relativa, por lo general asociada a una disminución de luz, impide la absorción de calcio por el sistema radicular. Es un claro accidente climático. En estos casos se deberá aplicar calcio vía foliar, aunque los niveles en el suelo sean los correctos. El exceso de potasio bloquea de manera significativa la absorción de calcio, llegando a producir curvamientos de los frutos. (Fotos nº 28 y 29).

- **Corrección:** aplicación de sales de calcio por el sistema de riego. Pueden ser en forma nítrica o quelatada. Por vía foliar resulta más efectivo el uso de quelato de calcio.

• **Magnesio**

Presenta una decoloración amarilla internervial que se mueve desde el centro de la hoja hacia los bordes y de las hojas inferiores a las superiores. En el caso de carencia con síntoma visible claro es muy fácil de observar que el borde de la hoja permanece verde. En las carencias de potasio el borde es desde el principio de las mismas de color amarillo. Cuando la carencia de magnesio es muy acusada es difícil observar lo anteriormente comentado. Se hace hincapié en este comentario para evitar posibles confusiones en el diagnóstico visual. Hace unos años esta carencia era bastante común. Hoy en día no aparece debido a su prevención mediante abonados con este elemento. Se debe tener en cuenta que aguas de riego con contenidos en magnesio menores de 3.0 meL^{-1} deberán de ser corregidas en la fertilización. La causa de la carencia de este elemento, además de una inadecuada fertilización, puede deberse a excesos en calcio o potasio. (Foto nº 30).

- **Corrección:** aplicación foliar de magnesio en forma de sulfato de magnesio (epsonita) o quelato de magnesio. En aquellas aguas de riego con contenidos inferiores a 3.0 meL^{-1} de magnesio es conveniente incluir en los caldos para tratamientos un aporte de 0.5 gL^{-1} de epsomita. De este modo ésta se aplicará aprovechando los tratamientos periódicos de fungicidas vía foliar.

• **Azufre**

Presenta una coloración pálida en las hojas jóvenes. Puede ser confundida con una carencia de nitrógeno. En la zona de Almería es muy rara, por no

decir inexistente, cuando se cultiva en suelo. La hoja presenta una característica que la hace fácilmente identificable, ya que aparte de la coloración pálida el borde presenta forma de sierra.

- **Corrección:** utilización de fertilizantes que contengan sulfatos.

• **Hierro**

La carencia aparece en las hojas jóvenes. Presentan una coloración amarillenta mientras que las nerviaciones permanecen verdes. Esta coloración también la muestran los frutos. En la zona del Poniente se suele detectar después del desenclado de los invernaderos. Este exceso de radiación es el causante principal de la carencia, aunque también pueden serlo excesos de fósforo, calcio y zinc, así como la falta de aireación del suelo, por encharcamiento. Como en el cultivo anterior, los contenidos de hierro foliar son difíciles de interpretar. Por ello, cuando están próximos al mínimo, antes de mostrar los síntomas, deberán ser corregidos. (Fotos nº 33 - 34 y 35).

- **Corrección:** aplicación de quelatos de hierro por vía radicular. El tipo de quelato estará en función del pH del suelo.

• **Manganeso**

Muestra una ligera coloración amarilla internervial a partir de la cuarta hoja empezando por arriba. Es muy fácil de observar en otoño, cuando disminuye la temperatura del suelo. Como es un microelemento que participa en la síntesis del nitrógeno, su carencia origina fuertes desajustes en la planta. Su asimilación disminuye con altos contenidos de fósforo, calcio, hierro y zinc. A diferencia del hierro, el encharcamiento mejora la absorción de este elemento. (Foto nº 36).

- **Corrección:** aplicación, por vía foliar, de quelatos de manganeso. Como son compatibles con los fungicidas, se pueden aprovechar los tratamientos con éstos para corregir de forma preventiva posibles carencias. Se debe tener en cuenta que existen riesgos de provocar quemaduras foliares cuando se trata con quelatos de manganeso en días de fuerte insolación.

• **Cobre**

Presenta un ligero moteado en las hojas jóvenes. Este es más acusado en las hojas basales. Los bordes de las hojas presentan un ligero curvamiento hacia el envés. Es una carencia muy difícil de observar. Los frutos muestran una coloración amarillenta que puede ser confundida con algún tipo de virosis.



- **Corrección:** aplicación de una sal de cobre por vía foliar.

• **Zinc**

La sintomatología de la carencia aparece en las hojas inferiores y las medias. Presentan una decoloración internervial muy similar a la de la carencia de magnesio. Esta carencia induce fuertes enanismos ya que es un elemento que participa en los mecanismos de las auxinas. En la zona del Poniente se está observando cada vez más este tipo de carencia. Puede deberse a la utilización de complejos de microelementos con altas relaciones de hierro y manganeso frente al zinc. El exceso de fósforo es un claro inductor de la carencia. El mejor método de diagnóstico es el análisis foliar. Como en el caso del manganeso, si no se corrige la carencia, se producirán pérdidas de producción importantes. (Foto nº 37).

- **Corrección:** tratamiento por vía foliar con un quelato de zinc. A nivel radicular es conveniente utilizar complejos de microelementos con contenidos en zinc más altos y en su defecto, adicionar un quelato de zinc.

• **Boro**

Los síntomas aparecen en las hojas jóvenes. Presenta una decoloración en el extremo del ápice muy difícil de observar. Los frutos pueden mostrar unas cortaduras características, que no deben ser confundidas con las rozaduras producidas por las hojas ni con las causadas por desequilibrios de humedad/temperatura. El origen de esta carencia, en la mayoría de los casos, se debe a la falta de fertilización con boro en el cultivo. Si no se hacen aportaciones suplementarias de este elemento, en aquellas aguas de riego con niveles inferiores a 0.1 mgL⁻¹, el riesgo de carencia aumenta considerablemente. El contenido mínimo de la solución nutritiva de riego deberá estar en torno a 0.25-0.30 mgL⁻¹ de boro. Aplicaciones elevadas de calcio y fosfatos pueden incidir en la carencia.

- **Corrección:** aplicación foliar o radicular de compuestos de boro.

• **Molibdeno**

Muestra una decoloración internervial en las hojas jóvenes. En las hojas inferiores la decoloración se asemeja más a una quemadura. Se suele detectar en suelos con niveles de caliza prácticamente nulos, pH próximo a la neutralidad y sobre todo con contenidos elevados de sulfatos. Este ion, SO₄²⁻, es un fuerte antagonista del molibdato, MoO₄²⁻, que es como el sistema radicular lo absorbe. Se debe tener sumo cuidado en controlar las acumulaciones de sulfatos en los

suelos, para evitar posibles carencias. (Foto nº 38).

- **Corrección:** tratamiento por vía foliar con sales amónicas o sódicas de molibdeno.

4.5. Judía, *Phaseolus vulgaris* L.

4.5.1. Muestreo

Se elegirá para el muestreo, en plantas adultas, la hoja joven recién formada. Esta es equivalente a la cuarta-sexta hoja contando desde la parte superior. Si existen dudas sobre la posición de las hojas, se toman aquellas que estén junto a un fruto recientemente formado, “alfilerillo”. Si todavía no los tiene, se muestreará la hoja más próxima a una flor. Es fundamental no equivocarse a la hora de efectuar la elección de ésta. Si se escogen hojas viejas se tendrán que interpretar resultados en los que aparezcan acumulaciones de elementos, como el calcio, sin interés. La hoja de muestreo es la hoja completa, es decir, los tres foliolos y el peciolo. En la toma de la muestra se deberá especificar si se ha tratado recientemente por vía foliar con fungicidas o abonos foliares. El muestreo se puede realizar para conocer el estado nutricional del cultivo. En este caso se elegirán las hojas de aquellas plantas que representen, desde el punto de vista estadístico, la media del cultivo. Si se realiza para diagnosticar un desajuste nutricional, se elegirán las hojas de las plantas que presenten los signos claros del problema. El número de hojas será aproximadamente de veinte por módulo o invernadero. Si la superficie a muestrear es superior se tomará un mayor número de hojas. En el caso de diagnosticar un posible problema nutricional, con signo visible, serán suficientes quince hojas. Es conveniente, al mismo tiempo que se seleccionan las hojas, tomar una muestra del suelo, por si es necesaria para confirmar o ayudar a la interpretación de los resultados foliares.

4.5.2. Interpretación de resultados

Niveles normales en hojas de planta joven y adulta. Resultados expresados sobre materia seca.



NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: 3.0-5.0%	El valor superior corresponde al de una hoja de planta joven, con 35 días desde la siembra, y en el inicio de la floración.
N-Nitrato: 0.40-0.60%	El valor 0.6% corresponde a la planta joven.
Fósforo: 0.4-0.9%	Se consideran niveles altos los superiores a 1.15%. El valor de 0.9% corresponde a una planta joven.
Potasio: 3.0-4.5%	Valores por encima de 4.7% son altos. En la planta joven el valor es 4.5%.
Calcio: 1.8-4.0%	En la planta joven el contenido en calcio es de 1.82%.
Magnesio: 0.4-0.8%	El magnesio en la planta joven alcanza el 0.62%.
S-Sulfatos: 0.27%	
Sodio: < 0.03%	Se considera un nivel alto por encima de 0.059%. El daño por salinidad aparece con 0.086%. El contenido en la planta joven es de 0.025%.
Cloruros: < 0.40%	Aparece un daño claro por exceso de éstos a 1.86%. En la planta joven el contenido en cloruros es de 0.35%.
Hierro: >100 mgkg ⁻¹	El contenido de referencia en la planta joven es de 100 mgkg ⁻¹ .
Manganeso:>100 mgkg ⁻¹	El nivel de referencia en la planta joven es de 149 mgkg ⁻¹ .
Cobre: 10-15 mgkg ⁻¹	En la planta joven es de 10.3 mgkg ⁻¹ .
Zinc: > 35 mgkg ⁻¹	El nivel de referencia de la planta joven es de 56 mgkg ⁻¹ .
Boro: > 28 mgkg ⁻¹	En la planta joven el contenido de boro es de 27.9 mgkg ⁻¹ .

NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno:< 2.65 %	Este valor corresponde al inicio de los síntomas de carencia.
Fósforo: < 0.20 %	Los síntomas comienzan a mostrarse por debajo de este valor.
Potasio: < 2.0 %	
Calcio:< 1.65 %	Se deberá de tener sumo cuidado con los síntomas visibles de esta carencia ya que son idénticos a los de una de boro. Ejemplo: con un contenido de Ca = 1.65% hay síntomas de carencia. El contenido de boro en ese momento era de 60.2 mgkg ⁻¹ .
Magnesio: < 0.34 %	Este valor corresponde al inicio de los síntomas de la carencia.
Hierro: <55 mgkg ⁻¹	
Manganeso: < 40 mgkg ⁻¹	
Cobre: < 3.6 mgkg ⁻¹	
Zinc: < 28 mgkg ⁻¹	Los síntomas son claramente visibles para 13.7 mgkg ⁻¹ .
Boro: < 22.8 mgkg ⁻¹	

NIVELES TOXICOS	OBSERVACIONES
Boro: 193 mgkg ⁻¹	Este valor corresponde a una aplicación excesiva de boro al suelo. El contenido de boro en el extracto saturado era de 2.20 mgL ⁻¹ .

4.5.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

• **Nitrógeno**

Las hojas y la planta en general presentan una coloración amarilla pálida. Los síntomas aparecen en las hojas bajas, moviéndose hacia la parte superior de la planta, en donde la coloración suele ser normal. El crecimiento de la planta se ralentiza. Se desarrollan pocas flores y las vainas engordan poco. Hay que tener en cuenta que la judía tiene una demanda relativamente alta de nitrógeno durante la formación y llenado de las vainas. No es una carencia fácil de observar en los invernaderos de la zona del Poniente. Su origen, por lo general, es debido a una mala fertilización nitrogenada. También puede aparecer por lavado del suelo, en invernaderos de techo plano, después de lluvias abundantes y fundamentalmente en suelos de textura ligera. Los niveles más altos en nitrógeno foliar corresponden a plantas jóvenes, disminuyendo conforme envejece el cultivo. Las carencias de manganeso suelen aumentar el contenido de nitrógeno en hoja. En época invernal, con bajos niveles de luz, se suelen detectar también acumulaciones de nitrógeno en las hojas. Debido a la fuerte interacción N/P y N/K se deben vigilar los posibles excesos en la fertilización nitrogenada. Estos hacen más susceptible a la planta frente al ataque de insectos y enfermedades en general. El exceso de nitrógeno amoniacal puede provocar problemas en la absorción de calcio del suelo. Además, produce una depresión sobre la fabricación de carbohidratos, originando una disminución del crecimiento de la planta (Hall y Schwartz, 1993; Davis, 1997).

- **Corrección:** aplicación de nitrógeno, como nitrato cálcico, por vía radicular.

• **Fósforo**

Las hojas basales de la planta presentan unas manchas violáceas. Los síntomas aparecen en las hojas viejas y se desplazan hacia las jóvenes. El tamaño de la hoja se hace más pequeño y la planta presenta una coloración verde oscura en las hojas superiores. El envejecimiento del cultivo se acentúa rápidamente y es muy claro el acortamiento entre nudos. Abortan muchas flores y el número de frutos disminuye (Hall y Schwartz, 1993). Suele detectarse en los invernaderos en épocas frías por los problemas de absorción de fósforo a estas temperaturas. El exceso de fósforo provoca problemas en la relación N/P, en cuanto a la absorción de nitrógeno nítrico. Al mismo tiempo antagoniza la absorción de microelementos. Entre ellos figuran el hierro y el zinc. (Foto nº 42).

- **Corrección:** incrementar el aporte de fertilizante fosforado vía radicular, en forma de ácido fosfórico. Es conveniente conocer si existe una posible causa



que impida la absorción de fósforo. Cuando la carencia es muy acentuada y sobre todo en épocas frías se debe aportar ácido fosfórico vía foliar.

• **Potasio**

Los síntomas se presentan en las hojas inferiores. Esta se manifiesta mostrando una amarillez en los bordes de la hoja que se moverá hacia el interior de la lámina. Después se desplazará hacia la parte superior de la planta. La clorosis marginal en el borde de las hojas, cuando se acentúa, llega a provocar una quemadura que va progresando hacia el interior de la hoja. La planta presenta síntomas de enanismo, se acortan los entrenudos y puede llegar a disminuir el crecimiento radicular. El origen casi siempre se debe a lavados del suelo por lluvia, en los de textura arenosa. Así mismo, puede deberse a la utilización de bajos niveles de fertilización potásica o por mantener niveles altos de calcio y/o magnesio en el suelo, que antagonizan la absorción de potasio. Por lo mismo, excesos de potasio provocan desequilibrios en la absorción del magnesio y del calcio. (Fotos nº 43 y 44).

- **Corrección:** se debe efectuar siempre por vía radicular. Si el nivel de nitrógeno es alto se aplicará en forma de sulfato potásico. En caso contrario, como nitrato potásico.

• **Calcio**

Presenta decoloraciones blanquecinas en el borde de las hojas jóvenes. Conforme avanzan los síntomas, el borde de la hoja se necrosa. Esto origina a su vez un envejecimiento precoz de la plantación (Hall y Schwartz, 1993). El borde de la hoja presenta un ligero curvamiento hacia el envés. Este es similar, aunque menos acusado, al del pepino. Su incidencia suele estar relacionada con problemas de estrés hídrico. Los excesos de salinidad, fundamentalmente de sodio, unido a altas relaciones K/Ca y en raras ocasiones Mg/Ca, inducen la carencia. El abonado nitrogenado excesivo, en forma amoniacal, dificulta la absorción de calcio. Se deberá tener mucho cuidado a la hora de interpretar los síntomas visibles de esta carencia, ya que son muy similares a los del boro. El análisis foliar permitirá discernir el problema. Este, asociado al análisis de suelo, posibilitará la aclaración del problema. Al mismo tiempo, el estrés hídrico y el encharcamiento provocan problemas con el calcio que no serán detectables con análisis de suelo. Niveles excesivos en calcio a nivel foliar suelen relacionarse con carencias de potasio o magnesio. (Fotos nº 45 y 46).

- **Corrección:** aplicación por vía foliar o radicular de un quelato de calcio. La utilización de nitrato cálcico estará en función de los valores que se obtengan

en el análisis de suelo.

- ***Magnesio***

Su sintomatología aparece en las hojas bajas. Estas muestran una decoloración internervial, que se mueve desde el centro de los folíolos hacia los bordes. Desde las hojas inferiores a las superiores. Cuando los síntomas son muy acusados, el núcleo de la lámina toma una coloración rojiza. Esta coloración es muy típica en la judía y similar a las que presentan con las carencias de manganeso y potasio cuando son extremas. La causa de la carencia de magnesio suele estar relacionada con bajos niveles de magnesio en el agua de riego o con aportes inadecuados para el cultivo. Los excesos de calcio y potasio en el medio radicular reducen la absorción de magnesio ya que este catión no puede competir frente al calcio o el potasio. (Foto nº 47).

- ***Corrección:*** mediante aplicación foliar de sulfato de magnesio (epsonita), o quelato de magnesio.

- ***Azufre***

Los síntomas son muy similares a los de una carencia de nitrógeno. Estos comienzan a aparecer en las hojas jóvenes. Esta carencia no ha sido detectada en la zona del Poniente. Si se sospechan posibles problemas de azufre, una manera rápida de detectarlos es determinando el contenido de nitrógeno nítrico en las hojas. De esta manera se podrá discernir entre S o N.

- ***Corrección:*** aplicación de fertilizantes que contengan sulfatos.

- ***Hierro***

Los síntomas se presentan en las hojas jóvenes. Estas muestran una coloración amarillenta, aunque la nerviación central de los folíolos permanecerá inicialmente verde. Cuando la carencia es muy acusada, el nervio también aparece de color amarillo. El exceso de luz en los invernaderos recién desescalados, así como el encharcamiento, que origina una pobre aireación del suelo, inducen la clorosis férrica. El exceso de fosfatos puede provocar la precipitación del hierro, en forma de fosfatos férricos (Hall, 1991). Hace insoluble una fracción inicial de hierro que era asimilable. El exceso de bicarbonatos incide también en la clorosis férrica. Parece ser que interfiere con la traslocación del hierro en la planta. La acumulación de microelementos, como cobre, manganeso o zinc, impiden la absorción de hierro. (Foto nº 48).



- **Corrección:** aplicación vía radicular de hierro en forma quelatada. El quelato a utilizar estará en función del pH del suelo.

