



TESIS DOCTORAL

Estudio de la fertirrigación nitrogenada con el inhibidor de la nitrificación 3,4 DIMETILPIRAZOLFOSFATO (DMPP) en melocotonero ‘Miraflores’

Autor: Francisco Javier Lorén Zaragozano

Director: Dr. D. Jesús Val Falcón

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL**

Zaragoza, año 2013

D. JESUS VAL FALCÓN, Doctor en Ciencias químicas, investigador y Director del Instituto de Investigación del C.S.I.C. “ Estación Experimental de Aula Dei” de Zaragoza

CERTIFICA:

Que la presente memoria titulada “*Estudio de la fertirrigación nitrogenada con el inhibidor de la nitrificación 3,4 DIMETILPIRAZOLFOSFATO (DMPP) en melocotonero ‘Miraflores’*”, elaborada por JAVIER LORÉN ZARAGOZANO, ha sido realizada bajo su dirección y reúne las condiciones exigidas para optar el Título de Doctor, por lo que considera que procede su presentación

Zaragoza, Septiembre 2013

Jesús Val Falcón

A ti, por estar siempre ahí

Agradecimientos

A D. Jesús Val Falcón por haber accedido a dirigirme la tesis y darme todas las facilidades posibles para su realización.

A D. Luis Miguel Muñoz-Guerra, representante de K plus S española, por brindarme la oportunidad de hacer este trabajo dentro del marco del convenio de colaboración entre K Plus S española y la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia.

A la Dirección de la Eupla por permitirme el uso de los laboratorios y medios necesarios.

A mi padre, allá donde quiera que esté.

A mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de estos años de trabajo.

A Alejandro Acero Oliete por su apoyo, colaboración y amistad.

A Soraya Cubero por su inestimable ayuda.

A D. Joaquín Gómez Aparisi por su colaboración en el inicio de este estudio.

A D. Jesús Fernández de Heredia por cedernos la parcela y darnos todas las facilidades para llevar a cabo este trabajo.

A Antonio Aisa, por su predisposición, por las atenciones que siempre tuvo conmigo y por sus enriquecedoras historias (†)

A Rubén y Antonio, dos jóvenes entusiastas que me ayudaron en diversas tareas.

A aquellos amigos que me han apoyado y animado para llegar hasta el final de este trabajo.

Septiembre 2013

RESUMEN

El cultivo de melocotonero (entre los que se incluyen, nectarino y paraguay) en nuestro país no ha dejado de crecer en los últimos años. La climatología, los suelos y el esfuerzo de los fruticultores, favorecen la obtención de producciones de calidad.

En Europa la preocupación por el medioambiente es notable y la normativa ambiental es cada vez más extensa y exigente. Dentro de las preocupaciones medioambientales preservar la calidad del agua es una prioridad. Para ello, la normativa exige, entre otros requisitos, que el agua potable no debe superar los 50 mg/L de nitratos. Además, se han delimitado aquellas zonas con riesgo de acumulación de nitratos en sus aguas y se han establecido códigos de 'buenas prácticas agrícolas' para reducir los riesgos.

La fertilización de cultivos leñosos, especialmente con fertilizantes nitrogenados, resulta compleja de determinar en su cuantía y, además, la respuesta de estos cultivos a las aplicaciones de fertilizantes es lenta, a menudo poco clara y puede llegar a mostrar efectos visibles varios años.

En este estudio se han aplicado fertilizantes nitrogenados en diferentes equilibrios $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ con el inhibidor de la nitrificación 3,4 DMPP, con objeto de estudiar los efectos sobre la producción y sobre los lixiviados de nitratos en el agua de riego.

PALABRAS CLAVE: melocotonero, fertilización, Nitrógeno, lixiviación, DMPP.

SUMMARY-ABSTRACT

The cultivation of peach trees (which also include nectarine and flat peach) in our country has not stopped growing in recent years. The climate, the terrain and the effort of the fruit farmers have favoured good quality harvests.

In Europe concern for the environment is high and environmental regulations are ever more extensive and demanding. Preserving water quality is a priority among environmental concerns. To achieve this, the regulation stipulates, among other requirements, that drinking water contains no more than 50mg/L of nitrates. In addition, those areas that are at risk of accumulating nitrates in their waters have been delimited and 'good agriculture practice' codes have been established in order to reduce risks.

The fertilization of woody crops, especially with nitrogenated fertilizers, is complex in determining its amount and, also, the reaction of these crops to the application of fertilizers is slow, often not very clear and can lead to visible effects showing for some years.

In this study nitrogenated fertilizers have been applied in different balances NO_3^- / NH_4^+ with the nitrification inhibitor 3,4 DMPP, with the aim of studying the effects on production and on the leaching of nitrates into the irrigation water.

KEY WORDS: peach tree, fertilization, Nitrogen, leaching, DMPP

El presente trabajo ha sido realizado gracias al convenio de colaboración firmado por La Escuela Universitaria Politécnica La Almunia (EUPLA) y K plus S española (en la actualidad K plus S Iberia)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	POBLACIÓN, ALIMENTACIÓN, AGUA, FERTILIZACIÓN Y MEDIOAMBIENTE	1
1.2.1	<i>GESTIÓN DEL AGUA. CONTAMINACIÓN</i>	<i>4</i>
1.2.2	<i>FERTILIZACIÓN, RIEGO Y SOSTENIBILIDAD</i>	<i>10</i>
1.2.2.1	FERTILIZACIÓN NITROGENADA	10
1.2.2.2	CONSUMO DE FERTILIZANTES	12
1.2.2.3	RIEGO	16
1.2.2.4	RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO	17
1.2.3	<i>SOSTENIBILIDAD</i>	<i>17</i>
1.2.3.1	ZONAS VULNERABLES	19
1.3	NITRATOS Y SALUD	21
1.4	LA CALIDAD COMO OBJETIVO PRODUCTIVO	23
1.5	EL MELOCOTONERO	24
1.5.1	<i>REFERENCIAS HISTÓRICAS DEL MELOCOTONERO</i>	<i>24</i>
1.5.2	<i>PRODUCCIÓN DE MELOCOTÓN EN EL MUNDO</i>	<i>25</i>
1.5.3	<i>PRODUCCIÓN DE MELOCOTÓN EN EUROPA</i>	<i>27</i>
1.5.4	<i>PRODUCCIÓN DE MELOCOTÓN EN ESPAÑA</i>	<i>30</i>
1.5.5	<i>PRODUCCIÓN DE MELOCOTON EN ARAGÓN</i>	<i>35</i>
1.5.6	<i>CALIDAD DEL MELOCOTÓN</i>	<i>37</i>
1.6	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	38
1.6.1	<i>ADAPTACIÓN EDAFOCLIMÁTICA DEL MELOCOTONERO</i>	<i>42</i>
1.6.1.1	TEMPERATURA	42
1.6.1.1.1	TEMPERATURAS INVERNALES	42
1.6.1.1.2	TEMPERATURAS PRIMAVERALES:	44
1.6.1.1.3	TEMPERATURAS ESTIVALES:	45
1.6.1.1.4	PLUVIOMETRIA E HIGROMETRIA	45
1.6.1.2	INSOLACION	45
1.6.1.3	VIENTO	46
1.6.1.4	RISCO	46
1.6.1.5	SUELO	47
1.6.2	<i>CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS</i>	<i>48</i>
1.6.3	<i>PATRÓN UTILIZADO EN EL ENSAYO</i>	<i>48</i>
1.6.3.1	SERIE GF 677	48
1.6.4	<i>VARIEDAD DEL ENSAYO</i>	<i>49</i>
1.6.4.1	MIRAFLORES	49

1.7	NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS. FERTIRRIGACIÓN. ESTRÉS HÍDRICO	54
1.7.1	LA FERTIRRIGACIÓN.....	56
1.7.2	ESTRÉS HÍDRICO. RIEGO DEFICITARIO	57
1.8	LA FERTILIZACIÓN DE LAS PLANTAS.....	58
1.8.1	INTRODUCCIÓN	58
1.8.2	ASPECTOS DE LA FISIOLÓGÍA RELACIONADA CON EL MOVIMIENTO DEL AGUA.....	63
1.9	FERTILIZACIÓN NITROGENADA	64
1.9.1	EL NITRÓGENO Y LAS PLANTAS	65
1.9.1.1	CONTENIDO DE NITRÓGENO DE LAS PLANTAS	67
1.9.2	CICLO DEL NITRÓGENO	71
1.9.2.1	PRINCIPALES FASES DEL CICLO DEL NITRÓGENO:	71
1.9.3	EL NITRÓGENO EN EL SUELO.....	74
1.9.3.1	PROCESOS QUE AFECTAN AL NITRÓGENO EN EL SUELO.....	76
1.9.3.1.1	AMONIFICACIÓN:	76
1.9.3.1.2	NITRIFICACIÓN	77
1.9.3.1.3	DESNITRIFICACIÓN.	78
1.9.3.2	ABSORCIÓN DEL NITRÓGENO POR LAS PLANTAS.....	80
1.9.4	DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE FRUTALES	84
1.9.5	EFICIENCIA Y MANEJO DE LA NUTRICIÓN.....	87
1.9.5.1	DEFICIENCIAS Y EXCESOS DE NITRÓGENO.....	89
1.9.5.1.1	EXCESO DE NITRÓGENO	89
1.9.5.1.2	DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO.....	90
1.9.6	EL BALANCE DEL NITRÓGENO	91
1.9.6.1	EL BALANCE DEL N EN ARAGÓN, PERÍODO 2002-03 (M.A.R.M.):.....	92
1.9.6.2	NECESIDADES DE LOS ÁRBOLES (EXTRACCIONES).....	92
1.9.6.2.1	LAS NECESIDADES DE ÁRBOLES ADULTOS.....	93
1.9.7	APORTACIONES O ENTRADAS DE NITRÓGENO AL SISTEMA.....	96
1.9.7.1	APORTACIONES DEL SUELO.....	96
1.9.7.2	APORTACIONES FOLIARES	97
1.9.8	ÉPOCAS O ESTADOS FENOLÓGICOS DE APLICACIÓN DEL NITRÓGENO	98
1.9.8.1	¿CUÁNDO Y CÓMO APORTAR EL NITRÓGENO?	99
1.10	RIESGOS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y DEL AGUA POR NITRÓGENO.....	100
1.10.1	EN EL AIRE	100
1.10.2	EN EL AGUA.....	101
1.10.2.1	LAVADO DEL NITRÓGENO. CONTAMINACIÓN DIFUSA POR NITRATOS.....	101
1.10.2.2	FACTORES QUE AFECTAN AL LAVADO DE NITRATO	103
1.10.2.3	NORMATIVA.....	104
1.10.2.3.1	LEGISLACIÓN AUTONÓMICA. NORMATIVA EN ZONAS VULNERABLES	104
1.10.3	MANEJO DEL RIEGO Y LAVADO DE NITRATO.....	105
1.11	INHIBIDORES Y ESTABILIZADORES DE LA NITRIFICACIÓN	105

1.11.1.1	INHIBIDORES: FACTORES AMBIENTALES Y SUELO	112
1.11.1.2	DICIANDIAMIDA (DCD)	113
1.11.1.3	NITRAPIRINA (2-CHLORO-6-(TRICHLOROMETHYL)-PYRIDINE)	114
1.11.2	3,4 DIMETIL PIRAZOL FOSFATO (DMPP).....	115
1.11.2.1	VENTAJAS DEL 3,4 DMPP.....	117
1.11.2.2	CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO EN EL SUELO.....	117
1.11.2.3	EFICIENCIA DE ABSORCIÓN DEL NITRÓGENO.....	118
1.11.2.4	INHIBIDORES DE LA INTRIFICACIÓN: EFECTOS EN LA PLANTA	120
1.11.2.5	LIXIVIACIÓN DE NITRATOS.....	122
1.11.2.6	DMPP Y MATERIA ORGANICA	123
1.11.2.7	DMPP Y RENDIMIENTO	123
1.11.2.8	DMPP Y CALIDAD DE LOS PRODUCTOS VEGETALES	125
1.11.2.9	DMPP Y EMISIONES GASEOSAS.....	126
	DMPP Y	128
1.11.2.10	TOXICIDAD.....	128
1.11.3	INHIBIDORES DE LA UREASA	128
1.11.3.1	NBPT.....	130
1.11.4	INHIBIDORES NATURALES	130
1.11.5	INHIBIDORES NO ESPECÍFICOS	131
2	OBJETIVOS.....	132
3	MATERIAL Y MÉTODOS	133
3.1	LOCALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	133
3.1.1	ENSAYO DE CAMPO DEL DMPP CON MELOCOTONEROS ADULTOS	133
3.1.2	ENSAYO EN MACETA.	135
3.2	MATERIAL VEGETAL	136
3.2.1	ENSAYO DE CAMPO.....	136
3.2.2	ENSAYO EN MACETA	136
3.3	PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LA PLANTACIÓN	136
3.4	PLANTEAMIENTO DEL ENSAYO	137
3.4.1	PLANIFICACION DEL ENSAYO.....	137
3.4.1.1	CAMPO.....	137
3.4.1.2	MACETAS.....	137
3.4.2	PLAN DE FERTILIZACIÓN.....	137
3.4.3	DATOS CLIMÁTICOS.....	144
3.4.3.1	TEMPERATURA.....	144
3.4.3.2	PRECIPITACIÓN.....	145
3.4.3.3	ETO.....	146
3.4.4	RIEGO	146
3.4.4.1	RIEGO APORTADO	146
3.4.5	ANÁLISIS DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO.....	148

3.4.6	FERTILIZACIÓN.....	149
3.4.6.1	APORTE DE NITRÓGENO POR EL AGUA.....	149
3.5	REGISTRO DE DATOS DURANTE EL PERÍODO VEGETATIVO	149
3.5.1	SEÑALIZACIÓN DE ÁRBOLES	149
3.5.2	MEDICIONES DE CLOROFILA Y ÁREA FOLIAR.....	150
3.5.2.1	FUNDAMENTOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS DE FOLIAREA® VERSIÓN 2003:	150
3.5.3	MEDICIONES DE SPAD	155
3.5.4	FLUORESCENCIA DE CLOROFILA.	155
3.5.5	CEPTÓMETRO.....	157
3.5.6	Nº FRUTOS/CM RAMO MIXTO	157
3.5.7	CRECIMIENTO DE BROTES	158
3.5.8	PESO DE FRUTOS ACLARADOS EN 2010	158
3.5.9	PESO ESPECÍFICO DE LAS HOJAS.....	158
3.5.10	PESO, CALIBRE Y NÚMERO DE FRUTOS	158
3.5.11	MEDIDA DEL PERÍMETRO DE TRONCO.....	159
3.5.12	ANÁLISIS DE FRUTOS	159
3.5.12.1.1	PESO	160
3.5.12.1.2	CALIBRE	160
3.5.12.1.3	PENETROMETRÍA.....	160
3.5.12.1.4	SÓLIDOS SOLUBLES, ACIDEZ Y PH	160
3.5.13	ANÁLISIS DE AGUA	162
3.5.14	ANÁLISIS DE LIXIVIADOS DE LAS MACETAS	162
3.5.15	ANÁLISIS DE SUELO	162
3.5.16	MADERA DE PODA	163
3.5.17	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	163
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	164
4.1	ANÁLISIS DE AGUAS 2007.....	164
4.1.1	PROPIEDADES QUÍMICAS:	164
4.1.1.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA:.....	165
4.1.1.1.1	CATIONES: (TABLA 22).....	165
4.1.1.1.2	ANIONES: (TABLA 23).....	165
4.2	ANÁLISIS DE SUELO.	165
4.2.1	ANÁLISIS HASTA 30 CM	165
4.2.2	ENTRE 30 Y 60 CM.....	166
4.3	RESULTADOS DEL AÑO 2007	167
4.3.1	PH DE LAS DISOLUCIONES DE FERTILIZANTES	167
4.3.2	LECTURAS DE SPAD	167
4.3.3	FOLIÁREA.....	168
4.3.3.1	ÁREA FOLIAR, ICF, INDICE CLOROSIS	168

4.3.4	PRODUCCIÓN	169
4.3.4.1	EN EL ÁRBOL.....	169
4.3.5	PARÁMETROS DE CALIDAD.....	170
4.3.6	ANÁLISIS DE AMONIO Y NITRATOS EN EL SUELO	171
4.4	DATOS DE 2008	171
4.4.1	CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA DE RIEGO.....	171
4.4.2	LECTURAS DEL SPAD.....	171
4.4.3	FOLIÁREA.....	172
4.4.4	PESO Y CALIBRE DE FRUTOS	173
4.4.4.1	DISTRIBUCIÓN DE CALIBRES DE 120 FRUTOS POR TRATAMIENTO.....	173
4.4.5	PRODUCCIÓN	174
4.4.6	PARÁMETROS DE CALIDAD.....	174
4.4.7	CAUDAL DE LOS GOTEROS.....	175
4.4.8	ANÁLISIS DE AMONIO Y NITRATOS EN EL SUELO	175
4.5	DATOS DE 2009	176
4.5.1	CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA DE RIEGO.....	176
4.5.2	LECTURAS DEL SPAD.....	176
4.5.3	DATOS DE FOLIÁREA.....	177
4.5.4	FLUORIMETRÍAS 2009	177
4.5.5	CALIBRE DE LOS FRUTOS MUESTREADOS.....	179
4.5.6	PRODUCCIÓN Y PESO DE LOS FRUTOS	179
4.5.7	PARÁMETROS DE CALIDAD.....	180
4.5.8	FRUTOS/CM DE RAMO MIXTO	180
4.6	DATOS 2010	181
4.6.1	CONCENTRACIÓN DE NITRATOS DEL AGUA DE RIEGO.....	181
4.6.2	LECTURAS DEL SPAD 2010.....	181
4.6.3	DATOS DE FOLIÁREA.....	182
4.6.3.1	ÁREA FOLIAR	182
4.6.3.2	I.C.F	183
4.6.3.3	INDICE CLOROSIS.....	183
4.6.4	FLUORIMETRÍAS	184
4.6.4.1	FLUORIMETRÍAS 2010	184
4.6.5	DATOS DEL CEPTÓMETRO	187
4.6.6	PESO DE LAS HOJAS.....	187
4.6.7	LONGITUD DE BROTES.....	188
4.6.8	PRESENCIA DE PULGÓN.....	189
4.6.9	ACLAREO.....	189
4.6.10	PRODUCCIÓN	190
4.6.10.1	1ª PASADA.....	190

4.6.11	PARÁMETROS DE CALIDAD.....	192
4.6.12	DISTRIBUCIÓN DE CALIBRES	193
4.6.13	MADERA DE PODA	194
4.6.14	PERÍMETRO DE TRONCO	194
4.6.15	CONCENTRACIÓN DE NITRATO Y AMONIO EN SUELO	195
4.6.15.1	MUESTRAS TOMADAS EL DÍA 9 DE JULIO A 60 CM	196
4.6.15.2	MUESTRAS TOMADAS EL 21 DE OCTUBRE	196
4.6.16	LIXIVIADOS EN MACETA	197
4.7	TABLAS EN BLOQUE DE LOS 4 AÑOS DEL ENSAYO	197
4.7.1	SPAD	197
4.7.2	AREA/HOJA.....	199
4.7.3	INDICE DE CAPACIDAD FOTOSINTÉTICA	201
4.7.4	PARÁMETROS DE CALIDAD.....	202
4.7.4.1	SÓLIDOS SOLUBLES DISUELTOS.....	202
4.7.5	CORRELACIONES ENTRE VALORES DE SPAD, FOLIÁREA Y FLUORIMETRÍAS	203
4.7.5.1	AÑO 2009	203
4.7.5.1.1	9 DE JUNIO	203
4.7.5.1.2	16 DE JULIO	203
4.7.5.1.3	ÚLTIMA SEMANA DE JULIO	203
4.7.5.1.4	11 DE AGOSTO.....	203
4.7.5.1.5	16 DE AGOSTO.....	203
4.7.5.1.6	24 DE AGOSTO.....	204
4.7.5.1.7	CORRELACIONES CON TODOS LOS VALORES AGRUPADOS	204
4.7.5.2	AÑO 2010	204
4.7.5.2.1	11 DE JUNIO	204
4.7.5.2.2	25 DE JUNIO	204
4.7.5.2.3	8 DE JULIO	205
4.7.5.2.4	27 DE JULIO	205
4.7.5.2.5	5 DE AGOSTO.....	205
4.7.5.2.6	19 DE AGOSTO.....	205
4.7.5.2.7	8 DE SEPTIEMBRE	206
4.7.6	CORRELACIONES CON TODOS LOS VALORES DE AREA, ICF, SPAD E IC AGRUPADOS .	206
4.7.7	PRODUCCIONES, NÚMERO DE FRUTOS Y PESO DE LOS FRUTOS DE CADA	
	TRATAMIENTO DURANTE LOS 4 AÑOS	207
5	DISCUSIÓN.....	209
6	CONCLUSIONES	222
7	BIBLIOGRAFÍA.....	223

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la población del planeta.....	2
Figura 2. Evolución del consumo mundial de fertilizantes nitrogenado.....	12
Figura 3. Consumo de fertilizantes nitrogenados.....	13
Figura 4. Principales países consumidores de nitrogenados	13
Figura 5. Evolución del consumo de fertilizantes en España	14
Figura 6. Evolución del consumo de nitrogenados en España.....	14
Figura 7. Consumo de fertilizantes nitrogenados en España en 2008	15
Figura 8. Consumo de fertilizantes nitrogenados en España por CC.AA.....	16
Figura 9. Emisiones de metano y de óxido de nitrógeno.....	18
Figura 10. Principales países productores de melocotón, nectarina y paraguay	25
Figura 11. Evolución de la superficie y producción de melocotonero en China	26
Figura 12. Superficie de melocotonero y nectarina por continentes.....	27
Figura 13. Rendimientos por hectárea de cada continente	27
Figura 14. Producción de melocotón, nectarina y paraguay en Europa.....	28
Figura 15. Evolución de la superficie de melocotonero en la U.E.	28
Figura 16. Evolución de la superficie de melocotonero en los principales países productores de la U.E.	29
Figura 17. Evolución de la producción de melocotón, nectarina y pavia en la U.E. en el período 1991-2011	29
Figura 18. Evolución de las producciones de melocotonero, pavia y nectarina en España, Italia, Grecia y Francia	30
Figura 19. Evolución de las superficies de melocotonero en España en el período 1961-2008.....	31
Figura 20. Superficie de melocotoneros y nectarinos de las principales regiones productoras de España	31
Figura 21. Distribución porcentual de melocotón, pavia y nectarina en España.....	33
Figura 22. Evolución de las importaciones y exportaciones de melocotones y nectarinas	34
Figura 23. Principales países importadores de melocotón, nectarinos y paraguayos producidos en España.....	34
Figura 24. Evolución de la superficie de melocotonero en Aragón.....	35
Figura 25. Estructura varietal en Aragón de melocotoneros, nectarinos y paraguayos 2010.....	36
Figura 26. Distribución de la superficie de melocotonero, nectarino y paraguay en Valdejalón en 2011.....	36
Figura 27. Edad de las plantaciones de melocotonero, nectarino y paraguay de Aragón en 2011	37
Figura 28. Hoja de melocotonero	39

Figura 29. Flor rosácea y campanulácea	39
Figura 30. Ramo mixto, ramilletes de mayo y chifonas	41
Figura 31. Fenologías	42
Figura 32. Imágenes de melocotones 'Miraflores' de la parcela.....	54
Figura 33. Ciclo del nitrógeno	73
Figura 34. Ciclo del nitrógeno	74
Figura 35. Rutas de absorción del nitrógeno	81
Figura 36. Ciclo vegetativo y reproductivo de los árboles frutales.....	99
Figura 37. Variables relacionadas ocn el manejo del agua y de la fertilización nitrogenada que influyen en el lavado de nitratos.....	105
Figura 38. Situación de la parcela.....	133
Figura 39. Vista de la parcela.....	140
Figura 40. Temperatura media de las medias del período 2001-2010	144
Figura 41. Datos de precipitaciones registradas en el período marzo-septiembre	145
Figura 42. Evapotranspiración calculada por el método: FAO Penman-Monteith	146
Figura 43. Riego aportado en litros/árbolxdía	147
Figura 44. Riego aplicado y necesidades	148
Figura 45. Montón de fertilizante aplicado por el agricultor	149
Figura 46. Distribución porcentual de calibres	173
Figura 47. Distribución de calibres	180
Figura 48. Distribución porcentual de calibres	194

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de contaminantes nitrogenados en las aguas superficiales del río Jalón.....	10
Tabla 2. -Coeficientes de cultivo (Doorenbos y Pruitt, 1976).....	55
Tabla 3. Clasificación de nutrientes según (Mengel & Kirkby 1987) adaptado por Val (2003).	62
Tabla 4. % de elementos en las hojas del melocotonero.....	86
Tabla 5. Balance del Nitrógeno. Fuente (M.A.R.M. 2007)	91
Tabla 6. Entradas y salidas de N	93
Tabla 7. Distribución porcentual del Nitrógeno en la planta (%).	94
Tabla 8. Criterios de salida y residuo del cultivo (Espada 2006)	94
Tabla 9. Porcentaje del Nitrógeno total extraído que retorna como residuo.....	94
Tabla 10. Extracciones netas de Nitrógeno por los árboles (kg/t de fruto)	94
Tabla 11. Extracciones de las malas hierbas.....	95
Tabla 12. Extracciones netas	95
Tabla 13. Nitrógeno orgánico mineralizado en distintos tipos de suelo según su nivel de materia orgánica.....	96
Tabla 14. Aporte de N de la materia orgánica.....	96
Tabla 15. Balance. Extracciones, aportaciones y necesidades de N	97
Tabla 16. Zonas vulnerables de Valdejalón-Cariñena	104
Tabla 17. Cantidades máximas de N autorizadas por hectárea en el caso del melocotonero	105
Tabla 18. Distribución del riego en las macetas.....	135
Tabla 19. Precipitaciones registradas en el año agrícola durante los 4 años del ensayo.....	145
Tabla 20. Riego aportado	147
Tabla 21. Uniformidad de los goteros	148
Tabla 22. Concentración de Cationes. <i>Espect. Emisión Plasma</i>	165
Tabla 23. Concentración de Aniones	165
Tabla 24. Análisis de suelo. Perfil 0-30 cm	165
Tabla 25. Análisis de suelo. Perfil 30-60 cm	166
Tabla 26. Valores de pH de las disoluciones fertilizantes.....	167
Tabla 27. Valores obtenidos con el Spad en 2007	167
Tabla 28. Valores medios tomados con Spad por el autor en una explotación de melocotonero 'Miraflores' de Ricla	168
Tabla 29. Datos obtenidos con el software Foliarea en 2007	168
Tabla 30. Datos de producción en el árbol en 2007	169
Tabla 31. Frutos caídos al suelo en 2007	169
Tabla 32. Parámetros organolépticos del año 2007	170
Tabla 33. Análisis de amonio y nitratos en el suelo de 2007	171

Tabla 34. Valores de Spad del 2008	171
Tabla 35. Datos obtenidos con el software Foliarea en 2008	172
Tabla 36. Calibre medio de 20 frutos del árbol en 2008	173
Tabla 37. Distribución porcentual de calibres en 2008	173
Tabla 38. Producción en 2008	174
Tabla 39. Parámetros organolépticos de 2008	175
Tabla 40. Caudal medio de los goteros.....	175
Tabla 41. Concentración de amonio y nitrato en el suelo	176
Tabla 42. Valores obtenidos con el spad en 2009	176
Tabla 43. Datos del software foliarea del año 2009	177
Tabla 44. Fluorimetría 31 de julio	178
Tabla 45. Fluorimetría 17 de agosto	178
Tabla 46. Calibre de los frutos muestreados.....	179
Tabla 47. Producción del árbol año 2009.....	179
Tabla 48. Parámetros organolépticos	180
Tabla 49. Frutos por centímetro de ramo mixto	181
Tabla 50. Valores obtenidos con el spad en 2010	182
Tabla 51. Spad. Comparación del testigo y media de los demás tratamientos	182
Tabla 52. Área foliar promediada de 1 hoja	183
Tabla 53. Índice de capacidad fotosintética.	183
Tabla 54. Índice de clorosis.....	184
Tabla 55. Fluorimetría del 28 de junio.....	184
Tabla 56. Fluorimetría del 16 de julio	184
Tabla 57. Fluorimetría del 30 de julio	185
Tabla 58. Fluorimetría del 10 de agosto.....	185
Tabla 59. Fluorimetría del 19 de agosto.....	186
Tabla 60. Fluorimetría del 1 de septiembre.....	186
Tabla 61. Fluorimetría del 9 de septiembre.....	186
Tabla 62. Datos del ceptómetro del 12 de julio	187
Tabla 63. Peso de las hojas en fresco, en seco, área, PE	187
Tabla 64. Peso de las hojas en fresco, en seco, área, PE, testigo y medias del resto	188
Tabla 65. Longitud de brotes el día 26 de mayo	188
Tabla 66. Longitud media de Ramos mixtos en noviembre	188
Tabla 67. Presencia de pulgón. N° de árboles del tratamiento con pulgón.	189
Tabla 68. Datos del muestreo de 60 frutos aclarados (10 por Tratamiento)	189
Tabla 69. Datos del aclareo de melocotones	189
Tabla 70. Datos de aclareo eliminando el valor máximo	189
Tabla 71. Producción de la primera pasada.....	190
Tabla 72. Producción de la segunda pasada	190
Tabla 73. Producción total.....	191

Tabla 74. Producción del árbol en las dos pasadas agrupadas por tipo de nitrógeno	191
Tabla 75. Producción del árbol en primera pasada agrupada por tipo de nitrógeno	191
Tabla 76. Producción del árbol en segunda pasada agrupada por tipo de nitrógeno	192
Tabla 77. Datos organolépticos.....	192
Tabla 78. Medición del calibre de 20 frutos.....	193
Tabla 79. Distribución de frutos por calibres en porcentaje	193
Tabla 80. Kilógramos de madera de poda	194
Tabla 81. Madera de poda eliminando los tratamientos con mayor y menor madera	194
Tabla 82. Evolución del perímetro del tronco. Año 2007 al 2010	195
Tabla 83. Concentración de nitrato y amonio el 9 de julio a 60 cm de profundidad	196
Tabla 84. Concentración de nitrato y amonio el 21 de octubre.....	196
Tabla 85. Lixiviados obtenidos en maceta	197
Tabla 86. Datos de Spad agrupados por tiempo transcurrido desde la floración	198
Tabla 87. Datos de área de hoja, agrupados por tiempo transcurrido desde floración ..	200
Tabla 88. Datos de ICF agrupados por tiempo transcurrido desde floración	201
Tabla 89. Sólidos solubles totales de los 4 años del ensayo.....	202
Tabla 90. Correlaciones agrupadas de 2009	204
Tabla 91. Correlaciones del 25 de junio.....	205
Tabla 92. Correlaciones del 8 de julio	205
Tabla 93. Correlaciones del 27 de julio	205
Tabla 94. Correlaciones del 19 de agosto.....	206
Tabla 95. Correlaciones del 8 de septiembre.....	206
Tabla 96. Correlaciones de todos los valores de área, ICF, Spad e IC agrupados.....	206
Tabla 97. Producciones de cada tratamiento durante los 4 años	207
Tabla 98. Número de frutos de cada tratamiento durante los 4 años	208
Tabla 99. Peso de los frutos de cada tratamiento durante los 4 años	208

ABREVIATURAS

DCD	DICIANDIAMIDA
DMPP	3,4 DIMETILPIRAZOLFOSFATO
IN	INHIBIDOR DE LA NITRIFICACIÓN
IU	INHIBIDOR DE LA UREASA
M.O	MATERIA ORGÁNICA
N	NITRÓGENO
NBPT	N-(n-butil) triamida tiofosforica
NP	NITRAPIRINA
ICF	ÍNDICE DE CAPACIDAD FOTOSINTÉTICA
IC	ÍNDICE DE CLOROSIS
SPAD	VALORES OBTENIDOS CON CHLOROPHYLL METER
MOD. SPAD 502	
PAR	RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA
F0	FLUORESCENCIA MÍNIMA, INICIAL o basal.
FV	FLUORESCENCIA VARIABLE MÁXIMA
FM	FLUORESCENCIA MÁXIMA
Fv/Fm	EFICIENCIA DEL FOTOSISTEMA PSII
PI	ÍNDICE DE FUNCIONAMIENTO DEL PSII (COMBINA
CRITERIOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES)	
TFm	TIEMPO HASTA ALCANZAR LA MÁXIMA
FLUORESCENCIA	
AREA	AREA DE LA CURVA DE FLUORESCENCIA
RC_ABS	FLUJO DE FOTONES ABSORBIDOS POR PIGMENTOS
DE LA ANTENA EN LOS CENTROS DE REACCIÓN (RC)	

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Esta tesis es fruto del convenio que iniciaron en 2007, Compo Agraria, que posteriormente sería absorbida por el grupo K+ S, cuya empresa en España pasó a denominarse: K plus S española y la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (Eupla), y tiene por objetivo el estudio de los efectos del inhibidor de la nitrificación 3,4 dimetilpirazolfosfato DMPP en melocotón.

1.2 POBLACIÓN. ALIMENTACIÓN. AGUA. FERTILIZACIÓN Y MEDIOAMBIENTE

El hombre en el neolítico (8.000 a.c.) cambió su forma de vida nómada por la sedentaria, y así comenzó lo que hoy denominamos actividad agrícola y ganadera, en el cuarto creciente, entre los ríos Eufrates y Tigris en la actual Irak.

Con la actividad sedentaria se crearon los primeros poblados, que con el paso del tiempo fueron diseminándose, y creando al mismo tiempo espacios más concurridos, que hoy conocemos como ciudades. En estas primeras épocas la agricultura y ganadería fue de autoabastecimiento. A medida que creció el número de ciudades y su tamaño, hubo una mayor necesidad de producir alimentos en el medio agrario para proveer a los habitantes de estas ciudades.

El número de humanos que poblaban la tierra que inicialmente era reducido, fue aumentando progresivamente de forma suave, hasta la revolución industrial, época en la que se produce un salto cuantitativo importante y se alcanzan los 1.000 Millones de habitantes. Una primera consecuencia de este proceso fue el abandono del medio rural hacia el medio urbano (Figura 1). Estos incrementos de población no se habrían podido desarrollar ni sobrevivir sin un adecuado abastecimiento de alimentos. En el 8.000 A.C. se necesitaba 1 millón de t de grano de cereal para abastecer a la población; en 2050, esa cifra se habrá multiplicado por 2000. Riuichi, 2005, adaptado por (Betrán 2006b); así el hombre necesita aumentar sus producciones cada día para alimentar a una nueva ciudad de 240.000 habitantes. Es muy posible que la población mundial llegue a los 8.000 millones en el año 2030, y 9000 en el 2050 (Sumpsi 2009) y que 2/3 de esta población viva en las ciudades. Como consecuencia de ello, se producirá un incremento en la demanda de alimentos, que según la F.A.O. precisará de un aumento en la producción del 70% en 2050, para satisfacer la demanda de una sociedad más numerosa, más urbana y con más renta (Sumpsi 2009)

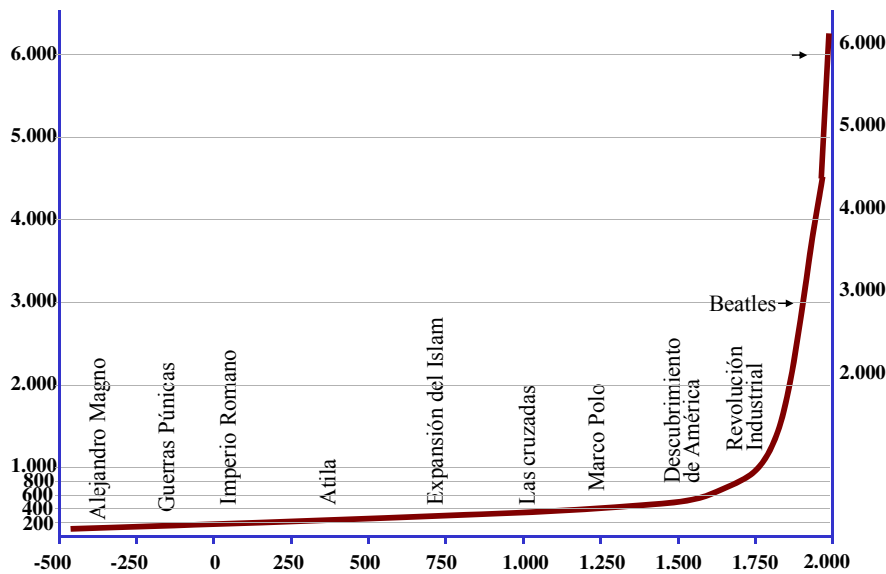


Figura 1. Evolución de la población del planeta (LORETO, 2009).

Este crecimiento vertiginoso de la población, ha generado cambios importantes en la forma de vivir y producir del ser humano; un incremento de la presión sobre la naturaleza, con consecuencias medioambientales importantes: contaminación del aire, del agua y de los suelos, generación de residuos, deforestación, pérdida de biodiversidad, expoliación de recursos en países pobres, etc. Entre los cambios mencionados se encuentra el paso en una parte sustancial de la población de la dieta vegetariana a la cárnica, lo que supone una gran demanda de cereal y proteaginosas para alimentar al ganado. Cada ser humano necesita una ingesta diaria de 50 g de proteína (equivalentes a 8 g de Nitrógeno) (Schenk 2005) y desde hace varias décadas se está produciendo una evolución de la demanda de alimentos con un incremento de la proteína animal. Como consecuencia ha sido necesario aumentar la producción de alimentos en paralelo a las necesidades de la creciente población. Un tercio de la producción de grano del planeta se destina a la alimentación del ganado (Sinclair & Gardner 2001).

Para incrementar la producción, se pueden adoptar distintas alternativas:

- Aumentar la superficie de cultivo. Esta opción resulta cada vez más difícil, ya que el aumento de la superficie agrícola no es ilimitado, en tanto que supone en muchos casos deforestar, y por tanto crear un grave problema ambiental. Se prevé que un 10% del incremento en la producción de alimentos provenga de esta vía (Sumpsi 2009).

- Aumentar los rendimientos por unidad de superficie. La utilización racional de todos los recursos, puede contribuir a incrementar la producción y a mejorar el proceso de almacenamiento y conservación hasta llegar al consumidor final. Se estima que el 90% del incremento de la producción futura se producirá por el incremento de rendimientos (Sumpsi 2009). El desarrollo de variedades con mayor UEN, y mejores prácticas agrícolas pueden contribuir a la sostenibilidad (Baligar et al. 2001). En este ámbito todavía hay margen de actuación: plagas y enfermedades destruyen un 20% de las cosechas; la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados aplicados a los cultivos de cereal, no superan en el mejor de los casos el 42% en países desarrollados y un 29% en los que están en vías de desarrollo (Raun & Johnson 1999); la eficiencia global del fósforo no supera el 10% y la de potasio el 40% (Baligar et al. 2001).

El rápido crecimiento de la población obligó al aumento de la producción de alimentos a lo largo del S. XX, para poder abastecerla, si bien, aún hoy, sigue habiendo un número importante de habitantes del planeta que pasan hambre.

La revolución verde supuso un avance sustancial para aumentar las producciones de alimentos. La mejora genética, con nuevas variedades más productivas de arroz y trigo; el uso de fertilizantes químicos para las nuevas variedades más exigentes; las mejoras en los sistemas de riego; la mayor eficiencia en la protección de los cultivos y una clara mejora en el rendimiento del trabajo con la participación de máquinas cada vez más eficaces, contribuyeron al incremento de las producciones. Por contra, esto supuso un notable incremento del consumo energético. Se consiguió una mayor eficiencia en la fertilización (se multiplicó por 2-2,5 la productividad por kg de Nitrógeno aplicado), al mismo tiempo que se produjo un incremento continuo en el consumo de fertilizantes nitrogenados. Uno de los pilares del aumento de producciones, fue la mejora en la fertilización de las tierras. A las clásicas enmiendas orgánicas, se añadió el uso de fertilizantes minerales, teniendo especial relevancia los compuestos nitrogenados. La creciente demanda de alimentos y fibras ha dado lugar a un aumento del uso de fertilizantes en todo el mundo (Chen 2008). El uso intensivo de la fertilización, ha tenido enormes ventajas productivas, pero también ha generado problemas de tipo ambiental, como la contaminación de los acuíferos, o la eutrofización de las aguas (en algunos sistemas acuáticos se alcanzan concentraciones de 1 g/l de NH_4^+ , que ocasionan daños importantes (Martínez 2003). El consumo de Nitrógeno desde el período 1959/60 a 1994/95 se multiplicó por tres, pasando de 27,2 M de Tn a 123,2 M Tn (Betrán 2006a). En España se pasó de 327 mil toneladas en los años 60, a más de 1100 a principios del S.XXI. (Fuente M.A.R.M.).