• ***Manganeso***

Sus síntomas aparecen en la tercera y cuarta hoja, contando de la cabeza de la planta hacia abajo. Presenta un punteado muy tenue, internervial, que conforme avanza la carencia se mueve hacia arriba y abajo en la planta. Esta llega a presentar una coloración amarillenta en toda la hoja, pudiendo llegar a ser rojiza en las hojas inferiores. El manganeso, junto al molibdeno y el cobre, controla la síntesis de nitratos a nivel foliar. Por ello su carencia origina problemas en la cadena del nitrógeno en la planta. Los frutos pueden presentar una coloración amarilla pálida, así como un tamaño insuficiente. La absorción radicular disminuye por niveles altos de potasio, hierro, cobre y zinc, así como por la baja temperatura del suelo (Davis, 1997). (Foto nº 49).

- **Corrección:** aplicación de quelatos de manganeso por vía radicular o foliar.

- **Toxicidad de manganeso:** la toxicidad de este elemento, en suelos ácidos, no la hemos detectado nunca. En el caso de que se presentase, la utilización de fosfatos junto a quelatos de hierro, ayudaría a reducir la absorción de manganeso. (Foto nº 52).

• ***Cobre***

No se conocen, en las zonas comentadas, problemas de deficiencias en este elemento. Su sintomatología afecta a las hojas jóvenes. Estas presentan una coloración grisácea o azul verdosa, con áreas irregulares necróticas cerca de la base de los folíolos. Las plantas afectadas presentan un acortamiento en los entrenudos. Aplicaciones excesivas de fertilización nitrogenada, especialmente en forma de nitrógeno amoniacal, incrementa la deficiencia en cobre. El fósforo es otro elemento que afecta a la absorción del cobre.

- **Corrección:** tratamiento, vía foliar, de quelato de cobre.

• ***Zinc***

Los síntomas se muestran en el tercio inferior de la planta. Esta presenta una decoloración amarillenta, internervial, que se mueve hacia la parte superior de la planta. Conforme progresa la carencia se va extendiendo la clorosis hacia la nerviación central de los folíolos. La hoja, por lo general, disminuye de tamaño y los frutos presentan un aumento del grosor de la vaina. La carencia siempre ha estado

relacionada con altos niveles de fósforo. Este elemento interfiere en el metabolismo del zinc, así como en su absorción a través de la raíz. Niveles altos de zinc inducen deficiencias de hierro, particularmente en la judía, que es una planta sensible a este elemento. (Fotos nº 50 y 51).

- **Corrección:** tratamiento por vía foliar con quelatos de zinc.

• **Boro**

Los síntomas se presentan en las hojas jóvenes, con una decoloración blanquecina en el borde de la hoja, son muy similares a los de la carencia de calcio. La deficiencia afecta a la floración y si ésta es grave, pueden llegar a ser abortadas. Los frutos pueden presentar deformaciones. El sistema radicular se inhibe, llegando a producirse una gelatinización en el extremo de la raíz. La causa de la deficiencia puede relacionarse con un contenido elevado de fósforo soluble en el suelo. Este antagoniza la absorción de boro, que se produce en forma de ion borato. Este mecanismo suele ocurrir en suelos neutros o ligeramente ácidos. No está claro que ocurra a pH más elevados. Los contenidos elevados de calcio en la planta originan unas necesidades también altas de boro. Si al mismo tiempo el nivel de potasio es elevado, puede acentuar el efecto negativo de la falta de boro en la hoja. Valores altos de nitrógeno orgánico, provenientes de un fuerte estercolado, pueden reducir la asimilación del boro. (Foto nº 53).

- **Corrección:** mediante tratamiento foliar o radicular con una sal de boro.

- **Toxicidad de boro:** se detectó tras un aporte elevado de boro al suelo. El exceso provoca una amarillez en el borde de las hojas a las que sigue una necrosis de las mismas. (Fotos nº 54 y 55).

• **Molibdeno**

Los síntomas de deficiencia son similares a los del nitrógeno. Aparece en cultivos sobre suelos de pH ácido, así como en aquellos de pH neutro y con concentraciones elevadas de ion sulfato. Este sulfato efectúa un claro antagonismo sobre el ion molibdato, que es la forma de absorción del molibdeno por el sistema radicular. Si la fertilización nitrogenada es sobre todo nítrica, las necesidades de molibdeno serán también altas. En estos casos deberán vigilarse los aportes de molibdeno. Cuando la fertilización nitrogenada es fundamentalmente amoniacal, parece ser que las necesidades de molibdeno son menores.

- **Corrección:** aplicación vía foliar de molibdeno en forma de sal amónica o sódica.



- **Toxicidad por sodio y cloruros**

La judía es muy sensible a la salinidad y, en particular, a niveles altos de NaCl en el suelo. La planta reduce su crecimiento. En el borde de las hojas se producen quemaduras, pudiendo llegar a perderse el cultivo. No es normal encontrar problemas de salinidad porque las aguas que se suelen utilizar son de baja salinidad. El problema puede venir de acumulaciones de cloruro sódico, provenientes de un anterior cultivo. Por ello, en la judía, es primordial hacer un análisis químico del suelo antes de iniciar la plantación. Esto permitirá efectuar un lavado del suelo si fuese necesario.

4.6. Tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill

4.6.1. Muestreo

El criterio de muestreo que se sigue en este cultivo es el general de los cultivos hortícolas, es decir, hoja joven completamente formada. Esta, en el cultivo del tomate, equivale a la cuarta empezando por arriba. La hoja es completa, con limbo y peciolo. A la hora de manejar datos de la bibliografía se deberá tener en cuenta que pueden ser de peciolos o de hojas de tomate en donde éstos han sido eliminados. Si se trata de diagnosticar una posible carencia, se muestrearán únicamente las plantas afectadas. Si se desea conocer el estado nutricional del cultivo se muestrearán aquellas plantas que representen el estado medio de éste. El número de plantas a muestrear será de unas veinte. Al enviarlas al laboratorio se hará constar si el cultivo ha sido tratado en los últimos días con productos fitosanitarios o abonos foliares. Uno de los elementos más distorsionadores del análisis foliar de tomate es el cobre. El problema no es muy preocupante, ya que no ha sido detectada su carencia. Este es un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad. Por ello, cuando se envíe la muestra al laboratorio es conveniente especificar el tipo de agua que se está utilizando. Esto nos permitirá evaluar los niveles de sodio foliar. La variedad es un factor primordial en este cultivo, ya que se están detectando determinadas carencias relacionadas con una posible sensibilidad varietal. Dentro de estos elementos están el calcio, magnesio, hierro y zinc. Así mismo, conocer el estado de desarrollo del cultivo y el número de ramilletes por planta que tenga, será necesario para interpretar los resultados analíticos.

4.6.2. Interpretación de resultados (Casas, 1996-a)

Niveles normales en hojas de planta joven y adulta. Resultados expresados sobre materia seca.

NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES												
Nitrógeno: 3.5-5.0 %	Los niveles normales en planta joven oscilan entre 5.0-5.5%. En la época invernal están próximos al 3.0-3.5 %.												
N-Nítrico: 0.5-1.0 %													
Fósforo: 0.3-0.7 %	Debe tenerse mucho cuidado en no superar el 0.75 %. Puede inducir carencias de zinc.												
Potasio: 3.5-5.5 %	Los valores > 5.5 % se consideran altos.												
Calcio: 1.8-3.5 %	El nivel mínimo en primavera-verano se encuentra entre 1.5-1.6 %. En los meses invernales debe ser superior a 2.2 %. Todos los valores superiores a 3.5 % pueden estar asociados a carencias de magnesio o potasio.												
Magnesio: 0.4-0.8 %	Los valores óptimos se encuentran entre 0.45-0.55%. Puede existir acumulación de este elemento con aguas salinas, con exceso de magnesio. No es normal encontrar, en estos casos, valores >0.85%. Los valores comprendidos entre 0,3-0,4% se consideran moderados												
Sodio: < 0.18 %	Se consideran altos los valores por encima de 0.30 %. Se han llegado a detectar, en la zona de Nijar, niveles de sodio de 0.99 %, con aguas de alta salinidad.												
Cloruros: < 1.00 %	<p>Los valores superiores a 0.50 % son altos. Relación foliar de diferentes contenidos de Na y Cl.</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>% Sodio</th> <th>% Cloruros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.18</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td>0.20</td> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>0.26</td> <td>1.37</td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td>1.78</td> </tr> <tr> <td>0.99</td> <td>3.29</td> </tr> </tbody> </table> <p>Con un coeficiente de correlación, $r = 0.9785$</p>	% Sodio	% Cloruros	0.18	0.96	0.20	1.20	0.26	1.37	0.50	1.78	0.99	3.29
% Sodio	% Cloruros												
0.18	0.96												
0.20	1.20												
0.26	1.37												
0.50	1.78												
0.99	3.29												
S-Sulfatos: 0.88%	Este valor corresponde al nivel de referencia en la zona de La Cañada.												
Hierro: 80-200 mgkg ⁻¹	Los valores óptimos oscilan entre 100-130 mgkg ⁻¹ .												
Manganeso: 80-300 mgkg ⁻¹	Los contenidos óptimos están próximos a 100 mgkg ⁻¹ . Se consideran valores moderados a los comprendidos entre 50-80 mgkg ⁻¹ .												
Cobre: 7-25 mgkg ⁻¹	El nivel óptimo se encuentra entre 10-15 mgkg ⁻¹ .												
Zinc: 35-100 mgkg ⁻¹	Los contenidos óptimos se encuentran próximos a 50 mgkg ⁻¹ .												
Boro: > 30 mgkg ⁻¹	El valor óptimo oscila entre 35-50 mgkg ⁻¹ .												
Molibdeno: 0.44 mgkg ⁻¹ .													



NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES									
Nitrógeno: < 2.4%	Este valor, con claros síntomas visibles, está asociado a una carencia de molibdeno.									
N -Nítrico: < 0.1%										
Fósforo: < 0.24%	Presenta síntomas claros de deficiencia a 0.21 %.									
Potasio: < 2.5%	Se considera nivel deficiente un K=3.18 % antes del inicio de la floración.									
Calcio: < 1.2%	Los síntomas son muy acusados por debajo de 1.0 %.									
Magnesio: < 0.30%	<p>Ejemplos de carencias de magnesio y valores de potasio asociados a éstas.</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Mg=0.30%</td> <td>K=5.95%</td> <td>K/Mg=19.83</td> </tr> <tr> <td>Mg=0.25%</td> <td>K=5.43%</td> <td>K/Mg=21.72</td> </tr> <tr> <td>Mg=0.17%</td> <td>K=5.52%</td> <td>K/Mg=32.47</td> </tr> </table> <p>No se aprecian, por lo general, excesos espectaculares en potasio que puedan provocar carencias de magnesio.</p>	Mg=0.30%	K=5.95%	K/Mg=19.83	Mg=0.25%	K=5.43%	K/Mg=21.72	Mg=0.17%	K=5.52%	K/Mg=32.47
Mg=0.30%	K=5.95%	K/Mg=19.83								
Mg=0.25%	K=5.43%	K/Mg=21.72								
Mg=0.17%	K=5.52%	K/Mg=32.47								
S-Sulfatos: < 0.30%										
Hierro: < 70 mgkg ⁻¹ .	Los síntomas visibles son muy tenues entre 60-70 mgkg ⁻¹ . Son más acusados entre 50-60 mgkg ⁻¹ y muy claros por debajo de 50 mgkg ⁻¹ .									
Manganeso: < 50 mgkg ⁻¹ .	Los síntomas son claramente observables a 46 mgkg ⁻¹ .									
Cobre: < 4.0 mgkg ⁻¹ .	No se detecta la carencia en estas zonas. El valor corresponde a la bibliografía (Winsor y Adams, 1987).									
Zinc: < 28 mgkg ⁻¹ .	La relación P/Zn permite detectar posibles carencias inducidas por exceso de fósforo. Se considera relación normal (ambos elementos expresados en mgkg ⁻¹) 120. Valores superiores a 175 se consideran altos. Se ha detectado un caso con un nivel de Zn=46.5 mgkg ⁻¹ asociado a un contenido de P=0.83%. Lo anteriormente comentado corresponde a cultivos en otoño-invierno. En primavera-verano se detectan valores entre 20-28 mgkg ⁻¹ que no muestran carencia.									
Boro: < 25 mgkg ⁻¹ .	Los síntomas son claramente visibles por debajo de 20 mgkg ⁻¹									
Molibdeno: 0.22 mgkg ⁻¹ .										

NIVELES TOXICOS	OBSERVACIONES
Manganeso: 687 mgkg ⁻¹ .	Presenta inicio de síntomas de toxicidad de manganeso.
Boro: 115 mgkg ⁻¹ .	Empiezan a presentarse los síntomas.

NIVELES EN HOJAS DE PLANTAS DE SEMILLERO

	Normal	Alto	Deficiente
Nitrógeno (%)	5.5-6.0	> 6.0	4.0
Fósforo (%)	1.07	-	0.60
Potasio (%)	5.15-5.5	-	3.5
Calcio (%)	1.0-1.5	>2.0	-
Magnesio (%)	0.63	-	0.37
Sodio (%)	-	0.28	-
Hierro (mgkg ⁻¹)	153	-	-
Manganeso (mgkg ⁻¹)	131	-	-
Cobre (mgkg ⁻¹)	-	496	-
Zinc (mgkg ⁻¹)	40	171 (1)	-
Boro (mgkg ⁻¹)	49	-	-

(1) Ver Foto nº 108.

4.6.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

- **Nitrógeno**

Sus síntomas aparecen en las hojas basales. Estos se mueven hacia la parte superior de la planta. Son difíciles de reconocer en sus inicios, ya que la respuesta de la planta a la carencia es una palidez generalizada. Puede ser confundida, como suele ocurrir, con otro tipo de problema. La planta llega a presentar la forma de un cono, estrechándose en la parte superior de la cabeza. Su origen puede ser una inadecuada fertilización nitrogenada. Bajas relaciones N/K, en épocas de fuerte crecimiento, sobre todo en primavera, es uno de los mayores causantes de este problema. Es fácil de observar en suelos de textura arenosa, después de lluvias copiosas y en plantaciones al aire libre. Es conveniente mantener, a nivel foliar, una relación N/K=1 en época invernal. En primavera-verano esta relación será de 1.1-1.2. (Fotos nº 82 y 83).

- **Corrección:** aplicación de nitrógeno en forma de nitrato cálcico por el sistema de riego.



- **Exceso de nitrógeno:** relaciones $N/K > 1.2$ pueden indicar un claro exceso de nitrógeno. Este puede aumentar la incidencia de ataques de *Botrytis cinerea* en primavera debido a las condiciones de humedad y temperatura que la caracteriza. Asociados a altos niveles de nitrógeno pueden aparecer los denominados “blotchy ripening”, coloración irregular de los frutos. Esta coloración es amarillo-verdosa y aparece alrededor del cáliz. Es muy similar a una deficiencia de potasio. El aumento de la fertilización potásica hace disminuir la relación N/K y la incidencia de “blotchy ripening”. El ahuecado de los frutos es un desorden igualmente relacionado con altas relaciones N/K . En este último caso también influyen determinados factores medioambientales, como es el bajo nivel de luz. Otro desorden típico de la planta de tomate y originado por niveles altos de nitrógeno es el denominado “crease-stem”. Suele detectarse después de la época invernal, cuando mejora la capacidad de absorción del cultivo, asociado a CE_{es} relativamente bajas. La sintomatología de la hoja muestra un enrollamiento en forma de hélice muy característico. Los agricultores asocian este problema a un “exceso de vigor” de las plantas. Las condiciones medioambientales, junto con una componente varietal, son también causas importantes de este problema. Una disminución en las aportaciones de nitrógeno, unida a las de fósforo, amortiguan el efecto. (Foto nº 104).

- **Toxicidad de nitrógeno amoniacal:** los primeros síntomas muestran una hoja más pequeña, de coloración oscura y con quemaduras en los bordes. Conforme progresa la toxicidad aparecen desecaciones en medio de la lámina así como el endurecimiento de la misma. El análisis foliar detecta contenidos superiores a 5.5% de N y niveles relativamente bajos de K y Ca. Esto viene motivado por el efecto depresivo del nitrógeno amoniacal. Su origen está relacionado con aportaciones elevadas de estiércol. En primavera-verano el problema está más amortiguado debido a un aumento de la velocidad de nitrificación. El aumento de la fertilización potásica puede hacer disminuir este problema.

• **Fósforo**

Los síntomas de la carencia aparecen en las hojas bajas. En sus inicios muestran una coloración violácea (generación de antocianinas) en el envés de las hojas, asociada por lo general a bajas temperaturas. Conforme la carencia progresa aparecen unas manchas marrones irregulares en la lámina. Estas manchas se mueven hacia la parte superior de la planta conforme progresa la carencia. Las plantas son, por lo general, más pequeñas y se observa una coloración verde oscura. Un valor de pH elevado en el suelo, unido a contenidos relativamente altos de calcio soluble, inmovilizan el fósforo en el suelo, induciendo su carencia. Así mismo, excesos de nitrógeno pueden bloquear la absorción de fosfatos. Excesos de fósforo inducen a su vez carencias de zinc. (Fotos nº 84 y 85).

- **Corrección:** aplicación de fósforo, vía foliar, como ácido fosfórico.

• **Potasio**

Sus síntomas de carencia aparecen en las hojas bajas. Estas muestran una decoloración con posterior necrosis en el borde del primer foliolo. Se mueve del borde hacia dentro, de arriba a abajo en los folíolos y de abajo a arriba en la planta. Produce un fuerte enanismo en la plantación. Esta carencia afecta a la coloración del fruto, el cual madura de forma irregular. Estos frutos muestran zonas verdes que amarillean en lugar de enrojecer, es lo que se denomina “blotchy ripening”. Se suele detectar en cultivos con gran cantidad de frutos y una inadecuada fertilización potásica. Se puede encontrar en los suelos de textura arenosa, después de lluvias. Cuando se utilizan aguas de riego con altos niveles de calcio y magnesio puede aparecer un fuerte antagonismo de estos iones frente al potasio. Este puede ser además agravado por la existencia de niveles de sodio relativamente altos. El análisis foliar es el mejor método de diagnóstico de esta carencia. En las carencias graves se suele observar una clara acumulación de sodio. (Foto nº 86).

- **Corrección:** aportación, por vía radicular, de potasio en forma de nitrato o de sulfato. Estará en función de los contenidos de nitrógeno del análisis foliar.