Las predicciones de la ONU establecen que en 2020 el planeta tendrá 8000 M de habitantes. Las mayores demandas de alimentos se producirán en las regiones más pobladas (China y el resto de Asia), lugares en los que la lucha contra el hambre va asociada a la lucha contra la pobreza.

La disponibilidad de recursos es limitada y se está reduciendo la superficie por habitante debido al aumento de la población y de su huella ecológica. Cada habitante del planeta tenía a su disposición en 1987, 0,3 hectáreas; en 1997 0,26; en España, en 1987 disponíamos de 0,52 hectáreas, y en 1997 de 0,48; cada habitante chino tenía 0,12 ha en 1987 y diez años más tarde 0,11 (Bosch & Boixadera 2006).

1.2.1 GESTIÓN DEL AGUA. CONTAMINACIÓN

Una cuestión de gran calado, es el continuo deterioro ambiental que ha sufrido el planeta a partir de la revolución industrial, especialmente en el S.XX y en el actual. Desde un punto de vista global, la contaminación es un fenómeno cada vez más grave, aunque hay países que han hecho grandes esfuerzos económicos y de educación que se han traducido en reducciones de la contaminación del aire, de los suelos y de sus aguas. Un dato positivo a favor de la gestión ambiental en nuestro país, es que destaca entre aquellos del planeta, que mejor han sabido conservar su masa forestal.

El agua será el más escaso y preciado recurso de este milenio (Rodríguez 2009). Es el componente mayoritario de las plantas y, por tanto, su comportamiento en el suelo tendrá una gran influencia en la planta (Cadahía et al. 2002). El agua es un elemento fundamental para la obtención de buenas cosechas con regularidad. La agricultura de regadío es el principal consumidor de agua dulce del planeta, alcanzando una proporción que puede exceder el 70-80% del consumo total en zonas áridas y semiáridas (Egea et al. 2009). España es el primer país de Europa y el noveno del mundo en superficie de regadío (Rodríguez 2009). Según los datos del IPPC (Panel para el cambio climático), las precipitaciones han aumentado durante el siglo XX en los continentes fuera de los trópicos pero han disminuido en las regiones desérticas de África y América del Sur (Gitay et al. 2002). En nuestro país se prevé una disminución entre el 10 y el 20%, salvo en la Cordillera Cantábrica y Pirineos. Además se espera un incremento de las temperaturas que agravará los procesos de evapotranspiración. Las previsiones indican que disminuirán las reservas de agua en el sur de Europa.

Por lo tanto, la gestión del agua se convertirá en un elemento primordial para tratar de asegurar tanto el suministro como su calidad. A lo largo de los últimos cincuenta años, la agricultura ha estado afrontando el gran reto de proveer alimentos a una población mundial que se ha duplicado. Esto ha dado como resultado unas extracciones de agua que superan con creces las de cualquier otro sector (UNESCO (N.U.) 2008). Al

mismo tiempo se prevé un aumento de la demanda para la agricultura y el turismo, especialmente en las regiones más secas y cálidas.

En el ámbito de la gestión, el riego forma parte sustancial de la regularidad de las producciones agrícolas. La agricultura utiliza un porcentaje elevado (75%) del agua dulce disponible. Aunque se cuestione la eficiencia de la agricultura de regadío en las zonas donde existe escasez de agua (Postel et al. 1996) mundialmente se considera a ésta agricultura como uno de los iconos de la seguridad alimentaria, ya que a pesar de que sólo el 17 % de las tierras cultivadas a nivel mundial están bajo irrigación, aportan más del 40 % de los alimentos para consumo humano. A pesar de ello, la agricultura bajo riego es aún practicada, en muchas áreas del mundo, bajo una completa violación de los principios básicos de conservación y sostenibilidad (Fereres & Soriano 2007).

En España se utilizan para el riego de los cultivos, 16 M de m³/año. La distribución del agua se hace en: 21,4% riego por aspersión, 33,1 riego por goteo, 45,1% a manta, 0,4% otros. (M.A.R.M. 2009). La gestión del agua se convertirá en una elemento clave del desarrollo de los países. En el contexto de la producción frutícola, la eficiencia del uso del agua, debe contemplar aspectos como la calidad de la cosecha (tamaño, composición química, etc.) que pueden influir notablemente en el valor final de la producción (Egea et al. 2009).

Una buena gestión del agua será crucial para el desarrollo del hombre y de su entorno. En la Cumbre del Milenio de la Asamblea General de N.U. 2000, se establecieron 8 objetivos de Desarrollo para el Milenio. El objetivo 1, de erradicación de la pobreza y el hambre, tiene en su capítulo 7, las bases del agua para la alimentación, la agricultura y los medios de vida rural. En el objetivo 7, el agua se integra dentro del marco de mejora de la sostenibilidad del medioambiente (UNESCO (N.U.) 2008).

Las estrategias y políticas de adaptación deben incluir elementos locales, transfronterizos y de ámbito comunitario. A la vez, deben integrar actividades tan inconexas como agricultura, turismo, producción de energía, etc (A.E.M.A. 2009b).

La calidad del agua es un pilar fundamental de nuestra existencia, tanto para el consumo directo como para el indirecto a través de los alimentos, o del derivado de otros fines productivos (es un elemento imprescindible en cualquier actividad económica). La calidad del agua se verá afectada por un aumento de las temperaturas y la pérdida de caudales de los ríos (A.E.M.A. 2009b).

Las fuentes de contaminación de las aguas pueden ser puntuales o difusas. Este último caso es importante ya que durante las lluvias los cursos de agua reciben una carga adicional de contaminantes provenientes del lavado del suelo y de la atmósfera. Se entiende por contaminante de las aguas cualesquiera formas de materia o energía cuya presencia, evacuación o liberación pueda causar daños a la biota (Sánchez 1995).

Además, la aplicación de nutrientes nitrogenados contribuyen a la contaminación difusa.

La contaminación difusa de las aguas se ha convertido en un problema grave en algunas zonas. En Europa, la U.E., ante la preocupación por el aumento de la contaminación planteó diversas directivas; entre ellas la 91/676/CEE del Consejo de 12 de diciembre de 1991, que tiene por objeto reducir la contaminación por nitratos de las aguas, ya que se considera que la fertilización nitrogenada es la responsable de la contaminación difusa de las aguas subterráneas de la U.E.

La legislación europea actual tan solo hace referencia a niveles de contaminación basados en la concentración de contaminantes en el agua, y no en la masa exportada a través del drenaje en función de la sensibilidad del sistema hídrico receptor. Este vacío legal está justificado, en parte, por la particularidad que entraña el carácter difuso de la contaminación inducida por el regadío (Causapé 2007).

La cantidad de nitratos que queda acumulada en un suelo o que puede ser arrastrada al freático depende de: la cantidad de nitratos del suelo, la intensidad de la lluvia o riego, la textura y permeabilidad del suelo y las extracciones de los cultivos (Verheye 2005). Una manera de reducir la contaminación de las aguas es mantener el N mineral del suelo en forma amoniacal en lugar de en forma nítrica (Ball-Coelho & Roy 1999). A ello contribuye el uso de inhibidores de la nitrificación. El carácter difuso de la contaminación agraria dificulta su cuantificación y asignación a un determinado territorio. No obstante la pérdida de agua y nitrato en desagües agrícolas se puede asignar a la cuenca hidrológica del desagüe correspondiente (Causapé 2007).

Pueden distinguirse dos tipos de contaminación por nitratos:

a) **puntual**, debida a actividades de origen industrial, ganadero o urbano (vertido de residuos industriales, de aguas residuales o de efluentes orgánicos de las explotaciones ganaderas, lixiviación de vertederos, etc.).

b) **difusa o dispersa**, consecuencia mayoritariamente de las actividades agrícolas. Por ello, es preciso prevenir ambos tipos de contaminación: la difusa que es más compleja de controlar y afecta tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas y la contaminación puntual que puede ocasionar un gran impacto sobre las aguas superficiales o sobre localizaciones concretas de las aguas subterráneas. Las prácticas de fertilización con abonos orgánicos o inorgánicos son generalmente causantes de la contaminación difusa de las aguas subterráneas por nitratos (G.E.N.C.A.T 2002). La potabilización de aguas naturales destinadas a abastecimiento de la población mediante la desinfección, también puede dar lugar a nitratos por oxidación del amonio y de los nitritos.

Actualmente se utiliza el índice de contaminación por Nitratos ($ICN\ m^{-1}$) que se calcula como la masa de nitrato exportada (N ; $kg\ N-NO_3^- /ha$ regada) dividida por la precipitación (P ; m) y por las necesidades de fertilización de cada regadío (NF ; $kg\ N/ha$ regada)

$$ICN = \frac{N}{P\ NF}$$

Las aguas subterráneas son un recurso natural valioso y el elemento hídrico que debe ser protegido de la contaminación química y del deterioro. Son la fuente principal del suministro público del agua potable (Consejo Europeo 2006), y sufren un continuo deterioro como consecuencia de la urbanización y de las actividades industrial, agrícola y minera (Foster et al. 2006).

La agricultura y ganadería son las principales “fuentes de contaminación difusa” de las aguas (Anónimo 2010). La contaminación de las aguas superficiales y profundas por NO_3^- es uno de los problemas medioambientales más criticados en la agricultura intensiva actual (Carrasco 2002), estando más afectadas las subterráneas. En las zonas agrícolas, los fertilizantes nitrogenados son la fuente principal de contaminación con nitratos de los acuíferos poco profundos, de los cuales proviene la mayoría del agua de bebida de las poblaciones rurales (Albert 2002). Según (Silveira 2005, citado por Betrán 2006b), el contenido en nitrato del agua se está incrementando desde la era pre-industrial. Los excrementos de la ganadería también forman parte de la contaminación por nitratos. Los fertilizantes nitrogenados, los fitosanitarios, la materia orgánica (excrementos, restos de cosechas, etc.) aportan Nitrógeno a los suelos, que convertidos en nitratos, pueden afectar gravemente a la calidad del agua. Como ejemplo, un novillo produce unos 450 kg de estiércol/año, que contiene 43 kg de Nitrógeno, que en buena parte se transforma en nitrato. El ser humano, también excreta unos 5 kg Nitrógeno/ hab/ año, lo que supone un riesgo elevado de contaminación, en ausencia de sistemas de depuración. El uso generalizado de fertilizantes minerales, a menudo muy solubles, ha creado algunos efectos no deseables cuyo desarrollo se ha detectado en los últimos decenios (Betrán 2006b).

La FAO considera que las aguas para cultivos sensibles deberían tener concentraciones de nitrato inferiores a 130 mg/l, reconociendo que se pueden dar casos menos severos desde los 70 mg/l (González & Guzman 2006).

El peso relativo del sector agrario en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), respecto a otros sectores es del 18%. En 1999, la agricultura fue la responsable de la emisión del 31% de sustancias acidificantes y del 94% de las emisiones de amoníaco asociadas a la ganadería intensiva y a la fertilización. En España

la agricultura es la responsable del 87% de las emisiones totales de amoníaco. Con relación al protóxido, en España la agricultura es la responsable del 14% de las emisiones (Bosch & Boixadera 2006). La aportación de N a los ecosistemas naturales podría incrementar la cantidad de CO₂ fijado (Holland et al. 1997).

El contenido de nitratos de las aguas de algunas regiones de los estados miembros de la U.E. está aumentando y ya es elevado en comparación con los niveles establecidos en las directivas 75/440/CEE, 79/869/CEE y 80/778/CEE. Así, la causa principal de la contaminación originada por fuentes difusas que afecta a las aguas de la Comunidad son los nitratos procedentes de fuentes agrarias (Consejo Europeo 1991). Uno de los objetivos de la directiva 91/676/CEE es reducir la contaminación de las aguas provocada o inducida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, así como prevenir en mayor medida dicha contaminación para proteger la salud humana, los recursos vivos y los ecosistemas acuáticos así como salvaguardar otros usos legítimos de las aguas. Aunque la agricultura comunitaria necesite fertilizantes y abonos animales que contienen Nitrógeno, el uso excesivo de estos es un riesgo para el medio ambiente, y por ello se precisan iniciativas comunes para controlar los problemas ocasionados por la ganadería intensiva y las políticas agrarias deberán tener más en cuenta la política medioambiental (Consejo Europeo 1991). Surgirán de la Directiva 676/91/CEE, las buenas prácticas agrícolas y la creación de las zonas vulnerables sensibles a acumulación de nitratos. Actualmente las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos están en constante aumento debido a la inadecuada gestión del N en el medio agrario y ganadero (Muñoz-Guerra et al. 2006).

En algunas cuencas hidrográficas de nuestro país, la aportación de Nitrógeno de origen difuso representa más del 50% del N total de la cuenca (Anónimo 2010). El Consejo Europeo aprobó el 30 de junio de 1992 el Reglamento 2078/92 en el que se establecen las normas sobre los métodos de producción agrícola compatibles con las exigencias de protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural. Nuestro ordenamiento jurídico lo reguló mediante los R.D. 51/95, 632/95 y 982/95. Posteriormente, el R.D. 261/96 creó la normativa para la protección de las aguas contra la contaminación por nitratos. Otro riesgo ambiental con relación al suelo es la aportación de metales pesados, a través de lodos de depuradora o de fertilizantes orgánicos como el purín de cerdo.

La calidad de las aguas subterráneas de España ha mejorado en el intervalo 2003-2007. En el Valle del Ebro, en 2007, el porcentaje de estaciones de control afectadas por nitratos se distribuía: < 25 mg/l: 25,7%; 25-50 mg/l 45,7%; > 50 mg/l 28,6%. (Fuente Ministerio de Sanidad y Consumo). Sin embargo, es imprescindible mejorar,

puesto que el 28,6% de los puntos de control supera los 50 mg/l (límite de potabilidad según la O.M.S)

Las altas concentraciones de nitratos en el agua la hacen inservible como bebida. Un estudio iniciado a partir de los 70, en las ochenta y dos mayores cuencas hidrográficas del mundo, ha puesto de manifiesto que 25 de ellas habían incrementado sus concentraciones, 30 habían disminuido (probablemente debido a una mejor gestión de los recursos) y el resto se mantuvo estable (UNESCO (N.U.) 2008).

El programa medioambiental de Naciones Unidas, en su informe de 2002, advierte de nuevo, de los riesgos que la intervención humana está introduciendo en el ciclo del Nitrógeno. Así, con relación a la intensificación agrícola y a los excesos en la fertilización nitrogenada, dice: “la agricultura intensiva a menudo conduce también a la eutrofización de los hábitat de agua dulce, lo cual provoca desoxigenación del agua, la producción de toxinas y la disminución general del estado de conservación de la fauna y flora silvestres” (Orús 2006). Cerca del 46% de los sitios lacustres de Europa contemplados en el Convenio Ramsar, han sufrido disminución de la calidad del agua, en gran parte como resultado de la eutrofización. Este problema no es importante en aguas continentales con bajo contenido en fósforo, ya que este elemento es el factor limitante de la eutrofización. Sin embargo, en las zonas costeras, el proceso de eutrofización está controlado por el Nitrógeno. Hay muchas evidencias de que el espectacular crecimiento de algas, las mareas rojas o las condiciones de anoxia crecientes en zonas como el Golfo de Méjico, el mar del Norte, el mar Báltico, el mar Mediterráneo o el mar Negro son debidos a los aportes crecientes de Nitrógeno.

En nuestro país, han desaparecido más del 60% de los humedales en 25 años (Casado et al 1992, citados por Orús 2006). El exceso de N (bajo forma de nitrato o de amoniaco promueve la eutrofización, especialmente en zonas costeras. La cantidad de fósforo perdida por erosión es mayor que la perdida por lixiviación que es mínima (Bosch & Boixadera 2006).

La Confederación Hidrográfica del Ebro viene realizando un control sistemático de la calidad físico-química y microbiológica de las aguas superficiales desde hace más de 30 años.

La directiva 2004/35/EC, con relación a la protección de los suelos, considera relevantes entre otros, el riesgo de salinización del Valle del Ebro.

La publicación de la Directiva Marco del agua (2000/60/CE) supuso un cambio sustancial en el ámbito de la política de aguas, que ha repercutido en un mayor control del estado de las aguas. Años más tarde, la directiva 105/2008/CE, referida a la calidad medioambiental de las aguas superficiales estableció un marco normativo en cuanto al estado químico de las aguas.

Las aguas subterráneas, de la depresión del Ebro, presentan una facies predominantemente sulfatada bicarbonatada cálcica (C.H.E. 2009). La C.H.E., junto con las comunidades autónomas de la Cuenca Hidrográfica del Ebro, tras el estudio de las aguas subterráneas durante el período 2004-2007, establecieron 26 zonas, de un total de 105, con riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario. De las 26 zonas, dos de ellas Mioceno de Alfamén y Pliocuaternario de Alfamén continúan en mal estado químico por contaminación difusa por nitratos en 2008, mientras que Cariñena ha mejorado con relación a su situación anterior y se califica como masa en buen estado. Al mismo tiempo se identificaron 7 nuevas zonas (C.H.E. 2009).

Tabla 1. Concentración de contaminantes nitrogenados en las aguas superficiales del río Jalón.

Concentración (mg/L)	Épila	Urrea	Grisén
Nitratos	15,65	13,6	18,28
Nitritos	0,04	< Límite cuantificación	0,09
Amonio	< Límite cuantificación	0,08	< Límite cuantificación.

En general, los valores de diagnóstico indican que el estado de las aguas del Jalón entre Épila y Grisén es muy bueno para nitritos y amonio, y bueno para Nitratos (A.D.A.S.A 2008) (Tabla 1)

El índice de explotación de los recursos hídricos (IERH) en España, que compara los recursos hídricos disponibles en un país o una región con el volumen de agua consumida, tiene valores en torno al 35%, por encima del 20%, lo que indica que hay escasez de agua ó estrés hídrico (A.E.M.A. 2009b).

1.2.2 FERTILIZACIÓN, RIEGO Y SOSTENIBILIDAD

1.2.2.1 FERTILIZACIÓN NITROGENADA

El desarrollo de la agricultura en los países desarrollados y la supresión de la malnutrición están ligados a los avances tecnológicos y del conocimiento agronómico, muchos de ellos aplicados al ámbito de la fertilización, y que son concomitantes con nuevas entradas de nutrientes en los sistemas agrarios (Bosch & Boixadera 2006).

“La evolución del consumo de fertilizantes está condicionada por la evolución de la agricultura, de sus cultivos y los mercados de estos, de las técnicas de cultivo, de los sistemas de riego, de las estructuras productivas y de la cada día mayor

profesionalización del sector agrario, así como de los imperativos medioambientales que se van imponiendo a la actividad agrícola” (García 2008). Von Liebig en 1841 en su tratado: *Chemie Organique appliquée à la Physiologie Végétale et à l'Agriculture*, demostró que las plantas no se nutren de humus, sino de soluciones minerales y que este humus es un elemento transitorio entre la materia orgánica vegetal y las sales minerales, únicos alimentos de las plantas. Estos conceptos abrieron la vía para el desarrollo de la industria de los fertilizantes inorgánicos (González 2007).

En 1843, John Bennet Lawes inició en Inglaterra diversos experimentos de larga duración sobre fertilización, que han permitido estudiar el comportamiento de los nitratos en el suelo y su capacidad para contaminar las capas freáticas (González 2007).

Primariamente, las fuentes de Nitrógeno fueron los estiércoles y restos de cosechas. En 1844 se importó por primera vez en España un cargamento de guano. En el S. XIX Europa y Norteamérica comenzaron la importación de grandes cantidades de Nitrato de sodio de las minas de Chile. El nitrato amónico de síntesis, comenzó a utilizarse a partir de la I guerra mundial, en la que se desarrolló para su uso como explosivo. La urea, el fertilizante más consumido en el mundo, inició su producción a partir de 1920 (Beaton 2010).

En los últimos 40 años, la industria de fertilizantes ha realizado importantes avances en la mejora tecnológica de los fertilizantes, con la finalidad de obtener el fertilizante ideal y de mejorar su eficiencia de uso, es decir, proveer a las plantas de niveles óptimos de nutrientes que satisfagan las necesidades (Melgar 2005). Pese a ello, la industria de fertilizantes y el sector agrícola deben mejorar la eficiencia de la fertilización nitrogenada. En cereales, p.ej., solo alcanza el 42% en países desarrollados y el 29% en los que están en vías de desarrollo. Un incremento del 1% en la eficiencia del N podría ahorrar 180 millones de € en todo el mundo (Raun & Johnson 1999).

Hay diferentes posibilidades para el uso más eficaz de los fertilizantes, a través de la biotecnología, de la investigación de la biología del suelo, de la gestión integrada de los sistemas de producción y de la creatividad de las industrias de fertilizantes (Guillaumes 2008).

En nuestro país se ha constituido un grupo dedicado al estudio de la eficiencia del uso del Nitrógeno en la Agricultura denominado “RUENA” (www.ruena.csic.es) en el que se integran más de 20 instituciones y 100 investigadores que trabajan e investigan aspectos relacionados con la fertilización nitrogenada. Una parte significativa de esas investigaciones se basan en el estudio de la mejora de la eficiencia en la asimilación y posterior metabolismo de los nutrientes por las plantas.

Es imprescindible un uso racional de los fertilizantes, aportando las cantidades necesarias, en los momentos oportunos. Para cumplir estos requisitos es necesario

conocer las necesidades, los momentos de mayor demanda, así como el comportamiento de las plantas y del suelo en función de los factores ambientales (temperatura, humedad, iluminación, atmósfera, etc.).

Una actuación racional es aquella realizada bajo el amparo del desarrollo sostenible que es el que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”(Brundtland 1987).

En los últimos años se viene reconociendo a la agricultura y a la silvicultura su aportación en forma de bienes y servicios que exceden la mera producción de materias primas y alimentos, conocido como multifuncionalidad (Rodríguez 2009).

1.2.2.2 CONSUMO DE FERTILIZANTES

El análisis del consumo mundial de fertilizantes a lo largo de las últimas décadas, muestra que durante los años 60 y 70 se produjo un paulatino aumento del consumo de todos los nutrientes, más agudizado en el Nitrógeno. A finales de los 80 se empezó a frenar esta demanda, llegando a producirse una continua disminución del consumo que en los años 1993-96 llegó a un mínimo, para luego ir aumentando hasta la época actual (Cadahía 2005), con un crecimiento sostenido. Se prevé un incremento continuo de la demanda hasta 2015, en torno al 2,4%. En 2010 la demanda fue de 169 millones de toneladas (IFA 2011).

El crecimiento del consumo de nitrogenados ha venido marcado por una curva ascendente, cuya pendiente fue más acentuada desde la década de los 60 hasta finales de los 80. Posteriormente ha comenzado una fase de menor crecimiento, en torno al 1%(F.A.O. 2007) ().

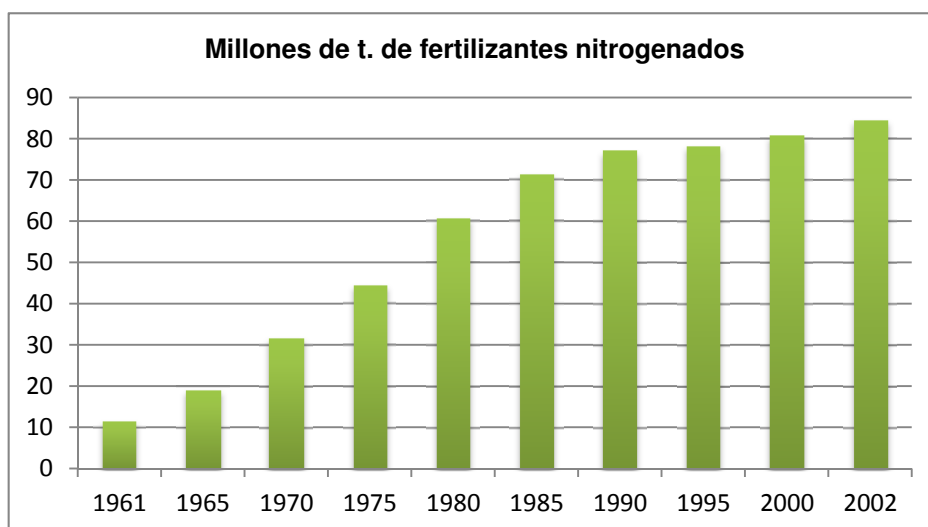


Figura 2. Evolución del consumo mundial de fertilizantes nitrogenados. Fuente Faostat

El continente con mayores consumos en 2002, fue Asia, con la mitad del Nitrógeno consumido en el planeta, seguido de América y Europa. (Figura 3). Los principales países consumidores son China, Estados Unidos y la India. El consumo de España representa el 2%. (Figura 4).

Un dato destacable es que en 10 años se ha multiplicado por cuatro el consumo de fertilizantes recubiertos, con un reparto similar entre las cubiertas de polímeros y de azufre (Landels 2010)

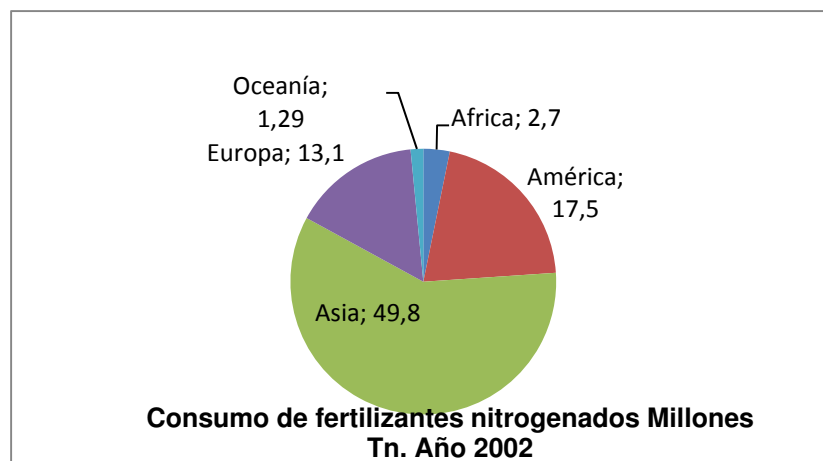


Figura 3. Consumo de fertilizantes nitrogenados. Fuente Faostat

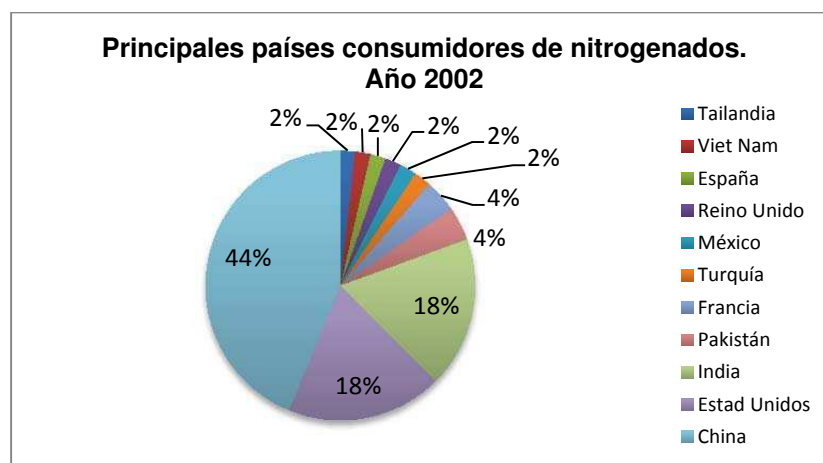


Figura 4. Principales países consumidores de nitrogenados. Fuente Faostat

Como puede observarse, en 2008/09, se produjo una caída importante del consumo de fertilizantes, como consecuencia del fuerte incremento de los precios y de la climatología. (Figura 5)

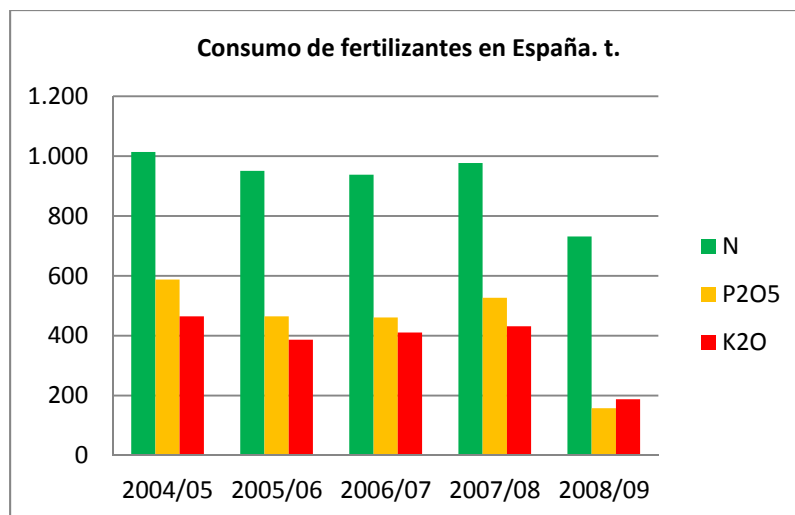


Figura 5. Evolución del consumo de Fertilizantes en España. Período 2004-2008. Fuente ANFFE

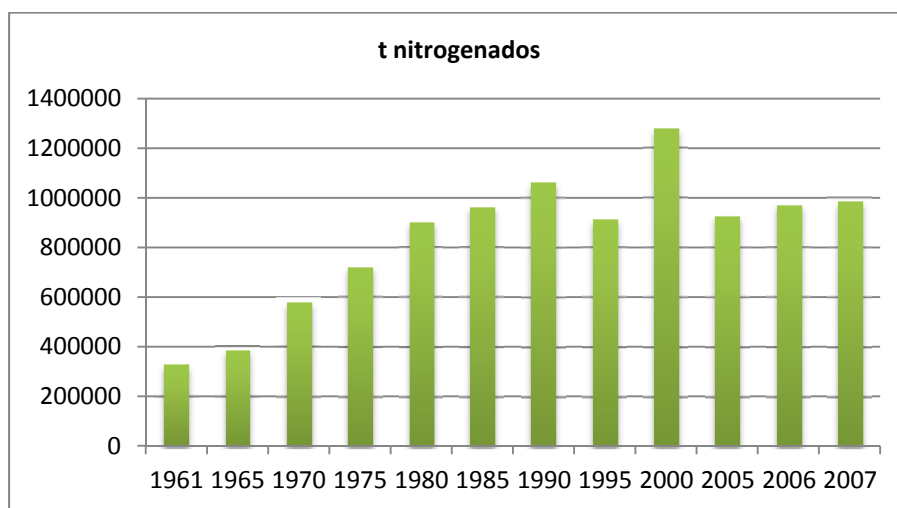


Figura 6. Evolución del consumo de nitrogenados en España. Fuente Faostat

En España se produjo un fuerte crecimiento del consumo entre 1960 y 1990. Posteriormente ha descendido el consumo, a excepción del año 2000 (*Figura6*), con fuertes oscilaciones, debidas fundamentalmente a las condiciones climatológicas (Ruano 2003). En el período 2004-2008 el consumo de fertilizantes nitrogenados y complejos disminuyó de una manera significativa (- 15% de Nitrógeno) (García 2008). Se prevé que el consumo de N, P y K en el quinquenio 2014-2019, sea estable y ligeramente inferior al período 1996/2007 (García-Serrano et al. 2010).

España es el quinto consumidor de fertilizantes de la U.E., aun siendo el segundo miembro en cuanto a superficie agraria útil (García 2008); en nuestro país se consume un 30% menos de Nitrógeno que en la media de la U.E, debido fundamentalmente a nuestra climatología (Ruano 2003).

La fuerte presencia de cultivos de regadío en España, contribuye a que el 46% del Nitrógeno aplicado sea a cultivos de regadío, cuando la superficie supone un 21% del total de superficie fertilizada. Las unidades de fertilización nitrogenada aplicadas en España, oscilan entre los 50 kg/ha en secano, y los 155 kg/ha en regadío (Ruano 2003).

Con la extensión del riego localizado (600.000 hectáreas en 2002), se está produciendo un cambio significativo en el consumo de fertilizantes.

El tipo de fertilizante nitrogenado más consumido en el mundo es la urea (52%), seguida de un grupo diverso (21%), N en complejos (9%), N en fosfatomonoamónico (6%) y Nitrato amónico (6%). Otros formulados, no superan el 3% cada uno. (F.A.O.S.T.A.T 2010)

En España, la urea ocupa el 2º lugar con el 26%, después del grupo N en fertilizantes compuestos con el 28%. Cabe destacar el nitrosulfato amónico con el 22%. (Figura 7).

Andalucía y Castilla-León consumen casi el 50% de los fertilizantes nitrogenados del país. Aragón ocupa la 4ª posición con el 9%. (Figura 8)

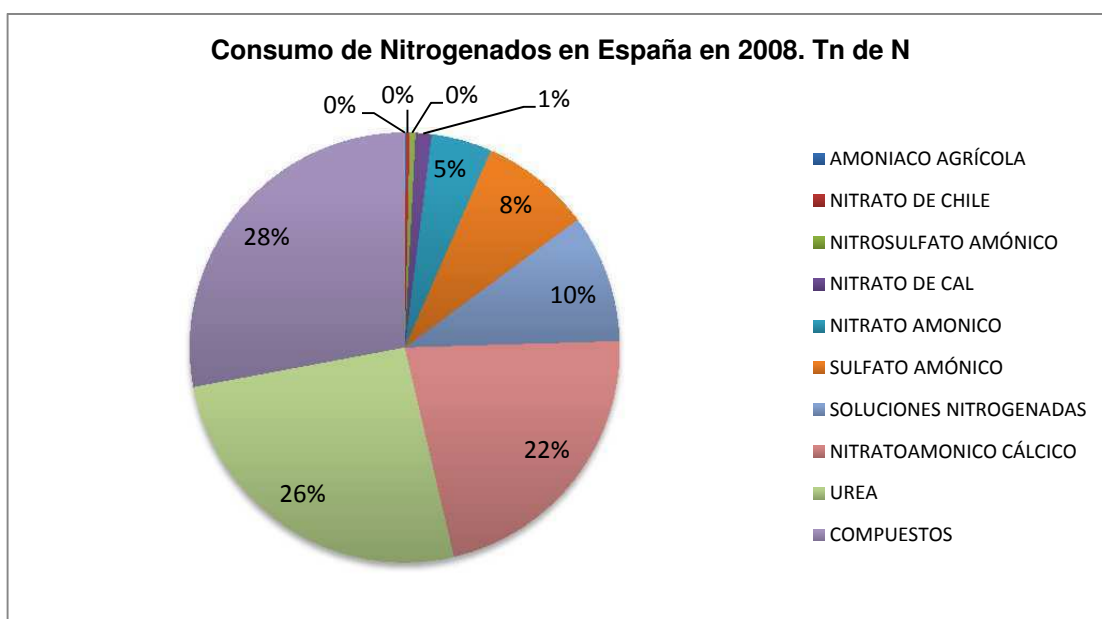


Figura 7. Consumo de fertilizantes nitrogenados en España en 2008. Fuente M.A.R.M. Anuario

2008

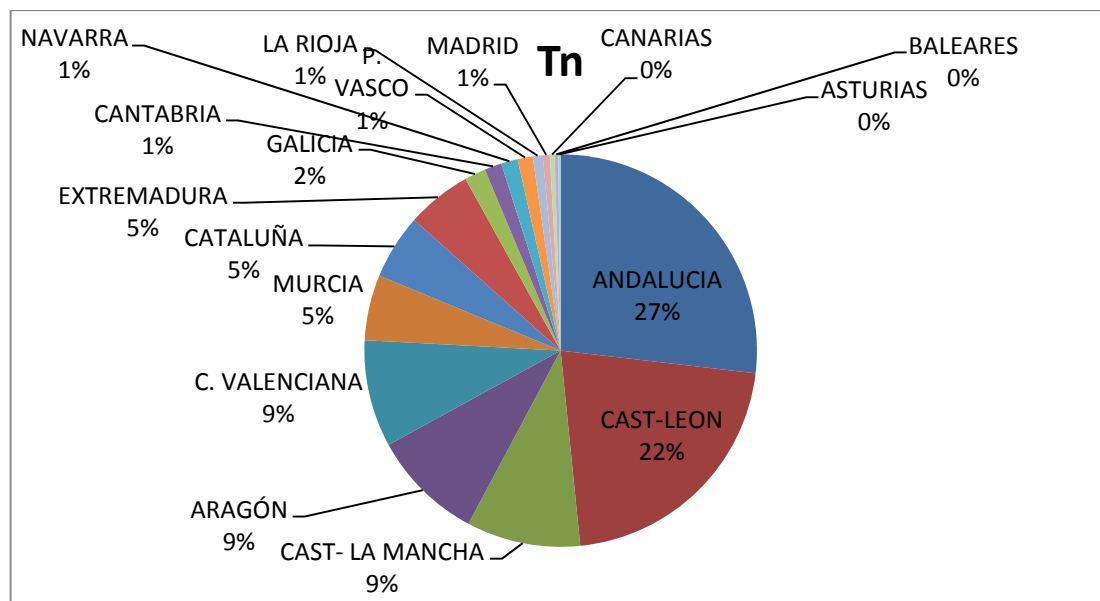


Figura 8. Consumo de fertilizantes nitrogenados en España por CC.AA. en 2008/09. Fuente ANFFE

En el conjunto del consumo global de fertilizantes en España, Aragón es la 4ª comunidad autónoma. El consumo medio nacional de fertilizantes por hectárea es de 147,8 Kg en 2005, si bien cabe destacar que en comunidades como Canarias, Valencia ó Murcia estas cifras se multiplican por dos o por tres.

En cuanto a las fechas de aplicación, cabe destacar la salida del invierno y el otoño, como fechas más relevantes, coincidiendo con la fertilización nitrogenada de primavera de los cereales de invierno y de los cultivos leñosos, y con las aplicaciones de fondo de los cereales tanto de secano como de regadío.

La cantidad de Nitrógeno, Fósforo y Potasio aportada por hectárea de frutal en España en el año 2006/07 fue de 95 kg de N, 60 kg de P_2O_5 , 80 kg de K_2O (García-Serrano et al. 2010)

1.2.2.3 RIEGO

El bajo potencial hídrico, causado por la deficiencia de humedad del suelo, es el factor que más limita la producción vegetal a escala mundial. De hecho, existe una elevada correlación entre la productividad de los diferentes ecosistemas y su precipitación característica (Medrano & Flexas 2004). En el conjunto de zonas cultivadas se estima que el rendimiento potencial de los cultivos se reduce en más del 70% debido a las limitaciones ambientales. De este porcentaje, el estrés hídrico constituye hasta un 45%, lo que da lugar a grandes pérdidas económicas en algunas regiones del mundo (Boyer 1982).

De manera general, todas las plantas responden a señales ambientales y poseen mecanismos de respuesta similares (Bohnert y Jensen, 1996, citados por Parés 2010) y, aunque el umbral de tolerancia es variable (Sánchez-Díaz & Aguirreolea 2000), en ocasiones el nivel del déficit hídrico puede sobrepasar los límites de adaptación (Hsiao, 1973, citado por Parés 2010).

1.2.2.4 RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO

En climas áridos, el riego deficitario controlado es una alternativa para reducir el consumo de agua y mejorar la gestión de los fertilizantes y el desarrollo de las plantas. El Riego deficitario controlado es la aplicación de cantidades de agua inferiores a las necesidades reales, durante determinados períodos, aplicando el total de dichas necesidades durante el resto del ciclo (Intrigliolo et al. 2009). La época y momento de reducir la dosis de riego aplicada depende fundamentalmente de la especie, su edad, el estado fenológico y la cosecha. Las fases críticas de las necesidades hídricas de los frutales se presentan en épocas de coincidencia de fructificación y crecimiento vegetativo (Alarcón et al. 2006). En melocotonero, la fase crítica principal comienza con el endurecimiento del hueso y termina con la recogida de los frutos.

1.2.3 SOSTENIBILIDAD

La agricultura moderna es considerada por muchos como una de las principales contribuidoras a las enfermedades medioambientales actuales, como la eutrofización de las aguas dulces y marinas, el incremento de las concentraciones de nitrato en las aguas subterráneas y superficiales, y los residuos de pesticidas en el suelo, el agua y los alimentos. (Cadahía 1998).

La O.N.U. considera que para alcanzar el desarrollo sostenible, la protección del medioambiente deberá constituirse en parte integrante del proceso de desarrollo y no podrá considerarse en forma aislada (O.N.U. 1992), lo que incluye a la agricultura, y dentro del sistema, a la fertilización. La industria de los fertilizantes no ha escapado del debate público sobre los aspectos medioambientales de la agricultura moderna. Según algunas opiniones, la utilización de fertilizantes minerales es la raíz de muchos problemas medioambientales de la agricultura, aún más a menudo, el público en general considera que las plantas de fertilizantes son parte de las “industria chimenea”, lo que contribuye en gran medida tanto a la contaminación local como a la global (Cadahía 1998).

El cambio climático se ha convertido en una seria preocupación para todos los sectores sociales y del mundo científico en particular. De los seis gases más influyentes en el cambio climático, dos están muy vinculados a la agricultura: el metano y el protóxido de Nitrógeno. La mayor parte de las emisiones a la atmósfera de metano provienen de la

ganadería; una parte muy importante del N_2O se origina de la agricultura y la ganadería, fundamentalmente en los procesos de transformación de los compuestos nitrogenados del suelo y de la materia orgánica. Ambas sustancias contribuyen significativamente al fenómeno del cambio climático. El metano es 21 veces más dañino que el CO_2 y el N_2O de 206 veces (Ko et al 91, citado por (Da Silva 2005) a 310 veces (Estavillo et al. 2010), con un tiempo de residencia en la atmósfera del N_2O 110-150 (Estavillo et al. 2010) a 170 años (Ko et al 91, citado por (Da Silva 2005); El N_2O también influye en la destrucción de la capa de ozono de la estratosfera por fotooxidación (Shepher et al. 1996). Se estima que el 70 % del N_2O emitido por la biosfera a la atmósfera proviene del suelo (Bouwman 1996) y que los fertilizantes son los responsables del 17% de las emisiones de N_2O antropogénico.

La tasa anual de incremento del protóxido de Nitrógeno es de 0,6 a 0,9 ppb (IPPC 1992). Las emisiones agrícolas suponen un 35% del total (Kroeze et al 1999, citado por Da Silva 2005). Según (Sermann 1994, citado por (Da Silva 2005) cerca del 90% de las emisiones antropogénicas son agrarias. La maquinaria agrícola también produce emisiones de dióxido de carbono y de óxidos de Nitrógeno.

(Mosier et al. 1998) indican que mejorando las metodologías de la fertilización se reducirían un 2,2% las emisiones de N_2O , y modificando las técnicas de cultivo y el riego un 0,85%.

La aplicación de fertilizantes mejora de forma importante la capacidad de fijación de CO_2 de los cultivos. La mejora de rendimientos obtenidos por la fertilización y en consecuencia la fijación suplementaria de CO_2 y otros gases de efecto invernadero, compensan claramente los gases emitidos en la producción, transporte y fabricación de los fertilizantes (García-Serrano et al. 2010)

En Aragón en el período 2003-2006, se han reducido las emisiones de N_2O un 17%, mientras que las de CH_4 han aumentado en el mismo período un 43% (Figura 9).

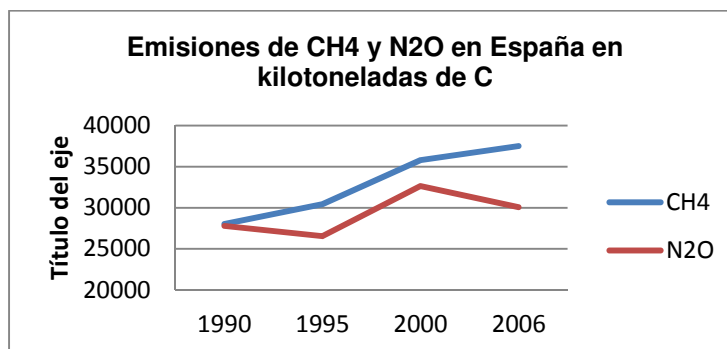


Figura 9. Emisiones de metano y de óxido de di Nitrógeno. Fuente Dpto. medioambiente. Gobierno de Aragón

Los 32 países de la A.E.M.A. han conseguido reducir un 70% sus emisiones de azufre, y con ello la lluvia ácida. Empero, con el problema del Nitrógeno no se ha obtenido la misma eficacia. La agricultura y el transporte son las principales fuentes de contaminación por Nitrógeno. La agricultura por sí sola es responsable del 90% de las emisiones de amoníaco (A.E.M.A. 2009a).

Según (A.E.M.A. 2009a), la PAC destina la mayor parte de sus subvenciones (Pilar I) a las zonas más productivas, que consumen mayores cantidades de fertilizantes. Los ingresos de las explotaciones en áreas de alto valor natural son más dependientes de los fondos de la PAC que los de las explotaciones intensivas que no favorecen la biodiversidad. La balanza se ha equilibrado con el Pilar II, donde se encuentran mejores correlaciones con las tierras de alto valor natural, lo que implica una buena perspectiva desde el punto de vista medioambiental.

El Nitrógeno es un nutriente esencial en la naturaleza e indispensable para la vida, ya que forma parte de los aminoácidos (componentes de las proteínas) y es crucial para el mantenimiento de elevadas producciones agrícolas. En la naturaleza abunda el Nitrógeno gaseoso, pero este no es apto para la vida (Betrán 2006b). Aportaciones en exceso de Nitrógeno pueden ocasionar graves problemas ambientales y de salud.

Durante mucho tiempo, existió la idea entre los agricultores de que *“si un poco es bueno, más será mucho mejor”*, lo que ha contribuido a una pérdida de rentabilidad y a que se produjesen efectos negativos sobre el medioambiente, como consecuencia de los lixiviados y emisiones de Nitrógeno (Betrán 2006a).

Una de las aportaciones de la industria ha sido el desarrollo de los fertilizantes de liberación lenta y de los inhibidores de la nitrificación. Estos últimos retardan la actividad de las bacterias del suelo: *Nitrosomonas* spp, responsables de la oxidación de los iones amonio a iones nitrato, durante un cierto período de tiempo (Zerulla et al. 2001); (Prasad & Power 1995).

1.2.3.1 ZONAS VULNERABLES

El lavado de nitrato de los suelos agrarios es la vía más importante por la que se exporta Nitrógeno hacia las aguas superficiales y subterráneas. Las mayores pérdidas de nitrato, ocurren cuando hay una alta concentración de nitrato en el suelo y un elevado movimiento descendente de agua en el perfil, desplazamiento que está condicionado por efectos estacionales de las precipitaciones y el riego y que a su vez determinan el volumen de drenaje (Legg *et al.*, 1992).

El aumento de las concentraciones de nitrato en las masas de agua tanto superficiales como subterráneas tiene su origen, en la mayor parte de los casos, en la

aplicación de unas dosis de Nitrógeno superiores a las necesidades del cultivo o de unos sistemas de riego con baja eficiencia.

La contaminación del agua del subsuelo debida al exceso de fertilización, es más pronunciada cuando la lixiviación se produce al principio de la temporada de crecimiento o al finalizar el invierno, desplaza al Nitrógeno debajo de la zona de la raíz de vegetales jóvenes o inactivos (Bohn et al. 1993).

Para reducir la contaminación difusa de nitrato asociada al regadío es necesario mejorar, por un lado el manejo del fertilizante nitrogenado y por el otro aumentar, siempre que sea posible, la eficiencia del riego para reducir al máximo la percolación de agua por debajo de la zona de raíces de los cultivos (Quilez et al. 2006).

Se han establecido tres criterios para clasificar las zonas en función del riesgo de vulnerabilidad por nitratos.

- **Zonas de alto riesgo:** presentan suelos arenosos muy permeables y con una capacidad de retención de agua limitada, presencia de capa freática (a menos de 2 m de profundidad), suelos poco profundos sobre material permeable (sajos), terrenos con pendiente superior al 2-3%, se practica una agricultura intensiva con aportes elevados de fertilizantes, terrenos rico en materia orgánica y labrados con frecuencia en profundidad.

- **Zonas de riesgo moderado:** presentan suelos de composición granulométrica media y con capacidad de retención de agua (CRAD) discreta, presencia de nivel freático de 2 a 20 m de profundidad, suelos de profundidad media (no inferior a 50-60 cm), pendiente moderada, aportes moderados de fertilizantes.

- **Zonas de bajo riesgo:** presentan suelos tendiendo a arcillosos, poco permeables y con elevada CRAD, profundos (>60-70 cm), con capa freática a más de 20 m de profundidad y con escasa pendiente.

La mayor parte de las zonas declaradas vulnerables son de regadío y se consideran de alto riesgo. Este es el caso de parte de la comarca de Valdejalón, en la que se encuentra una parte de la zona vulnerable: Jalón-Huerva.

Los problemas suscitados por la aplicación de fertilizantes en frutales, a pesar de las revisiones, crean la necesidad de responder a ¿cuánto, cuándo y cómo? (Madrid et al. 1985), derivan del factor suelo, que actúa como depósito de agua y elementos minerales y del árbol, con sus importantes reservas acumuladas en los órganos perennes (Gómez 1990).

Un uso racional del agua y de los fertilizantes nitrogenados puede reducir las pérdidas de Nitrógeno y de agua. Experiencias llevadas a cabo por (Causapé 2007) en las Bardenas, mostraron que hasta un 56% del Nitrógeno aplicado se perdía en el drenaje en suelos de saso, poco profundos y muy permeables, con cultivo de maíz predominante y dosis de riego y fertilizantes elevados; en suelos profundos, con cultivos

forrajeros predominantes, menos dosis de riego y fertilizantes y mayor fraccionamiento de la fertilización nitrogenada, las pérdidas fueron del 16%. Una mejora en el manejo del riego y las aportaciones de nitrato, redujo las pérdidas de nitrato en un 65%, y las de agua pasaron del 50% al 31%.

Algunas confederaciones hidrográficas han implementado una aplicación informática (EMR: evaluador medioambiental de regadíos) que permite la realización de balances hidrosalinos, cuantifica los contaminantes agrarios exportados en el drenaje y calcula los índices de aprovechamiento del agua y de contaminación agroambiental (Causapé 2007).

Por otra parte, existe actualmente un gran desconocimiento de cómo el cambio climático puede afectar a la absorción de nutrientes por la raíz. Los pocos estudios existentes indican que con el incremento de las temperaturas se podría producir un efecto diferencial en la absorción de NH_4^+ frente a NO_3^- . Por otra parte, la respuesta de las cinética radicular al incremento de las concentraciones de CO_2 en el suelo es muy variable (Bassirirad 2000).

1.3 NITRATOS Y SALUD

La toxicidad de nitratos y nitritos se conoce desde fines del siglo pasado (Albert 2002). En 1945 Conway asoció por primera vez la methemoglobinemia en un niño con la ingestión de agua de pozo contaminada por nitratos. La Global Environmental Monitoring System (GEMS), indicaba en 2001 que el 10% de los ríos estudiados en el mundo tenían concentraciones de nitratos en exceso; en Europa esa cifra era del 5%, con concentraciones en ocasiones 45 veces superiores a las admitidas.

Los nitratos llegan al organismo humano por dos vías: los alimentos, en particular los vegetales y el agua de bebida. Aproximadamente, el 20% de los nitratos ingeridos proceden del agua de bebida, y el 70% de la ingesta de alimentos, especialmente vegetales frescos (Schenk 2005).

Estudios recientes, indican que la ingesta diaria aceptable (IDA) de nitratos, fijada en 1995 por la F.A.O/O.M.S. puede sobrepasarse por la toma de una comida rica en verduras. La cantidad recomendada es una I.D.A. de 0 a 3,7 mg/kg de peso corporal, expresada en ion nitrato, equivalente a 259 mg/adulto de 70 kg de peso. En el caso de los nitritos se reduce a 0-0,06 mg/kg. En Europa se han establecido algunos límites de nitratos en productos vegetales, como la espinaca con 3 y 2,5 g/kg de producto fresco. En una dieta normal, sin contar el agua, se ingieren entre 50 y 150 mg de nitratos.

La presencia natural de nitratos en las plantas es una consecuencia del ciclo de Nitrógeno, en el que la planta asimila el Nitrógeno inorgánico en forma de nitratos para utilizarlos en la síntesis de proteínas vegetales. Los nitratos de origen natural se

encuentran en carnes frescas, leche y derivados, cereales, frutas, bebidas alcohólicas y verduras (apio, lechuga y espinaca tienen niveles elevados) (N.Z.F.S.A. 2010). También se emplean como aditivos en la fabricación de productos cárnicos curados y en menor medida en pescados y quesos (Directiva 92/2/CE).

Los vegetales son la fuente de más del 70% de los nitratos en una dieta común, aunque raramente ocasionan efectos tóxicos (Albert 2002). El contenido máximo de nitratos en lechugas y espinacas, está regulado. Pero no lo está en otros cultivos como acelgas y repollos. Un vegetal con menos de 500 mg de NO_3^- /kg, es considerado muy bueno. Aceptable si tiene menos de 2.500 mg/kg y muy alto e inaceptable si supera los 2.500 mg/kg. Los niveles de nitratos en hojas pueden variar considerablemente dependiendo de las especies; los niveles de Nitrógeno, fundamentalmente como NO_3^- , disponibles y los factores medioambientales, particularmente, la intensidad luminosa (Alarcón et al. 1997).

Los nitratos son un producto normal del metabolismo humano. Se absorben al llegar al intestino rápidamente, siendo evacuados tras el proceso metabólico por la orina. Sin embargo, si ingerimos cantidades elevadas de Nitrógeno en forma de nitratos (superior a 10 mg/l de N- nivel que establece como dañino la EPA, o 50 mg/l de Nitratos (U.E.), la acción de determinados microorganismos en el estómago pueden transformar los nitratos en nitritos, que al ser absorbidos en la sangre convierten a la hemoglobina en metahemoglobina. El fenómeno se produce por la intervención de los nitritos en la oxidación del ion ferroso (Fe^{2+}) en la desoxihemoglobina a ion férrico (Fe^{3+}), lo que produce la methemoglobina, que no puede unirse de manera reversible al oxígeno, ni transportarlo, pudiendo producir cianosis. Este fenómeno es reversible, pero en niños puede provocar el "*síndrome del bebé azul*". Además los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas que son compuestos cancerígenos (Anónimo 2010). En experimentos in vitro e in vivo, se ha comprobado que la fracción principal del contenido corporal total de N-nitrosocompuestos (un tipo de compuestos químicos cancerígenos) puede atribuirse a una formación intragástrica relacionada con la ingestión de nitratos. Sin embargo, otros experimentos epidemiológicos fiables demuestran que una dieta rica en frutas y verduras (generalmente la fuente más importante de nitratos en la alimentación) reduce el riesgo de cáncer gástrico (Vega & Bontoux 2010). Sin embargo, la mayoría de los estudios prácticos demuestran que no existe una relación entre el consumo de verduras y la formación endógena de N-nitrosocompuestos, pero advierten de los riesgos de la ingestión de los N-nitrosocompuestos formados previamente en los alimentos en determinados procesos químicos, biológicos o físicos en las cosechas o en los transformados industriales (Vega & Bontoux 2010). Nitritos + aminas ó amidas → Nitrosación → N-nitrosocompuestos. A través de la dieta se pueden ingerir, tanto

inhibidores como potenciadores de la nitrosación (G.E.N.C.A.T 2002). En todo caso, según (Porta et al 1999, citados por Betrán 2006b), sólo se han dado 2000 casos en el mundo de metahemoglobinemia, con una mortalidad del 8%.

Se considera que para evitar riesgos, la suma de las concentraciones de nitrato/50 + nitritos/3 ha de ser menor de 1 (G.E.N.C.A.T 2002).

La ingesta habitual de melocotones, está muy por debajo de los I.D.A. máximos admitidos.

Algunos trabajos indican la presencia de menos nitratos en el material vegetal de cultivos tratados con DMPP (Moore 1973).

1.4 LA CALIDAD COMO OBJETIVO PRODUCTIVO

En la actual disyuntiva de los mercados se hace imprescindible para el agricultor obtener producciones elevadas que rentabilicen el cultivo, y que tengan una calidad elevada, dentro del marco de la sostenibilidad.

“La calidad es el conjunto de propiedades y características de un producto, de un proceso o de un servicio que le confieren su capacidad de satisfacer necesidades implícitas o explícitas” (Romero et al. 2004).

(Kramer y Twigg, 1962, citados por Jurán et al. 2005), definían la *calidad* como: "conjunto de características que diferencian las unidades individuales del producto y determinan el grado de aceptabilidad de estas unidades por el usuario o consumidor".

La calidad de la fruta es una cualidad que resulta de la agregación de múltiples factores: tamaño, color, sabor, dureza, ausencia de defectos, capacidad de conservación, etc. (Espada 2010). Está determinada por las características genéticas de la variedad, las condiciones de cultivo (climáticas y agronómicas) y por el estado de maduración en el momento de la recolección (Crisosto et al. 1996). Dicha calidad se estima mediante escalas (clases), y parámetros cardinales (cantidades) y ordinales (preferencias) (Espada 2010). (Soing et al. 1999), definen la calidad de un fruto como la expresión global de su aspecto y de su composición.

Para el consumo en fresco de melocotón, la calidad y los calibres grandes suponen un incremento de los precios percibidos por el agricultor muy importante. Así, para melocotones Calanda, calibre de alveolo 16, el precio medio de 5 campañas, percibido por el agricultor fue de 0,83 €/kg, frente a los 0,17 €/kg del calibre de alveolo 26. (Espada 2010)

La calidad depende de factores imputables a: la parcela de cultivo (fertilidad, microclima, etc.), la técnica de cultivo, recolección y postcosecha (poda, aclareo, **riego**, **fertilización**, tratamientos fitosanitarios, recolección, transporte, manipulación y

conservación, etc.) y del desarrollo de las condiciones climáticas durante el ciclo vegetativo (humedad, temperatura, lluvia, heladas, granizadas, etc.)

El máximo de calidad en cualquier fruto corresponde con el momento de alcanzar la madurez de consumo en el árbol. Sin embargo, la recolección se hace entre la madurez fisiológico y la madurez de consumo dependiendo del canal de distribución y de los procesos postcosecha (Alonso et al. 2009).

El tamaño y calidad de los frutos están determinados por factores internos y externos al fruto que determinan la disponibilidad de elementos minerales, agua, carbohidratos, etc. necesarios para su crecimiento (Madrid et al. 1985). Existe una clara incidencia del equilibrio de nutrientes que alimenta el árbol en la calidad del fruto (Eymar et al. 2005)

Actualmente también se habla de etiquetados vinculados a una determinada calidad: productiva, ambiental, de responsabilidad corporativa, de respeto a los trabajadores, etc.

Nuevos criterios van ganando peso. Son los relacionados con los beneficios que se espera que aporten a la salud determinados alimentos: prevención de enfermedades, corrección de carencias, etc. (Bosch & Boixadera 2006).

1.5 EL MELOCOTONERO

1.5.1 REFERENCIAS HISTÓRICAS DEL MELOCOTONERO

El melocotonero es originario de la región de Tarim (China), vertiente norte de las montañas de Kunlun, donde aún se encuentran melocotoneros asilvestrados, y donde la especie presenta la máxima biodiversidad genética. Existen indicios de que se cultivaba hace 3.000 años, siendo en la actualidad un símbolo de longevidad e inmortalidad, así como un motivo decorativo que acompaña a la cerámica del país desde hace siglos.

De las especies de fruta dulce, el melocotonero ha sido la especie que más rápidamente se ha extendido al resto del mundo (Iglesias & Carbó 2002).

Desde China fueron introducidos en Persia (actual Irán) a través de diversas rutas comerciales abiertas entre montañas, donde los descubrió Alejandro Magno llevándolos durante el siglo IV a.c. (hacia el año 330 a.c.) a Grecia. Del recorrido desde Asia a Europa conserva su nombre latino *Persicum pomum* o fruta de Persia (de aquí el nombre botánico de “persica” que se ha dado a esta especie). Sería durante la Edad Media cuando su cultivo y consumo se extendería por toda Europa, incluyendo a España, expansionándose el cultivo a *lo largo del siglo XIX*. No obstante, parece que el origen de las poblaciones de melocotonero consideradas autóctonas de nuestro país corresponde a las traídas por los árabes desde África, y que se caracterizan por ser de pulpa amarilla,

carne dura y hueso adherente. A lo largo del siglo XIX se produce una expansión definitiva del cultivo de melocotonero en nuestro país; a principios del siglo XX se empiezan a seleccionar determinados genotipos de melocotoneros que tras su multiplicación vegetativa por injerto dan lugar a las primeras variedades comerciales y a las primeras plantaciones regulares, aunque subsiste la propagación por semilla hasta bien entrado el siglo XX.

En España, los melocotones son usados preferentemente para consumo en fresco (80%), y también para transformación industrial (20%), como melocotones en almíbar, zumos, mermelada y secado (orejones) (Carrera 1992). Las zonas con mayores producciones en nuestro país son: Murcia, Extremadura, Tarragona, Barcelona, Aragón, Lérida, Sevilla, Huelva y Valencia.

1.5.2 **PRODUCCIÓN DE MELOCOTÓN EN EL MUNDO**

En el contexto mundial, el melocotonero es la segunda especie frutal en importancia después del manzano. Sin embargo, entre todos los frutales, es con toda seguridad la especie más dinámica en lo relativo a la aparición de nuevas variedades en el mercado.

Actualmente, el melocotonero es uno de los frutales más tecnificado y más difundido en todo el mundo, ya que tiene una gran aceptación como fruta de consumo en fresco, almíbares, zumos, en lácteos y otros productos elaborados.

El principal país productor es China, seguido de lejos por Italia, Egipto, España, EE.UU, Turquía, Méjico y Grecia. (Figura 10)

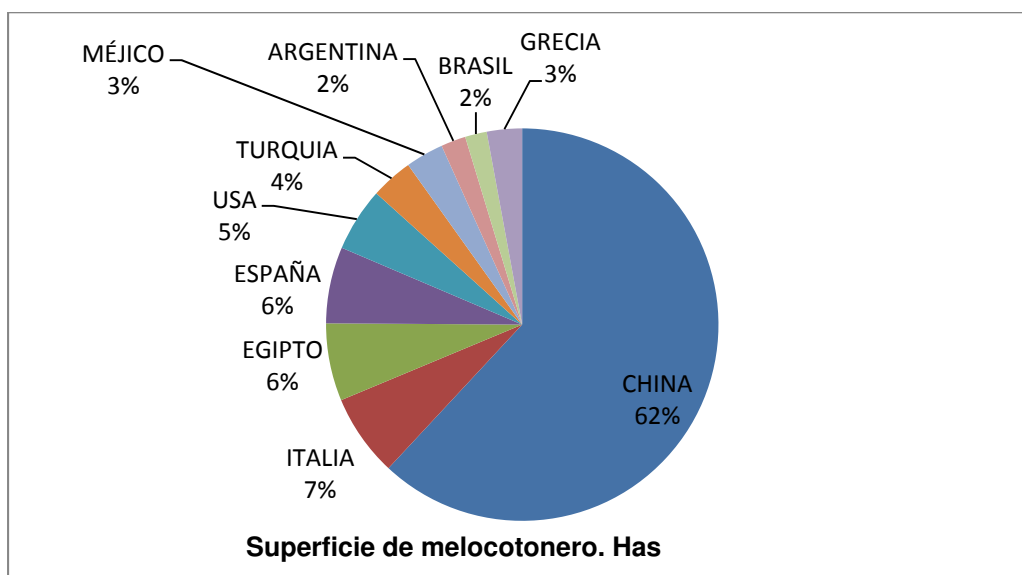


Figura 10. Principales países productores de melocotón, nectarinos y paraguayos. Fuente: Faostat 2008

La producción mundial ha aumentado en los últimos años, como consecuencia del incremento de superficies y de la mejora de la productividad de las explotaciones. Así, según datos de la FAO, se ha pasado de 9,4 millones de toneladas en 1990 a 17,5 en el año 2007. Esto se debe sobre todo al espectacular crecimiento de la superficie de cultivo en China, que pasó de representar un 11% a nivel mundial en 1963, al 64% de la superficie mundial actual (*Figura 11*). Además se ha producido una concentración de superficies, de tal manera que los 5 principales países productores han aumentado porcentualmente su superficie y producción, pasando del 67 al 77% de la superficie mundial, entre los años 1963 y 2003.

Solamente el 9 % de la producción mundial es objeto de intercambios comerciales, con tendencia a incrementarse.

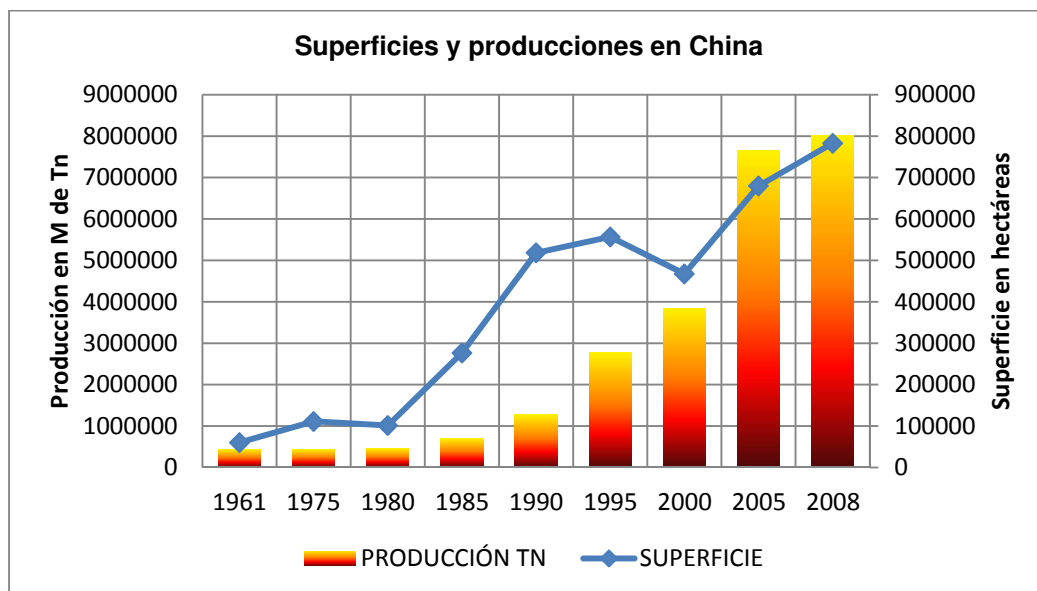


Figura 11. Evolución de la superficie y producción de melocotonero en China. Fuente Faostat 2008

Por continentes, Asia (China fundamentalmente) produce más de la mitad del total mundial con 10 millones de toneladas; Europa 4,3 millones de toneladas; América 2,2 millones de toneladas, de las cuales 1,3 son producidas en Norteamérica; Sudamérica ha aumentado sus superficies notablemente en Argentina, Brasil y Chile; en el área mediterránea, la producción se concentra básicamente en Italia, Grecia, España, Francia y Turquía. (*Figura 12*)

El incremento de la producción de los últimos años, se debe tanto al aumento de superficies como a las notables mejoras que se han producido en los métodos de cultivo (cultivares, patrones, sistemas de riego, fertilización, control de patologías, etc.), que han supuesto incrementos de producción por unidad de superficie muy importantes.

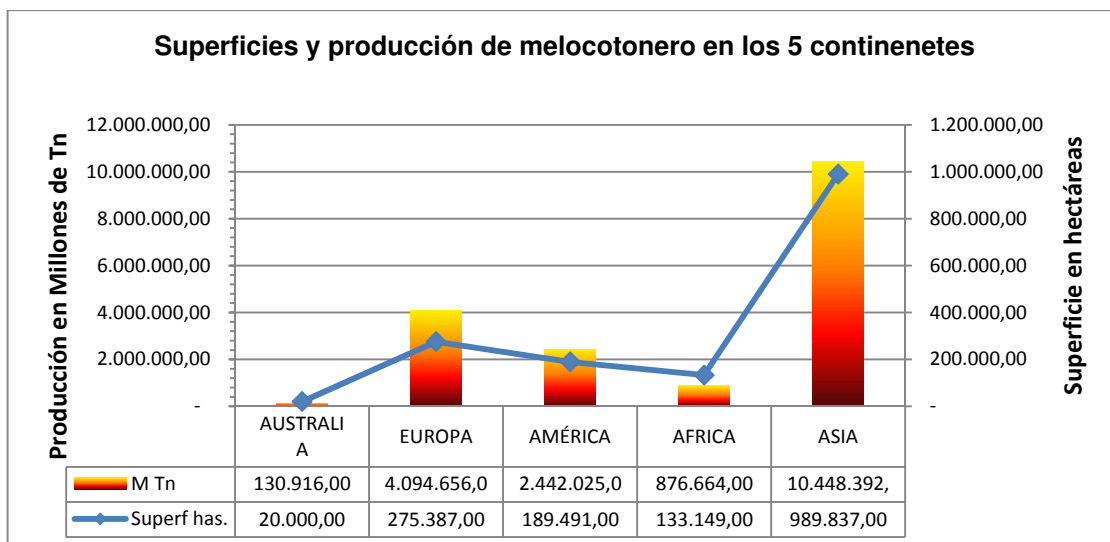


Figura 12. Superficie de melocotón y nectarina por continentes (Fuente: Faostat 2008).

Los rendimientos unitarios, son superiores en Europa, con una media que supera los 14.000 kg/ha. Muy por debajo quedan Australia y África, con apenas 6.000 kg/ha (Figura13).

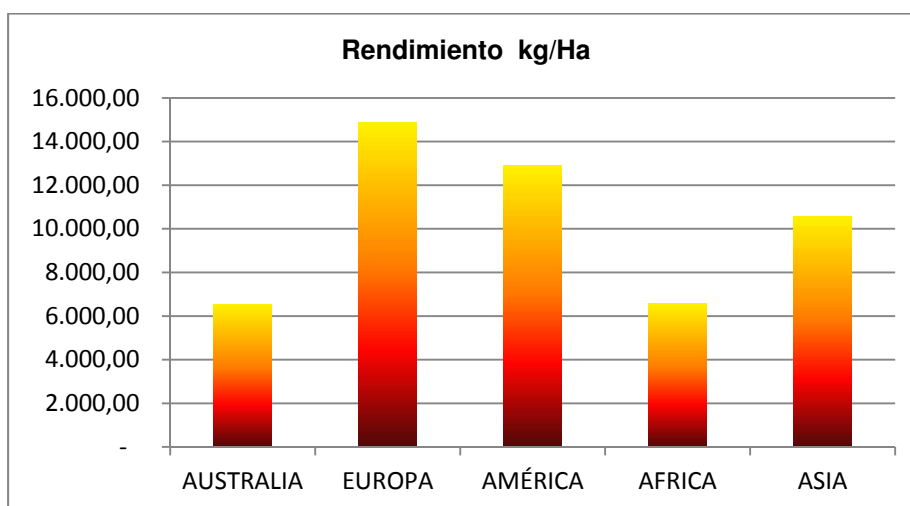


Figura 13. Rendimientos por hectárea de cada continente. (Fuente Faostat 2008).

1.5.3 PRODUCCIÓN DE MELOCOTÓN EN EUROPA

En el año 2001 en la Unión Europea el melocotón ocupaba el segundo lugar en importancia después del manzano tanto en superficie, 258.548 ha, como en producción, con 3,6 millones de toneladas. La producción se concentra casi exclusivamente en los países mediterráneos que tienen climas más cálidos y menor riesgo de heladas primaverales. Así, la producción se aglutina en Italia, España, Grecia y Francia. En 2011 la producción superó los 4 millones de toneladas (Iglesias 2012) (Figura 14).



Figura 14. Producción de melocotón, nectarina y paraguayo en Europa. Fuente: Europech adaptado por (Iglesias 2012)

Si se analiza la evolución de superficie de melocotonero en la Unión Europea, se observa un incremento continuo hasta 1995, con 300.000 hectáreas. Posteriormente comienza un descenso progresivo de superficies hasta quedar por debajo de las 250.000 en 2008 (Figura 15).

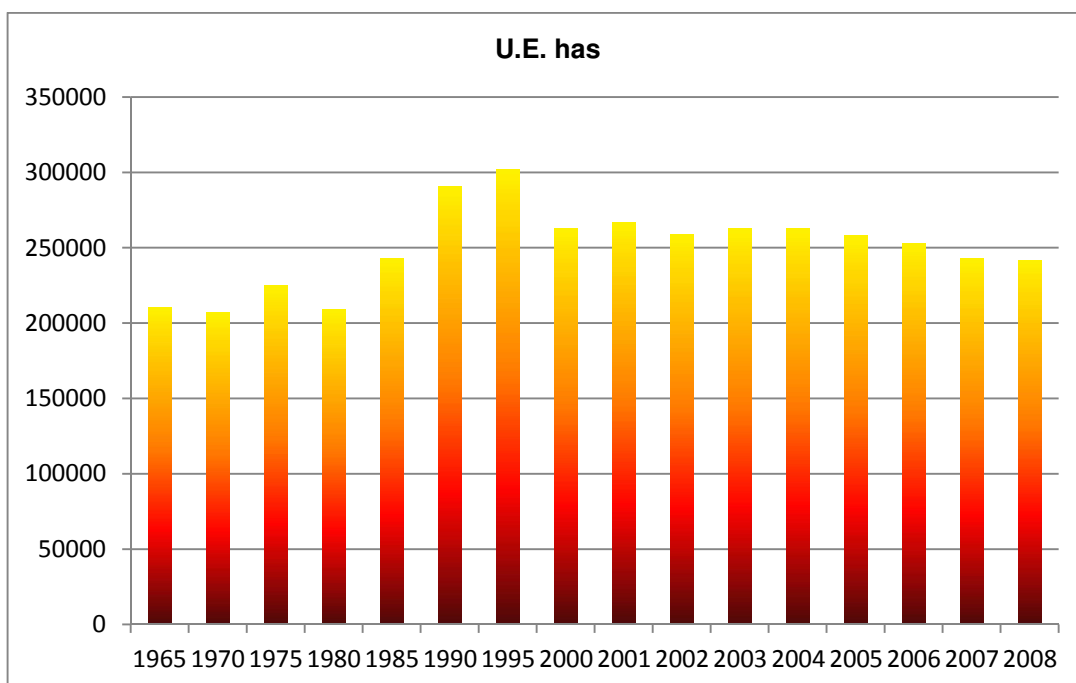


Figura 15. Evolución superficie de melocotonero en la U.E.

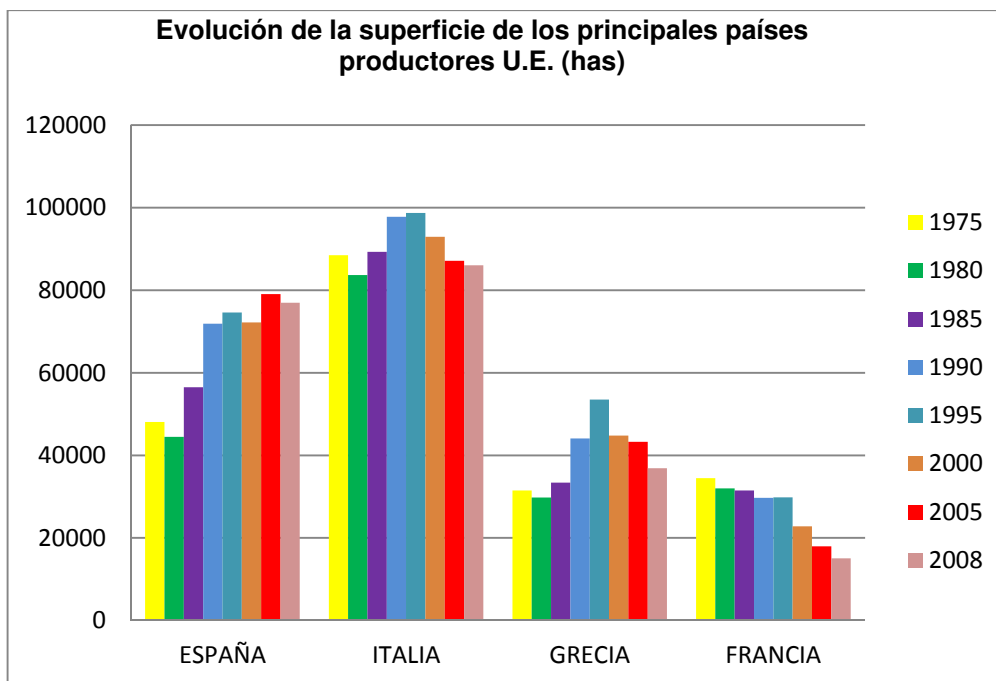


Figura 16. Evolución de la superficie de melocotonero en los principales países productores de la U.E.

La evolución de los principales países productores no ha sido homogénea. Mientras España ha aumentado su superficie de manera continua, Italia, el principal productor y Grecia, tuvieron su pico en 1995 y comenzaron a decrecer. Francia ha tenido un comportamiento diferente, con un continuo descenso de superficies desde 1975, que se acentuó a partir del año 1995 (Figura 16).

Las producciones han tenido variaciones importantes en el tiempo, con tendencia al incremento, aunque en algunos años como 1997 y 1998, se produjeron descensos importantes debidos a la incidencia de las heladas primaverales (Figura 17).

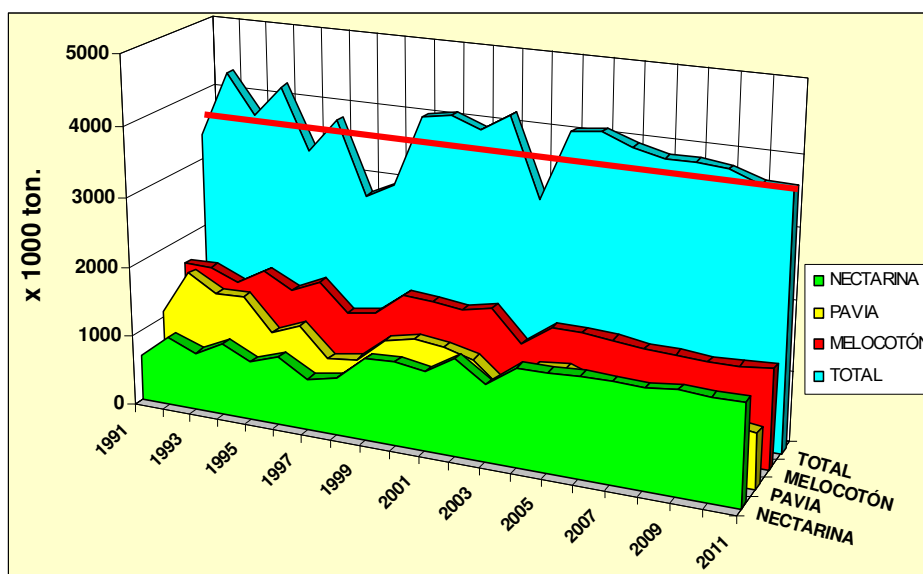


Figura 17. Evolución de la producción de melocotón, nectarina y pavia en la UE en el período 1991-2011 (Fuente: EUROPECH, 2011).

Como productores de melocotón destacan Italia y Francia (Figura 18). España y Grecia han venido produciendo más pavia, si bien en la última década ha habido un cambio de tendencia en detrimento de la pavia. En Grecia el 75 % de la producción se destina a la industria conservera; en España un 25%.