• **Calcio**

Como elemento poco móvil que es, sus síntomas aparecen en las hojas jóvenes. La carencia presenta una decoloración blanquecina y posterior necrosis en el borde del foliolo. Sus consecuencias son bien conocidas, la aparición del blossom-end rot (BER), o podredumbre apical. También es llamada por los agricultores “peseta” o “ahongado”, que es como comúnmente se le denomina en las Islas Canarias. Los frutos muestran una necrosis alrededor de la cicatriz estilar. Esta es inicialmente incolora, volviéndose posteriormente marrón oscura. Muestra una forma circular, hundida, con un borde bien definido que puede llegar a afectar a la mitad del fruto. Cuando éste es pequeño puede que no sea apreciable a simple vista. Esta fisiopatía hay que buscarla en los mecanismos de absorción del calcio por la planta. Esta absorción siempre es pasiva y está relacionada con las tasas de transpiración de la planta. Como factores limitantes a esta absorción se encuentran los excesos de cationes antagónicos, como el potasio, magnesio, amonio o sodio. Influyen igualmente las CE elevadas en el suelo y la baja humedad relativa ambiental. Su transporte es vía xilema, a través de los denominados tubos xilemáticos. Estos funcionan como una columna de intercambio de calcio, de forma que existe un flujo de masas hacia las hojas jóvenes. El transporte vía floema ocurre en muy bajas concentraciones por lo que los



tejidos surtidos por esta vía, como son los frutos, tienen un bajo contenido en calcio. Si se interrumpe dicho flujo en su camino hacia las hojas jóvenes, aunque sea durante un corto periodo de tiempo, podrá aparecer la deficiencia. El calcio se acumula en las hojas viejas, en cantidades apreciables, en forma de sales insolubles de ácidos orgánicos, como oxalatos, etc. Estas reservas no son traslocables cuando la planta se ve sometida a una limitación en su absorción por vía radicular. Se debe tener en cuenta que podemos tener una carencia de calcio en una plantación sin que aparezcan los síntomas de BER y viceversa. Si en un momento determinado se sube de manera drástica la CE_{es} del suelo, limitando la absorción de agua, aparecerá de manera más o menos inmediata el BER. Si en ese momento se efectúa un muestreo foliar y se determina el nivel de calcio, éste será posiblemente normal. Al mismo tiempo, en los meses de otoño-invierno, es fácilmente detectable la carencia de calcio con síntoma visible en las hojas sin la aparición de BER en los frutos. Esto suele ocurrir en épocas de alta humedad relativa, asociado a bajos niveles de luz, que ocasiona problemas de movimiento de calcio por las bajas tasas de transpiración. Es una fisiopatía de características muy típicas. Si en ese momento se hiciese un análisis foliar se obtendrían valores correspondientes a una carencia de calcio. La carencia de este elemento puede llevar consigo posteriores ataques de *Botrytis cinerea*. Un posible diagnóstico del BER se puede realizar mediante el análisis de los frutos. Los afectados contienen un nivel de calcio menor de 0.1%. Los frutos no afectados suelen contener un nivel superior al 0.2%. (Fotos nº 87 - 88 y 89).

- **Corrección:** aplicación de calcio, vía radicular o foliar, como nitrato o quelato. En el caso de la fisiopatía motivada por exceso de humedad y bajo nivel de luz, se deberá corregir siempre por vía foliar.

• **Magnesio**

Es un elemento cuya carencia aparece en las hojas bajas. Estas presentan una decoloración internervial en el centro del foliolo y se va moviendo hacia el borde de la hoja. Cuando aparecen los síntomas, se observa que el borde de las hojas basales sigue permaneciendo verde. Esto sirve para diferenciarla de la carencia de potasio, que es a la inversa. En el caso de carencias severas son realmente difíciles de distinguir. El diagnóstico foliar es muy adecuado en estos casos. La carencia de magnesio suele originarse por un inadecuado aporte en la fertilización con este elemento, si el contenido de magnesio en el agua de riego es bajo. Excesos en la relación Ca/Mg pueden inducir la carencia, cuando el calcio está contenido en el agua de riego. Existen variedades de tomate con una clara sensibilidad a esta carencia. (Fotos nº 90 - 91 y 92).

- **Corrección:** por tratamiento, vía foliar o radicular, con sulfato de magnesio (epsonita), o quelato de magnesio.

• **Azufre**

Muestra una coloración amarilla pálida en las hojas jóvenes. Es una carencia rara y puede ser confundida con una carencia de nitrógeno. No se detectan en las zonas tomateras comentadas.

- **Corrección:** uso de fertilizantes que contengan azufre.

• **Hierro**

La carencia se manifiesta en las hojas jóvenes. Estas aparecen mostrando una amarillez en la parte inferior de los folíolos de las hojas jóvenes. Es muy fácil de distinguir. Se suele observar después de lluvias en las plantaciones al aire libre. Una de las causas de mayor incidencia de esta carencia es el encharcamiento, el cual origina una disminución de la aireación del suelo. Las bajas temperaturas y las altas tasas de radiación son factores medioambientales que inciden en la carencia. Esta a su vez se ve favorecida con contenidos altos de calcio, fósforo, manganeso y zinc en el suelo. Cuando el contenido de hierro foliar en la hoja está próximo al mínimo es conveniente hacer un aporte en hierro. Esto se debe a la dificultad de interpretación del hierro total foliar. Se detecta una cierta componente varietal en la aparición de la clorosis férrica. (Fotos nº 93 y 94).

- **Corrección:** aplicación, por vía radicular, de hierro en forma quelatada. La respuesta por vía foliar no es buena.

• **Manganeso**

La sintomatología de su carencia aparece en las hojas medias, aproximadamente en la cuarta o quinta empezando por arriba. Inicialmente presenta una ligera decoloración internervial en forma de pequeños puntos y conforme avanza la carencia va amarilleando toda la hoja. Como microelemento que controla la síntesis de nitrógeno a nivel foliar, su ausencia provoca fuertes desajustes en la planta. Su asimilación se ve disminuida por altos niveles de fósforo, calcio, hierro, cobre y zinc. Las bajas temperaturas del suelo son un factor que incide en la absorción de manganeso. Es muy fácil de observar en el inicio del invierno. En la zona de la Vega de Motril se detecta en cultivos de primavera debido a la existencia de cantidades apreciables de hierro asimilable en el suelo. (Foto nº 95).

- **Corrección:** por vía foliar con quelatos de manganeso. Estos pueden



provocar quemaduras cuando se trate en días de fuerte insolación.

- **Toxicidad de manganeso:** aparece en los suelos ácidos comentados anteriormente. Muestra una necrosis internervial debida a los depósitos de bióxido de manganeso en la lámina. Estos depósitos pueden ser observables en el peciolo. El crecimiento se ve muy restringido. La corrección se efectúa con fuertes aplicaciones de fósforo y potasio. Debido a que el problema está en el suelo, éste deberá ser encalado para elevar el pH del suelo e inmovilizar el manganeso asimilable. Las plantaciones tardías amortiguarán este problema, por la bajada de temperatura del suelo. (Fotos n° 96 y 97).

• **Cobre**

La carencia aparece en las hojas jóvenes. Estas presentan una decoloración internervial, mostrando un ligero enrollamiento hacia el envés. El tamaño de los folíolos se alarga. El crecimiento de la planta se ve claramente disminuido. La carencia se acentúa con aplicaciones altas de fósforo. No se ha detectado la carencia en estas zonas. El motivo se debe, posiblemente, a la utilización de sales de cobre, por vía foliar, como fungicidas.

- **Corrección:** utilización de sales de cobre o quelatos.

- **Toxicidad de cobre:** sólo se ha detectado en semilleros, siempre debido a usos inadecuados de sales de cobre. La sintomatología de la toxicidad corresponde a la de una clorosis férrica, aunque a diferencia de ésta, la planta sufre una drástica parada de su crecimiento. La corrección se hará mediante aplicaciones masivas de fósforo y quelatos de hierro. (Foto n° 107).

• **Zinc**

Su sintomatología aparece en el tercio inferior de la planta. Presenta una ligera decoloración internervial que en sus inicios es muy difícil de distinguir. Conforme avanza la carencia puede llegar a ser confundida con una de magnesio. Es fácilmente detectable en las nuevas variedades denominadas de larga vida. El análisis foliar es un buen método de diagnóstico y permite una clara detección. La causa fundamental de esta carencia se debe a aplicaciones masivas de fósforo unido a complejos de microelementos con una alta relación Fe-Mn frente al Zn. Con cierta frecuencia aparece asociada a una carencia de manganeso. Como es un elemento que participa en los mecanismos de las auxinas, su carencia provoca enanismos graves en la plantación. (Foto n° 98).

- **Corrección:** aplicación por vía foliar de quelatos de zinc.

- **Boro**

La carencia aparece en la hojas jóvenes. Presentan una amarillez anaranjada en el extremo de los folíolos medios de la hoja. Los frutos pueden mostrar unas cortaduras frente al cáliz. En cuanto al sistema radicular, se inhibe el crecimiento de las raíces secundarias, llegando a mostrar una gelatinización en el extremo de las mismas. Esta carencia suele estar originada por bajas fertilizaciones en este elemento y por la utilización de aguas de riego con niveles mínimos de boro. Altos niveles de fósforo inhiben la absorción de boro en suelos ligeramente ácidos o neutros. El análisis foliar es un buen indicativo para diagnosticar esta carencia. (Fotos nº 99 y 100).

- **Corrección:** aplicación, por vía foliar o radicular, de compuestos de boro.

- **Toxicidad de boro:** produce fuertes quemaduras y desecaciones en el extremo de los folíolos de las hojas bajas, originadas por el exudado a través de los hidatodos. Los síntomas progresan de las hojas bajas a las jóvenes, pudiendo llegar a producir la muerte de la planta. Los frutos pueden verse también afectados. El origen de esta toxicidad está en la utilización de aguas con altos contenidos de boro. La solución a este problema está en la utilización de aguas con un menor contenido del elemento. (Foto nº 101).

- **Molibdeno**

Sus síntomas aparecen en las hojas bajas a medias. Presentan una coloración amarilla pálida muy característica pero similar a la de la carencia de nitrógeno. La hoja presenta un acartonamiento con grandes acumulaciones de calcio, lo que le da unas características quebradizas. Sólo se ha detectado en suelos neutros y con altos índices de ion sulfato en el suelo. Este ion es el bloqueante en la absorción del ion molibdato, que es como el sistema radicular lo toma. (Foto nº 102).

- **Corrección:** aplicación por vía foliar de molibdeno, en forma de sal amónica o sódica.

- **Sodio y cloruros**

El tomate es un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad. Se puede considerar que 25 meL^{-1} es el límite máximo de tolerancia de este cultivo al NaCl en el agua de riego. Excesos de NaCl afectan al desarrollo de la planta, haciendo que la hoja presente una superficie foliar muy disminuida. Con contenidos elevados de esta sal llega a mostrar síntomas de quemaduras en las hojas.



4.7. Berenjena, *Solanum melongena* L.

4.7.1. Muestreo

Para muestrear este cultivo se escogerá la cuarta o quinta hoja desde la parte superior de la planta y hacia abajo. Debido a que es un cultivo de ciclo largo, desde el verano-otoño a la primavera siguiente, se deberá tener sumo cuidado en la elección de las hojas durante las épocas frías del invierno. Las bajas temperaturas disminuyen el desarrollo de la planta, haciendo que la hoja joven pueda ser la tercera y no la comentada anteriormente. Es muy útil especificar si la plantación ha sido tratada por vía foliar con fungicidas o abonos foliares, a efectos de la posible distorsión de los resultados. Cuando el muestreo se realiza para conocer el estado nutricional de la plantación se elegirán hojas de aquellas plantas que representen la media del invernadero. Si se utiliza para diagnosticar una posible carencia, se tomarán hojas que muestren los síntomas visibles. El número de hojas, con su respectivo peciolo, deberá ser de quince o veinte por invernadero o parcela.

4.7.2. Interpretación de resultados

Niveles normales en hojas de planta adulta. Resultados expresados sobre materia seca.

NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: 3.5-5.0 %	Valores próximos o superiores a 5.0 %, durante la época invernal, sugieren la existencia de frutos de coloración rosácea, cuando éstos deberían ser negros.
N-Nítrico: 0.50-0.60 %	
Fósforo: 0.40-0.90 %	
Potasio: 3.5-5.5 %	
Calcio: 2.2-3.5 %	
Magnesio: 0.4-1.0 %	
Sodio: <0.04 %	
Cloruros: -	
S-Sulfatos: 0.20 %	
Hierro: >100 mgkg ⁻¹	
Manganeso: > 90 mgkg ⁻¹	
Cobre: 10-20 mgkg ⁻¹	
Zinc: 40-45 mgkg ⁻¹	
Boro: > 30 mgkg ⁻¹	

NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: < 2.5 %	
Fósforo: < 0.25 %	Los síntomas son muy claros a 0.22 %.
Potasio: 2.6 %	Con este valor la hoja presenta claros síntomas visibles. Se observa una clara acumulación de sodio a nivel foliar. Este valor se incrementa desde 0.005 % hasta 0.08 % en la planta deficiente.
Calcio: < 1.5 %	Aparecen ligeros síntomas de blossom-end rot
Magnesio: 0.25 %	
Hierro: 65 mgkg ⁻¹	Presenta síntomas visibles muy claros a 63 mgkg ⁻¹ .
Manganeso: 36 mgkg ⁻¹	
Cobre: 5 mgkg ⁻¹	
Zinc: 24 mgkg ⁻¹	
Boro: 29 mgkg ⁻¹	

4.7.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

• Nitrógeno

La hoja presenta una coloración amarillo-verdosa que progresa desde la parte inferior de la planta a la superior. No es una carencia común de encontrar en los invernaderos. Su causa suele estar relacionada con niveles bajos de fertilización en nitrógeno. El motivo es evitar la aparición de frutos con coloración rosácea. Por ello, se suele forzar el abonado potásico en forma de sulfato potásico y disminuyendo de forma drástica el nitrógeno. (Foto nº 63).

- **Corrección:** aportar nitrógeno en forma de nitrato cálcico y corregir el abonado efectuando un equilibrio adecuado entre nitrógeno y potasio.

• Fósforo

Las hojas inferiores presentan unas manchas irregulares de coloración marrón negruzca. Conforme progresa la carencia se va moviendo hacia la parte superior de la planta. Es común encontrarla en los invernaderos en la época invernal. Las bajas temperaturas del suelo disminuyen la absorción de agua por parte del sistema radicular de la planta, así como de elementos nutritivos como el fósforo. (Foto nº 56).



- **Corrección:** en época invernal se debe aportar el fósforo en forma de ácido fosfórico, vía foliar. Con temperaturas normales en el suelo, se aplica vía radicular. El empleo de ácidos húmicos favorece la absorción del fósforo vía radicular.

• **Potasio**

Las hojas viejas se ven afectadas primeramente, mostrando una amarillez en el borde que llega a necrosarse. Conforme la carencia avanza, esta amarillez se va extendiendo hacia el interior de la lámina y de las hojas viejas hacia las jóvenes. La planta restringe rápidamente su crecimiento. La carencia suele presentarse, principalmente, en invernaderos de techo plano y después de lluvias abundantes, cuando su estructura de suelo es ligera. La existencia de niveles altos de calcio soluble en el suelo puede provocar fuertes antagonismos con el potasio. Este a su vez se agravará si el valor del magnesio es igualmente elevado. (Foto nº 57).

- **Corrección:** aplicación de potasio vía radicular. Se utilizará en forma de nitrato o sulfato, en función del contenido de nitrógeno del suelo.

• **Calcio**

Su sintomatología aparece en el borde de las hojas jóvenes, que presentan unas desecaciones blanquecinas en su filo, posteriormente esta desecación llegará a necrosarse. En los frutos aparece el clásico blossom-end rot. A diferencia de los otros cultivos comentados, esta fisiopatía se muestra en forma de protuberancia blanda que aparece en la parte inferior del fruto. En sus estados iniciales esta fisiopatía se muestra en el interior de los frutos, siendo muy difícil su observación si no es rajándolos. En este cultivo el exceso de potasio, tratando de corregir altas relaciones N/K, suele ser el causante de este problema. Como la berenjena es un cultivo que presenta una tolerancia moderada a la salinidad, no suelen detectarse problemas de BER por exceso de sodio en la zona del Poniente. Su origen en este caso suele estar motivado por desequilibrios hídricos en la plantación. Desconocemos el contenido de calcio en los frutos afectados por BER (Casas, 1996-c). (Fotos nº 58 y 59).

- **Corrección:** aplicación de calcio vía foliar en forma de quelato.

• **Magnesio**

Sus síntomas aparecen en las hojas basales. Presenta una clorosis internervial que conforme progresa la carencia se extiende hacia el borde de la

hoja y hacia la parte superior de la planta. La causa es un aporte no adecuado de magnesio en la solución nutritiva de riego o un exceso de potasio y/o calcio tratando de corregir los problemas comentados anteriormente.

- **Corrección:** vía radicular o foliar con sulfato de magnesio (epsonita), o quelato de magnesio.

- **Azufre**

Los síntomas son muy similares a los de una carencia de nitrógeno. No se detecta su carencia en este cultivo.

- **Hierro**

Presenta una amarillez en las hojas jóvenes. Esta aparece en la parte inferior del foliolo. Conforme avanza la clorosis se va extendiendo por toda la lámina. Inicialmente el nervio de la hoja permanece verde y posteriormente se volverá amarillo. El exceso de fósforo y la falta de aireación del suelo, unido a un exceso de ion bicarbonato, son los causantes de esta clorosis. Excesos en manganeso y/o zinc, junto a tasas elevadas de radiación y las bajas temperaturas, son los otros causantes de la deficiencia de hierro. (Foto nº 60).

- **Corrección:** aplicación de hierro, en forma quelatada, por vía radicular.

- **Manganeso**

Los síntomas comienzan a aparecer en la cuarta o quinta hoja empezando desde arriba. La hoja muestra un pequeño moteado internervial, de color amarillo, en toda la superficie de la lámina. Cuando la carencia avanza se va extendiendo a lo largo de toda la planta. El exceso de fósforo, potasio, temperaturas bajas del suelo y altos contenidos de hierro y/o zinc son posibles causas de la pérdida de absorción por la planta (Paterson, 1989). (Foto nº 61).

- **Corrección:** aplicación de manganeso en forma de quelato vía foliar o radicular.