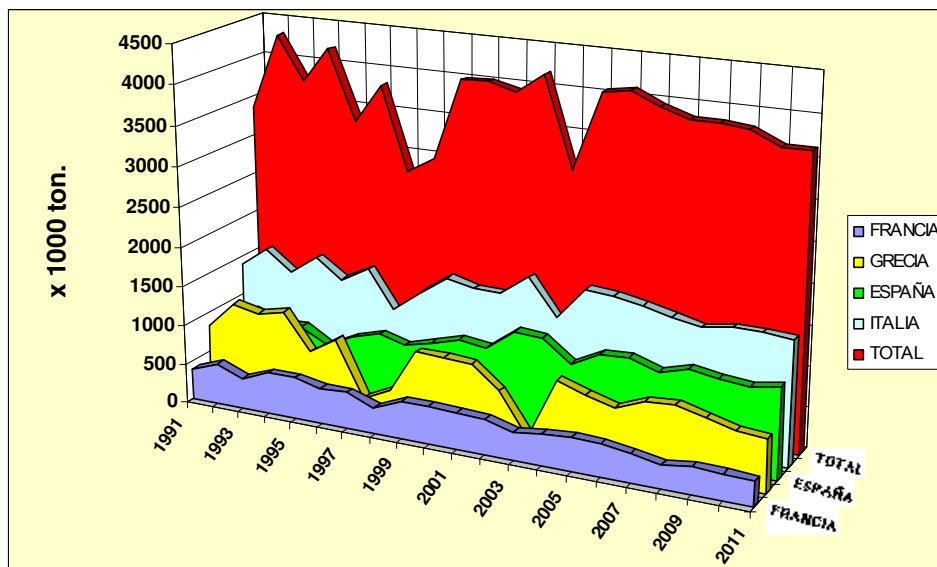


Figura 18. Evolución de las producciones de melocotón, pavia y nectarina en España, Italia, Grecia y Francia en el período 1991-2011 (Fuente: EUROPECH 2011).

La UE representa el 80 % de las exportaciones mundiales y el 30 % de las importaciones. Los exportadores extracomunitarios más importantes son Chile y Estados Unidos.

En cuanto a los intercambios extracomunitarios, la U.E. exporta mucho más que importa. Italia es el primer exportador mundial, siendo los principales destinatarios los países de Europa central y oriental, seguidos de Suiza y Rusia.

Las importaciones tienen lugar principalmente fuera de la temporada de producción del hemisferio norte, proveniente de países del hemisferio sur como: Chile y Sudáfrica. Alemania es el primer importador mundial seguido a notable distancia por el Reino Unido.

1.5.4 PRODUCCIÓN DE MELOCOTÓN EN ESPAÑA

España es actualmente el segundo productor de melocotón de la UE y el tercero del mundo (por detrás de China e Italia, superando a Estados Unidos).

Según datos del Ministerio de medioambiente, rural y marino del año 2007, el melocotonero es la especie frutal que ocupa un mayor número de hectáreas en España (80.000 ha), seguida del manzano (37.500 ha) y el peral (32.000 ha). Asimismo la

producción de melocotón (1.149.700 toneladas) es también mayor que la de manzana (672.400 toneladas) y pera (537.400 toneladas).

En España la evolución de las superficies de melocotonero, nectarina y paraguayo, muestra un incremento sostenido hasta 1995, con un descenso pronunciado hasta el año 2000, para continuar con ligeros incrementos hasta 2007, que se produce una reducción importante de casi 5.000 hectáreas (Figura 19).

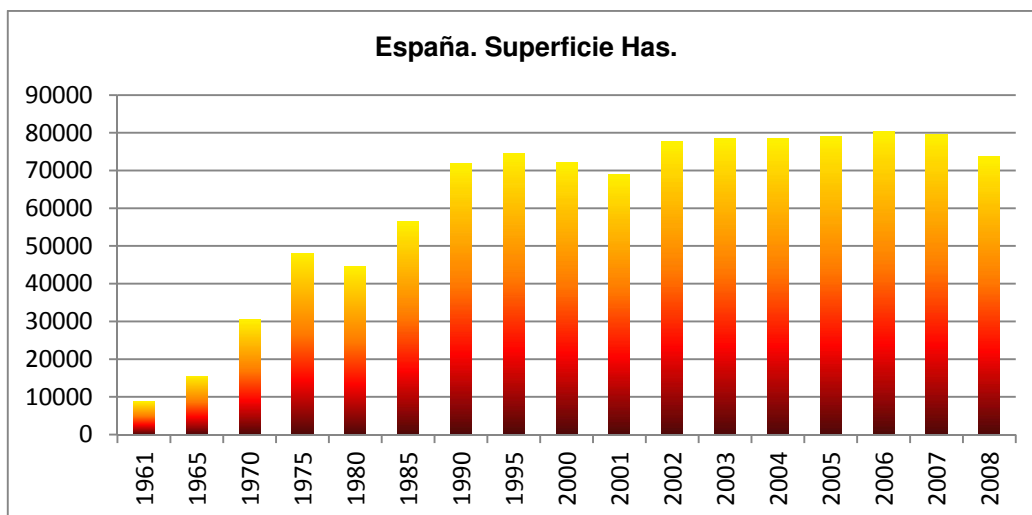


Figura 19. Evolución de las superficies de melocotonero en España en el período 1961-2008.
Fuente Marm.

En España, las principales zonas productoras de melocotonero se localizan en una amplia franja que va desde el nordeste de la península hasta el suroeste, siendo las principales zonas productoras ordenadas de mayor a menor: Cataluña, Aragón, Murcia, Andalucía y Comunidad Valenciana. Este orden de producción se mantiene también en la superficie ocupada por el cultivo, con la excepción de la Comunidad Valenciana, que cuenta con una mayor superficie que Andalucía pero menor producción (Figura 19).

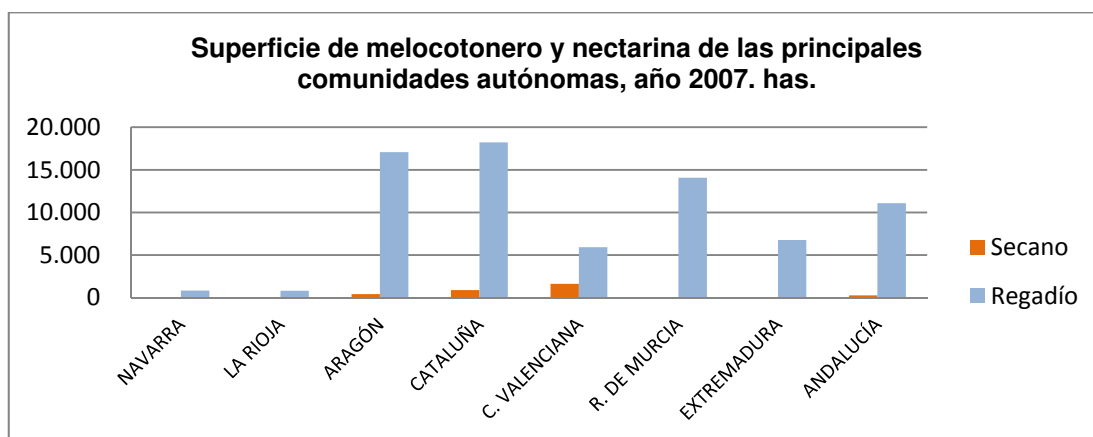


Figura 20. Superficie de melocotoneros y nectarinos de las principales regiones productoras de España.

En el período 1985-2006, melocotonero, cerezo y ciruelo han incrementado sus superficies, frente a manzano, peral y albaricoquero que han disminuido (M.A.R.M. 2009).

La producción de melocotón se da mayoritariamente en regiones de climas secos y calurosos, por la menor incidencia de las enfermedades y de heladas de primavera. El riesgo de heladas es más alto en el Valle del Ebro que en el resto de regiones, pero es también donde se dispone del mayor número de horas frío (>800 horas) que hacen posible el cultivo de variedades más exigentes en reposo invernal. Más al sur (Andalucía, sur de Murcia, Valencia) la disponibilidad de horas frío es inferior (200 a 600 horas) y son las variedades con bajos requerimientos y de recolección extratemprana o temprana las más cultivadas. Se dan importantes variaciones, especialmente por lo que respecta a la época de maduración y disponibilidad de horas frío (temperaturas <7° C). Andalucía es la región más tempranera y la Rioja y Navarra las más tardías, con una diferencia máxima de 40 días en la fecha de recolección. La oferta de melocotón fresco que presenta nuestro país es la más amplia del mundo occidental, con un calendario de comercialización de más de 6 meses, desde *finales de abril, hasta octubre o primeros de noviembre (melocotón de Calanda)*; (Carrera 1992). El 55 % de la producción nacional se concentra en julio y agosto.

En Andalucía la mayor parte de la producción corresponde a variedades muy tempranas de melocotón y nectarina (segunda quincena de abril), y tempranas (mayo).

Una situación parecida se da en Extremadura, aunque actualmente predominan las de recolección de junio-julio. En ambas comunidades autónomas dominan las variedades de melocotón de carne amarilla, que representan alrededor del 70 % de la producción; el melocotón de carne blanca el 10 % y la pavía el 20 %, esta última en regresión a favor del melocotón y nectarina de carne amarilla. En la Comunidad Valenciana las variedades tempranas y extratempranas representan el 74 % de la producción. Aun así, en las tres comunidades el calendario varietal se va alargando y cada vez se solapa más con las variedades tempranas producidas en las regiones situadas en el Valle del Ebro.

En la distribución por tipos, las pavías (duraznos) son las más importantes y representan el 31 % de la superficie dedicada al melocotonero (en 1997 representaban el 47%). Se trata, en general, de variedades tradicionales muy conocidas y apreciadas por los consumidores, de recolección mayoritaria a media estación o posterior y con unas características gustativas, de consistencia de carne, *self-life* y presentación muy diferentes de las variedades de carne amarilla. Aunque algunas pueden presentar una cara roja, la mayoría son de epidermis amarilla. En muchos casos son variedades tipo población, muy adaptadas a las condiciones climáticas de la zona donde han sido seleccionadas. Las variedades más importantes son las de media estación, de las cuales destacan "Sudanell" y "Babygold", con más de 6.000 ha cada una; entre las tardías,

destaca “Miraflores”, con 3.000 ha, mientras que de las tempranas cabe destacar “Catherina”, que ha pasado de 1.000 a 6.000 ha en los últimos 10 años (M.A.R.M. 2006).

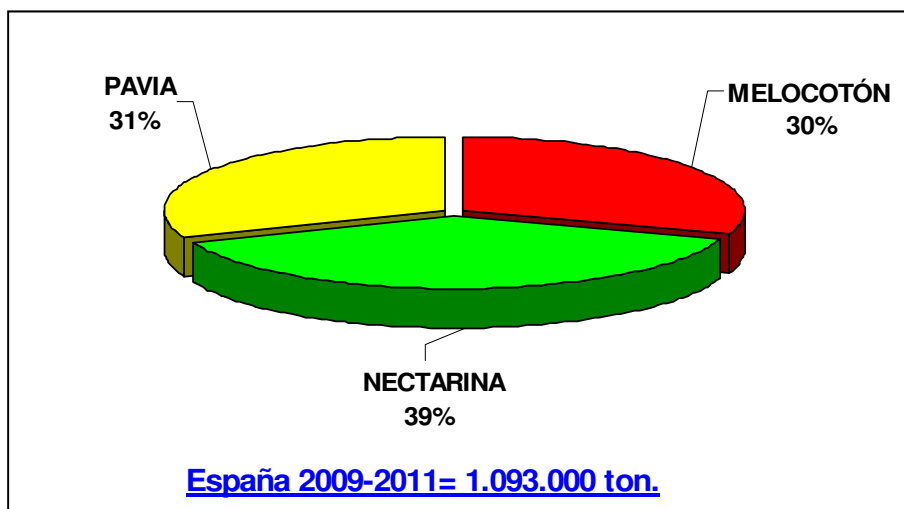


Figura 21. Distribución porcentual de melocotón, pavia y nectarina en España

El segundo lugar lo ocupa el melocotón (prisco), con el 37 %, con un claro dominio de las variedades de carne amarilla frente a las de carne blanca; en tercer lugar y a considerable distancia se sitúa la nectarina, con una mayor importancia la de carne amarilla.

El melocotón de carne amarilla representa el 30 % de la superficie (*Figura 21*). Destaca el grupo de variedades tempranas (6.100 ha). Las extratempranas suponen 6.000 ha (3.000 hectáreas de Sprincrest). De media estación, las más importantes son “Royal Glory”, y el grupo Rich. Dentro de las tardías cabe destacar “Merrill O’Henry”. El subgrupo de carne blanca es mucho menos importante, con un 5,7 %.

Las nectarinas han crecido notablemente en los últimos año, pasando del 20 al 39% en el período 2002-20011 (Iglesias 2009), con claro predominio de las de carne amarilla y epidermis roja, y una gran diversidad varietal. La nectarina blanca tuvo un momento de esplendor en los 90, pero ahora se encuentra en claro retroceso.

También se ha producido en el último lustro un incremento muy notable de la superficie de paraguayos, con predominio de la variedad Sweet cat, y del grupo Ufo,s, siendo en estos momentos en Valdejalón una de las especies más demandadas a los viveristas (comunicación personal V. Mariano Soria).

La mayoría de las plantaciones (85%) se hacen con formación en vaso a marcos de 5-6 x 2,5-3,5 m, que equivalen a 476-800 árboles/ha (Rubio-Cabetas et al. 2005).

Las exportaciones de melocotón y nectarina en España, han crecido de manera muy notable, desde los años 90. En 2007, exportó 520.696 Tn de melocotones; de ellos, el 85% se envió a países de la U.E. ().

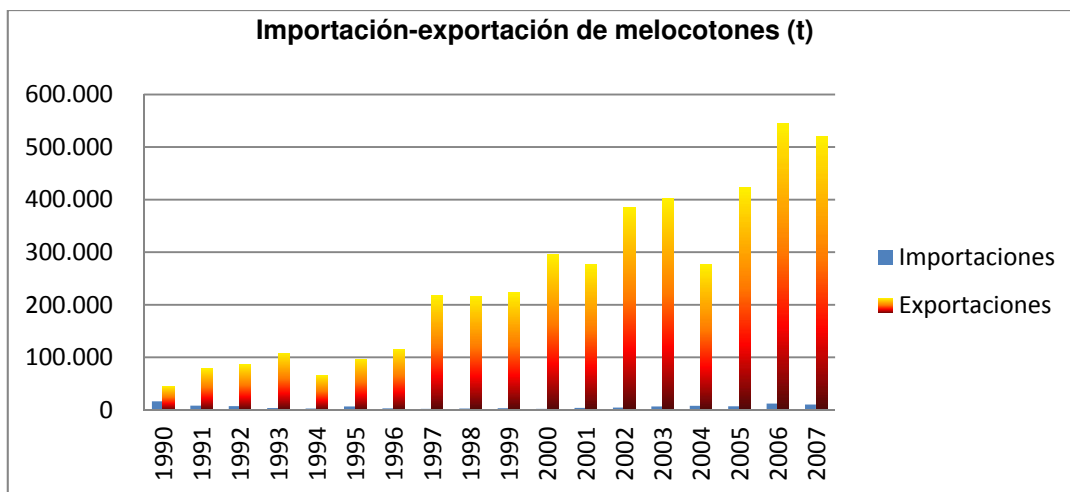


Figura 22. Evolución de las importaciones y exportaciones de melocotones y nectarinas.
Fuente Marm.

Los países destino de nuestras exportaciones son fundamentalmente: Alemania y Francia. Juntos suman casi el 40% de nuestras exportaciones de melocotones, nectarinas y paraguayos (Figura 23).

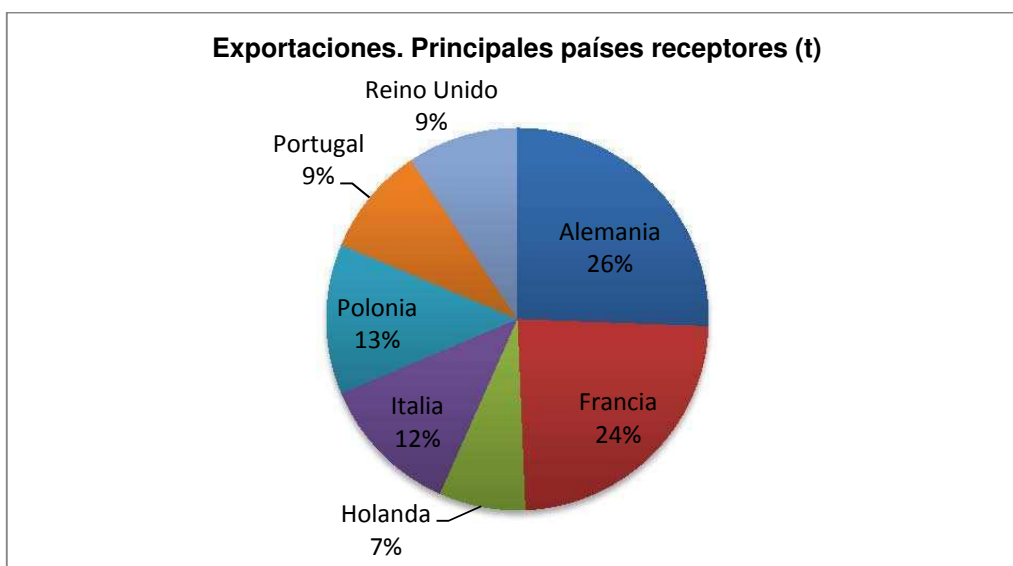


Figura 23. Principales países importadores de melocotón, nectarina y paraguayo producidos en España. Fuente. Agencia Estatal de Administración Tributaria. Estadísticas de Comercio Exterior.

Los principales países consumidores de melocotón, nectarina y paraguayo en fresco en Europa son: Italia y España, con tendencia al alza. Alemania y Reino Unido tienen un consumo inferior que está muy estabilizado.

El consumo de melocotón transformado o en almíbar es muy importante en España y Grecia. El 70 % del melocotón destinado a la industria ha sido producido en la UE, principalmente en Grecia y España. Fuera de la UE, los principales productores son Sudáfrica, Argentina y Chile.

Las preferencias de los consumidores por el color de la piel, de la pulpa, su dureza y textura es variable, de tal manera que evoluciona con el tiempo, aún cuando haya cierta tendencia a algún tipo. Por ejemplo, España hacia el melocotón de carne dura.

La distribución porcentual de los diferentes tipos muestra que el melocotón de carne amarilla aporta el 74 % de la producción total, la nectarina de carne amarilla el 13 %, y el melocotón y la nectarina de carne blanca el 4 %; el 9 % restante corresponde a los tipos pavia.

1.5.5 PRODUCCIÓN DE MELOCOTON EN ARAGÓN

Los regadíos del valle medio del Ebro son un área frutícola por excelencia (Hernández 1995).

La fruticultura comenzó a desarrollarse a partir de los años 50, paralelamente al propio crecimiento de las ciudades, cuyo incremento demográfico demandaba estos productos (Frutos 1977).

Aragón es actualmente la segunda Comunidad Autónoma en producción de melocotón por detrás de Cataluña. La suma de ambas regiones supone casi el 50% de la superficie de esta especie en España.

En el año 2011, la superficie total en Aragón se aproximaba a las 16.000 hectáreas, (Figura 24) con una distribución provincial de: Huesca 46%, Zaragoza 34%, y Teruel 20%. En la (Figura 25) puede verse como ha aumentado la superficie de nectarino en detrimento del melocotonero de carne amarillo de carne dura

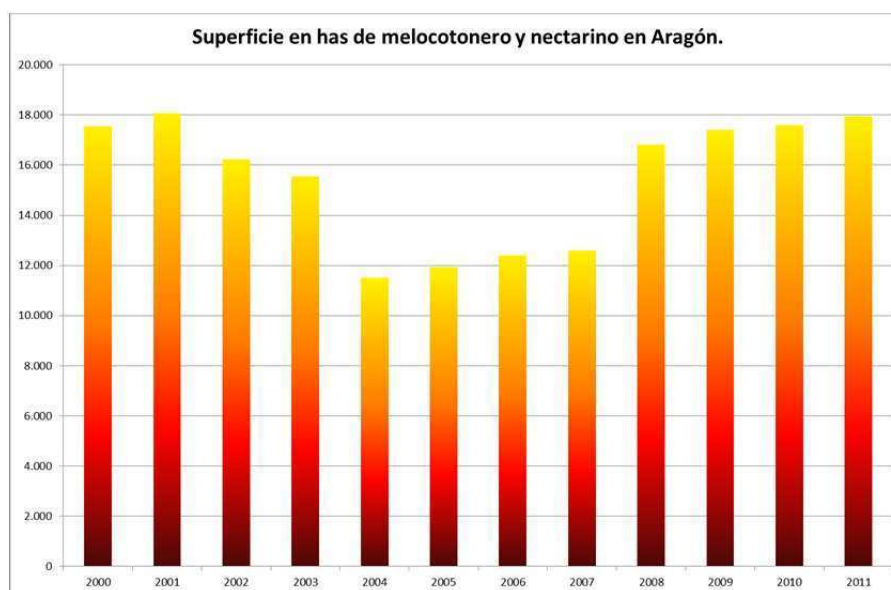


Figura 24. Evolución de la superficie de melocotonero en Aragón. (Fuente: Gobierno de Aragón)

En cuanto a la producción, cabe destacar que la provincia de Zaragoza, aún con menos superficie, obtiene producciones similares a las de la provincia de Huesca.

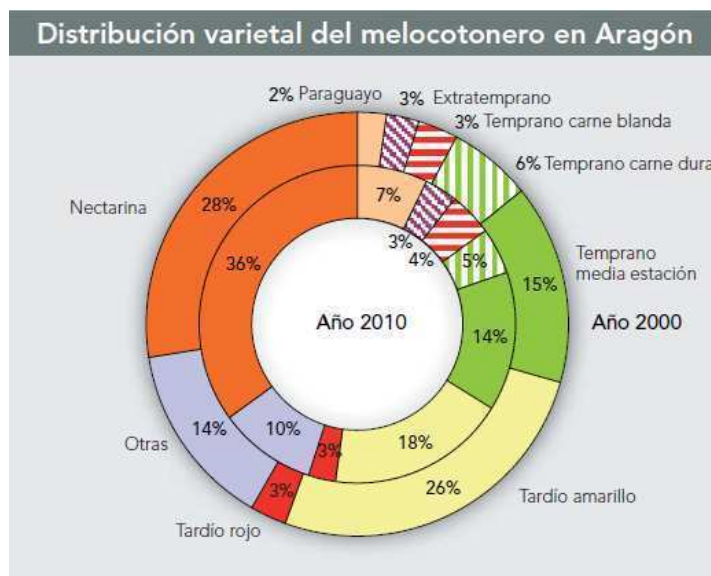


Figura 25. Estructura varietal en Aragón de melocotoneros, nectarinos y paraguayo. 2010.

Fuente Gobierno de Aragón

El 81,4% del melocotón y el 97,2 de la nectarina se dedican a consumo en fresco, mientras que a industria se destinan el 18,6% y 2,8% respectivamente.

En la comarca de Valdejalón en el período 2006-09 se ha producido un ligero descenso de la superficie de melocotonero y nectarina. En 2011 la superficie de regadío de melocotonero, nectarina y paraguayo ascendió a 3.035 has, con la siguiente distribución porcentual: (Figura 26).

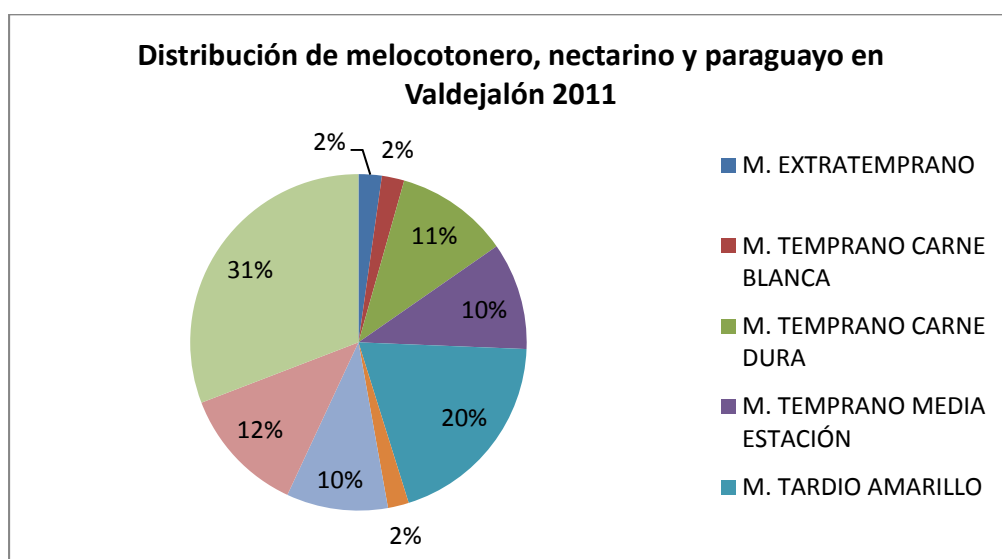


Figura 26. Distribución de la superficie de melocotonero, nectarino y paraguayo en Valdejalón en 2011

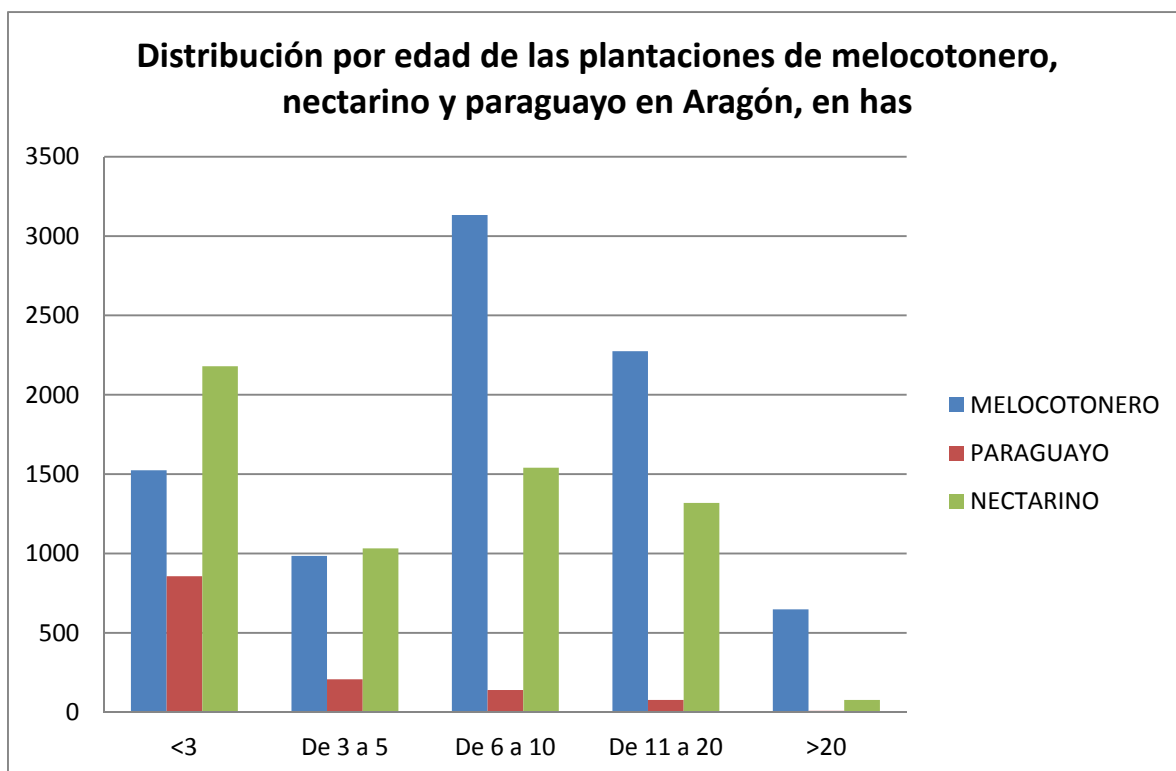


Figura 27. Edad de las plantaciones de melocotonero, nectarino y paraguay de Aragón. Año 2011. Fuente Gobierno de Aragón.

Como puede observarse, en los últimos años ha habido una intensa actividad de plantación de nectarinos y sobre todo de paraguayos (*Figura 27*). El 28,5% de las plantaciones tienen menos de 3 años; el 14% entre 3 y 5; el 30% entre 3 y 6 años y el 23% entre 11 y 20 años

1.5.6 CALIDAD DEL MELOCOTÓN

El tamaño y la calidad de los frutos están determinados por factores internos y por factores externos al fruto que determinan la disponibilidad de elementos minerales, agua, carbohidratos, etc., necesarios para su crecimiento (Madrid et al. 1985).

El fruto del melocotón contiene una serie de vitaminas, que en 100 g de fruta, suelen presentar los siguientes valores: de vitamina A (105 eq retino/ μ g), vitamina E 0,5 μ g, ácido fólico 3 μ g, vitamina C 8 mg. (Sánchez 2002, citado por Vila 2006). Al alcanzar la madurez, en el fruto de melocotón disminuye la concentración de vitamina C y el contenido de carotenos (Arthey & Ashurs citados por Vila 2006). También contiene licopeno (Olmedilla 1999, citado por Vila 2006), y diversos elementos que actúan como

cofactores: Cu, Zn y Selenio (Martínez et al 2001, citados por Vila 2006), junto con Fe, Ca, P, Mg y Na.

1.6 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El melocotonero se clasificó inicialmente dentro del género *Amygdalus* y familia Prunoideae por Linneo en 1753. En 1801, Batsch cambió el nombre y lo denominó *Prunus persica*, que es el utilizado actualmente.

División Espermatofitas, subdivisión Angiospermas, clase Dicotiledóneas, subclase Rósidas, orden Rosales, familia Rosaceae, Subfamilia Prunoideas, género *Prunus*, Especie *Prunus pérsica* (L.) Batsh, *Pérsica vulgaris* Mill., melocotonero. $x = 8$, $2n = 16$

Actualmente se acepta la siguiente clasificación:

- Melocotón. *Prunus persica* (L.) Batsch var. *Pérsica*. Incluye las variedades de melocotón de carne blanda, amarilla o blanca. La pavía o melocotón amarillo se considera una forma dentro de la variedad pérsica, llamada scleropersica.
- Nectarina. *Prunus persica*. (L.) Batsch, var. *Nucipersica* (Borkh.) Scheneider. Incluye los bruñones de carne amarilla y de carne blanca.
- Nectarina. *Prunus persica* (L.) Batsch var. *Nectarina* (Aiton) Maxim. Incluye las nectarinas de carne amarilla y de carne blanca.
- Melocotón plano o paraguay. *Prunus persica* (L.) Batsch var. *Compressa* (Loudon). Bean, incluye las variedades de carne blanca y amarilla así como las de piel de melocotón y nectarina.

Porte: Árbol caducifolio con tendencia globosa, más o menos arbustiva, de vigor mediano, de 4 a 6 m de altura, y con las ramas glabras. Su corteza es lisa, cenicienta, que se desprende en láminas. Los ramos son lisos, de color verde en el lado expuesto al sol.

Hojas: Sus hojas son simples de forma lanceolada, de 8 a 15 cm de longitud y de 2 a 3.5 cm de anchura, glabras por ambas caras, apuntadas y con un margen ligeramente aserrado. Haz de color verde brillante. Estípulas grandes caedizas. Su pecíolo es fuerte y grande, de 1 a 1'5 cm de longitud, con 2 a 4 glándulas cerca del limbo.

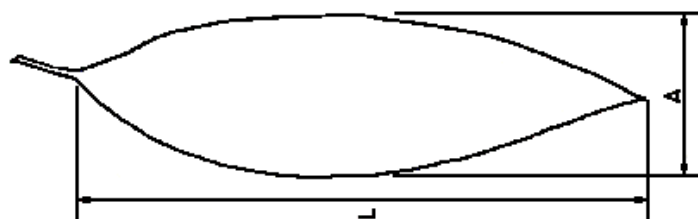




Figura 28. Hoja de melocotonero

Flores: El melocotonero produce flores solitarias a partir de yemas axilares simples del crecimiento del último año. (Westwood 1982) Las flores son hermafroditas y aparecen solitarias, o agrupadas de dos en dos, antes de la foliación y son muy diferentes en cuanto a tamaño y color según las variedades. Tienen 5 pétalos. Las hay con flor campanulácea (pequeñas, de cáliz acampanado y con pétalos poco aparentes), y con flor rosácea (de tamaño mediano a grande, con 2 a 3,5 cm de diámetro, pétalos grandes y de forma plana). Su color varía del rosa muy pálido, casi blanco, al rosa fuerte, casi rojo o violáceo. Los sépalos de color verde se encuentran soldados en la base para formar la cavidad del receptáculo (flor caliciforme). Los estambres, alrededor de 40, tienen un filamento incoloro y las anteras rojas. El pistilo es único, monocarpelar. El ovario posee dos óvulos, de los cuales uno generalmente aborta; en caso contrario da lugar a frutos dobles. La floración del melocotonero, actualmente, se produce desde primeros de febrero hasta finales de marzo, según variedades, lugares y años, ya que hay que tener en cuenta la existencia de variedades de bajas necesidades de frío invernal que en los climas cálidos del sur y sureste español florecen muy precozmente.

La iniciación floral comienza a mitad de verano de finales de junio a finales de julio (Westwood 1982).



Figura 29. Flor rosácea y campanulácea

Polinización: El melocotonero es una especie preferentemente autógama o autofértil (las flores pueden ser fecundadas por su propio polen), aunque existen variedades androestériles (que no producen polen) y que por tanto necesitan polinizadores para tener frutos. Polinización entomófila. Si la dehiscencia de la antera puede asegurar la proyección del polen sobre los estigmas de la flor, los insectos y

especialmente las abejas son agentes eficaces de la polinización. La fecundación tiene lugar normalmente 24-48 horas después de la polinización.

Fruto: Sus frutos, los melocotones, son normalmente de forma globosa, de 5 a 7 cm de diámetro y jugosos. Están formados por tres zonas: el epicarpio (piel), el mesocarpio (carne) y el endocarpio (hueso). La descripción taxonómica del melocotón es: drupa indehisciente de gran tamaño con una epidermis delgada, un mesocarpio carnoso y endocarpio lignificado que contiene la semilla. No obstante, según variedades, presentan gran diversidad de caracteres, pues pueden tener epidermis vellosa o lisa, carne dura o blanda y ser de color amarillo, blanco o rojizo. Pueden presentar además, el hueso adherido a la pulpa o libre de ella y distintos tamaños, formas, sabores y épocas de maduración.

Sistema radicular: muy ramificado y superficial, que no se mezcla con el otro pie cuando las plantaciones son densas (el antagonismo que se produce entre los sistemas radiculares es tan acentuado que induce a las raíces de cada planta a no invadir el terreno de la planta adyacente). La zona explorada por las raíces ocupa una superficie mayor que la zona de proyección de la copa, se considera que esta superficie es por lo menos el doble y en cualquier caso tanto mayor cuanto menor sea el contenido hídrico del terreno. Las raíces del melocotonero tienen un típico color anaranjado con lenticelas muy evidentes.

Órganos vegetativos: El melocotonero es una especie basítona, es decir, que un ramo vertical dejado vegetar libremente produce brotes más vigorosos en la base y progresivamente menos vigoroso hacia el ápice. La corteza que reviste el tronco y las ramas son de color gris más o menos oscuro con tonalidad rojiza. Las ramas tienen la corteza de color preponderadamente rojo oscuro o grisáceo.

Los ramos del melocotonero, según las dimensiones y la distribución de las yemas de flor se clasifican en: ramos mixtos, chifonas, ramos de mayo y chupones.

El ramo mixto lleva yemas de flor y yemas de madera, tiene una longitud variable de 20-30 cm hasta 80-100 cm y termina generalmente con una yema de madera. Si es vigoroso está provisto con frecuencia de ramos anticipados que suelen tener yemas de flor. En plantas jóvenes y en algunas variedades pueden contribuir de manera sensible a la producción.

La chifona es más débil que el ramo mixto, con una longitud de 15 a 30 cm, lleva preferentemente yemas de flor y puede terminar por una yema de madera o por una yema de flor.

El ramillete de mayo es un ramo de pocos centímetros de longitud, con una yema apical de madera y varias yemas de flor (4-8).

El chupón es un ramo muy vigoroso, que crece en posición vertical, emite numerosos ramos anticipados y sus yemas son generalmente de madera.

Órganos fructíferos: Están comprendidos por los ramos mixtos, chifonas y ramilletes de Mayo. Entre estos órganos fructíferos es el ramo mixto el considerado como de mayor importancia. Los melocotones se producen en la madera de un año de yemas florales formadas en el anterior periodo vegetativo. Normalmente se forma en cada nudo una yema foliar flanqueada por dos yemas florales.

El melocotonero fructifica en madera de un año (principalmente R. mixtos; también en chifonas y ramilletes de mayo). La cosecha de un año viene determinada, entre otros factores, por el desarrollo del ramo mixto y su forma de florecer sobre él (Gómez 1990).



Figura 30. Ramo mixto (izqda.) y Ramilletes de mayo y chifona (dcha).

Estados fenológicos:

- A.- Yema parada y cerrada.
- B.- Yema se redondea.
- C.- La yema se hincha, y se ven sépalos blancuzcos del cáliz en el ápice.
- D.- Sépalos se abren y dejan ver la corola rosada en el ápice de la yema.
- E.- El botón se abre y los estambres aparecen.
- F.- Pétalos y corolas abiertas. Es plena floración.
- G.- Caen los pétalos, los estambres se encogen. Se ha producido la fecundación.

H.- El ovario engorda. El cáliz seco persiste arriba.

I.- Cáliz seco cae, dejando al pequeño fruto desnudo.

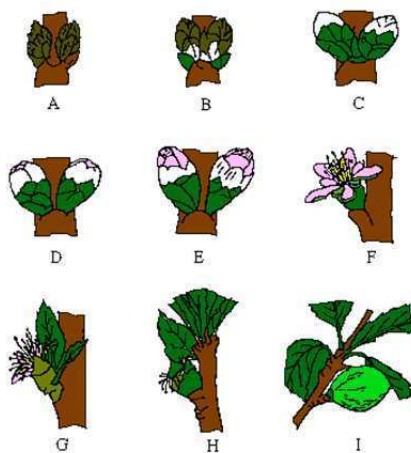


Figura 31. Fenologías

1.6.1 **ADAPTACIÓN EDAFOCLIMÁTICA DEL MELOCOTONERO**

El melocotonero es el segundo cultivo en importancia a nivel mundial entre los frutales de hueso y pepita, detrás de la manzana. Se encuentra ampliamente distribuido entre los paralelos 25 de latitud norte hasta los 45° de latitud sur. Esta adaptación ha sido posible gracias a una gran diversificación varietal, dado que pueden encontrarse variedades desde 100 a más de 1.000 horas de requerimientos en frío invernal, (Badenes 1998, citado por Iglesias 2009). Entre estas latitudes prevalecen las condiciones de fuerte insolación, cielos claros, estaciones veraniegas largas y temperaturas cálidas. A mayores latitudes las heladas son un factor limitante y a menores latitudes el factor limitante lo constituyen la falta de horas frío.

El melocotonero es una especie de zonas templado-cálidas con ciertas exigencias en reposo invernal. Por otra parte, es una especie bastante resistente al calor estival y sensible a los fríos invernales intensos.

1.6.1.1 **TEMPERATURA**

Los óptimos y los límites soportables para el melocotonero por lo que concierne al factor temperatura, son muy variables según los períodos del año, es decir, según las fases del ciclo de desarrollo.

1.6.1.1.1 **TEMPERATURAS INVERNALES**

Consideramos temperaturas invernales todas las que se producen durante el periodo de reposo vegetativo del árbol, que en nuestro país dura normalmente desde mediados de noviembre hasta primeros de marzo. Durante este periodo las temperaturas

pueden intervenir esencialmente en dos fenómenos: la congelación de los órganos y el final de la dormancia de las yemas.

Resistencia a heladas: Por regla general para los frutales, la resistencia a la destrucción por hielo de los tejidos varía según los órganos considerados (clasificados en función de una resistencia decreciente se encuentra: el tronco, las ramas, las yemas vegetativas, las yemas florales, las flores y los frutos pequeños y las raíces), según la época (resistencia máxima en el momento de plena dormancia y del fin de la misma, decrece a continuación hasta el desborre primaveral), según el patrón (puede modular la resistencia al hielo del árbol), tratándose fundamentalmente de una característica genética. También los árboles sanos resisten mejor las heladas que los árboles débiles. La resistencia a heladas depende igualmente de la dinámica del enfriamiento. La gravedad de los daños producidos por el hielo parece estar ligada frecuentemente a las modalidades de enfriamiento (velocidad y amplitud, sobre todo) más que el deshielo (De Vilelle, citado por Hernández 1995).

a) Según Hernández (1995)

La severidad y duración de la helada son factores a tener en cuenta, ya que el enfriamiento o deshielo rápidos son más perjudiciales, que si el descenso de las temperaturas es paulatino (Hernández 1995).

En reposo invernal los daños no se han observado hasta llegar a -30°C , aunque este valor puede verse modificado por el portainjerto (Iglesias & Carbó 2002).

b) Necesidades de horas-frío: Es conocido que los árboles frutales y entre ellos el melocotonero, están sujetos al fenómeno de dormancia, y que las temperaturas suaves constituyen un factor natural de eliminación de la dormancia de las yemas.

Se han asociado a especies y variedades "cantidades de frío" necesarias para finalizar la dormancia. Para calcular estas "necesidades de frío", los diversos autores se han apoyado en modelos de acción de la temperatura sobre el final de la dormancia. El primer modelo fue propuesto por (Weinberger 1950) aplicado al melocotonero. Este modelo ha tenido un gran éxito; ha sido la base de una caracterización que ya es clásica: las "necesidades de frío", expresadas en "horas de frío", de las variedades de las distintas especies, particularmente del melocotonero (Iglesias & Carbó 2002). Se estableció el umbral de $7,2^{\circ}\text{C}$ para la acumulación de horas frío. La duración del reposo vegetativo en cada especie o variedad depende de su constitución genética,

estado fisiológico y nutricional y condiciones climáticas locales. En cuanto a las necesidades de horas frío se establecen 3 grupos: variedades con menores requerimientos (de 100 a 400 – las californianas \approx 300 h.); variedades más difundidas (600-800 h) y variedades más exigentes (más de 1100 horas) (Espada 2010). Las necesidades del melocotón Miraflores están cubiertas, ya que habitualmente se superan las 1.000 horas/frío en Valdejalón.

1.6.1.1.2 TEMPERATURAS PRIMAVERALES:

El final del invierno y los comienzos de la primavera coinciden normalmente con el principio de la actividad vegetativa de las especies frutales. En esta época, el proceso de floración y el desarrollo inicial de los frutos con fases tan delicadas como la polinización y la fecundación, con exigencias termométricas muy concretas, hacen al árbol frutal sensible a las condiciones climáticas.

- a) Heladas primaverales: Las yemas de flor son las más frecuentemente afectadas por las bajas temperaturas, siendo el ovario, los óvulos y la base del estilo las partes de la flor más sensibles al frío.

La resistencia de los primordios florales disminuye regularmente a partir de enero, pero continúa elevada mientras la yema está cerrada (-7°C a -10°C en el estado de botón de rosa), y baja rápidamente en la flor abierta y sobre los frutos jóvenes (-2°C a -3°C). A partir de este momento, la resistencia aumenta al crecer el fruto, ya que los tejidos de éste aíslan el embrión, incrementando la dificultad para que el frío penetre hasta él.

El período de floración y cuajado es el que presenta mayor riesgo de destrucción de cosecha (Iglesias & Carbó 2002). En la Comarca de Valdejalón el melocotonero tardío, suele estar en plena floración el 19 de marzo (Hernández 1995), produciéndose el mayor riesgo de helada entre el 20 de marzo y el 10 de abril.

Se ha comprobado que la respuesta de las especies a la evolución térmica no es siempre igual. Las temperaturas mínimas de las dos primeras decenas de marzo pueden hacer variar la fecha de floración del melocotonero. Si las temperaturas son bajas la floración se retrasa; si son altas, se adelanta. En Valdejalón el mayor riesgo de helada se produce desde el 20 de febrero hasta el 10 de abril (Hernández 1995).

- b) Temperaturas elevadas en primavera: El proceso de floración parece estar vinculado en gran manera a las condiciones térmicas, de tal manera que la época, duración y calidad de la floración dependen de los valores

termométricos que se produzcan. La floración se desarrolla de forma óptima con unas temperaturas que oscilan de los 6°C a los 25°C; temperaturas más bajas pueden frenar la actividad de la floración mientras que temperaturas más altas pueden inhibirla.

Temperaturas entre 15°C y 25°C, con ambiente moderadamente húmedo (60-70% de humedad relativa), soleado y con aire en calma, son las circunstancias idóneas para el periodo de floración y días posteriores.

1.6.1.1.3 TEMPERATURAS ESTIVALES:

Las temperaturas de verano afectan a la fotosíntesis. El melocotonero tiene un óptimo térmico para la fotosíntesis, alrededor de 30°C, a pesar de tratarse de una planta C3. Esto hace que sea una especie bien adaptada a los climas cálidos y calurosos del valle del Ebro. La asimilación neta se ve favorecida por la alternancia de temperaturas cálidas de día y frescas de noche (Iglesias & Carbó 2002). Cuando en verano las temperaturas son más bajas de lo normal, puede producirse un retraso en las fechas de maduración del fruto y un menor desarrollo vegetativo. Por otra parte, cuando las temperaturas durante el periodo vegetativo superan los 35°C, el árbol puede resultar afectado en su evolución fisiológica.

1.6.1.1.4 PLUVIOMETRIA E HIGROMETRIA

Todas las especies frutales, entre ellas el melocotonero, precisan para mantener su desarrollo vegetativo normal y una óptima producción de fruta disponer en el suelo de un adecuado nivel de humedad. Si la disponibilidad de agua en el suelo no es suficiente, el crecimiento vegetativo se resiente, siendo el desarrollo del árbol menor, y en casos extremos la falta de agua puede provocar la muerte del mismo si no se riega.

El melocotonero es una especie sensible a la sequía, que precisa de riego, ya que con la pluviometría no es suficiente para cultivar frutos de calidad.

Las lluvias ocasionales pueden causar serios problemas, sobre todo cuando son coincidentes con la floración, ya que la polinización se ve seriamente comprometida y, como consecuencia, también la fecundación, lo que afecta negativamente a la producción.

1.6.1.2 INSOLACION

Como ocurre con los restantes factores climáticos, el melocotonero vegeta y fructifica adecuadamente en un amplio intervalo específico de valores de la insolación. Fuera de este intervalo, la baja insolación o el exceso de insolación ocasionan efectos casi siempre negativos en los árboles.

La insolación incide claramente en la fotosíntesis, y, a través de ésta, en el crecimiento vegetativo, en la inducción floral y en el tamaño, color y composición de los frutos, condicionando en consecuencia la cuantía y calidad de la cosecha.

El melocotonero aparece como un árbol muy heliófilo. No cabe duda que una buena iluminación es necesaria durante el curso de las diversas etapas de su ciclo biológico.

Una manifestación de la “necesidad de luz” es la gran sensibilidad de los órganos a la competencia por el espacio entre árboles y en el interior del mismo, lo que hace tan importante la formación del melocotonero y en particular la elección de formas.

En el cultivo del melocotonero, las características de calidad están asociadas con la disponibilidad de luz, entre otros factores (Corelli-Grappadelli & Coston, 1991, citados por Andreotti et al. 2009). La poda de verano contribuye a mejorar la iluminación de la planta (Myers 1993, citado por Andreotti et al. 2009).

1.6.1.3 VIENTO

La sensibilidad del melocotonero a la acción mecánica del viento es muy fuerte a nivel de las hojas (rasgaduras) y más aún a nivel de frutos; rozamientos y golpes ocasionan en los melocotones, manchas que los deprecian considerablemente; también en determinadas variedades, el viento puede provocar caída masiva de fruta antes de la recolección.

A nivel fisiológico, el viento es un factor indirecto, pero que puede ser muy importante debido al estrés hídrico, a través de la “demanda” de agua de la planta que el viento contribuye a determinar; este hecho motiva que el viento pueda ser un factor limitante del crecimiento (cierre de los estomas, reducción de la fotosíntesis). Además, la incidencia del viento durante la floración puede imposibilitar el vuelo de las abejas, impidiendo así la polinización.

La protección de las plantaciones por los cortavientos es necesaria en las regiones donde los fuertes vientos son frecuentes (los cortavientos semipermeables son los más eficaces).

1.6.1.4 GRANIZO Y PEDRISCO

El granizo y el pedrisco son fenómenos climáticos que se asocian a las tormentas. Normalmente, las tormentas que originan granizadas suelen producirse en primavera y verano, después de fuertes calores y ambiente en calma. Su desarrollo suele ser errático y sus efectos localizados en áreas muy concretas, de tal forma que causa daños catastróficos en una zona y es totalmente inofensiva a pocos cientos de metros.

La precipitación de tozos de hielo provoca en los elementos del árbol una serie de heridas por impacto, cuyo tamaño depende del de los trozos de hielo, así como de su

velocidad de caída y de la duración del fenómeno. En consecuencia, sus efectos sobre hojas, flores, brotes y frutos son muy variables, oscilando entre pequeñas heridas y laceraciones provocadas por granizadas poco intensas y defoliación total y caída completa de frutos en las más intensas y largas.

La comarca de Valdejalón es propensa a las tormentas de granizo. En melocotón, el daño depende de la época en que se produce la granizada, del tamaño y cantidad de las piedras, y de la cantidad de agua que caiga con el granizo.

En los cuatros años del ensayo, se ha producido una granizada temprana en 2009. Esta granizada produjo marcas de 0,3 a 0,5 mm sobre algunos frutos. En el momento del aclareo se tiraron la mayoría de estos frutos, si bien en la recolección había un porcentaje próximo al 45% de frutos afectados. Las circunstancias de los mercados en 2009, llevaron a los Hnos. Fernández Heredia a destinar la producción para zumo, a un precio de 6,5 céntimos de €/kg.

Las mallas antigranizo son un sistema que asegura la protección frente al granizo. En la comarca de Valdejalón, han comenzado a protegerse algunas plantaciones, si bien a un menor ritmo que en manzano. El Gobierno de Aragón a través de las comarcas, también ha puesto en marcha, sistemas automáticos de liberación de IAg en el caso de que haya aviso de riesgo de tormentas con granizo.

1.6.1.5 SUELO

El suelo, en sus dos aspectos principales (naturaleza física y química) influye de modo determinante sobre la nutrición del árbol.

La naturaleza física del terreno es importante por las condiciones de aireación y de humedad que puede crear en torno al sistema radicular. Los suelos mejores son los Francos con tendencia a sueltos, ya que tienen que estar bien aireados pero con la suficiente capacidad de reserva hídrica, debido a la sensibilidad que presenta a la sequía.

El otro aspecto del terreno es la naturaleza química, que depende principalmente del origen geológico. Para saber el contenido de elementos químicos que posee un suelo es necesario efectuar un análisis de suelos.

En una plantación de melocotonero, los diferentes patrones le permiten adaptarse a cualquier tipo de suelo, aunque prefiere suelos frescos, profundos, de pH moderado, nunca muy calizo y arenosos o al menos con buen drenaje. El melocotonero es muy sensible a la asfixia radicular; por ello hay que evitar los encharcamientos de agua y asegurar una profundidad de suelo no inferior a 1-1'5 metros.

También es muy sensible al contenido en caliza activa, que no debe ser superior al 2-3%, ya que puede producir clorosis férrica.

El melocotonero es una especie muy bien adaptada a los suelos de glaci, sueltos y permeables de la zona de La Almunia y Ricla (Rubio 1986, citado por Hernández 1995).

La distribución de las raíces puede presentar grandes variaciones con la clase de suelo explorado por ellas, que es mucho mayor en los suelos de textura gruesa a media que en los de textura fina (Tamasi 1986, citado por Gómez 1990).

1.6.2 CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS

En variedades tardías no existe la coincidencia del desarrollo vegetativo con la inducción floral y con el desarrollo de los frutos, por lo que son menores las necesidades primaverales y mayores las del final de verano (Gómez 1990).

El ciclo vegetativo se repite año tras año, mientras que el reproductivo se origina con la iniciación floral del año anterior y termina con la recogida de frutos. Así, la cosecha queda muy influida por las carencias o excesos de dos años: el anterior a la cosecha y el año en curso (Gómez 1990).

1.6.3 PATRÓN UTILIZADO EN EL ENSAYO

La misión de un portainjertos radica en una acción de anclaje o mecánica, en una acción fisiológica (absorción de agua y nutrientes) y en una acción biológica como la de fijar o inducir a una variedad a un comportamiento determinado. Influye sobre el vigor y desarrollo; la precocidad de entrada en producción; la fertilidad y productividad; las fechas de maduración; la forma, calibre y coloración; sobre la longevidad y sobre la resistencia a patógenos y alteraciones (Durán 1993).

El patrón utilizado en la plantación del ensayo es GF-677. En Europa, el híbrido almendro x melocotonero GF-677 es el más utilizado (Fideghelli et al. 1998). En España, en 2004, el patrón GF-677 era utilizado en el 47% de las plantaciones de melocotonero. (Rubio-Cabetas et al. 2005), le siguen los francos con el 18% y los GxN con el 17%. En Italia suponía el 70% de la superficie, (Fideghelli 2003, citado por Rubio-Cabetas et al. 2005).

Los patrones híbridos inter específicos 'almendro x melocotonero' se encuentran entre los más utilizados en la actualidad con melocotonero (Moreno et al. 2004).

1.6.3.1 SERIE GF 677

Este tipo de patrón está dentro de los híbridos interespecíficos. Se caracteriza por tener una elevada eficiencia productiva en árbol adulto, muy buena compatibilidad con melocotonero y nectarina El sistema radicular es extenso y generalmente poco profundo, con buen anclaje y buena adaptación a suelos poco fértiles. No produce sierpes. Induce resistencia a clorosis. En árboles adultos próximos a la senescencia (15-20 años), con suelos clorosantes, la resistencia se reduce progresivamente. En suelos poco fértiles tras

10 años tiene la mayor producción acumulada comparado con otros patrones (Carrera 1992). Comparado con ciruelos, presenta mayor precocidad de entrada en producción, mayor dureza de fruto y acidez y mayor producción acumulada (Espada et al. 2000).

Entre los inconvenientes de este patrón, puede destacarse que induce elevado vigor a las variedades, que limita su uso en suelos muy fértiles o en plantaciones con densidades elevadas. Es sensible a asfixia radicular y nematodos. Presenta cierta dificultad en la multiplicación comercial por métodos tradicionales y, por tanto, con precio superior a los francos. Los calibres durante los primeros años son inferiores a los obtenidos en otros patrones como los francos o los ciruelos (Carrera 1992).

1.6.4 VARIEDAD DEL ENSAYO

El melocotonero es la especie de mayor dinamismo varietal dentro de los frutales, cada año aparecen numerosas novedades en el mercado y la renovación varietal es de las más rápidas (Iglesias & Carbó 2002). Es una de las especies con mayor gama varietal entre los frutales caducifolios y aparecen nuevas selecciones cada año (Moreno 2003). Debido a las características climáticas y de producción, la distribución varietal no solo varía con el tiempo sino también en las áreas de cultivo.

La elección de variedades tiene enormes posibilidades y no resulta sencilla. Los principales criterios de elección son (Iglesias & Carbó 2002):

- La adaptación edafoclimática.
- La regularidad y homogeneidad del calibre de los frutos y la ausencia de defectos.
- Producción elevada y regular, con poca exigencia de aclareo.
- Resistencia a enfermedades y plagas.
- Vigor moderado, para reducir costes de poda.
- Maduración agrupada, para disminuir el número de pasadas.
- Coloración del fruto y calidad organoléptica.
- Buena aptitud para el transporte y las manipulaciones.

1.6.4.1 MIRAFLORES

Origen: Variedad local de la zona del Jalón en la provincia de Zaragoza. Parentales desconocidos. Seleccionada en los años 70 en la comarca de La Almunia de Doña Godina.

Actualmente se encuentra en estudio y selección clonal en la estación experimental de Aula Dei (Moreno 2005).

Árbol: Árbol vigoroso y de porte erecto. Glándulas foliares globosas.

Fruto: calibre medio a grueso, redondeado, a veces algo mucronato, bastante simétrico. Piel de color amarillo crema a anaranjado con ligera chapa roja en la parte

soleada o sin chapa. Pulpa amarilla, muy consistente, jugosa, azucarada, de muy buena calidad gustativa. Hueso adherente. Doble aptitud, apreciado por la industria conservera.

Sensibilidades y resistencias: Muy sensible a podredumbres por Monilia y Rhizopus en veranos lluviosos. En general es poco sensible a enfermedades y a hueso abierto. No presenta sensibilidad al cracking. Tiene cierta sensibilidad a heladas primaverales.

Sensible a caída de frutos en pre-recolección

Floración: época media. En Valdejalón, durante la década de los 90, la fecha promedio de plena floración es el 13 de marzo; la floración más temprana se produjo en la última semana de febrero y la más tardía en la 3ª semana de marzo. variando en un intervalo entre la última semana de febrero y la 3ª de marzo Flor rosácea. En la comarca de Caspe la plena floración en un año medio (F₂) se produce la primera semana de marzo, y en Calatayud la 3ª (Gómez & Lorén 1999).

Aclareo: Se trata de una variedad muy floribunda. Precisa un buen aclareo para obtener frutos de calibres elevados. Para industria, el aclareo se hace menos intenso, dejando entre 4-6 frutos por ramo mixto de unos 60 cm. El aclareo durante las primeras 5 semanas tras la floración permite obtener frutos más gruesos que si se realiza más tarde (Royo et al. 2005).

Fructificación: fructifica en ramos mixtos y en ramilletes de mayo en madera de dos años. Requiere poda mixta de renovación de ramos productores de ambos tipos bien distribuidos. En años de elevada cosecha el calibre puede verse reducido a niveles poco aceptables para el consumo en fresco, por lo que en estos años hay que realizar, si se destina para consumo en fresco, un aclareo importante de frutos.

Época de maduración: en la Comarca de Valdejalón, del 5 al 15 de septiembre. Si bien, en función de las condiciones climáticas se puede adelantar a la última semana de agosto, y retrasar hasta la última de septiembre. .

Producción: muy buena aunque algo irregular.

Tiene buena aptitud ante el transporte y la manipulación. Conservación media en frío. Es una variedad básica para la producción tardía de melocotón en la cuenca del río Jalón en Zaragoza.

Datos de calidad (información obtenida de la EEA Mas Badia):

- Sólidos solubles del zumo (° Brix): 13.0
- Acidez del zumo (g/ácido málico): 8.8
- Relación sólidos solubles/acidez: 1.5
- Calidad gustativa: sabor dulce y medianamente aromático

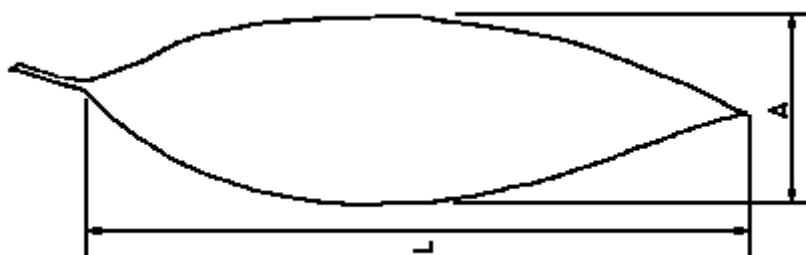
Valoración general: se trata de una variedad tradicional que presenta un muy buen nivel de adaptación a condiciones climáticas diferentes y una buena rusticidad. La productividad y los niveles de producción son buenos.

FICHA DE LA VARIEDAD “MIRAFLORES”

En esta clasificación se han seguido los principios rectores elaborados por la Unión para la Protección de las Obtenciones Vegetales (U.P.O.V.).

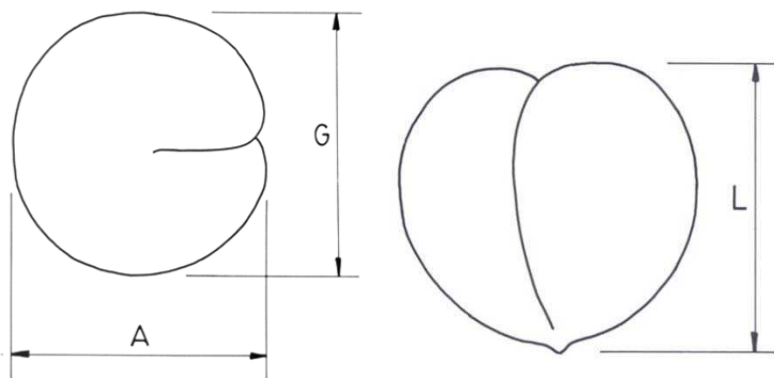
- Grosor del ramo mixto: Medio
- Longitud entrenudos del ramo mixto: Medio a largo
- Pigmentación antociánica del ramo mixto: Presente
- Intensidad de la pigmentación antociánica del ramo: débil
- Densidad botones del ramo mixto: Media a alta
- Distribución de botones en ramo: De dos o más
- Época comienzo de floración: Tardía
- Duración de la floración: Larga a muy larga
- Forma de la flor: Rosácea
- Color cáliz (flor abierta): Naranja
- Forma de los pétalos: Redondeada (<1,22)
- Tamaño de los pétalos: Medio
- Color pétalos (plena floración): Rosa pálido
- Número de pétalos: Cinco
- Longitud estambres/pétalos: Más corto
- Número de pistilos: siempre uno
- Posición estigma/anteras: Igual nivel
- Polen en las anteras: Presente
- Pilosidad del ovario: Presente
- Tamaño del limbo en cm^2 : Medio ($48 < T1 < 59$)

Este carácter viene determinado por el producto de la longitud por la anchura. La longitud se mide uniendo el extremo apical con la base del limbo y la anchura está referida al máximo diámetro transversal de dicho limbo.



- Limbo: relación longitud/anchura: Larga
- Perfil del limbo: Plano
- Extremidad del limbo: Plano
- Ángulo de la base del limbo: más o menos recto
- Ángulo extremo apical del limbo: Medio
- Pigmentación antociánica del limbo: Ausente
- Longitud del peciolo: corto a medio
- Forma de los nectarios: Circulares
- N° de nectarios en el peciolo: Dos
- Longitud de las estípulas: Medias
- Tamaño del fruto: Grande ($140 < T2 < 190$)

Este carácter viene definido por su peso en gramos.

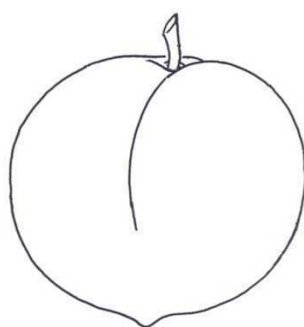


L: Longitud
A: Anchura
G: Grosor

- Forma del fruto: Redondeado ($L/A \approx 1$)

Este carácter viene determinado por la relación longitud anchura.

Redondeado



- Forma zona pistilar: Plano

- Simetría del fruto: Simétrico
- Marcado de la sutura del fruto: Poco
- Profundidad de la cavidad peduncular: Grande
- Anchura de la cavidad peduncular: Ancha
- Color fondo epidermis del fruto: Amarillo naranja
- Extensión pigmentación antociánica del fruto: Débil (pueden aparecer ligeras estrías, manchas o puntuaciones)
- Pubescencia del fruto: Presente
- Densidad pubescencia del fruto: Media (da aspecto aterciopelado al fruto)
- Espesor de la epidermis: Media
- Adherencia epidermis a la carne del fruto: Media
- Firmeza de la carne: Media (textura de la pulpa más consistente)
- Color de la carne del fruto: Amarillo naranja
- Pigmentación antociánica subepidermis del fruto: Ausente (sin coloración rojiza)
- Pigmentación antociánica en carne del fruto: Ausente (sin coloración rojiza)
- Pigmentación antociánica alrededor del hueso: Ausente/Muy débil
- Textura de la carne del fruto: No fibrosa
- Contenido de azúcar en la carne: Medio a fuerte
- Tamaño hueso relación fruto: Pequeño a medio
- Forma frontal de hueso: Ovoide
- Color del hueso: Oscuro
- Porcentaje huesos abiertos: Muy bajo
- Adherencia del hueso a la carne: Presente
- Grado de adherencia: Medio
- Época de maduración: Tardía a muy tardía
- Escalonamiento en la maduración: Escalonada
- Tendencia a la caída de frutos: Débil
- Época de la caída de las hojas: Tardía a muy tardía



Figura 32. Imágenes de melocotones 'Miraflores' de la parcela

1.7 NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS. FERTIRRIGACIÓN. ESTRÉS HÍDRICO

La profundidad de las raíces determina la capacidad de un cultivo para interceptar el nitrato durante los períodos de lixiviación, y por lo tanto puede ser importante desde la perspectiva medioambiental (Gastal & Lemaire 2002); (Serna et al. 2000); El 90% de las raíces finas en cítricos se encuentran en los primeros 45 cm, por lo que el nitrato situado a mayor profundidad podría ser lixiviado (Serna et al. 1994). Sin embargo, varios estudios indican que la disponibilidad de N en el suelo no afecta a la profundidad de desarrollo de las raíces (Gabrielle 1998 citado por Gastal & Lemaire 2002); este efecto contrasta con la influencia sobre el crecimiento de los brotes. (Eissenstat et al. 2001), comprobó en manzano, que las raíces que tienen a su disposición más nitrógeno, en condiciones de humedad y temperatura adecuadas, viven más (aproximadamente un 50% cuando la relación de nitrógeno respecto del testigo es 5:1.

Las necesidades de agua de un cultivo se establecen en base a la evapotranspiración (ETc), que es la suma de la transpiración de la planta y la evaporación del suelo.

El proceso para estimar la evapotranspiración de un cultivo es el siguiente:

- 1) Determinación de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET₀).
- 2) Determinación de la evapotranspiración de cada especie cultivada (ETc).

Martinez Cob y Faci (1998), han publicado los coeficientes de cultivo para las distintas comarcas de Aragón de los cultivos más relevantes, entre ellos, el melocotonero. Dichos coeficientes de cultivo se encuentran actualizados en la web del gobierno de Aragón y del C.S.I.C.: <http://servicios.aragon.es/oresa/>.

- 3) Determinación de las necesidades netas de agua de los cultivos en cada caso particular.

De manera resumida, podríamos determinar las necesidades con el uso de parámetros meteorológicos: $ETc = ET_0 \times Kc$ (Intrigliolo et al. 2009):

- ETc: Evapotranspiración del cultivo
- ET₀: Evapotranspiración de referencia
- Kc: Coeficiente del cultivo

Tabla 2. -Coeficientes de cultivo (Doorenbos y Pruitt, 1976)

Valores de kc correspondientes a árboles caducifolios frutales en pleno crecimiento								
Con cubierta vegetal								
Zona	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Vientos de débiles a moderados, secos	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,1	0,9

- Otros métodos para determinar las necesidades son: la medida de la humedad del suelo mediante sondas u otros dispositivos. Ejemplo de ello son los tensiómetros y watermark, que precisan un buen mantenimiento. También las sondas capacitativas tipo F.D.R. (Reflectometría en el dominio de la frecuencia) y T.D.R. (Reflectometría en el dominio del tiempo) son una herramienta muy útil para el control de la humedad del suelo (Intrigliolo et al. 2009) ya que permiten una gran resolución y alta frecuencia de adquisición de datos (Romero et al. 2008); (Alarcón et al. 2006).
- El uso de cámara de presión, para la determinación del potencial hídrico. Utilizados habitualmente en trabajos de investigación.

- La dendrometría (sensores LVDT), basados en la medición de la variación del diámetro del tronco a lo largo del día (Romero et al. 2008) es aceptable, con una correcta adaptación de las tensiones (Goldhamer & Fereres 2004).

El objetivo del riego radica en proveer suficiente humedad al suelo para compensar las pérdidas provocadas por transpiración y evaporación (Kang *et al.*, 2002), de modo que los cultivos transpiren a su máximo potencial para así satisfacer sus requerimientos de evapotranspiración (ETc) a lo largo del ciclo productivo (Sekler 2003). En árboles frutales se trata de mantener el suelo o una fracción del mismo en un estado de humedad suficiente para que con un mínimo consumo de energía, las raíces puedan proporcionar al árbol, el agua y los elementos nutrientes necesarios para el correcto desarrollo vegetativo y de la cosecha en cantidad y calidad, asegurando al mismo tiempo la longevidad de la aplicación (Gómez 1990). Diversos estudios proponen tres beneficios fundamentales del riego en frutales: la mejora del crecimiento de los árboles (Chalmers et al. 1983); (Landsberg & Jones 1981); el aumento de la carga de cosecha (Brun et al. 1985) y el incremento en el tamaño de los frutos (Landsberg & Jones 1981).

1.7.1 **LA FERTIRRIGACIÓN**

Una técnica que complementa al riego es **la fertirrigación**, cuya práctica se ha desarrollado paralelamente con el riego por goteo o técnicas similares (Dominguez 1996). En España, hay unas 600.000 hectáreas con riego localizado; de ellas, aproximadamente 90.000 son de frutales que son o pueden ser fertirrigadas. La fertirrigación permite el aporte de todos los nutrientes a lo largo del ciclo de cultivo en las cantidades y proporciones deseadas (Sanz 2005) y sin que tenga que pasar un tiempo más o menos largo, para disolverse y alcanzar la profundidad de las raíces (Moya 2002). De esta forma, el objetivo de aplicar la dosis correcta de nutrientes es mucho más fácil de alcanzar con aportaciones fraccionadas que con una única aplicación (Melgar 2005).

La fertilización a través de los sistemas de riego localizado permite economizar un 30-60% de fertilizante respecto de los sistemas tradicionales, facilita el ajuste de las necesidades y aumenta la capacidad de reacción ante problemas de nutrición (Gómez 1990); (Pizarro 1987); también genera otros beneficios como la anticipación de la fase productiva y la reducción de las pérdidas por lixiviación (Pizarro 1987). Sin embargo, en árboles adultos, la eficacia del aporte de N en fertirrigación es a menudo, equiparable a la de la fertilización tradicional (Malaguti et al 2006, citados por Rombolà & Sorrenti 2006). El máximo fraccionamiento de la aplicación de fertilizantes nitrogenados se produce con la fertirrigación (Orea et al. 2004), consiguiendo una mejora sustancial de la fertilización, que aumenta la eficiencia del N cuando se aplican IN (Zerulla et al 2001).

Las ventajas de la fertirrigación con respecto a otros sistemas tradicionales son de tipo técnico y ecológico y, por lo tanto, económico (Cadahía et al. 2002). Las principales ventajas ambientales son la dosificación racional mejorando la eficacia, el ahorro de agua y el control de la contaminación al evitar el exceso de nutrientes. Sus principales inconvenientes, son el coste de la instalación y las obturaciones de goteros. A pesar de todo, la fertirrigación, no está siendo aprovechada en todas sus posibilidades; en el caso de los frutales de hueso, se sigue procediendo, en muchos casos, a la distribución de los fertilizantes en varios riegos (Eymar et al. 2005) o en el suelo bajo los goteros (observación personal en explotaciones de la comarca de Valdejalón). Sin embargo, la automatización del riego, teniendo en cuenta los requerimientos hídricos de las plantas en tiempo real, es un aspecto de actualidad que permite ahorrar agua (Alarcón 2000 & Ortuño 2006, citados por Alarcón et al. 2006). Diversos estudios de riego deficitario controlado (R.D.C.) han contribuido a establecer la posibilidad de ahorrar hasta un 30% de agua en limonero y albaricoquero (González-Altozano & Castel 2003); (Domingo et al 1996, citados por Alarcón et al. 2006). (Girona & Marsal 1993); (Goldhamer & Schackel 1989) consiguieron ahorros significativos de agua. Además, en los últimos años se han producido grandes avances en el desarrollo de modelos informáticos que permiten mejorar la eficiencia del agua y los nutrientes (Arias et al. 2008).

1.7.2 ESTRÉS HÍDRICO. RIEGO DEFICITARIO

La creciente escasez de los recursos hídricos disponibles para la agricultura en algunas regiones del mundo, hace necesario propiciar aun más el ahorro de los aportes hídricos a través de estrategias de riego más eficientes como la optimización en la asignación del agua a cada planta (Leib *et al.*, 2006); (Silva *et al.*, 2005). Una de estas estrategias es el riego deficitario, propuesto por primera vez por (Chalmers et al 1981) para controlar el exceso de vigor vegetativo en melocotonero sin penalizar la producción.

La aplicación de técnicas de riego conducentes a reducir la cantidad de agua aplicada por debajo del máximo utilizado por el cultivo ha dado resultados satisfactorios (Alarcón et al. 2006), permitiendo un estrés moderado con el mínimo impacto en los rendimientos y calidad de los frutos (Barker et al. 2003).

El riego deficitario, en la actualidad tiene un gran auge en algunas zonas, debido a que la creciente competencia por el agua entre la agricultura y otros sectores está forzando a la agricultura de regadío a operar bajo esquemas de escasez de agua (Fereres & Soriano, 2007). Bajo condiciones de sequía, el riego deficitario puede ser económicamente rentable al aumentar la productividad de la cosecha por unidad de agua aportada (English & Raja, 1996). Sin embargo, para lograr estos beneficios es necesario

un conocimiento preciso de la respuesta del cultivo a la cantidad de agua aportada (De la Hera *et al.*, 2007).

En las dos últimas décadas, se han desarrollado estrategias como el **riego deficitario controlado** (R.D.C) y la **desección parcial del sistema radical** (D.P.R), que han logrado, en algunos casos, resultados favorables altamente dependientes de la especie vegetal a la cual se han aplicado (Leib *et al.* 2006), (Chalmers *et al.*, 1986; Irving & Drost, 1987, citados por Parés 2010).

El objetivo inicial de los sistemas de R.D.C fue reducir el crecimiento vegetativo y por ende, los costes de poda en melocotoneros, quedando en un segundo plano la idea de maximizar el uso del agua (Chalmers *et al.*, 1981). Esta técnica se ha evaluado con resultados prometedores en especies perennes tales como peral (*Pirus communis* L.) (Chalmers *et al.*, 1986); (Mitchell *et al.*, 1984), melocotonero (Li *et al.*, 1989); (Mitchell & Chalmers, 1982), olivo (*Olea europea* L.) (Alegre *et al.*, 1997) y manzano (Anconelli *et al.*, 2008). Sin embargo, al reproducirse estos ensayos bajo diferentes condiciones, no siempre obtuvieron resultados concordantes (Goldhamer *et al.*, 2002); (Girona *et al.*, 1993).

Disminuciones de riego en torno al 30%, en postcosecha, en melocotoneros de recolección en mayo, permitieron ahorrar 1.600 m³/ha, reduciendo el crecimiento vegetativo, y manteniendo buenas producciones (Romero *et al.* 2008).

La DPR es otra estrategia de riego desarrollada recientemente para el cultivo de la vid (De la Hera *et al.*, 2007), que puede ser utilizada en cultivos en los que el riego deficitario controlado no conduce a resultados satisfactorios (Leib *et al.*, 2006). Consiste en crear simultáneamente dos zonas radicales en la planta: una parcialmente seca y la otra correctamente humedecida (dos Santos *et al.*, 2003); (Kang *et al.*, 2002). Esta técnica ha dado buenos resultados en uva de mesa, (Dry *et al.* 2000, citados por Egea *et al.* 2009), en árboles frutales (Zegbe & Serna-Pérez 2009) y en manzano 'Fuji' (Leib *et al.* 2006); (Davies *et al.* 2002).

1.8 LA FERTILIZACIÓN DE LAS PLANTAS

1.8.1 INTRODUCCIÓN

Según la (R.A.E 2001), la fertilización es la acción de nutrir (aumentar la sustancia del cuerpo animal o vegetal por medio del alimento, reparando las partes que se van perdiendo en virtud de las acciones catabólicas.

Los fertilizantes permiten restituir a los suelos los elementos nutritivos que las plantas extraen o que los suelos pierden por lavado, retrogradación y erosión, poniendo a

disposición de los cultivos los nutrientes que precisan en cada momento (García-Serrano et al. 2010).

Un principio básico del abonado racional de los cultivos es la aportación de los elementos nutritivos requeridos por el árbol únicamente cuando existen evidencias de que son necesarios (García-Serrano et al. 2010). La situación ideal es aquella en la que la planta toma los nutrientes según los va necesitando, para lo cual el fertilizante debe liberarse a un ritmo similar a las exigencias del cultivo (Pérez et al. 2008), evitando la aplicación mucho antes o después de los períodos de absorción (Betrán 2006b). Así, el fertilizante ideal es aquel que puede aplicarse en una única vez para todo el ciclo de cultivo y tiene la máxima recuperación porcentual del nutriente, lo que maximiza la rentabilidad por uso y tiene un mínimo impacto ambiental, (Shoji & Gandeza 1992, citados por Trenkel 1997).

En la historia de las prácticas de fertilización hay dos grandes etapas (Betrán 2006b): una primera empírica hasta el S.XVI, y una posterior, científica, cuyo precursor puede considerarse a Liebig.

Existe constancia de que en el 4.000 a.C, ya se utilizaba el estiércol para mejorar las cosechas (Betrán 2006b) siendo hasta hace relativamente poco tiempo, el único abono o fertilizante de las plantas, junto con restos vegetales y plantas fijadoras de Nitrógeno (Moya 2002).

A principios del S. XX se produjeron incrementos en la producción de los cultivos, que no hubieran sido posibles sin el consumo de fertilizantes químicos (González & Guzman 2006). La producción de nitrogenados creció intensamente a partir del momento en que Haber y Bosch desarrollaron el proceso industrial que producía fertilizantes nitrogenados inorgánicos a partir de nitrógeno atmosférico, hidrógeno y energía.

El empleo racional y equilibrado de los fertilizantes ha comenzado recientemente (Moya 2002) y ha sido clave para el incremento de las producciones agrícolas, junto con el desarrollo de otros medios de producción como las semillas, fitosanitarios, riegos, maquinaria agrícola, y todos ellos manejados por la mano experta del agricultor (Cadahía 1998). Para obtener mejores rendimientos de los cultivos, se deben utilizar más eficientemente los recursos naturales, aunque una aplicación más eficiente, si bien es necesaria, no es suficiente para satisfacer la necesidad de aumentar la cantidad de alimentos asegurando su calidad (Cadahía 2005) y por ello se debe prestar atención al rendimiento de los cultivos, la calidad y las cuestiones ambientales (Loebenstein & Thottappilly 2007). Una fertilización racional debe conjugar la utilización de fertilizantes orgánicos y minerales que se complementen (García-Serrano et al. 2010).

Una buena estrategia de fertilización ha de tener en cuenta los principales factores que determinan la fertilidad del suelo que son: la materia orgánica (incluyendo la

biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de nutrientes, la capacidad de almacenamiento, la reacción del suelo y la ausencia de elementos tóxicos (FAO-IFA 2000). En el área mediterránea se evidencia la necesidad de incrementar la materia orgánica del suelo ya que contribuye a mejorar la estructura, la capacidad de retención hídrica del suelo y a estimular el sistema radicular (Rombolà & Sorrenti 2006).

Las plantas efectúan la síntesis de la vida uniendo los 4 elementos primarios tradicionales: agua, aire, tierra y luz (Val 2003). Su crecimiento depende de varios factores que van desde la regulación génica hasta los factores edafológicos. Sin embargo, para una planta concreta y en un ambiente determinado, los factores de crecimiento más importantes son la luz, el agua, el CO₂ y los nutrientes minerales. Muchas observaciones realizadas sobre el rango de disponibilidad de N en el medioambiente, sugieren la existencia de un equilibrio entre el N y la nutrición carbonada de las plantas, lo que explicaría porque las plantas optimizan sus ganancias de carbono con relación al N disponible para la fotosíntesis (Le Bot et al. 1998).

La generación de alimento a partir de elementos minerales es un proceso denominado nutrición autótrofa que no es otro que la fotosíntesis. Generalmente las plantas toman los nutrientes a partir de la solución del suelo a través de las raíces y se distribuyen por los tejidos vegetales (Val 2003). La producción de biomasa total (peso total de la planta - **índice biológico**-) está directamente relacionada con el contenido de nutrientes, si bien, en agricultura la cosecha se determina por la producción de materia seca de determinados órganos o tejidos (**índice agronómico**).

Mitscherlich (1920) estableció una relación matemática entre el nutriente aplicado y el rendimiento de la cosecha para indicar que en la zona de deficiencia, el efecto positivo del aporte de un nutriente es mayor cuanto más grave es la deficiencia del nutriente de partida. En el S. XVIII, De Saussure llegó a la conclusión, al estudiar la fotosíntesis, de que no todos los elementos que hay en las plantas son indispensables (Bonilla 2000) y en el S. XIX, el precursor de la ley del mínimo: Boussingault (S.XIX) indicó que un suelo puede ser improductivo desde el punto de vista agrícola por ausencia exclusiva de un elemento esencial (Bonilla 2000).