- **Cobre**

No se conoce la carencia en la zona. Los síntomas aparecerán en las hojas jóvenes, con una decoloración internervial que puede llegar a necrosarse. El borde de la hoja se curva hacia el envés.



- **Corrección:** tratamiento foliar con un quelato de cobre.

• **Zinc**

La carencia muestra una decoloración amarilla internervial en las hojas del tercio inferior de la planta. Esta puede confundirse, en sus inicios, con una carencia de magnesio. Las hojas jóvenes son anormalmente más pequeñas. Si la carencia es severa, puede llegar a provocar la defoliación. La causa suele deberse a un inadecuado aporte en la fertilización con este elemento, o a un exceso de fósforo que reduce su absorción por la planta. (Foto nº 62).

- **Corrección:** tratamiento por vía radicular o foliar de quelato de zinc.

• **Boro**

Los síntomas aparecen en las hojas superiores de la planta. Muestra una ligera decoloración en el borde de las hojas, haciendo disminuir su tamaño. Las hojas se deforman y se vuelven quebradizas. La parte inferior de la lámina aparece arrugada. En los frutos se aprecian unas pequeñas grietas. Los entrenudos de la planta se acortan y se restringe su crecimiento. La causa de la carencia se debe, por lo general, a niveles bajos en la fertilización con boro. Excesos en la fertilización con fósforo, en suelos neutros o ligeramente ácidos, inhiben la absorción de boro.

- **Corrección:** por vía radicular o foliar con sales de boro.

• **Molibdeno**

No se detectan casos de carencia de este elemento. Los síntomas son similares a los comentados para el pepino. Muestra un moteado internervial sobre las hojas viejas, aunque la nerviación permanece ligeramente verde. Esta sintomatología también puede ser observable sobre las hojas jóvenes. Cuando la carencia progresa los bordes se necrosan y las hojas tienden a curvarse hacia dentro por el haz. La causa de esta carencia puede deberse a la existencia de altos niveles de sulfato en el suelo.

- **Corrección:** vía foliar con molibdato amónico o sódico.

• **Sodio y cloruros**

En la zona del Poniente, con aguas de buena calidad, los valores a nivel foliar de sodio son inferiores a 0.04 %. Los niveles de 0.08 % están asociados a

una carencia de potasio. De los contenidos en cloruros no se dispone de datos. Se debe tener en cuenta que la berenjena es un cultivo con una tolerancia relativamente moderada a la salinidad. En la zona del Poniente, donde están la mayoría de las plantaciones, el agua es de buena calidad.

4.8. Melón, *Cucumis melo* L.

4.8.1. Muestreo

Para el muestreo foliar, en plantas de semillero con cuatro hojas verdaderas, elegiremos la tercera hoja empezando por abajo, sin contar los cotiledones. Si tratamos de determinar un problema de tipo nutricional elegiremos aquellas plantas que presenten síntomas visibles, procurando desechar las correspondientes a los bordes de las bandejas. Si pensamos que el problema es debido a una fitotoxicidad será conveniente analizar también el sustrato y si es posible, el sustrato original sin utilizar. En cultivo seguiremos el criterio de elección de la hoja joven recién formada, incluyendo limbo y peciolo. En este cultivo equivale a la quinta o sexta hoja empezando por arriba. En condiciones de baja luz y temperatura, en plantaciones muy tempranas, la elección de la hoja se hará con sumo cuidado. Se debe evitar muestrear una hoja envejecida, cuyos niveles no representan a la planta. La persona que efectúe el muestreo es quien deberá decidir que tipo de hoja será la más conveniente seleccionar. Si se quiere conocer el estado nutricional de la plantación se seleccionarán las hojas de aquellas plantas que representen el estado medio del invernadero. Si se trata de averiguar un problema determinado, con síntoma visible, se seleccionarán las hojas de aquellas plantas que lo muestren. Se deberá anotar si la plantación ha sido tratada con fungicidas por vía foliar en los últimos días. El número de hojas a muestrear estará comprendido entre quince o veinte. En el caso de un semillero, deben seleccionarse las hojas de unas cincuenta plantas.



4.8.2. Interpretación de resultados (Casas, 1996-b)

Niveles normales en hojas de planta adulta. Resultados expresados sobre materia seca.

NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: 3.5-5.5 %	
N-Nítrico: 0.4-1.0 %	
Fósforo: 0.45-0.8 %	
Potasio: 3.5-5.0 %	
Calcio: 2.5-4.0 %	
Magnesio: 0.4-0.9 %	
S-Sulfatos: 0.3-0.5 %	
Sodio: < 0.15 %	
Cloruros: <1.5 %	
Hierro: 90-200 mgkg ⁻¹	
Manganeso: 80-200 mgkg ⁻¹	
Cobre: 10-20 mgkg ⁻¹	
Zinc: > 35 mgkg ⁻¹	
Boro: > 30 mgkg ⁻¹	
Molibdeno: 0.5-1.0 mgkg ⁻¹	

NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: < 2.5 %	
Fósforo: < 0.20 %	
Potasio: < 2.0 %	
Calcio: < 1.5 %	
Magnesio: 0.20 %	Con claro síntoma visible a 0.15%.
Hierro: 60 mgkg ⁻¹	
Manganeso: 50 mgkg ⁻¹	
Cobre: 3 mgkg ⁻¹	
Zinc: 25 mgkg ⁻¹	Presenta claros síntomas visibles a 19.7 mgkg ⁻¹
Boro: 25 mgkg ⁻¹	
Molibdeno: < 0.5 mgkg ⁻¹ .	Síntomas visibles muy claros a 0.37 mgkg ⁻¹

NIVELES EN HOJAS DE PLANTAS DE SEMILLERO			
	Normal	Alto	Deficiente
Nitrógeno (%)	5.0-5.7	-	3.5
Fósforo (%)	0.83	0.93	-
Potasio (%)	4.5-5.0	-	3.2
Calcio (%)	1.5	-	0.9
Magnesio (%)	0.6-0.8	0.93	-
Sodio (%)	0.1	-	-
Hierro (mgkg ⁻¹)	>100	-	62
Manganeso (mgkg ⁻¹)	>100	-	60
Cobre (mgkg ⁻¹)	15	-	2.5
Zinc (mgkg ⁻¹)	60	-	27
Boro (mgkg ⁻¹)	35	-	-

4.8.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

• **Nitrógeno**

La planta presenta una coloración de amarillo-verdosa a amarilla. Sus síntomas aparecen en las hojas basales, moviéndose de abajo a arriba. El crecimiento de la planta se paraliza y el tamaño de las hojas se reduce. Es difícil de observar esta carencia en la zona, debido fundamentalmente a que este cultivo se realiza después de uno de pepino o pimiento. La incidencia de esta carencia aparece, después de lluvias, en invernaderos planos. También se observa cuando el nivel de fertilización en nitrógeno se reduce drásticamente para evitar el desarrollo de plantas vigorosas (exceso de nitrógeno) que afecta la floración. Si se aumenta al mismo tiempo la fertilización potásica, en forma de sulfato, puede provocar un fuerte antagonismo K/N. La producción se ve muy disminuida así como la calidad de los frutos.

- **Corrección:** aplicación vía radicular de nitrato cálcico.

- **Exceso de nitrógeno:** provoca un aumento de vegetación, afectando de manera muy directa a la floración. Cuando las relaciones N/K son elevadas se



observa una clara disminución en el contenido de azúcares en el fruto, llegando a pasar de doce grados a nueve grados de azúcar. Por consiguiente, ocasiona una pérdida de calidad en éstos.

- **Toxicidad de nitrógeno amoniacal:** sólo se ha detectado en épocas invernales, después de fuertes aplicaciones de estiércol al suelo. Origina graves quemaduras en el borde de las hojas basales, que pueden llegar a extenderse hasta el interior de la lámina. (Foto n° 114).

• **Fósforo**

Las hojas presentan una coloración verde oscura. Los síntomas aparecen en las hojas viejas, moviéndose hacia la parte superior de la planta. El tamaño de las hojas se reduce considerablemente. No es fácil de observar en el campo. Su carencia está relacionada con excesos de calcio o potasio en el suelo. Los pH elevados inhiben su absorción por parte del sistema radicular.

- **Corrección:** aplicación de fósforo por el riego o vía foliar, con ácido fosfórico.

• **Potasio**

Los síntomas aparecen en el borde de las hojas viejas, presentando una decoloración que aumentará hasta necrosarse conforme aumenta la carencia. Esta se desplaza desde las hojas viejas a las jóvenes. La planta disminuye su crecimiento y se aprecia un acortamiento en los entrenudos. A nivel de fruto se puede ver un aumento de la cavidad de éstos y una disminución en el contenido de azúcares. Asociado a la carencia de potasio puede observarse un aumento de los contenidos de nitrógeno foliar. Esto puede inducir problemas de tipo fúngico. (Fotos n° 109 y 110).

- **Corrección:** aportación, por vía radicular, de potasio en forma de nitrato o sulfato, en función de los contenidos de nitrógeno foliar.

• **Calcio**

En las hojas jóvenes es donde pueden verse los síntomas de esta carencia. Estas presentan un borde blanquecino y provoca una disminución en el tamaño de la hoja. Si la carencia es muy acusada puede causar daños en el sistema radicular, con los problemas que conlleva en la absorción de agua y nutrientes. La disminución de los riegos, para evitar encharcamientos en las tierras de cañada de los enarenados, era una causa común de este problema. Esto originaba un aumento claro de la CE del suelo y por tanto, problemas en la absorción del

calcio. Excesos de nitrógeno amoniacal o potasio son causas de esta carencia.

- **Corrección:** controlar los niveles de humedad del suelo, mediante el uso de tensiómetros. Aplicar calcio de forma quelatada vía radicular o foliar.

• ***Magnesio***

La sintomatología de la carencia aparece en las hojas bajas. Esta carencia presenta una decoloración internervial desplazándose desde el interior de la lámina hasta el borde y de la parte inferior a la superior de la planta. Esta carencia suele deberse a excesos en los contenidos de potasio o calcio en el suelo, que compiten con el magnesio en la absorción. Los bajos niveles de fertilización son otra causa de esta carencia.

- **Corrección:** aplicación por vía foliar o radicular de sulfato de magnesio (epsonita), o de magnesio en forma quelatada.

• ***Azufre***

Los síntomas se muestran en las hojas jóvenes, observándose una palidez en la coloración de la planta. Es similar a la carencia de nitrógeno. No se ha detectado en la zona.

- **Corrección:** empleo de fertilizantes que contengan azufre.

• ***Hierro***

Su sintomatología aparece siempre en las hojas jóvenes. Presentan una coloración amarillenta mientras que las nerviaciones permanecen verdes. Conforme avanza la clorosis toda la hoja se va volviendo más amarilla. Se suele detectar después de lluvias en invernaderos de techo plano o en plantaciones al aire libre. Inciden en la carencia los pH elevados del suelo, aplicaciones elevadas de fósforo y calcio y excesos de manganeso y zinc. En el caso concreto de carencias de manganeso, se ha comprobado que tratando de evitar la carencia se indujo una clorosis férrica.

- **Corrección:** aplicación por vía radicular de quelato de hierro.

• ***Manganeso***

Los síntomas aparecen a partir de la tercera o cuarta hoja empezando por arriba. Presenta una decoloración internervial muy característica. Su asimilación



se ve muy reducida por las bajas temperaturas en el suelo, durante la época invernal. Su asimilación se ve disminuida por excesos de calcio, fósforo, hierro y zinc. Es una carencia que puede ser confundida, en algunos casos, con el virus de la amarillez del melón, sobre todo en sus inicios. El análisis foliar permite identificar, de manera clara, esta carencia. (Foto nº 111).

- **Corrección:** tratamiento con quelato de manganeso por vía foliar.

• **Cobre**

Presenta una ligera decoloración internervial, más acusada en las hojas viejas. El crecimiento se restringe y los entrenudos se acortan. La clorosis progresa de las hojas viejas a las jóvenes. No se detecta en la zona del Poniente.

- **Corrección:** aplicación por vía foliar de un quelato de cobre.

• **Zinc**

La carencia muestra una decoloración internervial en las hojas inferiores y medias, que pueden llegar a necrosarse cuando ésta se agudiza. El tamaño de la hoja se reduce, se acortan los entrenudos y se produce un fuerte enanismo en la planta. Se debe de tener en cuenta que este elemento participa en los mecanismos de las auxinas. Aplicaciones elevadas de hierro y manganeso, junto al fósforo, pueden ser los causantes de estas carencias. No se trata de una carencia corriente en la zona y puede ser fácilmente detectada mediante análisis foliar. (Foto nº 112).

- **Corrección:** aplicación por vía foliar de zinc quelatado.

• **Boro**

Es en las hojas jóvenes donde se muestran los primeros síntomas. Presenta una decoloración en el borde de la hoja y sobre todo en el ápice de ésta. Su origen, en la mayoría de los casos, se debe a la ausencia de boro en el suelo. Debido a que las aguas de riego, en la zona del Poniente, poseen bajos contenidos en este elemento, es necesario aportar un suplemento de boro para evitar esta carencia. En cuanto a la tolerancia al boro, este cultivo puede considerarse semitolerante. Inciden en la aparición de la carencia las aplicaciones elevadas de fósforo y calcio.

- **Corrección:** tratamiento foliar o radicular con sales de boro.

- **Molibdeno**

Presenta una decoloración internervial en las hojas jóvenes siendo ésta más acusada en las hojas bajas, donde pueden llegar a necrosarse. Debido a que el molibdeno controla a la enzima reductasa, necesaria para la reducción de los nitratos, la planta con deficiencias puede presentar los síntomas de deficiencia de nitrógeno. Su absorción está controlada por el pH del suelo y disminuye en suelos ácidos y neutros. La acumulación de ion sulfato en el suelo es otro de los causantes de esta carencia. Los síntomas de ésta muestran una clara disminución en el número de frutos, ya que da una pobre floración y una clara disminución de los granos de polen. (Foto nº 113).

- **Corrección:** tratamiento vía foliar con molibdeno en forma de sal sódica o amónica.

- **Sodio y cloruros**

Se considera a este cultivo semitolerante a la salinidad. En la zona del Poniente los niveles de sodio y cloruros, en las aguas de riego, son relativamente bajos ($< 10 \text{ meL}^{-1}$). No son causa de problemas en las épocas de invierno o primavera. En la zona de La Cañada se suelen emplear aguas con contenidos superiores, entre $15\text{-}20 \text{ meL}^{-1}$. Se originarán pérdidas en la producción pero no en la calidad, ya que aumenta el contenido de azúcar en los frutos.

- **Alteraciones en el fruto, rajado**

Se produce por cambios bruscos en las condiciones medioambientales de la plantación. Las variaciones de temperatura diurnas y nocturnas, unido a cambios en la humedad relativa, en sentido inverso, provocan descensos bruscos en los niveles de conductividad eléctrica del suelo. Esto es debido a problemas de condensación y posterior efecto lluvia sobre el suelo. Se corrige aumentando los niveles de salinidad en la solución de riego. (Foto nº 116).

4.9. Sandía, *Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.

4.9.1. Muestreo

Para su muestreo foliar seguiremos el criterio comentado para las plantas de melón.



4.9.2. Interpretación de resultados

Niveles normales en hojas de planta adulta. Resultados expresados sobre materia seca.

NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: 4.0-5.0 %	
N-Nítrico: -	
Fósforo: 0.3-0.7 %	
Potasio: 2.8-4.0 %	
Calcio: > 2.5 %	
Magnesio: 0.6-1.0 %	
S-Sulfatos: -	
Sodio: -	
Cloruros: -	
Hierro: > 100 mgkg ⁻¹	
Manganeso: > 75 mgkg ⁻¹	
Cobre: 7.5-15 mgkg ⁻¹	
Zinc: > 35 mgkg ⁻¹	
Boro: > 30 mgkg ⁻¹	
Molibdeno: -	

NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: < 2.5 %	
Fósforo: < 0.20 %	
Potasio: < 2.3 %	
Calcio: < 1.5 %	
Magnesio: < 0.40 %	
Hierro: < 50 mgkg ⁻¹	Los síntomas son claramente visibles a 43 mgkg ⁻¹
Manganeso: < 50 mgkg ⁻¹	Se aprecian síntomas muy claros a 40 mgkg ⁻¹
Cobre: 3 mgkg ⁻¹	
Zinc: 25 mgkg ⁻¹	Los síntomas se muestran muy claros por debajo de 20 mgkg ⁻¹
Boro: 20-22 mgkg ⁻¹	
Molibdeno: -	

4.9.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

En este apartado se puede aplicar todo lo comentado en el cultivo del melón. En el caso del calcio se puede aportar como novedad lo siguiente:

- **Calcio**

La sandía es una cucurbitácea susceptible al BER, especialmente los cultivares de frutos cilíndricos. Este desorden se desarrolla durante la maduración de los frutos, en el verano. Está asociado a temperaturas altas, baja humedad y niveles de CE en el suelo elevados. A diferencia del BER del tomate, no empeora por niveles altos en nitrógeno amoniacal. Parece ser que los cultivares de frutos esféricos no son, por lo general, susceptibles de este desorden nutricional (Snowdon, 1991; Robinson, 1997).

No se conocen casos en la zona debido a que no son corrientes las plantaciones de frutos de tipo cilíndrico.

- **Manganeso**

(Foto nº 117).

- **Boro**

(Foto nº 118).

4.10. Calabacín, *Cucurbita pepo* L.

4.10.1. Muestreo

En este cultivo la hoja a muestrear es la quinta desde la parte superior de la planta. Corresponde a la hoja joven recién formada. En este cultivo en particular es fácil de observar que la hoja anterior, la cuarta, es claramente muy tierna. Se elegirán las hojas de las plantas que presenten los síntomas que se deseen diagnosticar, o de aquellas plantas de las que se desea conocer su estado nutricional. Se debe de tener en cuenta que en este cultivo en particular es difícil encontrar problemas nutricionales con síntomas claros. Por ello, el análisis foliar es una buena herramienta, en este caso, para poder corregir posibles desviaciones en el abonado. El número de hojas completas, lámina y peciolo, estará entre diez o quince por invernadero.



4.10.2. Interpretación de resultados

Niveles normales en hojas de planta adulta. Resultados expresados sobre materia seca.

NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: 4.5-5.3 %	
N-Nitrato: -	
Fósforo: 0.6-0.7 %	Valores superiores a 0.8 % se consideran altos y deberá vigilarse el origen de esta acumulación.
Potasio: 4.5-5.8 %	
Calcio: 1.2-1.8 %	
Magnesio: 0.42-0.65 %	Acumulaciones de magnesio suelen estar asociadas a deficiencias de potasio. Ejemplo: 0.76 % de Mg asociado a 2.89 % de K.
S-Sulfatos: 0.31 %	
Sodio: < 0.10 %	
Cloruros: -	
Hierro: > 80 mgkg ⁻¹	
Manganeso: > 60 mgkg ⁻¹	
Cobre: 10 mgkg ⁻¹	
Zinc: > 35 mgkg ⁻¹	
Boro: > 30 mgkg ⁻¹	
Molibdeno: -	

NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: < 2.7 %	
Fósforo: < 0.4 %	
Potasio: < 3.35 %	
Calcio: < 1.0 %	
Magnesio: < 0.2 %	
Hierro: < 50 mgkg ⁻¹	
Manganeso: 25 mgkg ⁻¹	
Cobre: 3 mgkg ⁻¹	
Zinc: 20 mgkg ⁻¹	
Boro: 25 mgkg ⁻¹	
Molibdeno: -	

4.10.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

• ***Nitrógeno***

Las hojas presentan una palidez generalizada, mostrando los síntomas inicialmente en las hojas viejas. En plantas pequeñas, 20-30 días, Scaife, 1983, recomienda confirmar si es una carencia de nitrógeno o de azufre. Como los síntomas son similares, es conveniente determinar el nitrógeno de la hoja cuando aparece esta amarillez. Se debe de observar que la cabeza de la planta presenta las hojas completamente verdes para descartar que se trata de una carencia de azufre. La carencia se debe, por lo general, a niveles bajos de fertilización nitrogenada o a lavados en suelos ligeros después de lluvias, en invernaderos de techo plano.

- ***Corrección:*** aplicar nitrato cálcico vía radicular.

• ***Fósforo***

No se observan problemas de carencia con este elemento. En caso de carencias, las hojas en plantas pequeñas suelen presentar una coloración más oscura y son más planas. El tamaño de las hojas se reduce de manera considerable.

Corrección: aplicación de fósforo vía foliar, mediante ácido fosfórico.

• ***Potasio***

La sintomatología se muestra en las hojas bajas. Presentan un borde amarillento que llega a necrosarse cuando la carencia progresa. Se extiende hacia el interior de la lámina y hacia las hojas más jóvenes. Debido a que es un cultivo muy exigente en potasio, se deberá de plantear un abonado teniendo en cuenta esta consideración.

- ***Corrección:*** mediante nitrato o sulfato potásico por vía radicular.

• ***Calcio***

Los síntomas se muestran en las hojas jóvenes, presentando éstas un borde amarillento - blanquecino. Como en otras cucurbitáceas, la hoja tiende a curvarse hacia el envés. Es muy similar a la sintomatología de la carencia en pepino. El exceso de potasio en el suelo y la alta humedad ambiental, unido a niveles bajos de luz, inciden en la absorción de calcio por parte del sistema radicular.



- **Corrección:** por vía foliar y/o radicular con un quelato de calcio.

• **Magnesio**

Muestra una decoloración internervial en las hojas viejas, que se moverá hacia los bordes de las hojas y hacia las hojas más jóvenes. Cuando la carencia es muy acusada puede ser fácilmente confundida con una carencia de potasio. Por ello, es fundamental saber donde aparecieron inicialmente los síntomas. Según Scaife, 1983, ésta carencia puede ser confundida con CMV (virus del mosaico del pepino). La causa de la carencia suele estar asociada a excesos de potasio o calcio.

- **Corrección::** aplicación de sulfato magnésico (epsonita), o magnesio quelatado. Se puede aplicar vía foliar o radicular.

• **Hierro**

Las hojas jóvenes se van amarilleando, permaneciendo verdes las nerviaciones. Es muy similar a la carencia en pepino y las causas son las mismas. (Foto nº 64).

- **Corrección:** vía radicular con un quelato de hierro.

• **Manganeso**

Presenta una decoloración internervial, amarillenta y muy tenue, en las hojas medias. Esta suele aparecer en la cuarta y la quinta hoja contando desde arriba. No es fácil de observar en la zona. El análisis foliar permitirá conocer si nos encontramos cerca de los límites de la carencia. Esto resulta interesante durante la época invernal, para actuar así antes de que la plantación muestre los síntomas visibles. Como en el caso del hierro, es aplicable lo comentado en el apartado del pepino. (Foto nº 65).

- **Corrección:** aplicación de quelato de manganeso por vía foliar.

• **Cobre**

No se conoce la carencia de este elemento en la zona. Tampoco aparece reflejada en la bibliografía consultada para este cultivo. Los síntomas deberán ser muy similares a los que muestran las hojas de pepino. Su corrección será también la misma.

- **Zinc**

Los síntomas aparecen en las hojas bajas o medias, presentando una ligera clorosis internervial. No es frecuente encontrar problemas con este elemento en la zona.

- **Corrección:** mediante la aplicación foliar de quelato de zinc.

- **Boro**

Los síntomas aparecen en las hojas jóvenes. Muestra una ligera decoloración muy próxima al borde de la hoja. Los síntomas más característicos de esta carencia son una serie de cortes o pequeñas roturas en los peciolo de las hojas jóvenes. Estas rajaduras también las pueden mostrar los frutos (Borax, 1992). Hemos detectado casos del denominado “chupado” de frutos con valores de boro que oscilan alrededor de 18 mgkg^{-1} . (Foto nº 66).

- **Corrección:** por vía foliar y/o radicular con compuestos de boro.

- **Molibdeno**

No se conoce la carencia de este elemento en la zona.

4.11. Col china, *Brassica campestris ssp. pekinensis*

4.11.1. Muestreo

El muestreo se puede realizar sobre las hojas completas o las pencas, denominadas mibrid. Dentro de ellas se pueden elegir hojas jóvenes o internas, medias y externas. Incluso se puede trabajar sobre muestras del sistema radicular. Por todo ello es conveniente que las hojas las seleccione el laboratorio que vaya a efectuar el análisis. Las coles se elegirán tomando aquellas que presenten síntomas visibles externos. Si no los muestran, se seleccionarán entre aquellas que tengan un tamaño y aspecto que represente a la media de la parcela. No es conveniente muestrear ni en los bordes ni en los pasillos de las parcelas. Se evitará así el denominado efecto de borde. Si las coles son pequeñas, antes de iniciar la formación de la cabeza, se escogerán unas veinte unidades. Si la col está empezando a cerrarse (formación de la cabeza), se muestrearán alrededor de diez unidades.



Los niveles de referencia que se exponen a continuación corresponden a los de hojas completas en la posición inmediata a la cabeza de la col. Si se desea muestrear plantas pequeñas, antes del inicio de la formación de la cabeza, se elegirá la primera hoja desarrollada.

4.11.2. Interpretación de resultados (Casas, 1986)

Niveles normales en hoja de col china. Los resultados están expresados sobre materia seca.

NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: 3.3-5.5/6.0 %	El valor mayor corresponde a hojas de coles abiertas. El nivel de 3.3 % corresponde a coles adultas, a falta de una semana para la recolección. En este último caso, niveles de 4.75 % se consideran excesivos.
N-Nitrico: 0.7-1.5 %	El nivel menor corresponde a coles pequeñas, el valor superior al de coles adultas. Contenidos superiores a 2.15 % son fitotóxicos.
Fósforo: 0.65-0.90 %	Contenidos superiores a 0.95 % indican una acumulación excesiva de este elemento.
Potasio: 4.5/5.0-6.25/6.50 %	Los valores menores corresponden a coles adultas y los mayores a las jóvenes. Contenidos superiores a 6.5-7.0 %, en coles cerradas, indican un exceso de potasio. Este exceso puede originar graves problemas en los contenidos de calcio y magnesio.
Calcio: 0.9/1.2-2.5 %	Los valores menores corresponden a plantas pequeñas, sin cerrar. El valor medio, en coles ya cerradas, oscila entre 1.5-1.7 %.
Magnesio: 0.30-0.50 %	
S-Sulfatos: -	
Sodio: < 0.50 %	Contenidos entre 0.50-1.0 % indican acumulación de sodio en la col. Valores superiores a 1.0 % se consideran altos.
Cloruros: < 1.0 %	Valores superiores a 1.5% son altos. A diferencia de los valores de Na y Cl en hojas de pepino y tomate, en este cultivo no se ha encontrado una relación lineal clara entre ambos.
Hierro: 70-75 mgkg ⁻¹	Se detectan, en algunas ocasiones, valores superiores a 100 mgkg ⁻¹ . Estos casos suelen estar asociados a valores bajos de manganeso.
Manganeso: > 50 mgkg ⁻¹	
Cobre: 7-10 mgkg ⁻¹	
Zinc: > 35 mgkg ⁻¹	
Boro: 20-35 mgkg ⁻¹	Contenidos superiores a 50 mgkg ⁻¹ se consideran altos.
Molibdeno: -	

NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: < 2.5 %	
N-Nítrico: < 0.50 %	
Fósforo: < 0.45 %	
Potasio: < 2.8 %	Con síntoma visible muy claro a 1.94 %.
Calcio: < 0.9 %	
Magnesio: 0.23 %	
Hierro: < 48 mgkg ⁻¹	
Manganeso: < 30 mgkg ⁻¹	
Cobre: < 3.5 mgkg ⁻¹	
Zinc: < 20 mgkg ⁻¹	
Boro: < 17.5 mgkg ⁻¹	
Molibdeno: -	

4.11.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

• **Nitrógeno**

Los síntomas aparecen en las hojas externas. Estas muestran una coloración pálida que conforme nos aproximamos a las hojas internas, presentan una coloración más oscura. Con niveles bajos en nitrógeno la planta paraliza su crecimiento y no llega a cerrar para formar la cabeza. Su origen se debe, por lo general, al lavado de los suelos ligeros por la lluvia en plantaciones al aire libre.

- **Corrección:** en este cultivo suele ser difícil, debido al retraso que puede sufrir la planta por esta carencia. En plantaciones de otoño-invierno, este retraso conlleva una acumulación de horas de frío que, por lo general, inducirán a la col a entrar en floración.

• **N-Nítrico**

A la hora de evaluar el contenido de nitrógeno, se encuentra una mejor respuesta analizando el nitrógeno nítrico. Uno de los desajustes nutricionales que presenta este cultivo es el exceso de nitrógeno. Este exceso puede ser fácilmente detectable por la acumulación de nitrógeno nítrico en la hoja. Esta fisiopatía se denomina, en la bibliografía japonesa, como “gomasho”. Este origina una pérdida del valor comercial de las piezas afectadas, unido a posibles problemas sanitarios por el uso de productos con altos índices de nitratos. Este exceso puede causar problemas al organismo humano. El contenido de nitrógeno total varía relativamente poco en función del tamaño de la col. En cambio, el nivel de



nitrógeno nítrico puede ir aumentando conforme la col crece. De esta forma, la relación entre los dos nitrógenos puede ser:

Tamaño	N _T %	N(NO ₃) %
Pequeña	3.76	0.94
Mediana	4.05	1.01
Adultas	3.99	2.01

La incidencia de esta fisiopatía suele aparecer después de la formación de la cabeza. Presenta un punteado negro en los meristemos de crecimiento, desde los midribs de las hojas externas a la internas y a lo largo de toda la hoja. Estos puntos negros son consecuencia de la acumulación de nitritos en el citoplasma de las células. Cada punto negro, visible, es el resultado de la destrucción de entre cinco y seis células. Este desorden fisiológico está causado por una acumulación de nitrógeno nítrico en los midribs. Este nitrógeno en forma nítrica deberá de convertirse en aminoácidos en la hoja y por la acumulación existente no podrá ser reducido (Takahashi, 1981). El origen está claro, el abuso de calcio en forma de nitrato cálcico, tratando de prevenir posibles desajustes como el tip burn interno o externo. Contenidos elevados de nutrientes en el suelo favorecen la aparición del gomasho, así como una cierta componente varietal. La mejor forma de controlarlo es conociendo el contenido de nutrientes existentes en el suelo y el valor del nitrógeno nítrico a nivel foliar. El momento crítico se encuentra en el inicio de la formación de la cabeza. Esta fisiopatía no debe confundirse nunca con el denominado tip burn, ya que las consecuencias serían catastróficas (Cassas, 1996-c). (Fotos nº 76 y 77).

• ***Fósforo***

Presenta unas manchas de color marrón-negruczas de forma irregular, en las hojas externas. Es fácil de confundir con un posible problema fúngico. Es una carencia muy rara, provoca una parada de la plantación. Puede originar el mismo problema que el nitrógeno cuando se trata de corregir su carencia.

• ***Potasio***

Los síntomas aparecen en las hojas externas. Presentan en el borde una amarillez irregular, que se va extendiendo hacia las hojas internas. Esta amarillez llegará a necrosarse. Su causa es debida a fertilizaciones altas en calcio, tratando de prevenir desajustes con este elemento. La relación K/Ca en coles deficientes es 0.50 y en coles normales de 1.8-1.9. Los iones de estas relaciones están expresados en eq100g⁻¹. (Fotos nº 68 y 69).

- **Corrección:** por vía radicular, con nitrato o sulfato potásico, en función del contenido de nitratos.

• **Calcio**

La sintomatología de esta carencia se muestra en las hojas jóvenes. Se la denomina tip burn. Puede ser externa o interna, según se encuentre la col abierta o con la cabeza formada. En el primer caso se puede observar a simple vista. Presenta una coloración blanquecina que se torna marrón y termina por secar el borde de la hoja. En el segundo caso no es posible detectarla mediante observación, si no es cortando la col. Es la denominada pudrición interna o de corazón. A diferencia de otros cultivos sensibles al calcio, en los que el BER provoca pérdidas de producción, en la col china se perderá toda la producción. Las plantas afectadas no son viables para su comercialización. Inciden en esta fisiopatía el exceso de salinidad, tanto del agua de riego como del suelo, así como las fertilizaciones nitrogenada y potásica elevadas. Juegan un papel fundamental los fenómenos de transpiración y movimientos del agua en el interior de la planta. En la aparición del tip burn la humedad ambiente es un factor clave. Durante el día, el bajo nivel de humedad favorece una transpiración elevada a través de los estomas. Se crea un déficit hídrico en la hoja que induce una mayor absorción radicular. En consecuencia, el agua cargada de calcio y de elementos nutritivos se desplaza hacia las hojas que la perdieron antes por transpiración. Las hojas internas, las del interior de la cabeza, prácticamente no transpiran, por lo que no pueden ser abastecidas por este flujo nutricional. Esto induce la aparición de la pudrición. Durante la noche, los estomas se encuentran casi totalmente cerrados, ya que la radiación captada por las hojas es mucho menor o nula. Esto permite tasas mínimas de transpiración si la humedad ambiental es elevada. La transpiración queda totalmente suprimida y el agua de la planta se ve forzada a fluir hacia todas las hojas en la misma cuantía. El flujo de presión radicular que origina este fenómeno de redistribución de agua en la planta, se confirma por la aparición de gotas de agua en el borde de las hojas. Esto es consecuencia de la gutación. Es evidente que en estas condiciones higrométricas, la presión radicular hace que haya un flujo de agua ascendente a una presión superior a la atmosférica. Este ascenso de agua hace llegar el calcio hasta las hojas jóvenes, lo que disminuye el tip burn. El prof. Maroto ya reflejó la incidencia de esta fisiopatía en cultivos con calefacción en Valencia (Maroto, 1983). Los niveles bajos de humedad relativa que se detectan en la zona del Poniente son causa de esta fisiopatía. Esto es debido a los fuertes vientos de Levante, que hacen disminuir la humedad relativa hasta un 35 %, al aire libre. Una forma de solucionar este problema es mediante riegos de aspersión alta que aumenten la humedad relativa. Sobre la fisiopatía tip-burn consultar los trabajos de Maroto, 1983, 1986 y 1988. (Fotos nº 73 - 74 y 75).



- **Corrección:** aplicación de quelatos de calcio, vía foliar, en coles abiertas. En coles cerradas es imposible la corrección. En todo caso, aplicar el calcio quelatado vía radicular.

• **Magnesio**

La carencia muestra una decoloración internervial en las hojas externas. Estos síntomas se mueven hacia las hojas internas, pudiendo llegar a necrosarse el borde de la hoja. Esta carencia puede ser absoluta por falta de magnesio o por exceso de calcio y/o potasio. No suele ser una carencia corriente. Las relaciones K/Mg mayores de 6.0 sugieren un exceso de potasio que bloquea la absorción de magnesio (los iones expresados en $\text{eq}100\text{g}^{-1}$). (Foto nº 70)

- **Corrección:** por vía foliar con sulfato de magnesio (epsonita), o magnesio quelatado.

• **Hierro**

Presenta una amarillez en las hojas internas próximas al cogollo. Los síntomas se irán moviendo hacia las hojas externas. La causa de esta carencia suele estar en posibles problemas de encharcamiento.

- **Corrección:** con un quelato de hierro vía radicular.

• **Manganeso**

Muestra un punteado internervial en las hojas medias. Este se va extendiendo hacia las hojas externas. Es muy frecuente en la zona del Poniente. Su causa son las bajas temperaturas en el suelo, que dificultan la absorción del manganeso. (Foto nº 71).

- **Corrección:** vía foliar o radicular con quelato de manganeso.

• **Cobre**

No se ha detectado la carencia en la zona de Poniente. Debe presentar una decoloración amarillenta internervial. El borde de las hojas se curvará hacia arriba, hacia el haz. Su sintomatología se moverá hacia las hojas internas.

- **Corrección:** tratamiento foliar con una sal o quelato de cobre.

- **Zinc**

No se ha detectado en la zona del Poniente. Presentará, en las hojas externas, unas manchas necróticas de color negruzco. Estas afectarán al margen de la hoja. Podrán llegar a provocar quemaduras. Los síntomas progresarán hacia las hojas internas.

- **Corrección:** con un quelato de zinc por vía foliar.

- **Boro**

Provoca una coloración marrón oscura sobre la superficie de los midribs internos. Puede llegar a provocar su rotura. La raíz restringe su crecimiento y se desarrollan raíces laterales. La relación Ca/B permite diagnosticar posibles carencias. Expresando los elementos en mmolkg⁻¹, la relación óptima oscila entre 100-200. Relaciones superiores a 275 confirman una carencia en este elemento. (Foto nº 72).

- **Toxicidad de boro:** origina fuertes quemaduras en el borde de las hojas externas. Los síntomas progresan hacia las hojas jóvenes. No es normal observarla. La causa de esta toxicidad suele ser el tratamiento inadecuado con boro cuando se trata de corregir su deficiencia.