La determinación de que nutrientes son esenciales para el metabolismo vegetal, según (Arnon & Sout 1939, citados por Val 2003), se basa en el cumplimiento de 3 condiciones simultáneas:

1. Su carencia provoca la inhibición del crecimiento o los procesos reproductivos.
2. No puede remplazarse por ningún otro.

3. Y debe estar inequívocamente asociado con algún o algunos metabolitos esenciales.

Sin embargo, esta situación no parece cumplirse en todos los casos, de manera que ni la presencia ni la concentración de un elemento mineral son criterios de esencialidad.

(Kant & Kafkafi 2002) consideran que un elemento es esencial para las plantas, cuando estas no pueden completar la fase reproductiva del ciclo de vida debido a su deficiencia. Generalmente, se tienen en cuenta los tres elementos mayores: nitrógeno, fósforo y potasio, aunque cada vez se tienen más en cuenta los otros, llamados “secundarios” (azufre, magnesio y calcio).

Los aspectos que afectan al contenido de nutrientes esenciales en los tejidos vegetales están determinados por varios factores (Gárate & Bonilla 2000):

- a. Dotación génica de la planta.
- b. Disponibilidad de nutrientes en el suelo. Distinguiendo entre formas disponibles o asimilables.
- c. Momento fenológico y órgano de la planta.

Para conseguir el máximo potencial productivo, las plantas han de estar bien provistas de los nutrientes esenciales. Esto se puede conseguir por tres vías (Razeto 2003):

1. Cultivando especies o variedades que se adapten a las condiciones de suelo presentes.
2. Manejando el suelo para lograr un máximo aprovechamiento de sus nutrientes.
3. Aportando nutrientes mediante la fertilización.

Con objeto de determinar las necesidades de las plantas, los nutrientes se han clasificado (*Tabla 3*), en función de su concentración en ellas, en macronutrientes y micronutrientes u oligoelementos. Para las plantas superiores, está bien definida la necesidad de 17 elementos minerales. De ellos, el nitrógeno tiene concentraciones más altas en las hojas y flores, y el potasio en los frutos (Bonilla 2000). Se ha constatado que algunas plantas pueden acumular cantidades elevadas de metales pesados, que no son requeridos por el metabolismo vegetal, lo que restaría relevancia a la clasificación tradicional.

Tabla 3. Clasificación de nutrientes según (Mengel & Kirkby 1987) adaptado por Val (2003).

Nutriente	Especie química/origen	Función
C, H, O, N, S	CO ₂ , HCO ₃ ⁻ , H ₂ O, O ₂ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , N ₂ , SO ₄ ²⁻ , SO ₂ , Iones/solución del suelo. Gases/atmósfera	Constituyentes mayoritarios del material orgánico. Reacciones enzimáticas y de óxido-reducción
P, B, Si	Fosfatos, ácido bórico o borato, ácidos silícico/solución del suelo	Fosfatos-trasferencia de energía. Unidos a grupos hidroxilo de azúcares formando ésteres de fosfato, borato y silicato.
K, Na, Ca, Mg, Mn, Cl	Iones/solución del suelo	Osmóticos. Se encuentran en forma iónica libre o unidos a grupos carboxílicos como el Ca a las pectinas y el Mg a la clorofila.
Fe, Cu, Zn, Mo	Iones o quelatos/ solución del suelo	Principalmente acomplexados formando parte de grupos prostéticos. Reacción de transporte de electrones por cambio de valencia.

Los nutrientes minerales, una vez absorbidos, se distribuyen por toda la planta a través del xilema, impulsados por la corriente ascendente del agua que genera el flujo de transpiración (Sánchez-Díaz & Aguirreolea 2000).

No todos los nutrientes del suelo están disponibles directamente para las plantas (Kotliar & Wiens, 1990; Jackson & Caldwell 1993, citados por Parés 2010). La movilidad de los nutrientes hacia las raíces ocurre por dos procesos diferentes (Sekler 2003): uno es por difusión de los iones a través del agua del suelo, que está determinado por el gradiente de concentración en la solución y el otro por flujo de masa (Robinson 1996) en el que la transpiración, es el primer factor que provee de nutrientes a las raíces (Keller 2005).

Por otro lado, la distribución y configuración del sistema radical que puede ser modificado por factores como el agua y los nutrientes (Gaitán et al. 2005) y cuya mayor densidad de raíces se encuentra cerca de la superficie del suelo (Sands & Mulligan 1990), es particularmente importante para la absorción de elementos minerales, especialmente, de los poco móviles, como el P, K, Zn y Fe (Wells & Wang 2001). La capacidad de ramificación y de penetración del sistema radicular constituyen las características morfológicas más importantes que permiten al vegetal tolerar los déficit de humedad y evitar carencias nutricionales (Russell 1977 citado por Parés 2010). El sistema radical juega un papel importante en el crecimiento y producción de las plantas a través de dos de sus funciones primarias, la absorción y transporte de agua y nutrientes (Miller 1986), ya que está ampliamente demostrado que la cantidad de agua y nutrientes a disposición de las plantas depende del volumen de suelo explorado por las raíces (Barcelo et al. 2005). Para que los nutrientes puedan ser absorbidos por las raíces, tienen

que formar parte de la solución del suelo (Sekler 2003), aunque en ocasiones, son adquiridos directamente por intercepción radical a partir del suelo inmediatamente adyacente a las raíces (Barcelo et al. 2005). Sin embargo, por esta vía es imposible cubrir las necesidades nutricionales de las plantas (Sekler 2003).

1.8.2 ASPECTOS DE LA FISIOLÓGÍA RELACIONADA CON EL MOVIMIENTO DEL AGUA

El agua de riego, es el principal factor limitante de la productividad de los cultivos (Abdoulkarim & Solmaz 2009). La función que desempeña es de trascendental importancia para el crecimiento de las especies vegetales por afectar de manera directa o indirecta a la mayoría de los procesos fisiológicos de las plantas (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2001a).

El agua participa de manera directa en el proceso de la fotosíntesis, aunque su papel como mediador de la fotosíntesis es indirecto: la disponibilidad de agua transpiratoria mantiene abiertos los estomas, facilitando la incorporación del CO₂ indispensable para la fotosíntesis a las hojas (Medrano & Flexas 2004).

La tasa de transpiración depende de la temperatura, humedad relativa, dirección e intensidad del viento, presión atmosférica, luz y humedad del suelo. Algunas plantas han desarrollado mecanismos de adaptación que reducen el exceso de transpiración (Sánchez-Díaz & Aguirreolea 2000).

La supervivencia de las plantas terrestres depende de que una cantidad suficiente de agua sea absorbida por el sistema radicular y ascienda a través del tallo y ramas para reemplazar la pérdida por transpiración de las hojas. El agua y los nutrientes entran en la planta por dos rutas: la apoplástica y la simplástica (Revilla & Zarra 2000).

Teóricamente existen tres rutas de entrada del agua y de los solutos a través de las raíces (Sánchez-Díaz & Aguirreolea 2000):

- a. *La ruta intracelular o simplasto*, el agua y los solutos seleccionados pasan a través de las membranas celulares que forman la epidermis de los pelos de la raíz y, a través de los plasmodesmos, a cada célula hasta llegar al xilema.
- b. *La ruta extracelular o apoplasto*, el agua y los solutos penetran a través de la pared celular de las células de los pelos de la raíz y pasan entre la pared celular y la membrana hasta que encuentran la endodermis, una capa de células que deben atravesar hasta llegar al xilema.
- c. *La ruta a través del plasmalema y tonoplasto*, siendo la vacuola una parte integral de la vía de transporte.

Se puede asumir, con la debida prudencia conceptual, que el flujo de agua en las plantas se da como respuesta a un gradiente de presión establecido entre dos extremos, el suelo como fuente y la atmósfera como sumidero final (Gil-Pelegrín et al. 2005).

Para la ascensión del agua en la planta se acepta la *Teoría de la tensión-cohesión de agua*, según la cuál, en el interior de los vasos y traqueidas xilemáticas, las columnas de agua se comportan como si todas las moléculas estuviesen conectadas y una tensión aplicada a cualquier parte de la columna se transmitiera a través de la misma (Fernández & Maldonado 2000).

El transporte de los iones y del agua en las células vegetales puede ser pasivo o activo. En el transporte pasivo, los iones tienden a moverse desde zonas de concentración alta a zonas de concentración baja, de acuerdo con el gradiente. Este proceso tiende a que las sustancias se difundan uniformemente. El transporte activo requiere que algunas sustancias como nutrientes ricos en energía, minerales o desechos pasen a través de la membrana en contra del gradiente de concentración (Fernández & Maldonado 2000).

En las plantas, el déficit de agua, puede manifestarse con los siguientes síntomas: disminución de la turgencia, reducción del tamaño celular, cierre de estomas, disminución de la capacidad fotosintética y desequilibrio hormonal, entre otros (Barcelo et al. 2005); (Goday & Pagés 2004); en casos de carencias muy acusadas, se puede llegar a la muerte de la planta. Por otro lado, el exceso de agua produce: un nivel bajo de aireación en la rizosfera, que puede alterar el metabolismo; se inhibe el crecimiento; se cierran los estomas; se reduce la fotosíntesis, la absorción de agua y nutrientes, y se altera el balance hormonal (Kozlowski, 1984).

1.9 FERTILIZACIÓN NITROGENADA

En la actualidad, el 50% de la población humana depende de los fertilizantes nitrogenados para la obtención de alimentos, aunque la mayor parte del N disponible para el crecimiento de las plantas proviene, en último término, de la atmósfera (Lamsfus et al., 2004). Hoy por hoy, el balance energético de la producción agrícola es positivo y la fertilización, sobretudo los nitrogenados contribuyen de manera significativa a optimizarlo (García-Serrano et al. 2010).

Históricamente, se venían aplicando agua y fertilizantes en exceso, ya que el agricultor lo percibía como una “*prima de seguro barato*” para minimizar el riesgo de reducción de rendimientos potencialmente asociados con condiciones desfavorables para el cultivo (Bock & Herbert 1991, citados por Zotarelli et al. 2007). Se ha descrito ampliamente que el N es el elemento fertilizante que produce la respuesta más evidente en la planta; acelera su vida vegetativa, su desarrollo e induce generalmente, un aumento

de la producción (Marschner 1995); (Monge et al. 2006). La limitada biodisponibilidad de N, su papel como elemento potencialmente más rentable de la fertilización (Monge et al. 2006); (Marschner 1995) y la alta dependencia del crecimiento de los cultivos de éste mineral ha propiciado que los agricultores utilicen grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados, (Fushiwaki et al. 2005, citados por Betrán 2006b); (Egea, et al. 2003) con la finalidad de evitar el riesgo que suele suponer su déficit. Por lo tanto, los mayores aportes de N, dirigidos por acciones antrópicas, están ligados a actividades relacionadas con el alza en la producción de alimentos (Marschner 1995) lo que ha obligado a obtener la mayoría del N de procesos industriales (Miller & Cramer 2004).

Según (Fushiwaki citado por Betrán 2006a), permanece entre algunos agricultores, la tendencia a aplicar una cantidad excesiva de Nitrógeno a los cultivos, cuando una reducción en la dosis de fertilizante no afectaría al rendimiento y mejoraría la eficiencia de utilización. Para dosis superiores a las del “óptimo económico” (O.E.) la eficiencia disminuye drásticamente, y por encima del “máximo técnico” (M.T.) la presencia de más Nitrógeno no se traduce en mayor producción sino en el “consumo de lujo” y la creación de excedentes de Nitrógeno mineral en el suelo, inevitablemente expuestas al lavado.

Un reto importante es ajustar las aportaciones de fertilizantes nitrogenados a la demanda del cultivo y favorecer la eficiencia en la asimilación del N (Nielsen et al., 2009; citado por Rufat 2005). Para ello, la European Fertilizer Manufacturers Association ha publicado unas normas de buenas prácticas agrícolas relacionadas con los planes de fertilización (E.F.M.A 1997).

1.9.1 EL NITRÓGENO Y LAS PLANTAS

El N es un elemento esencial para las plantas que abunda en la naturaleza ($3,9 \times 10^{15}$ t en la atmósfera, $6,9 \times 10^{11}$ t en los océanos, $13,5 \times 10^{11}$ t en los suelos y en la biota terrestre) (Anónimo s. f.), 78.125 t/ha “(FAO-IFA 2000); (Hogdes s. f.). Únicamente son más abundantes que él, como constituyente de los tejidos vegetales, el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. Por ello, se considera que el N, tras el déficit hídrico, es el principal factor que controla el crecimiento de las plantas siendo un elemento esencial para el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos (Lamsfus et al. 2004); (Marschner 1995); (Ordoñez et al. 1991); (Faust 1989); (Haynes & Goh 1978). Es el principal elemento mineral absorbido por las plantas (Gallegos et al. 2000) con un importante impacto sobre la tasa global de su crecimiento (Gastal & Lemaire 2002); (Jhonson & Uriu 1989) y se caracteriza por ser el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción vegetal (Parés 2010). En la mayoría de ecosistemas terrestres y de suelos es un factor limitante debido a su baja concentración en la solución del suelo

(Chapin & Aerts 2000); (Aber y Melillo 1991, citados por Dalias et al. 2002). El N tiene una menor eficiencia relativa (entre el 30 y el 50%) y es necesario para mantener el rendimiento de los cultivos sin deteriorar la calidad del medioambiente (Melgar 2005). Fruto de la investigación han aparecido nuevos productos con objeto de mejorar la eficacia del N. Así, en el período 1963-1999 se patentaron 1404 sustancias pertenecientes al grupo de “fertilizantes de acción retardada o de liberación controlada (FLL y FRP)” e “inhibidores de la ureasa y de nitrificación” (IU e IN) (Melgar 2005). Sin embargo, de los 430 M de t de fertilizantes consumidos en el mundo en 1999, los de liberación lenta y controlada apenas supusieron el 0,15%; de ellos, el 25% se utilizó en jardinería y hogares, 35% en céspedes, 32% en viveros profesionales y el 8% restante en agricultura (Melgar 2005). La causa principal de su bajo uso, es el coste de los FLL y FRP que es entre 4 y 12 veces más elevado que los productos solubles comunes.

El Nitrógeno forma parte de muchos compuestos orgánicos: **proteínas** (en los cloroplastos se sintetizan buena parte de las proteínas totales de las plantas y por tanto, en ellos se requieren grandes cantidades de compuestos nitrogenados reducidos (Val 2003) citando a - Le Bot et al 1994 -; que suponen el 80-85% del N total (Jhonson & Uriu 1989); **ácidos nucleicos** (Fageria et al. 2006); (Lewis 1986) con un 10% del N total (Jhonson & Uriu 1989); **aminoácidos** (Miller & Cramer 2004); (Jhonson & Uriu 1989); numerosas **enzimas, coenzimas y proteínas** estructurales (Lamsfus et al. 2004); moléculas como ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa oxigenasa (rubisco); materiales transportadores de energía como la **clorofila** (Makino & Osmond 1991); (Lattanzi et al. 2004), **ADP, ATP** (Thompson & Troeh 1988); (Hogdes s. f.) y **citoquininas y auxinas** (Westwood 1982). Es por lo tanto, un elemento implicado en todos los procesos metabólicos y de crecimiento vegetal (Lamsfus et al. 2004); (Jhonson & Uriu 1989) y es muy abundante en semillas, frutos jóvenes, ápices en crecimiento y hojas maduras; se encuentra en menor cantidad en tejidos leñosos y carne de los frutos (Jhonson & Uriu 1989).

Las plantas no pueden desarrollar sus procesos vitales, si carecen de Nitrógeno para construir los compuestos esenciales, ya que forma parte del 1 al 4% de su materia seca (FAO-IFA 2000); dependiendo de la especie, etapa de desarrollo y del órgano; (Larcher 1983) estima que la concentración de Nitrógeno puede oscilar entre el 2 % y el 5% del peso seco de la planta; Otros autores como (Miller & Cramer 2004), la cifran en un 2%. Por ello para optimizar el uso del N, se ha establecido el concepto de **concentración crítica de N**, que ha sido definido como “*la mínima concentración de N, que permite la máxima tasa de crecimiento*”. Esta concentración crítica disminuye durante el crecimiento del cultivo (Gastal & Lemaire 2002).

Por otra parte, más del 50% del N foliar está relacionado con el sistema fotosintético, (Makino & Osmond 1991, citados por Le Roux et al. 1999) por lo que la capacidad fotosintética general, se correlaciona fuertemente con la cantidad total de N por unidad de área foliar (Evans 1989), variando según el hábitat de la planta y los factores ambientales (Lamsfus et al. 2004). Así, se reconoce que el N puede ser un factor limitante del crecimiento y de la eficiencia fotosintética de las plantas (Ciompi *et al.* 1996, citados por Parés 2010); (Thompson & Troeh 1988).

También existe una clara correlación entre el aumento del número de células del xilema primario y la absorción de N por la planta (Xiang et al. 2005). En plantas arbóreas, la disponibilidad de N durante el período de máximo crecimiento de las ramas influye en el crecimiento de los brotes y por ende, en la arquitectura del árbol. La tasa de aparición de las hojas y la longitud final de los entrenudos responde de manera similar a la disponibilidad de N, en función del orden del eje y de la posición en el árbol (Médiène et al. 2002). Actualmente se considera que la fertilización nitrogenada es imprescindible dentro del manejo de las plantaciones frutales (Carbó et al. 2002).

El N por unidad foliar está linealmente relacionado con la exposición a la luz PAR ($\text{mmol/m}^2\text{s}^{-1}$) (De Jong 1985, citado por Le Roux et al. 1999). En general, las hojas desarrolladas con altas irradiaciones tienen un alto contenido de N y una alta capacidad fotosintética por unidad de área foliar, en comparación con las de zonas sombreadas (Le Roux et al. 1999).

El N también interviene sobre **la calidad** de los cultivos, un parámetro cada vez más importante, encontrándose entre los tres elementos más influyentes junto con el potasio y el calcio (Razeto 2003) e influyendo sobre el calibre, el color, la firmeza y el contenido de sólidos solubles en los frutos (Fallahi et al. 1997).

1.9.1.1 CONTENIDO DE NITRÓGENO DE LAS PLANTAS

La escasez de nutrientes minerales limita la producción vegetal en la mayoría de los ambientes. El Nitrógeno es uno de los elementos químicos cuya asimilación implica, generalmente un gasto energético asociado a su reducción. Este elemento puede ser absorbido por las raíces en tres formas: como N orgánico, amonio o nitrato (Escudero & Mediavilla 2003).

Con objeto de aumentar la eficiencia se establecieron diversos índices:

1.- **Índice de extracción de Nitrógeno**, (I.E.N.) (Novoa & Loomis 1981, citado por Berti et al. 2008).

2.- **Eficiencia de uso de Nitrógeno**. (E.U.N) (Bartholomew & Clark 1965, citado por (et al. 2008).

3.- **Eficiencia fisiológica del Nitrógeno.** (E.F.N). (Novoa & Loomis 1981, citado por Berti et al. 2008).

4.- **Eficiencia agronómica del Nitrógeno.** (E.A.N). (Novoa & Loomis 1981, citado por Berti et al. 2008).

Agronómicamente, el riego y la fertilización nitrogenada, pueden afectar notablemente a la producción total de biomasa destinada a cosecha, y con ello a la productividad de un cultivo (Peil & Galvez 2005). Se sabe que un gran número de cultivos tienen una respuesta positiva a la toma de Nitrógeno, con incremento de biomasa (Agren 1985), sin que ello suponga ninguna ventaja en la eficacia de su uso. Además existe una fuerte correlación entre la concentración de nitrógeno en las hojas y la asimilación neta, y entre la parte aérea, la productividad y el contenido de nitrógeno foliar, (De Jong & Day 1991, citados por Malcom et al. 2008).

La mayoría de los cultivos dependen del suministro externo de N, vía mineralización de la materia orgánica y aportes de fertilizantes para completar su ciclo de crecimiento, aunque algunas plantas pueden utilizar el N atmosférico, a través de su asociación con microorganismos procariotas o diazotróficos (Cárdenas et al. 2004). La demanda de Nitrógeno por las plantas y su disponibilidad en el suelo, dependen de la especie y de las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento (Bonilla 2000).

Se ha comprobado que la adición de Nitrógeno no provoca alteraciones notables en los parámetros biométricos de las plantas y en la producción de los árboles (Parés 2010) e influye en la concentración de nitratos en la disolución del suelo, propiciando el incremento de la concentración de nitratos en hojas (Rincón 2000).

Una vez absorbido el N, el proceso de reducción del NO_3^- a NH_4^+ se lleva a cabo por medio de dos reacciones consecutivas. En la primera de ellas el NO_3^- es reducido a NO_2^- por la enzima nitrato reductasa (NR). Dicha reacción necesita del aporte de dos electrones suministrados por la molécula NADH. A continuación, el NO_2^- es reducido a NH_4^+ por la enzima nitrito reductasa (NiR) en una reacción que requiere de seis electrones, donados por la molécula ferredoxina reducida (Maldonado *et al.*, 2001). La reducción del NO_3^- necesita energía en forma de NADH o ferredoxina reducida. Esta energía procede directamente de la fotosíntesis, cuando la reducción de NO_3^- se realiza en la hoja, o del metabolismo respiratorio de los carbohidratos cuando la reducción ocurre en la raíz, aunque la mayor disminución tiene lugar en las hojas (Oaks 1979). El ion NH_4^+ , procedente de la reducción del NO_3^- o de su absorción directa por la raíz es tóxico para las células y por ello no se debe acumular en grandes cantidades. El NH_4^+ se combina con otras moléculas existentes para formar aminoácidos como glutamina o ácido glutámico (Jhonson & Uriu 1989); (Taylor & Van Ende 1969).

Se ha demostrado que, en base a la biomasa radical, los árboles con bajo contenido de N son más eficientes en su absorción en comparación con aquellos con alto contenido (Dong et al. 2005), si bien una elevada fertilización nitrogenada en frutales produce un incremento del crecimiento vegetativo, un mayor rendimiento y peso del fruto (Bussi et al. 2003).

En frutales, la absorción de N no se inicia hasta que no ha empezado la brotación de primavera, cuando el árbol removiliza sus reservas (Neilsen et al. 2001) siendo mayor en plena floración (Malaguti et al., 2001), de ahí la importancia de considerar los cambios estacionales en la cinética de absorción cuando se determina la fertilización nitrogenada (Policarpo et al., 2002). En dos variedades de melocotonero, una muy temprana y otra tardía en clima mediterráneo, la cinética de absorción de N fue muy similar a pesar de la gran diferencia de su ciclo de maduración. Al final del verano, gran parte del N de las hojas se almacenó en ramas, troncos, raíces finas, y especialmente en las gruesas (Policarpo et al. 2002).

En la fase de la división celular del fruto, las plantas requieren aportes de fotoasimilados y altas concentraciones de N para sostener el metabolismo activo asociado a la rápida división celular (Xia et al. 2009). La cantidad de N utilizado por los árboles hasta 40 ddp de la antesis es constante e independiente de la cantidad aportada (Rufat & Dejong 2001).

Por lo tanto, la deficiencia de N produce una baja concentración de N en frutos, y afecta al aporte de carbohidratos hacia el fruto, lo que incita a un decrecimiento de la división celular. Sin embargo, (Nava & Dechen 2009) y (Robinson 1996) describieron la inconsistencia de la fertilización nitrogenada sobre el tamaño final del fruto en manzano. En este sentido, (Wargo et al. 2003) verificó que el tamaño final de los frutos está más influenciado por la carga del frutal que por la cantidad de N aplicado.

En frutales, las aplicaciones de N en verano promueven el crecimiento vegetativo, mientras que las de otoño, tienden a acumularse en los órganos de reserva para su movilización en la primavera siguiente (Tavigliani et al 1997, citados por Médiène et al. 2002). Las raíces que han sido fuente de reserva al iniciar un nuevo ciclo vegetativo; se convierten en sumidero de fotoasimilados posteriormente (Eymar et al. 2005).

Durante la *senescencia de las hojas*, más del 50% del N es removilizado hacia las partes perennes del manzano (Olano 1963), peral (Sánchez & Righetti 1990) y melocotonero (Niederholzer 2001), citados por (Kim et al. 2009). Se ha demostrado que las sustancias nitrogenadas de reserva, acumuladas a lo largo del año anterior en los órganos leñosos (Millard 1995) son fundamentales para el desarrollo de los frutales, en sus primeras fases del ciclo vegetativo, comprobándose en manzano, melocotonero y peral por (Dong et al. 2005).

El 72-80% del Nitrógeno movilizado durante la brotación del melocotonero en climas mediterráneos, procede de la removilización de reservas del año anterior (Policarpo et al. 2002). En plantaciones adultas la exigencia nutricional aumenta con la producción (Gómez 1990), determinándose las aportaciones en función del crecimiento de los órganos perennes, de la madera de poda, de las hojas desprendidas y de los frutos (Rombolà & Sorrenti 2006).

En melocotonero con el aumento de las aportaciones de N se produce un incremento del crecimiento (Médiène et al. 2002) y de los rendimientos (Bussi et al. 1991); (Mattos et al. 1991); en árboles fertilizados con N se produce un período de desarrollo del fruto más largo y un mayor potencial de crecimiento en comparación con los no tratados. La absorción de nitratos es mayor durante el crecimiento del fruto (Muñoz et al. 1993), es función de la demanda (Weinbaum et al. 1984) y se cree que es independiente de la removilización de los nutrientes almacenados. La reabsorción de nutrientes por las plantas, puede variar según las especies entre el 28 y el 83% de las cantidades almacenadas en la copa para N (Aerts 1996). En melocotonero las concentraciones de N en el fruto son similares a las de las hojas (Cummings 1973, citado por Rufat & Dejong 2001).

La respuesta del melocotonero, en cultivo en maceta, al incremento de las dosis de N aplicadas hasta un determinado límite, se manifiesta en una mejora del crecimiento y del rendimiento, en un aumento de la concentración de clorofila, del peso seco de las hojas, y en un incremento de la longitud y del peso seco de los tallos (Ali et al. 1999); (Nii et al. 1997); en un aumento de la concentración de sólidos solubles (Xia et al. 2009) por unidad de peso seco de la hoja, de la concentración de carbohidratos no estructurales y de ribulosa bifosfato carboxilasa-oxigenasa (rubisco) y una concentración de almidón inversamente proporcional al contenido de N (Ali et al. 1999); (Nii et al. 1997). La ausencia de N aplicado, o las dosis extremas, producen una reducción en el desarrollo radicular (Ali et al. 1999).

A través de diversas investigaciones realizadas en manzanos, se han descrito los requerimientos de N y su influencia sobre la producción y calidad de los frutos. En ellas, se señala que éste elemento mineral puede afectar a la fijación (Xia y Cheng, 2005), y a la calidad de los frutos (Meheriuk *et al.*, 1992. citados por Parés 2010); (Drake et al. 2002); (Fallahi et al. 2001) así como al rendimiento (Amiri et al. 2008) y crecimiento del árbol (Xia *et al.*, 2009).

Los aportes nitrogenados afectan a la *calidad de los frutos*; incrementan su concentración de SST, posiblemente, al mejorar el aporte de carbono al fruto o acelerar la degradación del almidón (Xia *et al.* 2009). Los árboles tratados con altas dosis de N se caracterizan por producir frutos con menor firmeza (Nielsen et al. 2009); (Raese & Drake

1997) y con menor acidez valorable (Neilsen et al. 2009). En general, la intensidad del color se incrementa con el suministro reducido de N (Meheriuk *et al.*, 1992, citados Parés 2010). Al respecto, se señala que son diversas las prácticas culturales pre cosecha que pueden afectar a la calidad final de los frutos (Crisosto et al. 1997); (Fallahi et al. 2001).

1.9.2 **CICLO DEL NITRÓGENO**

Las transformaciones y flujos del Nitrógeno en la naturaleza conforman el Ciclo del Nitrógeno (García-Serrano et al. 2010) (*Figuras 33 y 34*). La cantidad de N en la litosfera representa menos del 0,1 % de la misma y además se encuentra de forma muy estable en las rocas. Cuantitativamente, la intervención humana en el ciclo del Nitrógeno es pequeña; según datos de la FAO, en 2000-01 se consumieron 86,1 Millones de t de fertilizantes nitrogenados en el mundo, cifra muy pequeña comparada con la enorme cantidad de N de la atmósfera.

1.9.2.1 **PRINCIPALES FASES DEL CICLO DEL NITRÓGENO:**

- **Absorción de nitrógeno por la planta.** La absorción de N por la planta constituye una de las partes más importantes del ciclo del nitrógeno en los suelos agrícolas.
- **Fijación.** La fijación biológica de nitrógeno consiste en la incorporación del nitrógeno gaseoso de la atmósfera a las plantas por la acción de microorganismos del suelo, principalmente bacterias. Algunos cultivos (leguminosas fundamentalmente) pueden dar buenos rendimientos sin aportes de nitrógeno externo, dada su capacidad para obtener Nitrógeno asimilable a partir del N atmosférico (Aparicio et al. 2000). Esta modalidad de fijación simbiótica del nitrógeno no tiene ninguna repercusión en el cultivo actual de frutales.
- **Mineralización e inmovilización.** La mineralización es la transformación del nitrógeno orgánico en amonio (NH_4^+) mediante la acción de los microorganismos del suelo; ésta sólo se produce cuando el ambiente es favorable (Haynes & Goh 1978), siendo la tasa de mineralización anual del 2-3% del N orgánico (Jhonson & Uriu 1989). La inmovilización es el proceso de asimilación de formas inorgánicas de N (NH_4^+ , NH_3 y también NO_3^- , NO_2^-) por los microorganismo para formar proteínas y otros compuestos orgánicos, (García-Serrano et al. 2010); (Trindade 1997, citado por Da Silva 2005). La cantidad de N disponible para las plantas depende de la mineralización e inmovilización (Haynes & Goh 1978).

Como ambos actúan en sentido opuesto, su balance se denomina mineralización neta. El proceso de mineralización del Nitrógeno responde a la temperatura en base a las teorías de Arrhenius y del coeficiente de temperatura Q_{10} (Stanford et al 1973, Campbell et al 1981, Cassman & Munns, 1980, Kladviko

& Keeney 1987, citados por Dalías et al. 2002). Generalmente, los microorganismos del suelo son mejores competidores por el N que las plantas y tienen una preferencia por el amonio (Haynes & Goh 1978).

Parece que elevados niveles de amonio en el suelo pueden aumentar la inmovilización del N porque los microorganismos responsables de este proceso tienen mayor preferencia por el amonio, (Broadbent & Tyler 1962, citados por Quiñones et al. 2005).

- **Aminificación.** Los compuestos proteicos y otros similares son fácilmente utilizados por ciertos microorganismos del suelo. A consecuencia de la digestión enzimática realizada por estos organismos, dichos compuestos se degradan a compuestos aminados como proteasas, peptonas y al final a aminoácidos.
- **Amonificación.** Al realizarse la digestión enzimática, el nitrógeno puede seguir dos direcciones posibles:
 - Incorporarse en las estructuras celulares de los microorganismos del suelo y formar parte de nuevo del complejo proteico.
 - Transformado en productos simples que aparecen casi siempre en forma amónica. A este proceso en concreto se le llama amonificación.
- **Nitrificación.** En este proceso, el amonio (NH_4^+) se transforma primero en nitrito (NO_2^-), y éste en nitrato (NO_3^-) mediante la acción de las bacterias aerobias del suelo.
- **Desnitrificación.** La desnitrificación es la conversión por microorganismos del nitrato en nitrógeno gaseoso (N_2) o en óxidos de nitrógeno, también gaseosos, que pasan a la atmósfera.
- **Aportaciones por lluvia.** La lluvia contiene cantidades variables de nitrógeno en forma de amonio, nitrato y óxidos de nitrógeno. Puede aportar entre 5 y 15 kg. N/ha/año.
- **Arrastres por escorrentía y lixiviación.** La escorrentía de agua en los suelos agrícolas puede arrastrar cantidades variables de nitrógeno que pueden percolar más allá de la zona radicular llegando a las aguas subterráneas.
- **Volatilización.** Es un proceso físico-químico resultado del equilibrio entre la fase NH_3 gaseoso y el NH_3 de la solución del suelo. La Agencia Europea de Medioambiente estima que el 90% del amoniaco emitido a la atmósfera es de origen agrario, siendo la ganadería la responsable del 34% (García-Serrano et al. 2010). (Da Silva 2005) aporta otros datos, según los cuales, en Europa el 80% del amoniaco volatilizado es de origen pecuario y cerca de 2/3 provienen de las emisiones de los estiércoles (el 47% en las instalaciones; 43% a partir del

estiércol; 10% de deposiciones de pastoreo. Según (Trindade 1997), una proporción muy elevada de las pérdidas de NH_3 producidas al aplicar estiércol (50-80%), suceden en las 10 primeras horas.

El Nitrógeno amoniacal (NH_3 , NH_4^+) del suelo proviene de la mineralización de la materia orgánica, del aporte de fertilizantes amoniacales o ureicos y deposiciones atmosféricas. Una parte del Nitrógeno puede perderse directamente en la atmósfera por volatilización del amoníaco (NH_3). Este fenómeno es más intenso en suelos de pH elevado, temperatura alta y humedad insuficiente (Sommer & Scherlock 1996, citados por Da Silva 2005). Del mismo modo, la aplicación de fertilizantes amoniacales en superficie incrementa las pérdidas de NH_3 por volatilización.

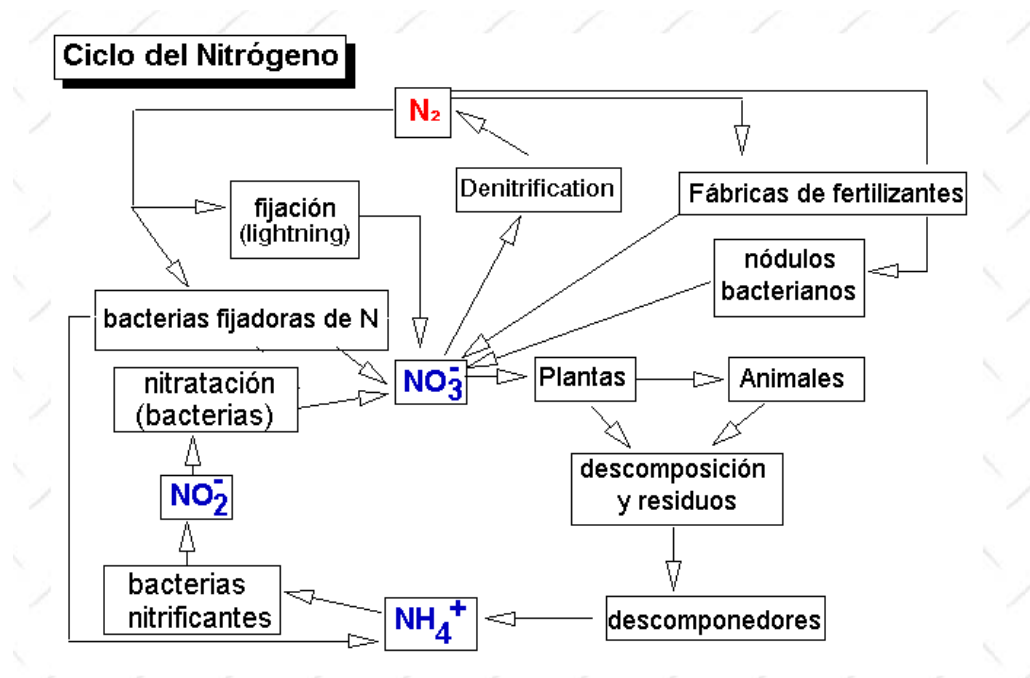


Figura 33. Ciclo del Nitrógeno. Fuente: www.biologia.edu.ar

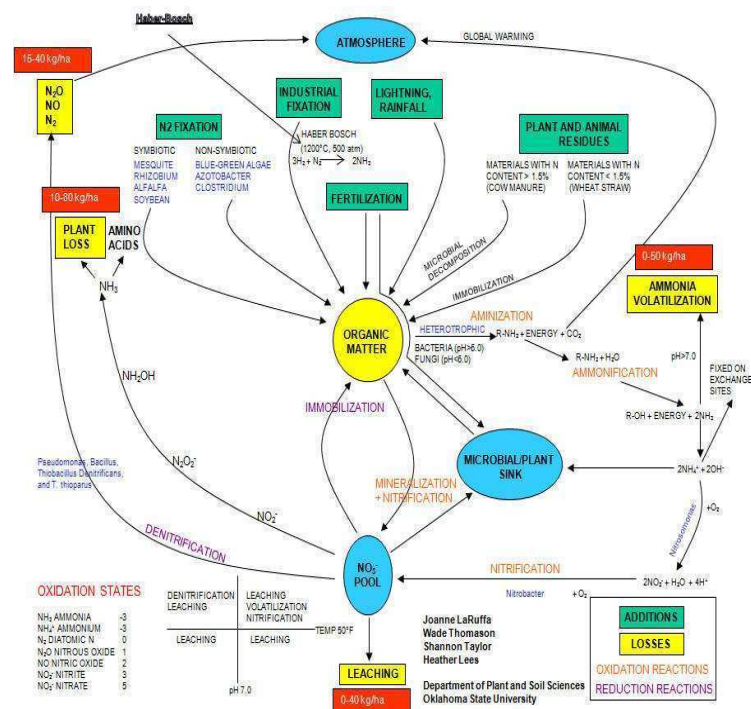


Figura 34. Ciclo del nitrógeno. Fuente: Departamento de plantas y ciencias del suelo. Universidad de Oklahoma

1.9.3 EL NITRÓGENO EN EL SUELO

La mayor parte del Nitrógeno del suelo, $13,5 \times 10^{10}$ t, está en forma orgánica (no asimilable por las plantas), en la biomasa viva, en la materia orgánica fresca o en la materia orgánica estable (humus). Una parte pequeña está en forma mineral, generalmente como nitrato. Casi todas las formas de Nitrógeno, excepto las orgánicas son altamente solubles. La solubilidad es una ventaja desde el punto de vista de la asimilación, pero es un inconveniente desde el punto de vista de la facilidad de que se produzcan pérdidas (Betrán 2006a).

- *El N orgánico.* La mayor parte del N presente en la capa arable de los suelos cultivados está formando parte de compuestos orgánicos (FAO-IFA 2000), principalmente el humus; procede de restos de cosechas, raíces, hojas, o bien de estercolados, purines, lodos, compost, etc.

- *El N mineral.* Suele proceder de la mineralización de la materia orgánica y de los fertilizantes nitrogenados aportados con anterioridad. Su uso está extendido en agricultura, y en fruticultura particularmente.

La disponibilidad de Nitrógeno en el suelo es difícil de cuantificar por diversos factores que para el ion nitrato, son la desnitrificación hasta formas gaseosas de N, la inmovilización microbiana y la lixiviación y, para el ion amonio, la volatilización como amoníaco, su adsorción al coloide arcillo-húmico del suelo y la nitrificación. En general, los nitratos son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion y no se adsorben a los

componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas (Tisdale et al. 1993). La forma nitrato es la más estable termodinámicamente en presencia de oxígeno, lo que hace que en los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tiendan a transformarse en nitratos (Albert 2002); el ion nitrito es mucho más inestable y reactivo.

Uno de los procesos más importantes que afectan a la cantidad de N disponible en el suelo es la mineralización de la materia orgánica (MO) y de los residuos de cultivos, que produce la nitrificación del amonio liberado (Cabrera 2007). Los suelos españoles presentan, mayoritariamente, contenidos de MO entre el 1 y 2% (Martín & Carrasco 2003) y pueden aportar al suelo entre 15 y 30 ud de N/ha, en tierras fuertes y climas fríos y entre 30 y 60 kg/ha en suelos arenosos y cálidos (Scandellari et al. 2010). En general, la cantidad neta de N mineralizado a partir de un residuo dado es mayor en suelos arenosos que en los arcillosos (Cabrera 2007) y en los suelos calizos se favorece la destrucción de MO (García-Serrano et al. 2010). Los factores que afectan a la mineralización de residuos son: las condiciones ambientales, la temperatura, el contenido hídrico del suelo, los eventos de secado y rehumedecimiento y las características del suelo (Kruse et al. 2004); (Schjonning et al. 1997); (Cabrera 2007, citando a Kätterer 1998) y (Whitmore 1996), siendo los más importantes en la mayoría de los casos, el agua y la temperatura (Rodrigo et al. 1997).

Si la cantidad de N presente en la descomposición de residuos orgánicos es superior a la requerida por los microorganismos, se producirá una mineralización neta con liberación de N inorgánico; mientras que si la cantidad de N es igual a la requerida no habrá mineralización neta; si por el contrario, la cantidad de Nitrógeno presente en el residuo es menor que el requerido por la biomasa microbiana, el N inorgánico adicional será inmovilizado y obtenido a partir del suelo para completar el proceso de descomposición (Corbeels et al. 1999). La rapidez de transformación de las sustancias orgánicas, y la liberación del N asimilable depende básicamente de la relación C/N. Una relación inferior a 15, produce liberación neta de Nitrógeno con rapidez (Betrán 2006a); entre 15-30 no existe Nitrógeno sobrante y el contenido de la sustancia orgánica se liberará a medio-largo plazo; por encima de 30 predominará la fijación neta. (Whitmore 1996), mostró que la relación C/N de los residuos se relaciona con la cantidad de N liberado y que el punto de equilibrio entre la mineralización y la inmovilización neta de N puede estar en la relación: C/N: 20-40. Para (García-Serrano et al. 2010) una relación C/N entre 10 y 12 produce una correcta liberación del Nitrógeno. Por otra parte, la relación C/N no puede por sí misma explicar las diferencias en mineralización de distintos residuos (Cabrera 2007), estando más relacionada con la fracción soluble de agua que con la relación C/N (De neve & Hofman 1996).

Los factores que pueden retrasar la mineralización del N orgánico del suelo son los que deprimen la actividad de los microorganismos, tales como la temperatura y la deficiencia o exceso de agua (Slangen & Kerkhoff 1984), aunque algunos estudios muestran una disminución de la tasa de mineralización neta de N a medida que el contenido de agua del suelo se aproxima a saturación (Drury et al. 2003), probablemente debido a una disminución de la disponibilidad de oxígeno (Linn & Doran 1984, citados por Cabrera 2007).

Los trabajos de Kirschbaum 1994, han permitido establecer la ecuación que relaciona la mineralización con la T^a . : $TF = \exp[-3,4312 + 0,186 T (1 - 0,86T/36,9)]$

(Paul et al 2003, citados por Cabrera 2007) obtuvieron la ecuación que relaciona la mineralización relativa de N con el contenido de agua del suelo.

$$MF = 0,83 CAR + 0,42, \text{ en el rango } -0,50 < CAR < 0,70$$

La concentración de N mineral en el suelo es un índice de su disponibilidad a lo largo del período del crecimiento de un cultivo y su medida no suele presentar problemas (García-Serrano et al. 2010).

1.9.3.1 PROCESOS QUE AFECTAN AL NITRÓGENO EN EL SUELO

1.9.3.1.1 Amonificación:

Se produce el paso del N orgánico a ion amonio (NH_4^+). El proceso es rápido cuando se parte de materia orgánica fresca y es más lento si proviene de humus.

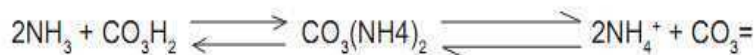
El Nitrógeno amoniacal en función de su estado de origen y de las características del suelo puede pasar por diversos procesos:

- Convertido a nitrito o nitrato.
- Utilizado directamente por las plantas.
- Utilizado por los microorganismos.
- Inmovilizado por las arcillas del suelo.

Los microorganismos, fundamentalmente heterótrofos, son capaces de usar las formas amónicas de nitrógeno en condiciones de escasez de dicho nutriente. Por contra, los vegetales superiores esporádicamente recurren a esta posibilidad a pesar de estar capacitados para ello.

En general, los mismos microorganismos que controlan la aminización, promueven la amonización. De esta manera provocan la aparición de varias fuentes de energía y se apropian del nitrógeno adyacente. Un factor que influye notablemente sobre el grado de fijación del amonio es la cantidad y momento de aplicación del potasio (Haynes & Goh 1978).

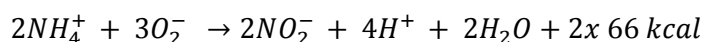
El proceso de forma simplificada puede representarse como sigue:



1.9.3.1.2 Nitrificación

El amonio en el suelo sufre dos procesos de oxidación sucesivas en presencia de bacterias nitrificantes. En este proceso se puede liberar NO y N₂O (Estavillo et al. 2010).

○ Nitrificación:



La nitrificación del amonio puede producirse por dos vías: autótrofa y heterótrofa.

La **oxidación autótrofa** del amonio es la forma dominante de la nitrificación incluso en zonas donde no hay grandes deposiciones de amonio procedente de la atmósfera, y en suelos con especies vegetales diversas. Es un proceso en dos etapas, en el que intervienen fundamentalmente dos grupos de bacterias (De Boer & Kowalchuk 2001):

- **Las amino oxidantes (AOB)** que pertenecen a un grupo monofilético dentro de la β-subclase de la Proteobacteria, y la clasificación aceptada actualmente sólo reconoce dos géneros en este grupo. Otros autores incluyen en este grupo a Nitrosolobus y Nitrosovibrio (Martínez 2003). Realizan la amonio oxidación en dos pasos enzimáticos: en el primero convierten el amonio a hidroxilamina, por la enzima amonio mono-oxigenasa, liberándose en el periplasma; en el segundo la hidroxilamina es oxidada a nitrito por la enzima hidroxilamina óxido-reductasa.
- **Las nitro oxidantes (NOB)** que llevan a cabo la oxidación de nitrito a nitrato. En este grupo, hay diversos géneros de quimilitoautótrofos, entre los que se encuentran: Nitrococcus (γ-Proteobacteria), Nitrospina (δ-Proteobacteria) y Nitrospira (filo separado de las bacterias) (Ehrich 1995 y Teske 1994, citados por De Boer & Kowalchuk 2001). De ellos, sólo Nitrobacter se ha detectado en los suelos (De Boer & Kowalchuk 2001). Esta bacteria prefiere suelos neutros o ligeramente ácidos y por tanto la acumulación de nitrito es más probable en suelos neutros (Slangen & Kerkhoff 1984). En suelos aireados el N se encuentra principalmente en sus formas oxidadas (NO₃⁻). El conjunto del

proceso libera muy poca energía, ya que el 80% de ésta es utilizada para la fijación del CO_2 , por la vía del ciclo de Calvin (Martínez 2003); (De Boer & Kowalchuk 2001). El número de bacterias nitrificantes varía desde unos pocos miles por gramo en suelo agrícola, hasta varios millones en lodos activados de depuradora.

Los principales factores que afectan a la nitrificación son la temperatura del suelo, la humedad, el pH, el O_2 , el CO_2 , el potencial osmótico y el NH_4^+ , (Stevenson 1986, citado por Singh et al. 2008).

La temperatura óptima de nitrificación varía, dependiendo de la ubicación geográfica (Dalias et al. 2002); (Stark & Firestone 1996 citados por Cabrera 2007), de las zonas climáticas, (Malhi & McGill 1982; Myers 1975, citados por Dalias et al. 2002) y de la profundidad del suelo (Grundmann et al. 1995).

Al aplicar abonos amoniacales, la nitrificación tiene lugar durante los 30-40 días posteriores a la aportación; sin embargo, este proceso puede ser más rápido en verano (Serna et al. 2000); (Serna et al. 1996), La Nitrificación de los fertilizantes nitrogenados aplicados conduce a las pérdidas de nitrógeno (N) como nitrato (NO_3^-) o como óxido de gases de efecto invernadero (N_2O), dando lugar a una baja eficiencia (Suter et al. 2010a).

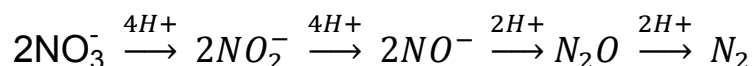
Las condiciones óptimas para la oxidación se han encontrado alrededor de 37-60 WFPS -wáter filled pore spac- (Grundmann et al. 1995). Por encima del óptimo, decrece la nitrificación y aumenta la desnitrificación.

El pH del suelo también tiene un efecto importante sobre la tasa de nitrificación. En general, se detiene con valores inferiores a 4,5 o superiores a 9 (Slangen & Kerkhoff 1984). Los fertilizantes nitrogenados alcalinos: NH_3 , urea, etc, nitrifican más rápido que los fertilizantes que forman ácidos como el sulfato amónico (Abbasi et al. 2003); (Keeney 1980, citado por Singh et al. 2008).

Los organismos nitrificantes son sensibles al potencial osmótico, decreciendo su actividad con potenciales próximos a 1,5 atm e inhibiéndose completamente con potenciales superiores a 5 atm, (Darrat 1987, citado por Cabrera 2007).

1.9.3.1.3 Desnitrificación.

En suelos encharcados o mal aireados se reduce el nitrato a N_2 atmosférico. Se trata de un proceso anaeróbico en el cuál las bacterias desnitrificantes, de las que hay más de 50 géneros, reducen el nitrato sucesivamente a NO_2^- , NO, N_2O y N_2 (Estavillo et al. 2010).



También se puede producir la fijación del N_2 (efecto opuesto al mencionado) por descargas eléctricas que lo convierten en NO_3^- , que puede llegar al suelo por vía húmeda (lluvia ácida) o seca (Hogdes s. f.).

La desnitrificación requiere un sustrato oxidable orgánico o inorgánico que actúe como fuente de energía. Está vinculada a bacterias anaerobias facultativas y mayoritariamente heterótrofas (González & Vera 2006), aunque también pueden llevarla a cabo bacterias autótrofas (Anónimo s. f.). En la desnitrificación heterótrofa, un sustrato orgánico como metanol, etanol, acético, glucosa, etc., actúa como fuente de energía y de carbono. En la desnitrificación autótrofa, la fuente de energía es inorgánica (hidrógeno o compuestos reducidos de azufre), y la fuente de carbono es el CO_2 .

Se ha citado que la desnitrificación también puede producirse aerobiamente, por la bacteria *Magnetospirillum magnetotacticum* (Bazylinski & Blakemore 1983).

La nitrificación y desnitrificación pueden producirse en un suelo de forma simultánea. Así, en la nitrificación (proceso aerobio), se pueden liberar N_2O y NO a la atmósfera en el paso intermedio de ion amonio a ion nitrito, mientras que en la desnitrificación heterótrofa (proceso anaerobio) el carbono orgánico actúa como fuente de energía y el ion nitrato como aceptor de electrones, quedando reducido a los gases: N_2O , NO y N_2 (Kuenen & Roberston 1994, citados por Belastegui et al. 2003).

Según (Cribbs & Mills 1979), la desnitrificación, como pérdida de N_2O , es más pronunciada en suelos con vegetación que en los suelos desnudos y por tanto el uso de inhibidores puede suponer un efecto positivo adicional. En suelos sin laboreo hay una mayor presencia de bacterias anaerobias, produciéndose un menor potencial de oxidación y mayores pérdidas de NO_3^- por desnitrificación (Linn & Doran 1984).

Los valores máximos de desnitrificación se observan habitualmente en los horizontes más superficiales que son más ricos en materia orgánica (Sánchez et al. 2003).

La desnitrificación depende de varios factores:

- Concentración de oxígeno. El oxígeno inhibe la síntesis de las enzimas desnitrificantes y el flujo de electrones hacia las enzimas (González & Vera 2006).
- Cantidad de humedad. La desnitrificación es insignificante cuando la humedad del suelo es 0,01 mPa o menor del 60% del espacio de los poros que pueden llenarse de agua (González & Vera 2006).

- Temperatura. La temperatura óptima para la desnitrificación es de 25°C o ligeramente superior (González & Vera 2006).
- Disponibilidad de nitrato o de óxido de Nitrógeno. Una concentración elevada de nitrato promueve que en el proceso se forme nitrógeno molecular, mientras que bajas concentraciones de nitrato dan lugar a N₂O (González & Vera 2006).
- pH. Un pH neutro o ligeramente alcalino promueve la desnitrificación (González & Vera 2006).
- Disponibilidad de carbono (materia orgánica). Una cantidad insuficiente limita el proceso de reducción del N₂O (González & Vera 2006).
- Textura del suelo. En los suelos pesados se producen mayores pérdidas por desnitrificación que en los arenosos (Haynes & Goh 1978).

Para la determinación de las posibles emisiones de N₂O de un suelo agrícola, conocida la producción de CO₂ y la relación C/N, se ha desarrollado un modelo matemático por (Pino et al. 2002).

1.9.3.2 ABSORCIÓN DEL NITRÓGENO POR LAS PLANTAS

Las plantas toman el nitrógeno a través de las raíces, y preferentemente en las formas iónicas de nitrato (NO₃⁻), (Jeri et al 1994 citados por Pino et al. 2002); (Jhonson & Uriu 1989), y de amonio (NH₄⁺), o en el caso de plantas que forman nódulos radiculares, como Nitrógeno atmosférico (N₂). También pueden absorber amoníaco (gas) a través de los estomas en la parte aérea convirtiéndose en amonio, estando regulado por factores genéticos, ambientales, metabólicos y de manejo de los sistemas de producción.

La fuente preferente para el crecimiento de la cosecha depende de la especie de la planta y otros factores ambientales, como la temperatura y la humedad (Griffth & Streeter 1994). Numerosas investigaciones han evidenciado que las plantas pueden utilizar la forma nítrica ó amoniacal como fuente de nitrógeno, (Salisbury & Ross 1994); (Maldonado 1993); (Mengel & Kirkby 1987) y que los rendimientos y las tasas de crecimiento han sido superiores en cultivos con fertilización mixta (Goos & Schimelfenig 1999); (Marschner 1995); (Adriaanse & Human 1993); (Teyker & Hobbs 1992); (Haynes & Goeh 1978), probablemente debido a que se produce un ahorro energético para la planta y la mejora de la síntesis de fitohormonas (Marschner 1995). Sin embargo, no está perfectamente definida la forma de Nitrógeno NO₃⁻ ó NH₄⁺ adecuada para obtener la máxima productividad de la cosecha (Gallegos et al. 2000). A partir de diversos trabajos, (Mengel & Kirkby 1987) establecieron que muchas especies de plantas crecen mejor cuando se les suministra NO₃⁻ en lugar de NH₄⁺, aunque el efecto de la forma de nitrógeno sobre el crecimiento de las plantas ha sido objeto de un gran número de estudios, aún existen fuertes discrepancias en los resultados (Gallegos et al. 2000).

Situaciones de desequilibrio de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ a favor del primero, pueden producir una reducción del crecimiento de la planta y un descenso de los rendimientos (Feigin et al 1980 y Quasem y Hill, 1993 , citados por Segura & Carrasco 2006).

La absorción de elementos minerales se produce a lo largo de todo el período vegetativo, aumentando con el máximo crecimiento y dependiendo mucho de la carga (Rombolà & Sorrenti 2006). El N lo absorben siempre que se encuentran en período de crecimiento activo, pero no siempre a la misma velocidad. La cantidad absorbida por unidad de tiempo y de materia vegetal es máxima cuando las plantas son jóvenes y declina gradualmente con la edad (Thompson & Troeh 1988).

Los árboles frutales absorben el N inorgánico por las raíces, principalmente bajo la forma iónica de NO_3^- , aunque puede hacerlo como NH_4^+ (Nielsen et al., 2009) y también pueden absorber nutrientes por las hojas. La absorción foliar de Nitrógeno por el melocotonero, calculado con el isótopo estable ^{15}N da un resultado que oscila entre el 50% (Rosecarance et al 1998) y 70% (Tagliavini et al. 1998); en el manzano depende sólo de la demanda o necesidad del cultivo y no de la disponibilidad que exista en el medio (Parés 2010). En cítricos, al aumentar la relación ion amonio/ion nitrato en la solución nutritiva, se produce un aumento del número de frutos recolectados (Serna et al. 1992). Numerosas plantas pueden reducir el nitrato a amonio en las hojas y almacenarlo en las vacuolas (Ríos 2009); otras sin embargo, no poseen el sistema nitrato reductasa en sus raíces, lo que favorece su traslocación a las hojas y la posible acumulación de nitratos en concentraciones que pueden llegar a ser tóxicas para el hombre y los animales (Haynes & Goh 1978).

El ion nitrato absorbido puede ser reducido y asimilado en la propia raíz o ser transportado a la parte aérea de la planta, en donde es asimilado e incorporado a moléculas orgánicas (Maldonado et al. 2000). Las plantas tienen la capacidad de reducir el NO_3^- a amonio, e incorporarlo a moléculas orgánicas.

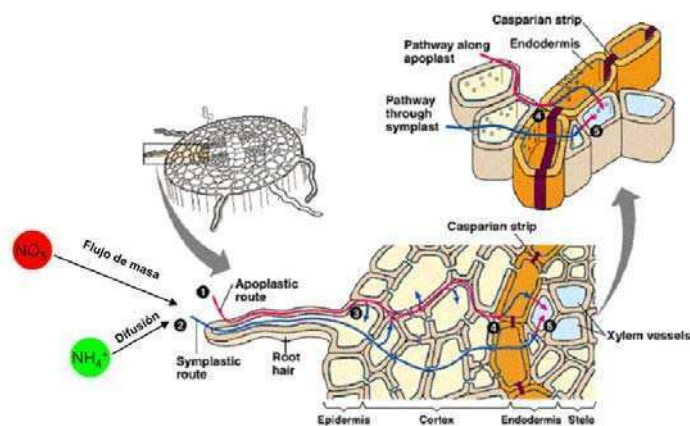


Figura 35. Rutas de absorción del N (Ríos 2009).

La absorción de nitrato se inhibe u obstaculiza a baja temperatura (Haynes & Goh 1978), alcaliniza el medio externo, se absorbe mejor a pH ligeramente ácido (Anónimo 2003b) y difiere de la de otros iones, ya que presenta al principio un período de latencia, seguida de una fase de absorción rápida (Haynes & Goh 1978). También disminuye en condiciones de anaerobiosis y en presencia de inhibidores de la respiración, lo que demuestra que es un proceso dependiente de la energía metabólica (Maldonado et al. 2000); (Hermer y Filner 1971, Brunetti et al. 1972, Swader & Lin 1975, citados por Haynes & Goh 1978). En condiciones normales la absorción de nitrato y la actividad de la nitrato reductasa están estrechamente correlacionadas, Brunetti et al 1972, citados por Haynes & Goh 1978). Se sabe que una elevada concentración interna de nitrato, ejerce un control negativo sobre su propia absorción, y que la asimilación del Nitrógeno es dependiente de la fotosíntesis y del metabolismo del carbono (Maldonado et al. 2000). Con velocidades de absorción de N elevadas, el tiempo que permanece este en el suelo es reducido, limitándose las pérdidas por volatilización y lixiviación (Limaux et al. 1987).

La eficiencia fotosintética del uso del N está correlacionada positivamente con la RZT (Temperatura en la zona de las raíces); sin embargo, cada portainjerto difiere en sus respuestas fisiológicas al RZT (Malcom et al. 2008). Malcom, demostró que la T^a de la zona de la raíz influye en la asimilación y transpiración del melocotonero y que cuando la asimilación de Nitrógeno es mayor, el tamaño de las hojas se incrementa.

El NH_4^+ es una fuente adecuada para la nutrición nitrogenada de las plantas. La disminución del pH asociada a un incremento del ion NH_4^+ , (Thompson et al. 1993) inducido por la aportación de IN, mejora la nutrición por los cambios en la disponibilidad de P, Fe, Mn, Zn, Cu y Al (Pasda et al. 2001), coincidiendo con los incrementos de Fe obtenidos por (Serna et al. 1992) en hoja de cítricos.

La principal fuente de nitrógeno amoniacal en el suelo son los fertilizantes amoniacales, la mineralización de los residuos vegetales y la materia orgánica del suelo (Myrold & Bottomley 2008). Cuando el Nitrógeno permanece en el suelo en forma amoniacal, las pérdidas por lixiviación y/o desnitrificación son inferiores, ya que su adsorción al complejo coloidal del suelo lo hacen menos susceptible a dichas pérdidas (Embleton, citado por De Paz & Ramos 2004); (Zerulla et al. 2001); (Ball-Coelho & Roy 1999); (Goos & Schimelfenig 1999); (Haynes & Goh 1978).

La absorción en forma de amonio es un proceso aparentemente pasivo en el que la adsorción por las arcillas minerales cargadas negativamente, requiere menos energía que la absorción de nitrato, debido a sus propiedades catiónicas (Jhonson & Uriu 1989); (Mengel & Kirkby 1987), y además la planta precisa menos energía ya que no necesita reducirlo (Jerez 1995, citado por Berti et al. 2008) y se produce una menor acumulación de nitratos en las plantas, al mismo tiempo que el nitrito no se acumula en el suelo

(Weiske et al. 2001). El aumento de la concentración de amonio en la disolución nutritiva eleva significativamente la concentración de la forma asimilable en el suelo sin afectar a la producción. La disminución de la fracción nítrica desde el 95% al 50% en la disolución nutritiva produjo ligeras reducciones de la concentración de nitrato lixiviado, sin que se detectara amonio lixiviado. Sin embargo se redujo la producción entre un 30 y 50%, achacable a daños en el metabolismo (Fergin et al. 1980).

La tasa de asimilación del ion amonio en frutales es más rápida que la del nitrato y es muy variable durante el desarrollo del cultivo, entre años, zonas y cultivos (Gastal & Lemaire 2002). Sin embargo la toxicidad del amonio hace que la mayoría de las plantas eviten su acumulación incorporándolo rápidamente como aminoácidos (Singh et al. 2008). Los efectos de la toxicidad se manifiestan con el retraso del crecimiento (Britto & Kronzucker 2002), desarrollo irregular de las hojas, tallos y nervio central (Polizotto et al 1975, citados por Slangen & Kerkhoff 1984) y pérdida de rendimientos (Britto & Kronzucker 2002).

La mineralización y la nitrificación en el suelo, a veces, son procesos lentos, por lo que predominan las formas orgánicas y reducidas (Escudero & Mediavilla 2003). En suelos templados, el amonio se adsorbe fuertemente a los lugares de intercambio catiónico, mientras que el NO_3^- es más móvil (Davies & Williams 1995). En suelos alcalinos-calcáreos, la concentración de Nitrógeno nítrico prevalece respecto al amoniaco (Tagliavini et al 1995a), seguido de los rápidos procesos de nitrificación que pueden ser ralentizados mediante inhibidores de la nitrificación.

Un factor que influye en la disponibilidad del nitrógeno para las plantas es el pH del suelo. Así, el pH de máxima absorción del nitrógeno se sitúa entre 5,8 y 8 (Gómez 1990). La acción de los fertilizantes nitrogenados sobre la acidificación del suelo se produce en el siguiente orden de mayor a menor: cloruro de amonio>amoníaco anhidro>sulfato de amonio=urea>ureaform amoníaco anhidro>nitrato de amonio=nitrato cálcico=nitrato de sodio (Kantrovich et al. 2004).

La forma del N aplicado también influye en el pH del suelo. Una relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ elevada, o la absorción de amonio, promueve la disminución del pH de la rizosfera (Marschner 1995); (Slangen & Kerkhoff 1984), debido a la excreción de iones H^+ por las plantas al absorber amonio, lo que favorece la absorción de fósforo (Rahmatullah et al. 2006); (Thompson et al. 1993); (Haynes & Goh 1978) y de otros nutrientes (Thompson et al. 1993) con la fertilización y absorción de NO_3^- el valor del pH se incrementa al excretar hidroxilos (Haynes & Goh 1978), y bicarbonatos promoviendo la captación de cationes (Slangen & Kerkhoff 1984), mientras que con fertilización y absorción de NH_4^+ el pH disminuye (Cao & Tibbitts 1994) y aumenta la absorción de aniones (Slangen & Kerkhoff 1984). En varias especies se ha comprobado que los

aumentos de pH del suelo promueven la absorción de NH_4^+ , mientras que una reducción del mismo favorece la absorción de NO_3^- (Cao & Tibbitts 1994). En general, se considera que un pH entre 4,5 y 6 favorece la absorción de NO_3^- y que entre 6,0 y 7,0 es el óptimo para el NH_4^+ (Hageman 1992). Según (Hageman 1992, citado por Gallegos et al. 2000), la absorción de NH_4^+ fue altamente dependiente de la temperatura (óptimo 27°C) cuando el pH fluctuó entre 4,0 y 6,5 y fue independiente de ésta a un intervalo de pH entre 6,5 y 8,5. La absorción de NO_3^- fue altamente dependiente de la temperatura con un óptimo de 35°C.

1.9.4 **DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE FRUTALES**

Al igual que con el riego, los problemas suscitados por la aplicación de fertilizantes en frutales, a pesar de las amplias revisiones realizadas (Martín-Prevel, citado por Gómez 1990), se podrían resumir en tres preguntas:

- ¿cuándo?, ¿cómo? y ¿cuánto?

La optimización del abonado de los frutales, plantea problemas de difícil resolución, basados en dos obstáculos (Gómez 1990):

1. El suelo, que actúa como depósito de agua y elementos minerales
2. El árbol, por las importantes reservas acumuladas en sus órganos perennes.

El sistema de aplicación de nutrientes y el mantenimiento de la humedad adecuada del suelo (Chesness & Couvillon 1980), resultan de gran importancia a la hora de definir cuál es el abonado racional.

Del uso adecuado del N depende en gran medida el resultado final, tanto productivo como cualitativo (Rufat et al. 2005). El tipo de respuesta a la oferta de N depende de la presencia en el suelo de sus fuentes naturales, lo que implica, una clara necesidad de evaluar la concentración de N y su estado en el suelo, antes de realizar la fertilización nitrogenada (Tagliavini, Scudellari, et al. 1996).

La aplicación de N se optimiza a medida que la disponibilidad de nutrientes del suelo se encuentra sincronizada con la demanda de nutrientes del árbol. Sin embargo, hay pocos datos publicados, relacionados con los **patrones temporales y cuantitativos** de la demanda de nutrientes por árboles maduros (Weinbaum et al. 2001). Por otra parte, es necesario conocer tanto el estado nutricional del suelo como el de la planta. Así, la determinación del **Nitrógeno mineral en el suelo**, debería hacerse al inicio de la actividad vegetativa (antes de aportar fertilizante) y al final de la campaña, tomando las muestras necesarias a la profundidad explorada por las raíces (Espada 2006). Sin embargo, el contenido en Nitrógeno total, determinado mediante análisis del suelo, no es suficiente para conocer la cantidad de Nitrógeno disponible por los cultivos (García-

Serrano et al. 2010). En la mayoría de los casos, se recurre al análisis mineral de hojas para realizar los ajustes de abonado (Espada 2006).

El tipo de suelo, las diferencias estacionales en la concentración de nutrientes en el árbol, la carga de cultivo, el vigor del árbol, la poda, así como la variedad y el portainjertos son los factores a tener en cuenta para diagnosticar la nutrición, así como el reparto a lo largo del ciclo vegetativo (Rómbola & Sorrenti, 2006).

Entre los métodos usados para realizar un **diagnóstico nutritivo basado en el análisis vegetal** (Eymar et al. 2005):

1.- Análisis de la flor. Diagnóstico precoz de clorosis (Sanz et al. 1997) y diagnosis del estado nutricional en flores y hojas jóvenes, donde (Johnson et al. 2006) obtuvieron buenas correlaciones entre la concentración de N, P, B y Zn y el crecimiento vegetativo y del fruto.

2.- Análisis del crecimiento y extensión del sistema radicular. En la práctica la utilización de este método resulta complicada, (Franco et al, 1998 citados por Eymar et al. 2005).

3.- Modelos combinados de análisis de suelo con análisis foliar (Failla et al. 1993).

4.- Modelos combinados de análisis de suelo, foliar y de savia (Cadahía 1998).

La realización de un análisis foliar ayuda al conocimiento del estado de la planta ya que refleja su estado nutritivo con más fidelidad que los análisis de suelo (Westwood 1982). Se basa en los argumentos (Bould 1966) de que: a) la hoja es el principal órgano de reserva, b) los cambios en la aportación de nutriente se reflejan en la composición de ésta, c) esos cambios son más pronunciados en ciertos estadios de desarrollo y d) las concentraciones de nutrientes en la hoja en períodos específicos de crecimiento están relacionadas con el comportamiento del cultivo, lo que permite detectar desórdenes nutritivos. El análisis foliar, tiene la ventaja de la precisión y la oportunidad y los inconvenientes del muestreo representativo y de que frecuentemente resulta tardío, -Sanz & Montañés, 1995, citados por (Moreno et al. 2004).

Para la valoración de los datos obtenidos por el **análisis foliar** se pueden utilizar:

- a) El Método de nivel crítico: Se basa en un nivel de referencia que suele suponer el 90% del máximo de cosecha en peso seco. Por debajo de la concentración "crítica" del nutriente el crecimiento o la producción de un árbol disminuyen si se compara con otros que tienen concentraciones más elevadas, Ulrich 1952 citado por Molina-Soria & Fernández-Escobar 2007)
- b) El Intervalo de suficiencia. Establece la comparación entre un intervalo de concentración del nutriente para el cual no se produce reducción de cosecha.

- c) Los Métodos DRIS y DOP. Basados en el establecimiento de relaciones óptimas entre nutrientes para cada especie. El índice DOP (Desviación del Óptimo Porcentual) es útil como método de diagnóstico del estado nutricional de los árboles (Sanz 1999); (Lucena 1997); (Montañes et al. 1991).

Se puede completar el diagnóstico, con los datos del Nitrógeno total en hoja (TN), que se pueden relacionar con los obtenidos con SPAD, que tienen una buena correlación en el cultivo de *Prunus persica* (Rubio-Covarrubias et al. 2009).

Normalmente las concentraciones de los análisis están expresadas en concentraciones absolutas; sin embargo, deberían expresarse según su peso específico, resultando así valores más reales (Rufat et al. 2005). Los niveles de nutrientes encontrados en las hojas dependen entre otros factores de su posición en el árbol, de la época (Eymar et al. 2005) y de la carga, de manera que en años de baja carga se proponen por (Fallahi et al. 2001) unos umbrales de N en hoja menores en base a un proceso de autorregulación.

El rango normal de concentración de nutrientes en las hojas (base peso seco) de los melocotoneros, con ponderación de distintas fuentes (Razeto 2003) es (*Tabla 4*):

Tabla 4. % de elementos en las hojas del melocotonero

Elemento	% o ppm (MS)
N %	2,6-3,4
P %	0,13-0,30
K %	1,4-3,0
Ca %	1,3-2,8
Mg %	0,28-0,8
Fe ppm	60-300
Mn ppm	22-160
Zn ppm	19-60
Cu ppm	4,5-19
B ppm	21-70

El diagnóstico visual es también una buena herramienta, ya que es instantáneo; sin embargo, cuando se manifiestan los síntomas, el ciclo del cultivo ya está avanzado.

Otros métodos de análisis y de diagnóstico de la nutrición.

A) Fracción de nutrientes. Se determina una parte o fracción del contenido total de un nutriente en hoja, por ejemplo, la que es soluble en agua o en un ácido diluido. No es muy recomendable en rosáceas que reducen el nitrato en las raíces o cuando el Nitrógeno amoniacal se absorbe antes de ser nitrificado.

B) Análisis de savia. Se puede hacer por extracción por el método de presión o por el exudado de xilema. Este análisis informa de lo que está ocurriendo en la planta en el momento preciso de la toma de muestras (Anónimo s. f.)

C) Métodos histoquímicos (Anónimo s. f.)

a. Las alteraciones nutricionales están generalmente relacionadas con cambios típicos en la estructura fina de la célula, de sus orgánulos o del tejido. La microscopía óptica, permite analizar las modificaciones anatómicas y morfológicas de la hoja, y pueden ser útiles para el diagnóstico de deficiencias de Ca, Cu, B y Mo.

b. Los métodos enzimáticos relacionados con enzimas marcadoras ofrecen una aproximación. Se han dado ejemplos para Cu, Zn y Mo.

D) Métodos bioquímicos.

Los métodos bioquímicos son útiles para determinar el estado nutricional de macronutrientes. Por ejemplo la presencia de putrescina está relacionada con deficiencias de potasio en alfalfa (Anónimo s. f.)

E) La fotografía aérea infrarroja y las imágenes de satélite permiten determinar diferencias en el color del follaje o en el vigor de las plantas atribuibles a un origen nutricional. Actualmente la combinación de la cartografía de suelos, la teledetección, mediante el uso de imágenes de satélite o fotografía aérea infrarroja y los sistemas de información geográfica ayudan a realizar una fertilización más racional (Sort & Ubalde 2010).

1.9.5 **EFICIENCIA Y MANEJO DE LA NUTRICIÓN**

Según Liebig (*ley del mínimo o de los factores limitantes*), el rendimiento de las cosechas es proporcional al elemento nutritivo que se encuentra en menor cantidad. Las prácticas de fertilización que no consideren o corrijan otros factores limitantes asociados, por ejemplo, a condiciones edáficas (compactación), manejo del agua (encharcamiento) serán poco eficientes y supondrán una dilapidación de recursos (Diehl & Mateo 1982). Otros recursos, como el agua, tienen una gran implicación en la optimización del uso del N (Bosch & Boixadera 2006).

La dosis óptima representaría el empleo de fertilizante para el que se obtiene la unidad de producción a menor precio y que varía con el coste del fertilizante y con el valor del producto, siendo inferior a la del rendimiento máximo (Bosch & Boixadera 2006).

Un correcto manejo del Nitrógeno debe ir encaminado a la mejora de la eficiencia de uso de este en una agricultura sostenible, donde la productividad, la calidad y el medioambiente se encuentren en equilibrio (Quiñones et al. 2005).

Las investigaciones sobre fertilización nitrogenada han sido y son en la actualidad muy abundantes. Sin embargo, se ha producido un cambio cualitativo en su orientación desde hace relativamente poco tiempo, ya que se ha pasado de la búsqueda de la máxima producción agrícola a una situación en la que se intenta compatibilizar la producción vegetal con el mínimo impacto ambiental provocado por la fertilización (Parés 2010). En este sentido, (Dinnes et al. 2002) señalan que una manera de mejorar la eficiencia en el uso de este elemento es balanceando la cantidad necesaria para obtener un óptimo crecimiento de las plantas, reduciendo así las pérdidas de NO_3^- hacia las aguas superficiales y subterráneas. Una mejora en la eficiencia supondría una reducción de costes en insumos, menores pérdidas de nutrientes y menores efectos sobre los ecosistemas (Baligar et al. 2001). Para ello hay que ajustar las aplicaciones de fertilizantes o residuos orgánicos a las necesidades reales de los cultivos (Carrasco & Villar 2001b), teniendo en cuenta que la cantidad de nitrógeno aprovechada por los cultivos es muy variable, ya que depende de la climatología, de las características del suelo, y del estado del nitrógeno en el suelo. En el caso de los fertilizantes minerales, el coeficiente de utilización por el cultivo depende además, del tipo de fertilizante, del momento de aplicación y del estado del cultivo.

La eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) en el mundo es de aproximadamente un 33%; es decir el 67% restante tiene un paradero desconocido, lo que representaría unas pérdidas económicas de 13.200 Millones de € anuales (Raun & Johnson 1999). Las estimaciones de la eficiencia global de los fertilizantes aplicados se considera que son inferiores al 50% para Nitrógeno, menos del 10% para fósforo y alrededor del 40% para potasio (Baligar et al. 2001). (Egea, et al. 2003) estiman que la eficiencia del nitrógeno se sitúa entre el 30 y el 50% y que raramente se supera el 50%, ni tan siquiera en sistemas de producción intensivos (Machet et al. 1987), aunque (Gardiazabal et al. 2007) consideran que se pueden alcanzar eficiencias del 70% en algunas ocasiones. Las aplicaciones a largo plazo de abonos orgánicos, consiguen eficiencias de uso del N en equivalentes de fertilizantes minerales (MFE) del 49-70%. En riego por goteo, la eficiencia está entre el 60-70% y en riego a manta solo llega al 40% (Ladha et al. 2005).

Se calcula que el N no absorbido entra en la llamada “**cascada del N**” (Galloway et al. 2003) y es transportado por el agua o el viento hasta lugares donde puede generar una secuencia de efectos negativos sobre los ecosistemas o sobre la población humana. Se pueden llegar a producir pérdidas de hasta 2000 kg de Nitrógeno/ha, (Mcavoy citado por Egea, et al. 2003); (Alarcón et al. 1997).

La eficiencia en el uso de los nutrientes (NUE), ha recibido numerosas formulaciones e interpretaciones (Garnier & Aronson 1998, citados por Escudero & Mediavilla 2003). La mayor esperanza para la reducción del continuo aumento en el

consumo de N es la aplicación de nutrientes utilizados por las plantas en la mayor proporción posible (Ladha et al. 2005) y la búsqueda de formas más eficientes para fertilizar los cultivos (Smil 1997), junto con el desarrollo de estrategias de fertilización, basadas en una mejor sincronización entre la demanda de los cultivos y la oferta del N (Ladha et al. 2005). En los últimos años se han realizado numerosos estudios para mejorar la eficiencia del uso de N (NUE).

Cuando el N se aplica en cantidades superiores a las necesidades máximas, se produce a largo plazo un aumento de la biomasa y materia orgánica del suelo, pero disminuye la NUE (Raun & Johnson 1999). El óptimo ambiental representaría la optimización de la fertilización nitrogenada en relación al riesgo de lixiviación. Por otra parte, una incorrecta dosificación de N puede ocasionar problemas en el crecimiento vegetativo, la floración, el rendimiento y la calidad de la fruta (Jeri et al 1994 citados por Pino et al. 2002).

Para aumentar la NUE hay que favorecer la absorción por las raíces, minimizar las pérdidas del fertilizante en el suelo (Ladha et al. 2005), así como aportarlos de acuerdo con el proceso fisiológico en el que actúan. Por ejemplo, el nitrógeno interviene decisivamente en la fase de crecimiento del brote, pero también en la floración (Espada 2006), al mismo tiempo el N aplicado al final de verano se absorbe con mayor eficiencia (Nario et al. 2003). Por otra parte (Oag citado por Pino et al 2002), recomienda la aplicación con el mayor crecimiento radicular (antes de la floración y después de la cosecha) para conseguir la mayor eficiencia.

La eficiencia en la absorción del N, resulta máxima para dosis bajas y disminuye a medida que se incrementan las cantidades aplicadas (Quilez et al. 2006); (Mitscherlich citado por Diehl & Mateo 1982).

1.9.5.1 DEFICIENCIAS Y EXCESOS DE NITRÓGENO

1.9.5.1.1 EXCESO DE NITRÓGENO

El aporte de N tiene un efecto promotor de la **fotosíntesis**, aunque la respuesta parece ser altamente dependiente de la edad de los árboles y de su historial de fertilización. Las plantas pueden absorber nitrógeno en exceso, y almacenarlo para usarlo cuando lo necesitan (Thompson & Troeh 1988), aunque los aportes severos de N tienden a inhibir la capacidad fotosintética de las hojas (Parés 2010).

El exceso de nitrógeno produce fuertes crecimientos en competencia con la formación de las semillas o de los frutos, con coloración de las hojas verde oscuro e intenso (Thompson & Troeh 1988), aumento del follaje, menor producción de frutos (Anónimo 2003b); (Carbó et al. 2002), menor desarrollo radicular frente al foliar, retraso en la floración (Anónimo 2003b) y en la maduración (Carbó et al. 2002). Con exceso de

N, las plantas pueden ser excesivamente acuosas o se puede retrasar la lignificación en plantas perennes, lo que dificulta su adaptación al invierno (Anónimo 2003b). La calidad de los frutos puede verse afectada negativamente al aplicar dosis excesivas de N (Monge et al. 2006); (Nielsen *et al.*, 1999, citado por Rufat 2005); (Raigón 1993); (Legaz & Primo-Millo 1988) ya que pierden firmeza, comprometiendo su posible conservación frigorífica, al mismo tiempo que están más evolucionados (Rufat et al. 2005). Además, se generan desequilibrios nutricionales y antagonismos (Legaz & Primo-Millo 1988), alteraciones del suelo, y contaminación del medio ambiente (Monge et al. 2006); (Raigón 1993), junto con una mayor sensibilidad a plagas y enfermedades (Carbó et al. 2002).

El exceso de Nitrógeno puede ser la consecuencia de grandes aplicaciones de fertilizante o de condiciones locales. Se ha comprobado que un aumento de la dosis de fertilizante nitrogenado, produce un incremento de los niveles de nitratos residuales en el suelo después de la cosecha y que una correcta fertilización fosfo-potásica, contribuye a reducir los efectos del Nitrógeno en exceso (Abad 2003).