4.12. Lechuga, *Lactuca sativa* L.

4.12.1. Muestreo

Para muestrear una plantación de lechugas seguiremos el criterio expuesto en el apartado de coles chinas.

4.12.2. Interpretación de resultados

Niveles normales en hojas de lechuga. Los resultados están expresados sobre materia seca.



NIVELES NORMALES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: 3.5-5.0 %	Estos son los niveles óptimos para lechugas de 45 días. Conforme aumenta la edad de la plantación disminuyen los niveles de nitrógeno. Así, a los 60 días N= 3.0 % y a los 80 días N=2.5 %.
N-Nítrico: 0.25-0.55 %	
Fósforo: 0.30-0.60 %	Corresponden a lechugas de 45 días. Si son de 60 días el intervalo es de 0.30-0.45 % y de 0.25-0.40 % para 80 días. En lechugas muy pequeñas puede llegar hasta 0.70 %
Potasio: 4.5-6.3 %	Corresponden a lechugas de 45 días. A los 60 días oscilarán entre 4.5-5.5% y entre 4.0-5.5% a los 80. Acumulaciones excesivas de potasio, a nivel foliar, sugieren valores de calcio o nitrógeno deficientes.
Calcio: 0.50-0.75 %	Estos valores son para lechugas de 45 días. Entre 0.5-0.8 % para 60 días y para 80 días entre 0.50-0.85 %.
Magnesio: 0.25-0.35 %	Los valores, en los tramos temporales comentados anteriormente, son similares.
S-Sulfatos: -	
Sodio: < 0.30 %	Se consideran altos valores entre 0.3-0.5 %.
Cloruros: -	
Hierro: > 75 mgkg ⁻¹	
Manganeso: > 50 mgkg ⁻¹	
Cobre: > 5.0 mgkg ⁻¹	
Zinc: > 25 mgkg ⁻¹	
Boro: > 25 mgkg ⁻¹	
Molibdeno: -	

NIVELES DEFICIENTES	OBSERVACIONES
Nitrógeno: < 2.5 %	
N-Nítrico: -	
Fósforo: < 0.20 %	Con claros síntomas a 0.18 %.
Potasio: < 2.5 %	
Calcio: < 0.28 %	
Magnesio: < 0.20 %	
Hierro: < 50 mgkg ⁻¹	
Manganeso: < 20 mgkg ⁻¹	
Cobre: < 2.0 mgkg ⁻¹	
Zinc: < 22 mgkg ⁻¹	
Boro: < 20 mgkg ⁻¹	Síntomas claros a 18.1 mgkg ⁻¹ .
Molibdeno: -	

4.12.3. Sintomatología de las carencias. Corrección

• **Nitrógeno**

Las hojas externas toman una coloración amarillo-verdosa, que se va extendiendo hacia las internas. Las hojas de las plantas afectadas son más pequeñas y no llega a formarse la cabeza. La causa suele deberse a problemas de lavado por lluvia en suelos ligeros, o por el uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados. La fertilización nitrogenada, con bajos niveles de luz, en el invierno, deberá ser nítrica. Esto es debido al efecto negativo que presenta el nitrógeno amoniacal, que incrementa la susceptibilidad de la lechuga ante la *Botrytis cinerea* (Winsor, 1987).

- **Corrección:** aplicación de nitrógeno, vía radicular, en forma de nitrato cálcico.

• **Fósforo**

La planta presenta una coloración verde oscura. Su tamaño se reduce drásticamente. Las hojas externas presentan unas manchas irregulares, de color marrón. Estas pueden llegar a ser confundidas con algún problema fitosanitario. La causa de esta carencia está relacionada, generalmente, con las bajas temperaturas del suelo. Estas inhiben de manera clara la absorción por parte del sistema radicular. Los niveles altos de pH también bloquean al fósforo en el suelo, impidiendo su absorción. El empleo de ácidos húmicos ayuda, en estas condiciones desfavorables, a su mejor absorción. El aumento del nivel de fósforo puede mitigar, en parte, el exceso en el abonado nitrogenado.

- **Corrección:** aplicación de fósforo por vía foliar y/o radicular.

• **Potasio**

La carencia muestra unas manchas amarillas en el borde de las hojas externas. Estas se extienden hacia el centro de la hoja y hacia las hojas medias. Cuando la carencia es acusada, las manchas se tornan marrones y el margen de la hoja se necrosa. La planta presenta una disminución de tamaño muy notable. La causa de la carencia suele estar relacionada con inadecuados aportes en potasio. La lluvia en suelos arenosos y los excesos de calcio y/o magnesio son también causantes de este problema.

- **Corrección:** vía radicular con sulfato o nitrato potásico.



- **Calcio**

Las hojas jóvenes muestran unos puntos negruzcos o marrones que unidos representan una quemadura típica, denominada tip burn. Se puede aplicar, en este apartado, lo dicho para la col china. (Fotos nº 78 y 79).

- **Magnesio**

Muestra una decoloración amarillenta, internervial, en las hojas viejas. Estas pueden llegar a necrosarse cuando la carencia es muy acusada. Los síntomas progresan hacia las hojas medias. La causa del problema se relaciona con aportes inapropiados de magnesio o excesos de potasio y/o calcio que bloquean su absorción. Al mismo tiempo, acumulaciones de magnesio a nivel foliar, están casi siempre relacionados con bajos niveles de potasio. Aplicaciones elevadas en nitrógeno pueden provocar una depresión sobre el contenido de magnesio a nivel foliar (Ashkar, 1971).

- **Corrección:** aplicación foliar de magnesio, en forma de sulfato de magnesio o magnesio quelatado.

- **Hierro**

Las plantas deficientes presentan una amarillez en las hojas del cogollo. La nerviación permanece ligeramente más oscura. Niveles altos de fósforo, así como de ion bicarbonato en el suelo, bloquean al hierro induciendo la clorosis. Niveles bajos de luz y el encharcamiento son causas muy comunes de esta carencia.

- **Corrección:** aplicación de quelatos de hierro vía radicular.

- **Manganeso**

Presenta una clara amarillez internervial en las hojas medias. Los síntomas progresan hacia las hojas externas. Es relativamente frecuente en la época invernal. El exceso de hierro, tratando de corregir la clorosis férrica, suele ser un inductor de esta deficiencia. Aplicaciones excesivas de fósforo también pueden provocarla.

- **Corrección:** aplicación foliar y/o radicular de quelato de manganeso.

- **Cobre**

La carencia muestra una amarillez internervial en las hojas externas o medias. Estas pueden llegar a necrosarse. Las hojas externas se curvan a lo largo de la nerviación central hacia arriba. La causa de esta carencia se relaciona con incrementos de fósforo y de nitrógeno en forma amoniacal. El exceso de microelementos, concretamente de zinc, inciden en la carencia.

- **Corrección:** aplicación de cobre, en forma de sal o quelato, vía foliar.

- **Zinc**

Las plantas afectadas tienen la apariencia de una roseta. El crecimiento se paraliza. En el borde de las hojas externas aparecen unas manchas necróticas oscuras. Estas se mueven hacia la zona central de la hoja. Los síntomas progresan hacia las hojas jóvenes. El exceso de fósforo puede ser la causa que inhiba la absorción de zinc.

- **Corrección:** aplicación, por vía foliar, de quelato de zinc.

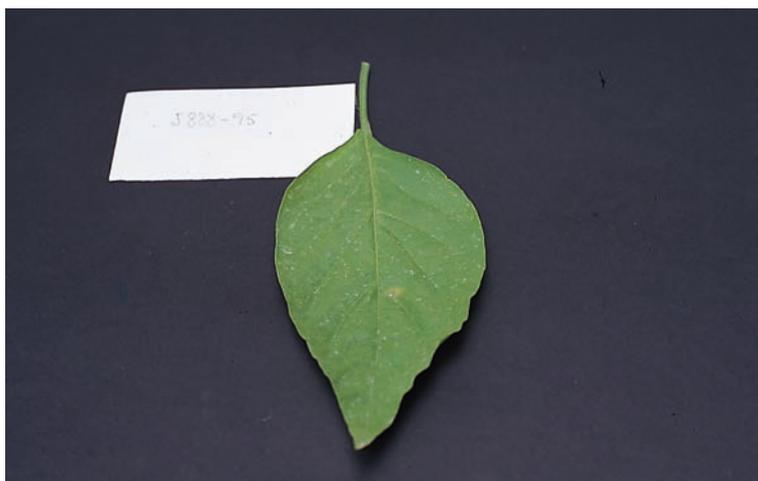
- **Boro**

Los síntomas aparecen en los puntos de crecimiento de las hojas jóvenes. Se extienden a lo largo del margen de la hoja y los puntos de crecimiento mueren. Las hojas internas se deforman y se vuelven quebradizas. La raíz se acorta y muestra una coloración marrón oscura. La causa de la carencia puede deberse a excesos de nitrógeno orgánico, proveniente de estercolados fuertes, o a excesos de fósforo en suelos neutros o ácidos.

- **Corrección:** aplicación de compuestos de boro por vía foliar y/o radicular.

APÉNDICE FOTOGRÁFICO





PIMIENTO

1. Carencia de nitrógeno



2. Carencia de nitrógeno en planta de semillero



3. Carencia de nitrógeno en planta de semillero



4. Carencia de nitrógeno en planta de semillero

5. Carencia de fósforo





6. Carencia de potasio en planta de semillero



7. Carencia de potasio



8. Carencia de potasio



9. Carencia de calcio



10. Carencia de calcio,
BER en fruto





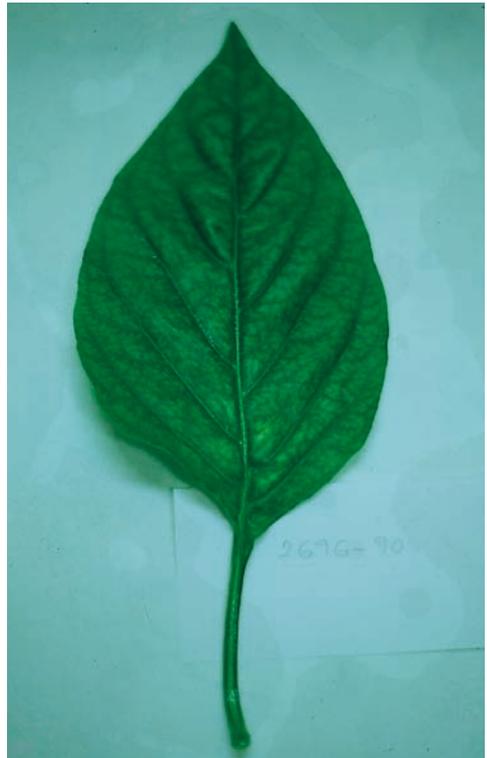
11.Carencia de magnesio



12.Carencia de hierro



13. Carencia de hierro



14. Carencia de manganeso



15. Carencia de manganeso en planta de semillero



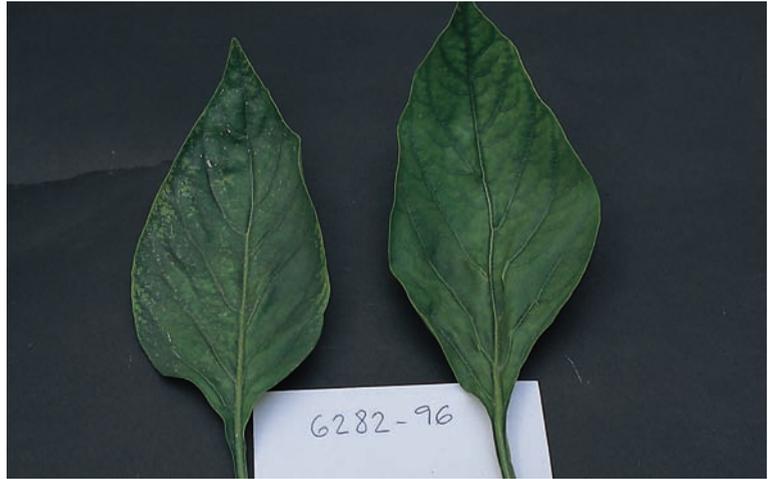
16. Toxicidad de manganeso



17. Toxicidad de manganeso



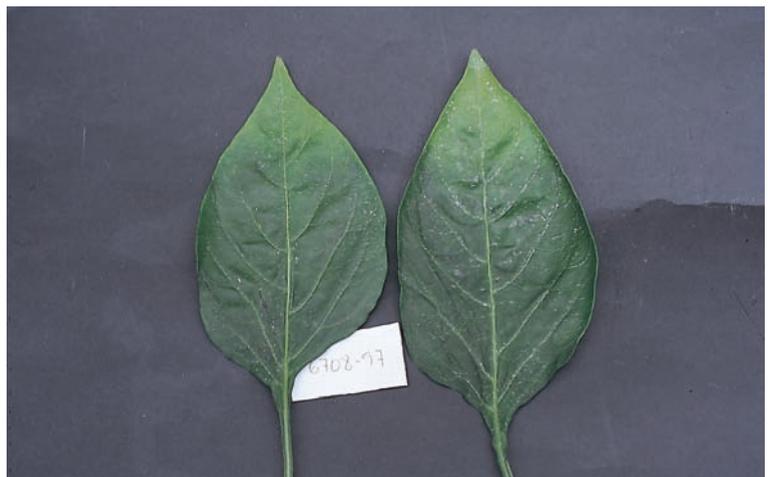
18. Carencia de zinc



19. Carencia de boro



20. Carencia de boro





21. Fitotoxicidad por hexaflumurón (Consult) por vía foliar



22. Fitotoxicidad por clorpirifos (Dursban) por vía foliar



23. Carencia de hierro en planta de semillero

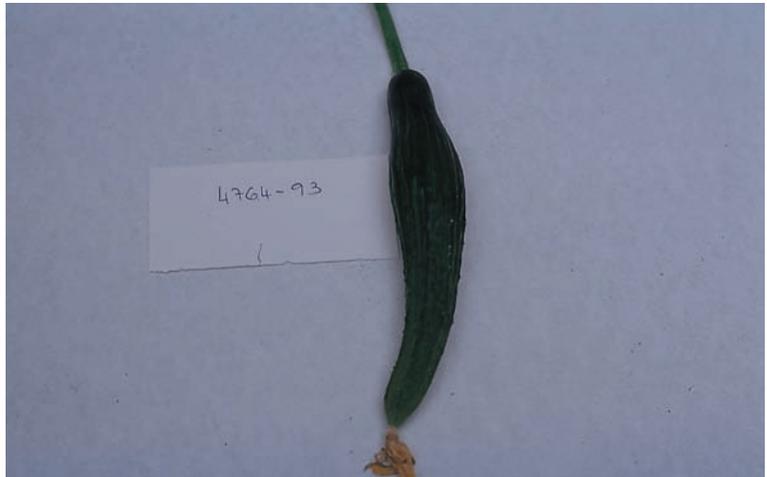


24. Toxicidad de zinc en planta de semillero

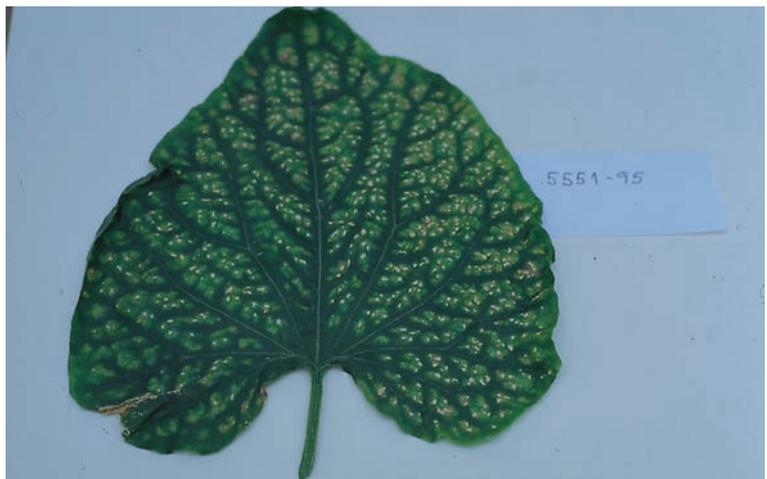


PEPINO

25. Carencia de nitrógeno en fruto



26. Carencia de potasio





27. Carencia de potasio en fruto



28. Carencia de calcio (haz)



29. Carencia de calcio (envés)



30. Carencia de magnesio



31. Exceso de salinidad por NaCl



32. Fruto curvado





33. Carencia de hierro en hoja y fruto



34. Carencia de hierro



35. Carencia de hierro



36. Carencia de manganeso



37. Carencia de zinc



38. Carencia de molibdeno
(hoja basal a media)





39.Estrangulamiento en fruto



40.Accidente climático, «piel de lagarto»

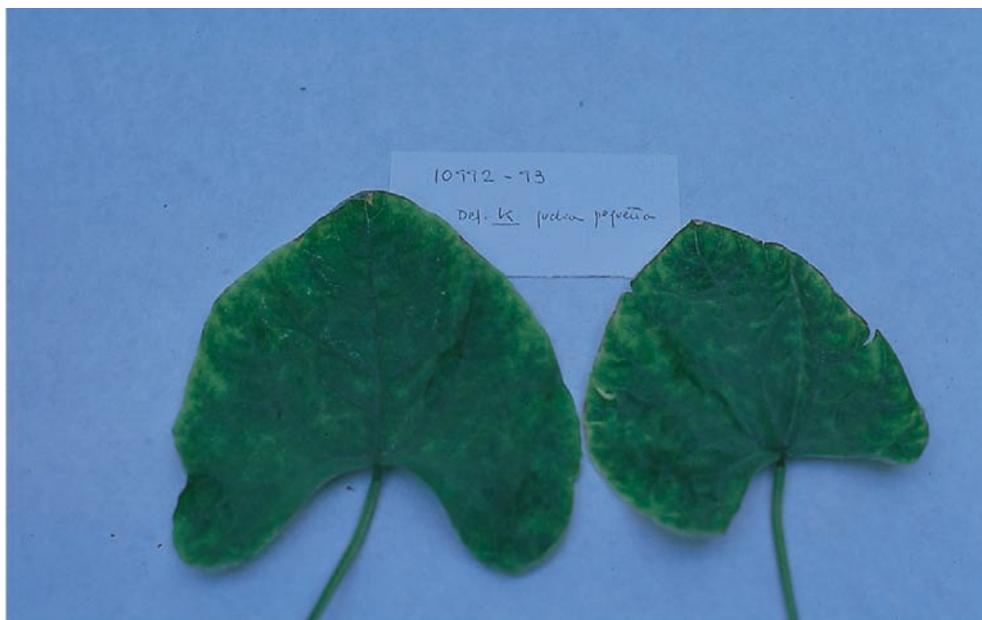


41.Fitotoxicidad por vía radicular del herbicida



42. Carencia de fósforo

43. Carencia de potasio (planta pequeña, primera hoja)





44. Carencia de potasio



45. Carencia de calcio (haz)



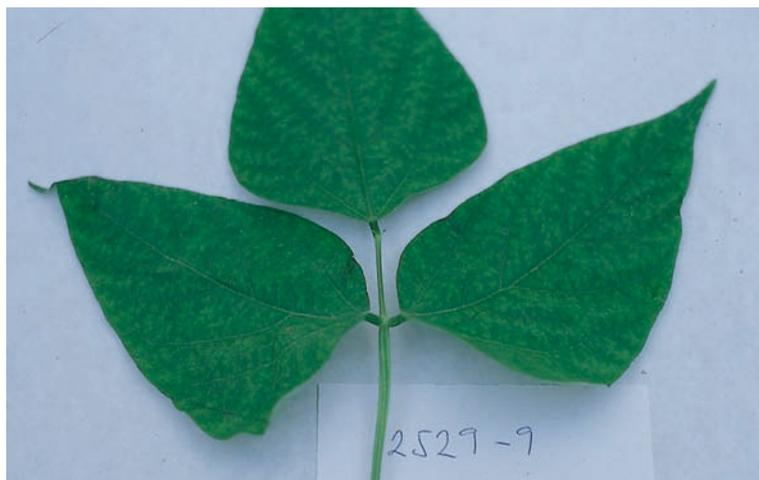
46. Carencia de calcio (envés)



47. Carencia de magnesio

48. Carencia de hierro





49. Carencia de manganeso



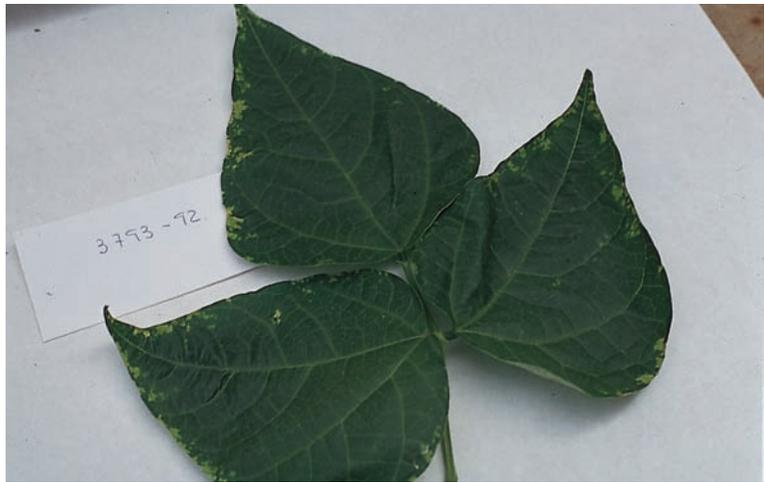
50. Carencia de zinc



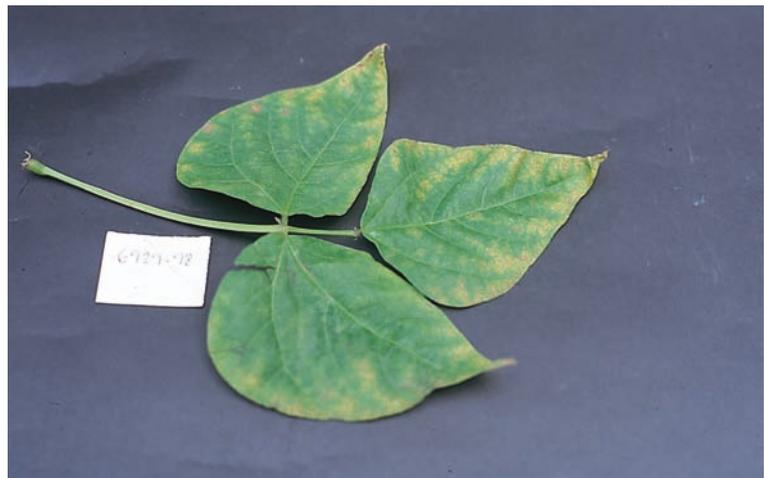
51. Carencia de zinc, hoja basal



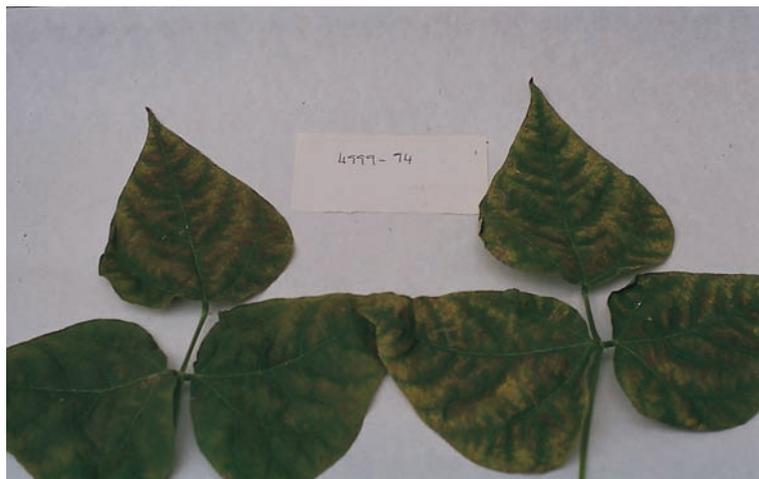
52.Exceso de manganeso



53.Carencia de boro



54.Salinidad y exceso de boro

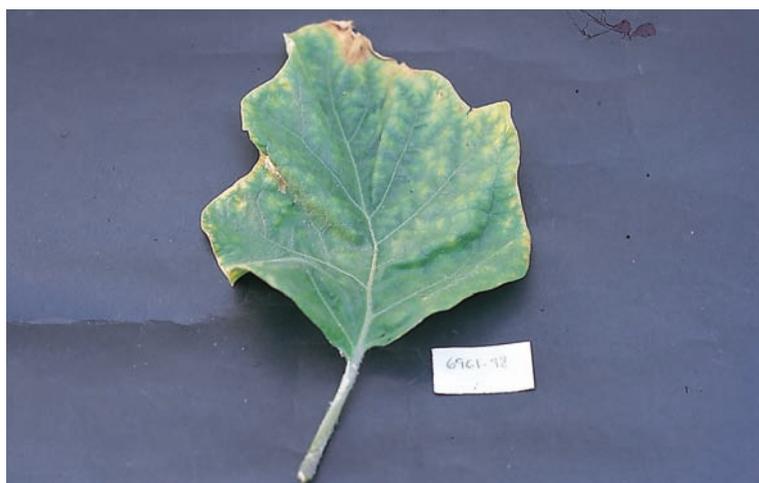


55.Toxicidad de boro



BERENJENA

56.Carencia de fósforo



57.Carencia de potasio



58.Carencia de calcio (BER en fruto)

59.Carencia de calcio (BER en fruto)





60. Carencia de hierro

61. Carencia de manganeso





62. Carencia de zinc

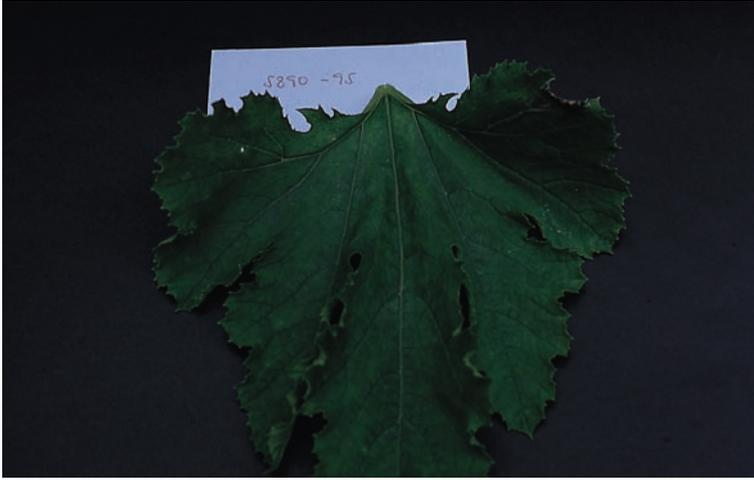


63. Frutos rosáceos

CALABACÍN



64. Carencia de hierro



65. Carencia de manganeso



66. Carencia de boro



NOTA

67. Compactación de arenas de enarenado por formación de fosfatos cálcicos. Zona El Alquíán - La Cañada

COL CHINA



68. Carencia de potasio
(hoja externa)



69. Carencia de potasio (hoja
externa)



70. Carencia de magnesio





71. Carencia de manganeso



72. Carencia de boro

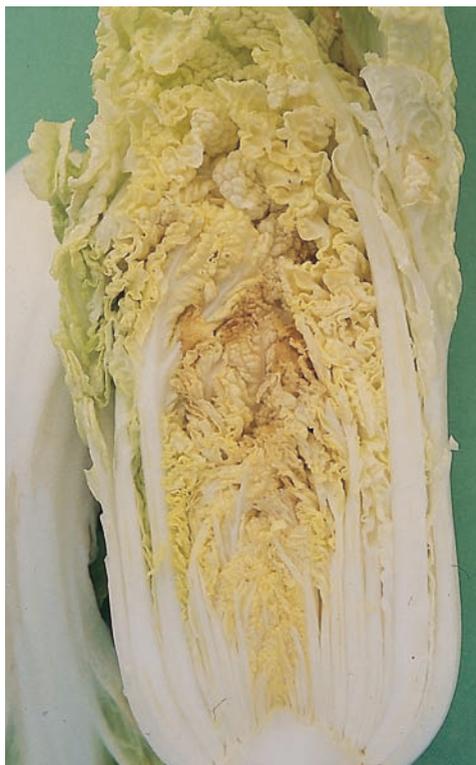


73.Carencia de calcio (Tip burn externo)



74.Carencia de calcio (Tip burn externo)

75. Carencia de calcio (Tip burn interno)



76. Fitotoxicidad por exceso de nitratos (Gomasho)





77. Fitotoxicidad por exceso de nitratos (Gomasho)



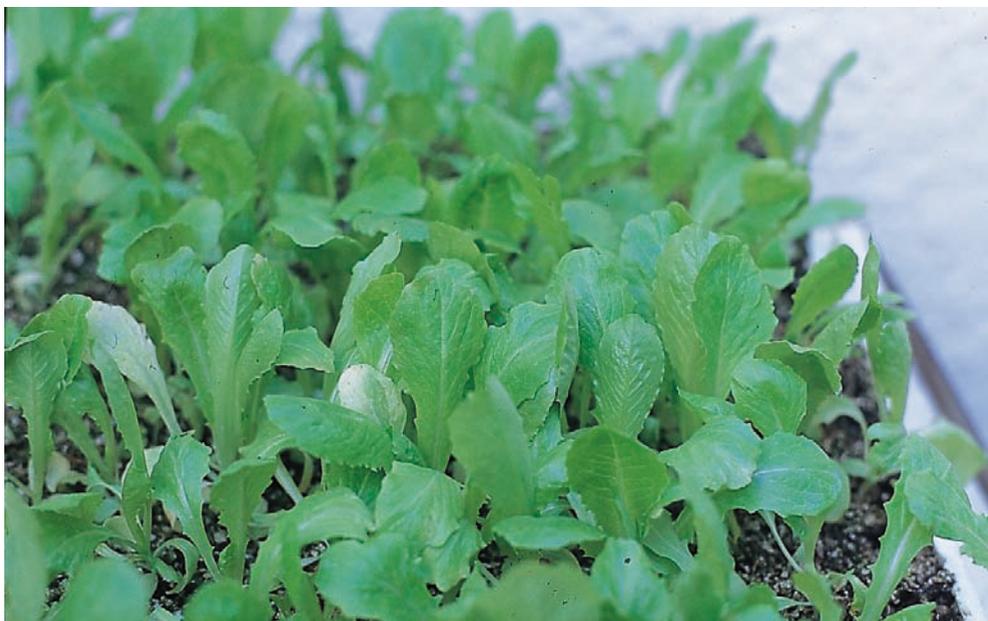
LECHUGA

78. Carencia de calcio (Tip burn interno)



79. Carencia de calcio (Tip burn interno)

80. Toxicidad en planta de semillero, inicio de los síntomas





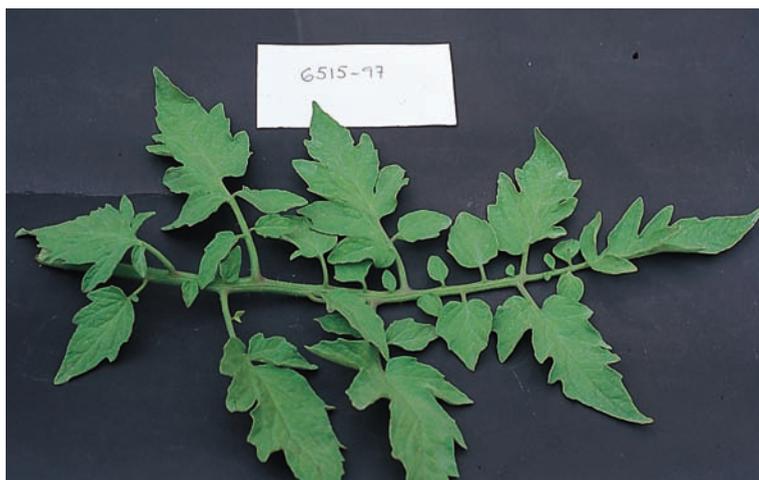
81.Toxicidad en planta de semillero, síntomas avanzados



TOMATE

82.Carencia de nitrógeno

83. Carencia de nitrógeno



84. Carencia de fósforo
(envés)

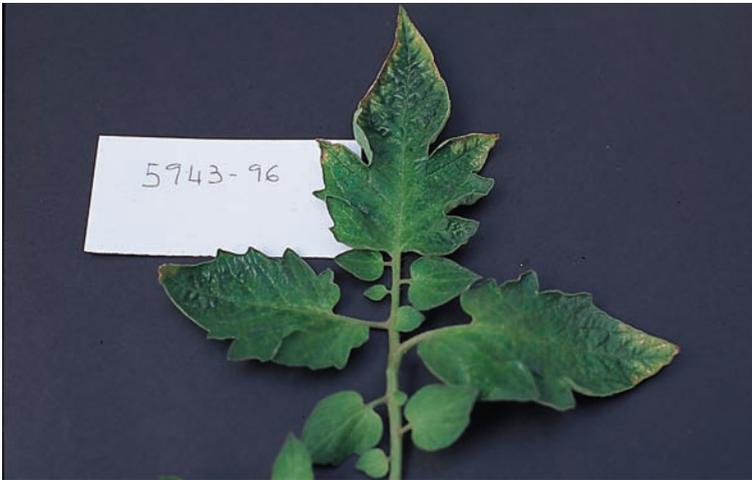


85. Carencia de fósforo
(haz)





86. Carencia de potasio



87. Carencia de calcio



88. Carencia de calcio en fruto (BER)

89. Carencia de calcio en fruto (BER)



90. Carencia de magnesio



91. Carencia de magnesio extrema





92. Carencia de magnesio extrema, foliolos



93. Carencia de hierro, inicio



94. Carencia de hierro extrema

95. Carencia de manganeso

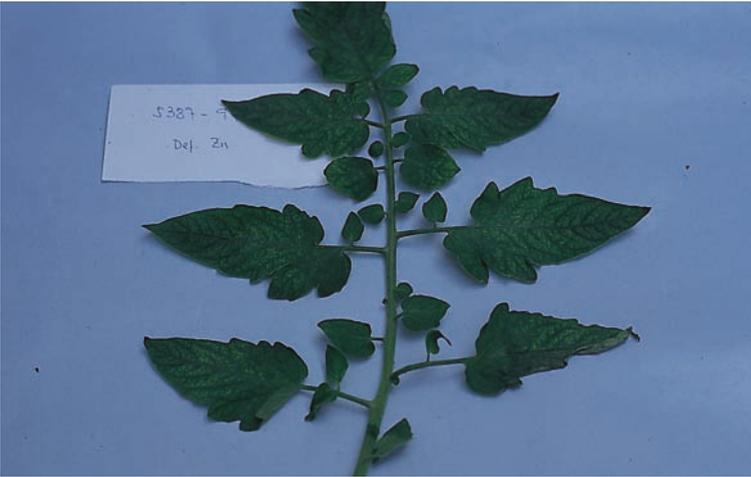


96. Toxicidad de manganeso (haz)



97. Toxicidad de manganeso (envés)





98.Carencia de zinc

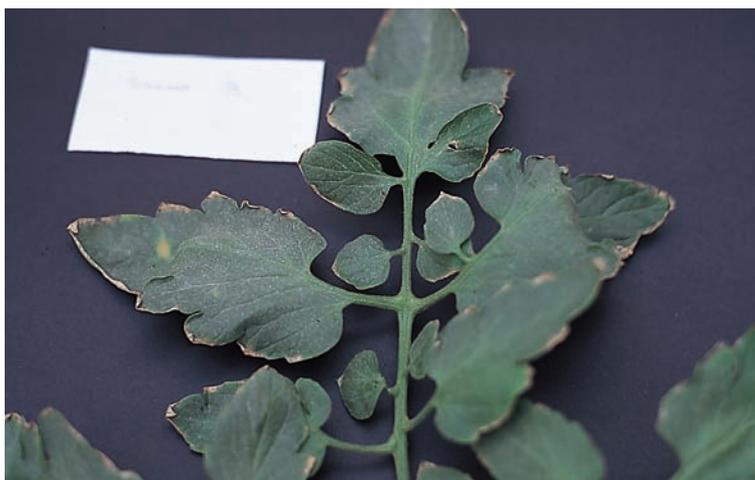


99.Carencia de boro



100.Carencia de boro, foliolos

101. Toxicidad de boro



102. Carencia de molibdeno



103. Fruto rajado





104. Fruto con blotchy ripening



105. Fitotoxicidad por vía radicular



106. Fitotoxicidad por clormecuat + cloruro de colina (Cycocel)

107. Fitotoxicidad de cobre en plantas de semillero



108. Fitotoxicidad de zinc en plantas de semillero



MELÓN

109. Carencia de potasio (hoja basal)





110. Carencia de potasio (hojas de plantas pequeñas)



111. Carencia de manganeso



112. Carencia de zinc

113. Carencia de molibdeno



114. Fitotoxicidad en plantas de semillero por exceso de salinidad y nitrógeno amoniacal



115. Fitotoxicidad en plantas de semillero por herbicida





116. Fruto de melón rajado (zona de Agadir - Marruecos)

SANDÍA

117. Carencia de manganeso





118. Carencia de boro

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- Aloni, B., L. Karni, I. Rylski y Z. Zaidman. 1994. The effect of nitrogen fertilization and shading on the incidence of "colour 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 para la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. N° 29. Roma. 85 p.
- Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1987. Calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. N° 29. Rev. 1. Roma. 174 p.
- Baker, D. E., M. C. Amacher. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium, en: *Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological Properties.* Am. Soc. of Agron. - Soil. Sci. Soc. of Am. Agronomy Monograph N° 9.
- Barceló, J., G. Nicolás, B. Savater, R. Sánchez. 1987. *Fisiología Vegetal.* Ed. Pirámide. Madrid.
- Barrow, N. J., T. C. Shaw. 1976. Sodium bicarbonate as a extractant for soil phosphate, I. Separation of the factors affecting the amount of phosphate displaced from soil from those affecting secondary adsorption. *Geoderma*. 16: 91-107.
- Barrow, N. J., T. C. Shaw. 1976. Sodium bicarbonate as a extractant for soil phosphate, II. Effect of the varying the conditions of extractions on the amount of phosphate initially displaced and on the secondary adsorption. *Geoderma*. 16: 109-123.



- Barrow, N. J., T. C. Shaw. 1976. Sodium bicarbonate as an extractant for soil phosphate, III. Effects of the buffering capacity of a soil for phosphate. *Geoderma*. 16: 273-283.
- Bayer, L. D., W. H. Gardiner, W. R. Gardner. 1973. *Física de suelos*. UTEHA. Méjico.
- Benton, J., B. Wolf, H. A. Mills. 1991. *Plant analysis handbook*. Micro-Macro Publishing. USA.
- Benton Jones Jr, J. 1985. Soil testing and plant analysis: guide to the fertilization of horticultural crops. *Horticultural Reviews*. Vol. 7.
- Bernstein, L., L. E. Francois, R. A. Clark. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. *Agronomy Journal*. 66: 412-421.
- Biggar, J. V., N. R. Mielsen. 1972. Irrigating under adverse conditions, en *Physical Edaphology*. Cap. 15. Taylor S. A., Ashcroft, G. L.
- Blake, G. R., K. H. Hartge. 1986. Bulk density, en: *Methods of Soil Analysis*. Part. I. Physical and Mineralogical Methods. *Agronomy Monograph*. N° 9 (2° Ed.) Am. Soc. of Agron.-Soil. Sci. Soc. of Am.
- Blake, G. R., K. H. Hartge. 1986. Particle density, en: *Methods of Soil Analysis*. Part. I. Physical and Mineralogical Methods. *Agronomy Monograph*. N° 9 (2° Ed.) Am. Soc. of Agron.-Soil. Sci. Soc. of Am.
- Bolt, G. H., M. G. M. Bruggenwert, A. Kamphorst. 1976. Absorption of cations by soil, en: *Soil Chemistry*. A. Basic Elements, Ed. G. H. Bolt y M. G. M. Bruggenwert. Elsevier. Holanda.
- Borax España. 1992. *Boro*. Micronutriente agrícola. 87 p.
- Bould, C., E. J. Hewitt, P. Needham. 1983. *Diagnosis of mineral disorders in plants*. Vol. 1. Principles. ADAS. ARC. UK.
- Bower, C. A., G. Ogata, 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. 1984. Necesidades de agua de los principales cultivos en invernadero plástico en la zona de Almería con riego por goteo en enarenado. Estación Experimental Las Palmerillas.
- Caja Rural de Almería. 1997. Datos meteorológicos. Estación Experimental. Campañas Agrícolas 76/77-94/95.
- Carter, D. L. 1981. Salinity and plant productivity, en: Handbook Series in Nutrition and Food. Chemical Rubber Co.
- Casas, A., A. Beledo. 1986. El análisis foliar como indicativo del estado nutricional de la col china. Ponencia en las Primeras Jornadas Nacionales de Cultivos Protegidos. COITA. Almería.
- 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-a. El diagnóstico foliar del pimiento. H. F. Hortoinformación. 9: 46-49.
- Casas, A. 1995-b. El análisis foliar del pepino. H. F. Hortoinformación. 11: 42-46.
- Casas, A. 1996-a. El análisis foliar del tomate. H. F. Hortoinformación. 70: 41-46.
- Casas, A. 1996-b. El diagnóstico foliar sobre hojas de melón. H. F. Hortoinformación. 80: 30-33.
- Casas, A., E. Casas. 1996-c. Fisiopatías originadas por el calcio en cultivos hortícolas. H. F. Hortoinformación. 81: 17-21.
- Cerdá, A., F. T. Bingham. 1978. Yield, mineral composition and salt tolerance of tomato and wheat, as affected by NaCl and P nutrition. Agrochemica. 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.
- Chen, Y., T. Aviad. 1990. Effect of humic substances on plant growth, en: *Humic Substances in Soil and Crop Sciences, Selected Reading*. Ed. P. Mc Carthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm y P. R. Bloom. *Am. Soc. Agron. - Soil Sci. Soc. Am.* 161-186.
- Cope, J. T., C. E. Evans. 1985. Soil testing, en: *Advances in soil science*, Vol. 1. B. A. Stewart. p. 201-228. Springer-Verlag. N.Y.
- Danielson, R. E., P. L. Sutherland. 1986. Porosity, en: *Methods of Soil Analysis. Part. I. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph. N° 9 (2º Ed.)* Am. Soc. Agron.-Soil. Sci. Soc. Am.
- Davis, J. H. C. 1997. Phaseolus beans, en: *The physiology of vegetable crops*. Ed. H. C. Wien, CAB International. UK.
- Doner, H. E., W. C. Lynn. 1989. Carbonate, halide, sulfate and sulfide minerals, en: *Minerals in soil environments. (2ª Ed.)* Soil Sci. Soc. Am. Book Series N° 1.
- Duchaufour, P. 1975. *Manual de Edafología*. Ed. Toray-Masson.
- Eaton, F. M. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.* 69:123-133.
- Eghbal, M. K., R. J. Southard y L. D. Whittig. 1989. Dynamics of evaporite distribution in soil on a Fan-Playa Transect in the Carrizo Plain, California. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 898-903.
- Esteban, E., F. Huertas, J. Linares, A. Aguilar. 1974. Available potassium in several soils from of the province of Granada (Spain). *Agrochemica.* 18: 558-564.
- FAO. 1977. *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. 2ª Ed. Roma.
- FAO. 1987. *Riego y Drenaje* 29. Rev. 1.
- Fernández, V. H. 1968. The action of humic acids of different sources on the development of plants and their effect on increasing concentration of the nutrient solution. *Pont. Acad. Sci. Scr. Varia* 32: 805-850.
- Fixen, P. E., J. H. Grove. 1990. Testing soil for phosphorus, en: *Soil Testing and*

Plant Analysis. 3^a Ed. Soil Sci. Soc. Am.

- Gambrell, R. P., W. H. Patrick. 1982. Manganese, en: *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph N° 9. Am. Soc. Agron.-Soil Sci. Soc. Am.
- Gee, G. W., J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, en: *Methods of Soil Analysis. Part. I. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph. N° 9 (2^o Ed.) Am. Soc. Agron.-Soil. Sci. Soc. Am.
- Gillman, G. P. 1976. The nature of extractable phosphorus from two red basaltic soils in North Queensland. *Soil Sci. and Plant. An.* 7 (6): 513-519.
- Grimme, H. 1976. Soil factors of potassium availability. *Indian Soc. Soil Sci. Bull.* N° 10: 143-163.
- Haan, F. A. M., P. J. Zwerman. 1976. Pollution of soil, en: *Soil Chemistry. A. Basic Element*, Ed. G. H. Bolt y M. G. M. Bruggenwert. Elsevier. Holanda.
- Hagin, J., B. Tucker. 1982. *Fertilization of drayland and irrigated soils*. Springer-Verlag. N. Y. USA.
- Hall, R. 1991. *Compendium of bean diseases*. APS Press. USA.
- Hall, R., H. F. Schwartz. 1993. Common bean, en: *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants*. Ed. W. Bennet. APS. Press. USA.
- Harter, R. D. 1991. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils, en: *Micronutrients in Agriculture*. 2^a Ed. Soil Sci. Soc. Am. Book Series N° 4.
- Hernández-Abreu, J. M., J. Mascarel. 1980. I Seminario de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas. Cabildo Insular de G.C. y CRIDA 11. Las Palmas.
- Ho, L. C., P. Adams. 1994. The physiological basis for high fruits. Yield and susceptibility to calcium deficiency in tomato and cucumber. *Journal Hort. Sci.* 69 (2): 367-376.
- Jurinak, J. J., R. A. Griffin. 1972. Nitrate ion adsorption by calcium carbonate. *Soil Sci.* 113:130-135.



- Kafkafi, U. 1984. Plant nutrition under saline conditions, en: Soil Salinity Under Irrigation. I. Shainberg y J. Shalhevet. Ed. Springer - Verlag. N.Y.
- Keren. R., F. T. Bingham. 1985. Boron in water, soils and plants, en: Advances in Soil Science. Vol. 1. Springer-Verlag. Nueva York.
- Kirkby, E., A. Kimengel. 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea or ammonium nutrition. Plant Physiol. 42: 6-14.
- Kochian, L. V. 1991. Mechanisms of micronutrients uptake and translocation in plants, en: Micronutrients in Agriculture, 2ª Ed. Soil Sci. Soc. Am. Book Series. nº 4.
- Lindsay, W. L. 1991. Inorganic equilibria effecting micronutrients in soil, en: Micronutrients in Agriculture, 2ª Ed. Soil Sci. Soc. Am. Book Series nº 4.
- López Ritas, J., J. López Mérida. 1978. El diagnóstico de suelos y plantas. Mundi Prensa. Madrid.
- Maas, E. V. 1984. Salt tolerance of plants, en: The Handbook of Plant Science in Agriculture. B. R. Christie. CRC Press. USA.
- Maas, E. V., G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance. Current Assessment. J Irrigation and Drainage Division, ASCE 103 (IRZ):115-134. Proceeding Paper 12993.
- MAPA. 1994. Metodos Oficiales de Análisis. Tomo III. Madrid.
- Maroto, J. V. 1983. El tipburn de las hortalizas. Agrícola Vergel. 23:551-553.
- Maroto, J. V., J. Alagarda, B. Pascual, S. López-Galarza, B. Cebolla. 1986. Tipburn incidence on chineesse cabbage cultivated under greenhouse and its prevention by application of a high calcium foliage fertilizer, en: Foliar Fertilization, A. Alexander. Nijhoof Publisher.
- Maroto, J. V., J. Alagarda, B. Pascual, S. López-Galarza, B. Cebolla. 1988. Col china: estudio realizado sobre el tipburn. Generalitat Valenciana. Conselleria Agricultura I Pesca. 56 p.
- Martin-Prével. P., J. Gagnard, P. Gautier. 1984. Enviromental 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 Dalías y de las cuencas bajas de los ríos Adra y Andarax. Boletín Instituto de Estudios Almerienses nº 9/10.
- Mengel, K., H. Grimme, K. Nemeth. 1969. Landw. Forsch. Sonderh. 13/1, 79.
- Miyamoto, S. 1980. Effects of bicarbonate on sodium hazard of irrigation water; alternative formulation. Soil Sci. Soc. Am. J. 44 : 1079 - 1084.
- Moraghan, J. T. y H. J. Mascagni. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities, en: Micronutrients in Agriculture, 2ª Ed. Soil Sci. Soc. Am. Book Series nº 4.
- Munson, R. D., W. L. Nelson. 1990. Principles and Practices in Plant Analysis, en: Soil Testing and Plant Analysis. 3ª Ed. Soil Sci. Soc. Am. Book Series. nº 3.
- Olsen, S. R. 1953. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils, en: Soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition. W. H. Pierre y A. G. Norman. Am. Soc. of Agron.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. of Agric. Circ. 939.
- Olsen S. R., L. A. Dean. 1965. Phosphorus, en: Methods of soil analysis, Part. 2. Chemical and Microbiological Properties. Am. Soc. Agron. - Soil Sci. Soc. Am.
- Olsen, S. R., L. E. Sommers. 1982. Phosphorus, en: Methods of Soil Analysis, Part. 2. Chemical and Microbiological Properties. Am. Soc. Agron. - Soil Sci. Soc. Am.
- Olson, R. V., R. Ellis. 1982. Iron, en: Methods of Soil Analysis, Part. 2. Chemical and Microbiological Properties. Am. Soc. Agron. - Soil Sci. Soc. Am. Agronomy Monograph nº 9.
- Oster, J. D., J. D. Rhoades. 1976. Various indices for evaluating the effective



- salinity and sodicity of irrigation waters. Proc. Int. Salinity Conf. Texas Techn. Univ. p:1-14.
- Oster, J. D., F. W. Schroer. 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. Soil Sci. Soc. Am. J. 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.
 - Paterson, J. W. 1989. Eggplants, en: Detecting Mineral Nutrient Deficiencies In Tropical and Temperate Crops. Ed. D. L. Plucknett y H. B. Sprague. Westview Tropical Agriculture. Series nº 7. U.K.
 - Pierrou, U. 1976. The global phosphorous cycle. en Nitrogen, Phosphorus and Sulphur Global Cycles. Ed. Svensson, B. H., Söderlund R. en Scope Report 7. Ecol. Bull. (Stockholm) 22 : 75 - 88.
 - Poapst, P. A., M. Schnitzer. 1971. Fulvic acid and adventitious root formation. Soil Biol. Biochem. 3:215-219.
 - Porta Casanellas, J., M. López-Acevedo Reguerín y R. Danes Ribalta. 1980. Los Suelos del Campo de Níjar. Caja Rural Provincial de Almería.
 - Rahman, W. A., D. L. Rowell. 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.
 - Rallings, R. 1966. An investigation into the causes of failures of farm dams in the Brigalow Belt of Central Queensland. Bulletin 10. W.R.F.A., N.S.W.
 - Rauthan, B. S., M. Schnitzer. 1981. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber plants. Plant Soil. 63:491-495.
 - Ravikovitch, S. D., D. Yoles. 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. 1972. Quality of water for irrigation. Soil Sci. 113:277-284.
 - 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. Am. Soc. Agron.- Soil Sci. Soc. Am.

- Rhoades, J. D., 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, nº 60. USA.
- Robinson, R. W., D. S. Decker - Walters. 1997. *Curcubits*. Cab. International. U.K.
- Römheld, V., H. Marschner. 1991. Function of micronutrients in plants, en: *Micronutrients In Agriculture*, 2ª Ed. Soil Sci. Soc. Am. Book Series nº 4.
- Roorda Van Eysinga, J. P. N. L., 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. Disorders in red sweet pepper fruits. *Ann. Rep. Glasshouse Crops Res. Exp. Stn. Naaldwijk, 1979*, 24-25.
- Sánchez-Conde, M. P., C. B. Ortega. 1968. Effects of humic acid on the development and the mineral nutrition of the pepper plant, en: *Control de la fertilización de las plantas cultivadas*, 2º Coloquio. CEBA. C. El Cuarto. Sevilla.
- Scaife, A., M. Turner. 1983. *Diagnosis of mineral disorders in plant*. Vol. 2. Vegetables ADAS - ARC. U.K.
- Schnitzer, M., P. A. Poapst. 1967. Effects of a soil humic compound on root initiation. *Nature*. 213:598-599.
- Schroeder, D. 1974. Relationships between soil potassium and the potassium nutrition of the plant, en: *Proceeding of the 10th Congress of the International Potash Institute Held in Budapest* 53 - 63.
- Selim, H. M., R. S. Mansell, L. W. Zelazny. 1976. Modeling relation and transport of potassium in soil. *Soil Sci.* 122 (2): 77- 84.
- Silberbush, M., S. A. Barber. 1985. Root growth, nutrient uptake and yield of soybean cultivars grown in the field. *Soil Sci. Plant Anal.* 16:119-127.
- Singh, B. B., M. A. Tabatabai. 1976. Effect of equilibrating salt solutions on



phosphate sorption by soil. *Soil Sci. Plant Anal.* 7 (7): 677 - 678.

- Sladky, Z. 1959. The effect of extracted humus substances on growth of tomato plants. *Biol. Plant.* 1:142-155.
- Sladky, Z., V. Tichy. 1959. Applications of humus substances to overground organs of plants. *Biol. Plant.* 1:9-15.
- Snowdon, A. L. 1991. A colour atlas of post harvest diseases and disorders of fruits and vegetables. Vol 2 Vegetables. Wolfe Scientific. U.K.
- Söderlund, R., B. H. Svensson. 1976. The global nitrogen cycle, en: Nitrogen, Phosphorus and Sulphur Global Cycles. Ed. Svensson. B.H. y Söderlund, R. en: Scope Report 7. *Ecol. Bull. (Stockholm)* 22 : 23 - 73.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry*. 2^a ed. John Wiley and Sons. N.Y.
- Suárez, D. L. 1981. Relation between pH_c and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage water. *Soil Sci. Soc. J.* 45:469-475.
- Swaine, D. J. y J. L. Schneider. 1971. The geochemistry of underground water, en: *Salinity and Water Use*. Ed. T. Talsma y J. R. Philip. The Mac Millan Press. Londres.
- 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 for electrolitic properties and ion asotiation in some aqueous solutions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*
- Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cations, en: *Methods of Soil Analysis*. Am. Soc. Agron. - Soil Sci. Soc. Am.
- Weigel, R. C., J. A. Schillinger, B. A. McCaw, H. G. Gauth, E. Hsiao. 1973. Nutrient nitrate levels and the accumulation of chloride in leaves of snapbeans and roots of soybeans. *Crop Sci.* 13:411-412.
- Winsor, G., P. Adams. 1987. *Diagnosis of mineral disorders in plants*. Vol. 3. Glasshouse Crops. MAFF/AFRC. London.
- Wolt, J. 1994. *Soil Solution Chemistry*. John Wiley. N.Y.