Cuando la vegetación deja de responder a los incrementos de N, se dice que el ecosistema alcanza un estado de “saturación de N” y las nuevas deposiciones del nutriente van a través del agua hacia cauces de ríos o se volatilizan hacia la atmósfera (Vitousek *et al.*, 1997, citados por Parés 2010).

1.9.5.1.2 DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO

Se considera que una planta es deficiente en Nitrógeno cuando un incremento de la concentración en hoja repercute en un beneficio económico, al aumentar el crecimiento, la producción y/o la calidad del fruto (Molina-Soria & Fernández-Escobar 2007).

Una deficiente nutrición nitrogenada produce una reducción del crecimiento de los brotes y del tamaño de las hojas, con caída prematura (Jhonson & Uriu 1989) y en muchos casos reducciones del tamaño de los frutos (Drake et al. 2002). También se produce una mayor exposición a los daños por patologías, heladas, granizadas y sequías (Thompson & Troeh 1988). Estas deficiencias se manifiestan por un crecimiento más lento (comparado con plantas bien nutridas) (Jhonson & Uriu 1989); (Marschner 1995) presentando un aspecto ahilado, raquítrico y pálido (Thompson & Troeh 1988); (Hogdes s. f.), con menor tamaño de las células y disminución de la síntesis proteica. Si la deficiencia no se corrige se puede producir estrés en la planta y pérdida de rendimientos (Kant & Kafafi 2002).

Los síntomas de deficiencia, a veces, se pueden confundir con daños por plagas y enfermedades, estrés salino, estrés hídrico, contaminación, deficiencia de iluminación,

golpes de calor, daños por herbicidas, etc., o con las deficiencias de otro nutriente (Bennet 1993, citado por Kant & Kafkafi 2002).

1.9.6 **EL BALANCE DEL NITRÓGENO**

La cantidad de nitrógeno que aportan al sistema la deposición atmosférica, en su caso la fijación biológica, así como las pérdidas por lixiviación, erosión, desnitrificación y volatilización pueden calcularse de manera teórica según las condiciones edafoclimáticas de la zona. El balance debe ser considerado a medio plazo ya que las transformaciones del nitrógeno en el suelo son constantes y la correcta nutrición de las plantas depende del nitrógeno mineral presente en cada momento en el suelo (García-Serrano et al. 2010).

El balance del N se obtiene de hallar la diferencia entre las entradas y salidas en las superficies de cultivo. En 1982 se estimó que todas las fuentes de N que se introducían en la biosfera aportaban 92 Millones de t, y que el total que se convertía de nuevo en N₂ era de 83 M de t. Por lo tanto, se produciría una acumulación de 9 M de t cada año, de los cuales, una parte se puede convertir en un contaminante para el medioambiente (Hogdes s. f.).

La determinación de las dosis de fertilizante y de los momentos de aplicación a los cultivos es un proceso complejo que depende de la especie, de la variedad, del estado fenológico (Pino et al 2002), del rendimiento esperado, de la calidad de la cosecha, de los nutrientes disponibles en el suelo y de sus transformaciones a lo largo del ciclo de cultivo, y de las condiciones climáticas (García-Serrano et al. 2010).

La realización de un balance de nitrógeno en el sistema suelo-árbol, permite un uso más eficiente del nitrógeno, basado en: Entradas al sistema = Salidas al sistema (Espada 2006).

Tabla 5. Balance del Nitrógeno. Fuente (M.A.R.M. 2007)

BALANCE DEL NITRÓGENO
ENTRADAS ABSOLUTAS
Deposición atmosférica
Fijación biológica de leguminosas, en función de la especie
Residuos de cosechas
Aportes del agua de riego
Aportes de los fertilizantes orgánicos
Aportes de los fertilizantes inorgánicos
ENTRADAS RELATIVAS
Mineralización de la materia orgánica
SALIDAS ABSOLUTAS

Lixiviación: mínima si se realizan buenas prácticas agrícolas
Erosión: mínima en un suelo agrícola bien manejado
Exportación por las malas hierbas
Desnitrificación de los suelos encharcados, ácidos o fríos
Volatilización (aportaciones orgánicas y minerales)
Extracción por los cultivos
SALIDAS RELATIVAS
Inmovilización del Nitrógeno mineral del suelo

1.9.6.1 EL BALANCE DEL N EN ARAGÓN. PERÍODO 2002-03 (M.A.R.M.):

En Aragón, las necesidades medias de N en las más de 1,2 millones de hectáreas de cultivo son de 91,7 kg/ha (Orús & Sin 2006).

- Entradas (fertilización mineral + fertilización orgánica+ excrementos pastoreo + fertilización biológica + semillas + deposición atmosférica). Media de 2 años: 124,6 kg/ha.
- Salidas (extracciones, volatilización cultivos, volatilización pastoreo, gases cultivo y gases pastoreo). Media de 2 años: 94,25 kg/ha.
- Excedentes: 19,72 kg; 15,86% del N aplicado.

1.9.6.2 NECESIDADES DE LOS ÁRBOLES (EXTRACCIONES)

Las necesidades nutritivas de las plantas se determinan a través de ensayos de campo y de los análisis foliares en diferentes estadios del desarrollo vegetativo, de la experiencia del agricultor (García-Serrano et al. 2010); (Espada 2006), del análisis del suelo y de la composición del agua de riego, junto con el examen visual (Rufat et al. 2005).

La base para la determinación de la dosis de fertilizante se apoya en los resultados de exportaciones de elementos nutritivos, obtenidos en parcelas experimentales y mediante el control de la absorción de árboles mantenidos en contenedores, (Batjer et Rogers, 1952; Butjin, 1961; Trocmé, 1962; Huguet C., 1988; Ctifl, 1989-1990 , citados por Espada 2006).

En cultivos anuales el cálculo de las extracciones resulta menos complejo que en frutales (Sánchez & Doerge 1999). La universidad de California midió la acumulación de nitrógeno, a intervalos seleccionados durante el año, arrancando árboles completos en diferentes épocas. Así pudo medir la concentración de nitrógeno en cada etapa y establecer una curva de demanda en función de la fenología de la planta. Pese a todo, la

información disponible sobre las tasas de recuperación de fertilizantes nitrogenados aplicados a frutales es escasa; algunas investigaciones la sitúan entre el 15 y el 50% (Jerie and Mc Nab, 1994, citados por Nario et al. 2003).

El momento de la aplicación del Nitrógeno, influye sobre el crecimiento, la acumulación de materia seca y la absorción de Nitrógeno (Marangoni 2000); (Muñoz et al. 1993). Así, la cantidad de Nitrógeno a aportar depende fundamentalmente de:

- La edad del árbol.
- La producción por árbol.
- Y el vigor de la planta (suelo, variedad, patrón, técnicas culturales).

Tabla 6. Entradas y salidas de N

Entradas	Salidas
a. Suelo	a. N exportado por el cultivo
b. Agua	b. N exportado por las malas hierbas
c. Fijación biológica	c. Emisiones gaseosas
d. Deposición atmosférica	
e. N fertilizante	

Las entradas c, y d (Tabla 6) se consideran neutralizadas por las salidas de c, aunque existen pequeñas diferencias en el balance.

1.9.6.2.1 Las necesidades de árboles adultos

Las extracciones del melocotonero se cifran en 4,8 kg de N por t de fruto (Espada 2006); y en 4,8-5,5 kg de N/por t (Urbano 1995).

Rincón et al 2004, cifran las extracciones en GF-677 de 166,1 kg de N, 17,5 de P, 183,8 de K, 169,8 de Ca y 32,8 de Mg.

La evolución estacional del nitrógeno se caracteriza por una tendencia descendente a lo largo del ciclo (Dotti y Lalatta 1956, Fernández et al 1965, Ritter 1965, Parra 1969, Carpena & Casero 1987 citados por Montañes et al. 1990) quienes obtuvieron resultados similares.

Hay dos períodos críticos en la disponibilidad de alimentos para el crecimiento de los frutos y brotes: la etapa I y III, de la curva de crecimiento del fruto (Pavel & Dejong 1993).

La demanda de N de los frutos aumenta durante la etapa III. La concentración disminuye por efecto dilución al incrementar rápidamente el peso seco (Rufat y Dejonj 2001).

Una parte de N aportado en árboles de hoja caduca es reabsorbido desde las hojas a los órganos perennes antes de la senescencia. (Killingbeek 1996, citado por Domingo 2007). En la primavera siguiente, las reservas son usadas para el desarrollo de la floración y la creación de nuevas hojas (Muñoz 1993).

Estas extracciones engloban las necesidades de nitrógeno para la producción de frutos, el crecimiento de hojas, ramas, tronco y raíces. Las estructuras permanentes de los árboles, tronco, ramas y raíces, aunque en menor proporción (28-38% del total), también consumen.

Tabla 7. Distribución porcentual del Nitrógeno en la planta (%).

	Cultivo	Fruto	Hojas	Madera	Raíces	Total
Espada 2006	Melocotonero	46,7	23,3	23,3	6,7	100
Rincón et al 2004	Melocotonero	50,2	22,6	27,2		100

Tabla 8. Criterios de salida y residuo del cultivo (Espada 2006)

Salidas (extracción)	Residuo % que retorna al suelo
Cosecha	0
Madera	12,5 % de la madera de poda
Hojas	50% de las hojas
Raíces	50% de las raíces.

Parte del nitrógeno exportado del suelo por los árboles retorna en forma de residuo. Dicho Nitrógeno hay que tenerlo en cuenta.

Tabla 9. Porcentaje del Nitrógeno total extraído que retorna como residuo

	% de residuo del N total extraído				Residuo
Cultivo	Madera de poda 12,5%	Hojas 50%	Raíces 50%	Total	(% de N total extraído)
Melocotonero	12,5	11,65	3,35	27,5	27,5

El coeficiente de extracción neta de nitrógeno de los árboles corresponde a la diferencia entre el coeficiente de extracción total y la parte calculada como “residuo”.

Tabla 10. Extracciones netas de Nitrógeno por los árboles (kg/t de fruto)

Coef. Extrac Total %. Kg N/ Tn fruto	% Residuo	% Extrac. Neta	Coef. Extrac. Neta %. Kg N/Tn fruto
4,8	27,5	72,5	3,48

Exportaciones basadas en (Batjer et Rogers 1952; Butjin 1961; Trocmé 1962; Huguet 1988; ctifl 1990, citados por Espada 2006).

Tabla 11. Extracciones de las malas hierbas

Extracciones pradera polifita	8,5%
Producción t.m.s/ha	3,5
% P. bruta	11,6
Exportación N kg/ha	38,98

Tabla 12. Extracciones netas

Versión propia con 50% de retorno de N de la madera					
%	FRUTO	HOJAS	MADERA	RAÍCES	TOTAL
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL N DEL ÁRBOL (%)	46,7	23,3	23,3	6,7	100
RESIDUOS QUE SE INCORPORAN (%)	0	50	12,5	50	
% RESIDUO GLOBAL DEL N EXTRAIDO	0	11,7	2,9	3,4	17,9
EXTRACCIÓN NETA (%)	82,1				
RESIDUO REINCORPORADO	17,9				
EXTRACCIÓN DE N/ t de fruto	4,8				
EXTRACCIÓN NETA DE N/ t de fruto	3,94				

Para una producción de 40 t de fruto, (Badía & Mitjana 1986), consideran que hay que aportar: 200 Ud de N; 160 ud de P_2O_5 y 300 ud de K_2O , incrementando el nitrógeno en 50 o 100 unidades si la hierba se siega o se saca de la parcela; Para 30 t, (Fideghelli 1986) recomienda: 120-130 ud N; 25-30 ud de P_2O_5 y 124-140 ud de K_2O . (Jhonson & Uriu 1989) consideran que una fertilización de 112-168 kg de N/ha es suficiente para cubrir las necesidades de los melocotoneros, aunque habrá que tener en cuenta el estado de la planta, el tipo de suelo, la cubierta, la variedad y el sistema de riego. En la mayor parte de las coberturas con especies propias de la parcela, las exportaciones netas oscilan entre 30-35 kg de Nitrógeno por hectárea y año (Espada 2006).

1.9.7 APORTACIONES O ENTRADAS DE NITRÓGENO AL SISTEMA

1.9.7.1 APORTACIONES DEL SUELO

Es imprescindible conocer las necesidades nutritivas de los cultivos en una zona agrícola y cuáles son las cantidades de nutrientes disponibles para los cultivos que el suelo es capaz de suministrar (Carrasco & Villar, 2001).

El nitrógeno suministrado por la mineralización de la materia orgánica del suelo (Tabla 13 y 14), se puede calcular muy aproximadamente y globalmente a partir de las características de la materia orgánica, determinada analíticamente, y del coeficiente de mineralización determinado experimentalmente y ligado a la humedad, temperatura, contenido en arcilla y caliza del suelo. Los resultados son muy variables y según diversas fuentes documentales, se puede obtener una horquilla de 40 a 80 kg/ha y año, (Decroux & Boulay, 1988 citados por Betrán 2006a).

Tabla 13. Nitrógeno orgánico mineralizado en distintos tipos de suelo según su nivel de materia orgánica.

M. orgánica suelo %	Nitrógeno mineralizado (kg/ha x año)		
	Suelo arenoso	Suelo franco	Suelo arcilloso
2	40-60	30-50	20-40
2,5		37-62	25-50

Fuente: Datos tomados del Código de Buenas Prácticas Agrarias (C.A. Valenciana).

Tabla 14. Aporte de N de la materia orgánica

m ²	m
Profundidad	0,3
Densidad t/m³	1,25
t suelo/ha	3750
% m.o	2,2
t m.o./ha (2%)	82,5
% N	6,00%
t de N	4,95
% mineralización	1%
kg de N liberado/ha	49,5

Tabla 15. Balance. Extracciones, aportaciones y necesidades de N

Extracciones de N		
t/ha N	kg cosecha	Subtotal
3,94	45000	177,3
Hierba (De tabla nº 11)		39,0
Total extracciones		216,3
Aportes agua		
ppm	m3/ha	N
55,7	6500	79,7
Aporte m.o.		
		49,5
Diferencia a aportar por ha.		87,1
% EFICIENCIA: 80		
APORTE DE FERTILIZANTE U.N		102,5

La necesidad de Nitrógeno estimada para el cultivo obtenida mediante los cálculos mencionados equivale a los datos presentados en la (Tabla 15).

1.9.7.2 **APORTACIONES FOLIARES**

Las aportaciones al suelo, se pueden complementar con las aplicaciones foliares de nitrógeno, reduciéndose el riesgo potencial de lixiviado de nitratos (Johnson & Amdris 2001). Los abonos foliares se han convertido en algo común e importante para los productores, ya que favorecen el buen desarrollo de los cultivos y mejoran el rendimiento y la calidad del producto (Fregoni 1986) En trabajos realizados por (Furuya & Umemiya 2002), la urea se mostró más eficaz que el nitrato sódico, cloruro de amonio y 4 aminoácidos.

Las aportaciones foliares después de la cosecha, minimizan los riesgos ambientales de lixiviación y contribuyen a la incorporación del N a los órganos de reserva (Tagliavini et al. 1996). Así, la urea, aplicada en melocotonero y nectarina en el otoño, por vía foliar, es fácilmente absorbida por las hojas y distribuida en los órganos del árbol, incluyendo las raíces, sin presentar efectos negativos sobre el desarrollo de frutos, ni la densidad de flores o la concentración de sólidos solubles.

La aplicación exclusiva de urea foliar al melocotonero le suministra N suficiente a los diversos órganos, pero el peso medio de los melocotones es inferior al obtenido cuando se aplica el fertilizante nitrogenado al suelo (Johnson et al. 2001). Por otra parte

la absorción es muy rápida, observándose el incremento de la concentración de N en la hoja al día siguiente de la aportación (Johnson & Amdris 2001).

La realización en manzano Gala/M9 de aplicaciones foliares de urea a 5 g/l, cada dos semanas y durante 7 tratamientos, desde mayo a agosto, totalizando 50 g N/árbol x año, comparado con iguales cantidades al suelo, y con un testigo sin fertilizante, produjo rendimientos similares en los árboles tratados, superiores al testigo. En los tratamientos al suelo se produjeron lixiviados de nitratos, que no ocurrieron con aportes foliares (Dong et al. 2005).

1.9.8 ÉPOCAS O ESTADOS FENOLÓGICOS DE APLICACIÓN DEL NITRÓGENO

Las necesidades de nutrientes en el tiempo han sido estudiadas sobre diferentes especies, con resultados bastante coherentes obtenidos a partir de cinéticas de absorción, o bien bajo cinéticas de acumulación (Vaysse et Reynier, 1999); (Soing et Mandrin, 1993).

En los cultivos leñosos se suele aplicar el 60% del Nitrógeno hasta el cuajado y el 40% restante en el engorde del fruto (Espada 2006).

En el cultivo del melocotonero, la absorción varía a lo largo de la estación (Wallah et al 1990, Muñoz et al 1993, citados por Soing & Mandrin 1993). Al inicio de la primavera es débil, para aumentar con el desarrollo de la superficie foliar, alcanzando el máximo al final del período de crecimiento vegetativo, para decrecer progresivamente hasta alcanzar el mínimo después de la caída de las hojas (Soing & Mandrin 1993). También varía con la época de maduración de las variedades; las más precoces requieren menos N que las de media estación o tardías (Jhonson & Uriu 1989).

Según (Badía & Mitjana 1986), los aportes de Nitrógeno deben hacerse: 15% después de recolectar; 30% antes de la floración y 55% restante durante el desarrollo del fruto hasta 4 semanas antes de la recolección

La variación del consumo a lo largo de la estación vegetativa depende:

- De la disponibilidad de nitrato (NO_3^-) en la solución del suelo alrededor de los pelos absorbentes de las raíces, pero también de la disponibilidad del ion amonio (NH_4^+), sobre todo, en árboles jóvenes.
- De la actividad del sistema radicular.
- Del crecimiento de brotes y frutos en función del clima (iluminación, duración del día, temperaturas).

(Taylor et al 1975, citados por Soing & Mandrin 1993), observaron que las aplicaciones de N en verano tienen una respuesta excelente en el crecimiento de la

planta, con una elevada absorción de N, induciendo la precocidad de floración, con producción de flores grandes y una buena tasa de cuajado. Las aportaciones en otoño presentan una absorción moderada, ralentizando la caída de las hojas y favoreciendo la brotación, la calidad de las flores y el cuajado. (Therios et Weinbaum 1997, citados por Soing & Mandrin 1993), han comprobado que tras la caída de las hojas se detiene rápidamente la absorción de N.

Las aportaciones de fertilizantes en períodos otoñales se recomiendan cuando las concentraciones de nitrógeno en las hojas están por debajo de los niveles óptimos (Rombolà et al 1997, citándose asimismo, 2006). En este período, el aporte foliar de N (en forma de urea) es generalmente más eficiente que la aplicación de fertilizantes al suelo (Rombolà & Sorrenti 2006).

(Kotze et al 1991, citados por Soing & Mandrin 1993), sugieren que en el período de fuerte crecimiento de los frutos, los productos de la fotosíntesis son movilizados por aquellos y no están suficientemente disponibles para la asimilación del N, lo que reduciría su absorción (Raper et al 1978, citados por Soing & Mandrin 1993).

La absorción durante la dormancia del árbol, aunque débil no es jamás nula. En otoño e invierno los árboles pueden absorber nutrientes, salvo que el suelo esté congelado (Anónimo 1994).

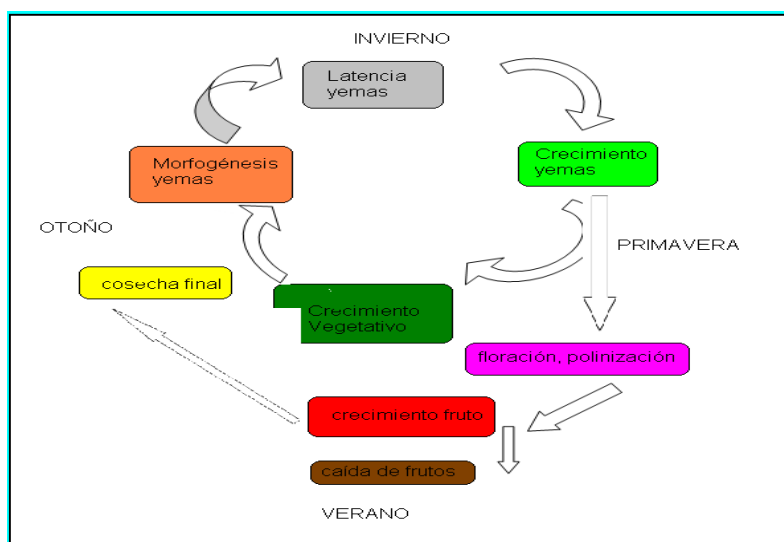


Figura 36. Ciclo vegetativo y reproductivo de los árboles frutales (adaptado de Ladsberg y Jones)

1.9.8.1 ¿CUÁNDO Y CÓMO APORTAR EL NITRÓGENO?

- Existen tres periodos críticos, con diferentes necesidades cuantitativas

1. Floración. 20% desde desborre a floración.

2. Crecimiento activo de brotes y frutos. 60% desde cuajado de fruto a parada de crecimiento de brotes y frutos
3. Parada vegetativa (recolección)-caída hoja. 20% de la aportación.

Hay diversas opciones para hacer un uso eficiente del Nitrógeno aportado. La más clásica es la aportación fraccionada (Tisdale et al. 1993), más sencilla de utilizar con riegos a presión, (Hagin & Tucker 1982), aunque no siempre puede aplicarse. En algunos cultivos extensivos el fraccionamiento puede suponer un incremento de costes (Carrasco & Villar, 2001).

1.10 RIESGOS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y DEL AGUA POR NITRÓGENO

Las pérdidas de N se producen principalmente a través de la volatilización del NH_3 , de la liberación biológica de gases como el NO y el N_2O por la desnitrificación biológica (Bolan et al. 2004), del proceso de nitrificación (Suter et al. 2010b) y de la lixiviación de los NO_3^- (Bolan et al. 2004). Actualmente, la agricultura intensiva está considerada como la principal fuente de contaminación de los acuíferos y una gran emisora de gases nitrogenados a la atmósfera (Parés 2010).

1.10.1 EN EL AIRE

La desnitrificación y la volatilización contribuyen a las emisiones contaminantes de compuestos nitrogenados. Los suelos emiten a la atmósfera, el 30% de las emisiones de CH_4 , el 70% del N_2O , el 30% de los NO_x y el 20% del NH_3 . Al mismo tiempo, secuestran un 10% del CO_2 producido anualmente (Mosier 1998). Los suelos naturales y los cultivados son las principales fuentes de emisión de N_2O , y los puntos de oxidación del metano (Mosier 1998), aunque (Chang et al 1998, citados por Weiske et al. 2001) aportaron pruebas de que el N_2O puede ser liberado a la atmósfera por las plantas.

La reducción de los nitratos hasta formas gaseosas de protóxido de Nitrógeno y de óxidos nitroso e hiponitroso, se realiza por numerosos grupos de bacterias del suelo que utilizan el NO_3^- como aceptor de H^+ en condiciones de anaerobiosis o débil potencial redox (Mosier et al. 1996).

El N_2O contribuye al calentamiento global y a la destrucción de la capa de ozono. Su concentración atmosférica está aumentando un 0,25% anual (Aulakh et al. 2001), 0,2-0,3% (Singh et al. 2008). Se estima que el 70% del N_2O emitido por la biosfera a la atmósfera proviene del suelo (Bouwman 1996), y un 10% del total proviene de la actividad agrícola (Aulakh et al. 2001). En Europa, el 41% de las emisiones proceden de la agricultura (Estavillo et al. 2010). La aplicación del N en momentos poco adecuados, o en cantidad excesiva puede contribuir al aumento de la desnitrificación o del lixiviado,

(Freney et al 1995 citados por Aulakh et al. 2001). En suelos de zonas mediterráneas, las principales emisiones de N_2O por desnitrificación se producen en invierno y primavera para cultivos de secano y en verano para cultivos de regadío.

En diversos trabajos (Vallejo 2005) comprobó que las emisiones totales de N_2O no estaban relacionadas con las pérdidas totales por desnitrificación. Así, los abonos orgánicos produjeron mayor desnitrificación que la urea. La naturaleza del fertilizante comparando IBDE, urea+ DCD y urea solo, parece ser más determinante sobre las emisiones de N_2O , que el contenido de amonio o de nitrato (Vallejo et al. 2001).

Se pueden reducir las emisiones de N_2O , directamente por la disminución de la fracción de NH_4 oxidado a NO_3^- (Bronson et al. 1992) e indirectamente al reducir la cantidad de NO_3^- disponible para la desnitrificación (Aulakh 1992, citado por Singh et al. 2008).

Según (Mosier 1998) la nitrificación es la principal fuente de emisiones de N_2O de los suelos, frente a la desnitrificación; sin embargo (Casella et al. 1986) indica que las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación pueden ser potencialmente superiores a las producidas por nitrificación.

1.10.2 EN EL AGUA

- Fuga de nitratos (Lixiviación) hacia las aguas subterráneas. El exceso de N en el suelo cuando está en forma Nitrato puede ser arrastrado hacia los acuíferos o por las aguas superficiales (Arias et al, 2008).

- Arrastre por las aguas de superficie con lluvias intensas, que pueden producir escorrentías de agua con nitratos disueltos.

1.10.2.1 LAVADO DEL NITRÓGENO. CONTAMINACIÓN DIFUSA POR NITRATOS

Las diferentes actividades agrícolas (uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos que contienen Nitrógeno, aplicación de herbicidas y pesticidas y el empleo indiscriminado vía fertirrigación de pesticidas, pueden deteriorar la calidad del medio natural (Arias et al. 2008).

Hasta hace pocos años, se consideraban intereses contrapuestos la defensa del medioambiente y la actividad agrícola. Sin embargo, actualmente es posible conciliar ambas posturas a través de un desarrollo sostenible.

En el futuro, el agua será el máspreciado y escaso recurso de este milenio (Rodríguez 2009) y por tanto habrá que hacer un uso más eficiente de ella. En nuestro país, el regadío genera el 60% de la P.F.A. y supone un 17% de la superficie de cultivo. La importancia de la calidad del agua también resultará fundamental para el futuro.

Los nitratos constituyen la principal fuente de la contaminación difusa, con tendencia a adquirir cada vez mayor protagonismo en la degradación de los recursos hídricos, tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas, convirtiéndose en uno de los problemas medioambientales más criticados de la agricultura intensiva (Carrasco 2002). Además la contaminación por nitrógeno contribuye a la eutrofización de las aguas, a las emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera y a la acumulación de Nitratos en los productos de consumo (Carrasco 2002).

El lavado de nitrato de los suelos agrarios es la vía más importante por la que se exporta Nitrógeno hacia las aguas superficiales y subterráneas. Las mayores pérdidas de nitrato, ocurren cuando hay una alta concentración de nitrato en el suelo y un elevado movimiento descendente de agua en el perfil, desplazamiento que está condicionado por efectos estacionales de las precipitaciones y el riego y que a su vez determinan el volumen de drenaje (Legg *et al.*, 1992). La contaminación del agua del subsuelo por nitratos, es más pronunciada cuando se produce al principio de la temporada de crecimiento o al finalizar el invierno, al desplazarse el Nitrógeno debajo de la zona de la raíz de vegetales jóvenes o inactivos (Bohn *et al.* 1993).

Todos los nitratos simples son muy solubles (Egea, *et al.* 2003), ya que la carga del ion nitrato impide la adsorción de los coloides del suelo, estando sometido al riesgo de movimiento descendentes a lo largo del perfil (Carrasco & Villar 2001a). La lixiviación de los iones nitrato, arrastra consigo iones de carga positiva como el calcio, magnesio y potasio. Así, las modificaciones en el ciclo del N, por las actividades humanas, disminuyen la fertilidad de los suelos pues aumentan la pérdida de calcio y otros nutrientes que son vitales para el crecimiento y productividad de las plantas (Vitousek *et al.*, 1997 citados por Parés 2010).

En condiciones de pluviometría o riego, el Nitrógeno es susceptible de ser lixiviado a capas profundas (Carbó *et al.* 2002), siendo mayor el riesgo al principio de la temporada de crecimiento o al finalizar el invierno (Bohn *et al.* 1993). Las aportaciones de agua superiores a las necesidades del cultivo producen pérdidas en profundidad por arrastre de parte del Nitrógeno lo que disminuye la productividad del cultivo y aumenta la contaminación de los acuíferos (Rincón 2000).

El movimiento del ion nitrato a lo largo del perfil del suelo, ocurre en una proporción de 1 cm por cada 3-8 mm de precipitación verificada (Bartolini 1989). En suelos francoarenosos se puede lixiviar todo el NO_3^- a partir de cantidades de agua drenadas de 300-400 mm (Simon & Corre 1992).

Cabe destacar que también se pierden cantidades importantes de Nitrógeno procedentes de las fuentes orgánicas (Loomis & Connor 2002), aunque las pérdidas son

menores porque requieren un tiempo para su transformación en N mineral, (Fushiwaki citado por Betrán 2006b).

1.10.2.2 **FACTORES QUE AFECTAN AL LAVADO DE NITRATO**

Los principales factores que afectan al lavado de los nitratos, son:

- **El tipo de aplicación.** Los abonos de liberación lenta y los Inhibidores de la nitrificación ayudan a reducir las pérdidas (Muñoz-Guerra & Carrasco 2003).
- **La cantidad de fertilizante aportado.** Cuanto más N se aporta, mayor riesgo hay de lavado, (Distch 1993, citado por Da Silva 2005); (Rufat et al. 2005), acentuándose cuando lo aportado supera la capacidad de absorción de las plantas (Angle et al. 1993).
- **La época de aplicación.** Las aportaciones en otoño o invierno están expuestas a un alto riesgo de lavado por las lluvias otoñales e invernales (Rufat et al. 2005), por ello, las mayores aportaciones de N deberían realizarse en primavera cuando el riesgo de lavado es menor (Quilez et al. 2006). El lavado del nitrato es pequeño durante la etapa de crecimiento de los cultivos, aumentando rápidamente cuando el riego es excesivo o se aplican cantidades elevadas de N (Verheye 2005).
- **La Forma química.** Las formas nítricas generan mayores pérdidas que las sales amoniacales y la urea. En Aragón, en cualquier caso, se dispone de poca información práctica sobre la eficiencia de los FLL y de los abonos estabilizados (Pérez 2004).
- **El riego y la lluvia.** Las variaciones en la distribución de las lluvias y la evapotranspiración de una estación a otra y de un año a otro, afectan al lavado de nitrato (White 1987). La dosis de riego es el principal factor a considerar para reducir las pérdidas de agua por drenaje, y en consencuencia, las de nitrato por lixiviación (Diez 2003).
- **Manejo y tipo de cultivo.** Los cultivos de menor profundidad radicular tienen mayor riesgo de lavado debido al menor volumen de suelo explorado por las raíces y su menor capacidad de absorción de agua en profundidad. Asimismo los suelos sin laboreo tienen mayor riesgo de pérdidas por lixiviación (Sharpley & Smith 1993, citados por Bordoli 2001), aunque puede ocurrir lo contrario por flujo ascendente de las sales de N en el proceso evaporativo (Rufat et al. 2005).

El tipo de suelo. La textura, la profundidad y el contenido de materia orgánica influyen en el lixiviado. Los suelos poco profundos, arenosos ó pobres en materia orgánica tienen un mayor riesgo de lavado de nitrato, debido a su menor capacidad de

retención de agua y a que necesitan riegos frecuentes (Quilez et al. 2006)

La cosecha esperada. Producciones inferiores a las esperadas pueden inducir mayores pérdidas al absorber la planta menos N (Romic et al. 2003).

1.10.2.3 NORMATIVA

Para reducir la contaminación difusa originada por las actividades agrícolas y por el uso de fertilizantes, el Consejo Europeo aprobó el 12 de diciembre de 1991, la Directiva 91/676/CEE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos de origen agrario. Dicha directiva fue traspuesta a la legislación española por el RD 261/1996 de 16 de febrero.

En condiciones normales las cantidades arrastradas de Nitrógeno hasta el suelo son pequeñas, cifradas por algunos autores en 10 kg/año. Sin embargo, la actividad agraria multiplica esa cifra habitualmente por entre 4 y 40 veces, en ocasiones por 100 (Romero et al. 2008). La mejora del manejo del fertilizante nitrogenado y del riego puede reducir notablemente la contaminación difusa (Quilez et al. 2006)

1.10.2.3.1 **Legislación autonómica. Normativa en Zonas Vulnerables**

Las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos están en constante aumento debido a la inadecuada gestión del Nitrógeno en el medio agrario y ganadero. (Muñoz-Guerra et al. 2006).

En la comarca de Valdejalón-Cariñena hay 4 zonas vulnerables (*Tabla 16*)

Tabla 16. Zonas vulnerables de Valdejalón-Cariñena

ZONA	LOCALIDAD	SUP. MUNICIPAL (ha)	SUPERFICIE ZONA VULNERABLE	% ZONA VULN/SUP MUN
Campo de Cariñena	Calatorao	4.833	2.133	44
Pliocuaternario de Alfamén y Mioceno de Alfamen	Alfamen	10.195	3.671	36
Pliocuaternario de Alfamén y Mioceno de Alfamen	Almonacid de la Sierra	5.433	1.688	31
Pliocuaternario de Alfamén y Mioceno de Alfamén	La Almunia D ^a Godina	5.663	3.297	58

En el acuífero de Alfamén en el período 1995-1997 se superaron las 110 ppm de Nitratos a lo largo de todo el tiempo (Fuente C.H.E.)

A través del Decreto 77/1997, de 27 de mayo), Aragón aprobó su Código de Buenas Prácticas Agrarias, y designó sus dos primeras zonas: la de "Gallocanta", y la de

“Jalón-Huerva”. En dicho código se prohíbe aplicar fertilizantes de los grupos I y II (orgánicos) de febrero a noviembre y del grupo III (minerales) desde septiembre del año “n” a febrero del año “n+1”.

Tabla 17. Cantidades máximas de N autorizadas por hectárea en el caso del melocotonero

Especie	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6 y sucesivos
Melocotonero	20	35	50	70	90	90
+ 1,3 kg N por t fruta						

1.10.3 MANEJO DEL RIEGO Y LAVADO DE NITRATO

La (Figura 37. presenta de forma sintética las variables que influyen en el lavado. Estas variables están bajo el control del agricultor, a diferencia de otros factores.



Figura 37. Variables relacionadas con el manejo del agua y de la fertilización nitrogenada que influyen en el lavado de nitrato (Lidón, 1994)

Un manejo óptimo del riego supone aplicar la cantidad de agua que el cultivo necesita, cuando el cultivo lo necesita y siempre teniendo en cuenta las características del suelo (Quilez et al. 2006)

1.11 INHIBIDORES Y ESTABILIZADORES DE LA NITRIFICACIÓN

La denominación de estabilizados se crea para aquellos fertilizantes a los que se les ha añadido un inhibidor durante el proceso de fabricación, diferenciándose de aquellos que son aplicados por el agricultor directamente sobre el suelo al realizar la fertilización, a los que se denomina inhibidores. Los fertilizantes estabilizados e inhibidores (en adelante IN) se usan mayoritariamente en agricultura, con un incremento notable en el sector de los céspedes (Landels 2010) a diferencia de los fertilizantes de liberación lenta (Trenkel 1997). Se establecen dos grupos de inhibidores: **de la nitrificación y de la ureasa**. La normativa de EE.UU. define que las sustancias

estabilizadoras serán aquellas cuya acción sea prevenir u obstaculizar el proceso de nitrificación, desnitrificación, volatilización del amonio o producción de ureasa por las bacterias del suelo inhibidoras de la nitrificación (IN) (Senate of the United States of America 1996).

Desde hace 3 décadas se viene investigando sobre compuestos inhibidores de la nitrificación capaces de retrasar la oxidación biológica del amonio a nitrato cuando se añaden a fertilizantes nitrogenados. En algunos países, especialmente en Japón, EE.UU. y Alemania, hace años que se han planteado el uso de IN como solución a los problemas de lixiviación de nitratos a las aguas y de emisión de N_2O a la atmósfera por los sistemas agrarios. Uno de los centros pioneros en Europa en la investigación de los IN es el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias que, en el año 1992 comenzó a estudiar la Diciandiamida (DCD), con el objetivo de mejorar la fertilización nitrogenada de los cítricos (Serna et al. 1992). Actualmente en la Unión Europea están autorizados la DCD y el 3,4 dimetilpirazol fosfato (DMPP); otras sustancias como el 3-methylpyrazole, la 1H-1-2-4 triazole y el Triazole están autorizados en Alemania como aditivos y no como fertilizantes (Cramer 2005).

El objetivo de un inhibidor de la nitrificación es mantener el N en forma de amonio estable (Bronson et al. 1991); (Kurtz 1980, citado por Davies & Williams 1995), para reducir las pérdidas por lixiviación (Ball-Coelho & Roy 1999); (Trenkel 1997); (Owens 1987); (Timmons 1984); y/o las pérdidas de N por desnitrificación (Singh et al. 2008); (Majumdar et al. 2000); (Delgado & Mosier 1996); (Bronson et al. 1992), con objeto de mejorar la eficiencia del fertilizante y los rendimientos de los cultivos (Trenkel 1997). Dichos IN,s se pueden seleccionar en función de las diversas condiciones climáticas, el sistema de cultivo y el tipo de fertilizante utilizado, con objeto de reducir la nitrificación y las pérdidas de N (Mosier et al. 1996).

El correcto funcionamiento de los Inhibidores requiere que se encuentren disponibles en concentraciones eficaces. Para ello, se recubren e incorporan a los gránulos del fertilizante (Zerulla et al. 2001); (Trenkel 1997). Esta labor, sin embargo, no es sencilla, porque existen normativas diferentes; suelos, cultivos, y rotaciones variados; y la cantidad de N aportada varía para cada cultivo y producción. Una vez liberado de los gránulos, la eficiencia del IN depende de las velocidades relativas del amoniaco, del movimiento del inhibidor y de las propiedades fisicoquímicas del suelo. Además en la literatura hay poca información sobre el tipo de N absorbido por las plantas después de la aplicación de los inhibidores de la nitrificación o procesos similares (Singh et al 2008), así como sobre el movimiento del inhibidor y de las propiedades fisicoquímicas del suelo (Trenkel 1997).

Las diversas experiencias realizadas con IN, han mostrado que hay muchas sustancias químicas que tienen la propiedad de inhibir la nitrificación en el suelo. La mayoría son sintetizadas en laboratorio, aunque hay algunas naturales como el extracto de *Azidarachta indica* Juss. Entre los compuestos que han sido propuestos para la regulación de la nitrificación en los suelos, hay productos de origen orgánico e inorgánico (Slangen & Kerkhoff 1984).

Los inhibidores se clasifican en dos tipos: los **específicos** que tienden a controlar microorganismos o enzimas implicados en las reacciones bioquímicas específicas, por ejemplo, las enzimas que participan en la amonificación (IU) o en la nitrificación (IN); y los **no específicos** que incluyen muchos plaguicidas agrícolas, entre ellos diversos herbicidas y fungicidas (Singh et al. 2008). En general, pertenecen al grupo de los compuestos nitrogenados heterocíclicos (McCarty & Bremner 1989); (Slangen & Kerkhoff 1984). De los muchos productos analizados como IN, sólo ocho han sido ampliamente probados: Nitrapirina [2-cloro-6-(tri-clorometil) piridina], [2-amino-4-cloro-6-metilpiridina], Diciandiamida (DCD), Tiourea (TU), [tiazol]-2-sulfanil amida, [5-etoxi-3-triclorometil-1,2,4 tiadiazol], [2-mercaptobenzotiazol y acetileno. En 2005, se encontraban patentados entre otros: Nitrapirina, DCD, TU, [2-amino-4-cloro-6-metilpiridina], 4-Amino-1-2-4-6-triazol-HCl (ATC), 2,4-Diamino-6-triclorometiltriazina (CL-1580) y TU, 1-Mercapto-1,2,4-triazol (Melgar 2005).

Muchos inhibidores, a concentraciones altas, actúan como biocidas, lo que indica que su especificidad es función de la concentración (Singh et al. 2008). En otro caso, concentraciones inferiores, le otorgan un efecto bioestático. DCD y DMPP son bacteriostáticos y pueden ser incorporados a fertilizantes convencionales (Carrasco & Villar 2001b). La inhibición completa de la nitrificación, sin embargo, rara vez se consigue con inhibidores de síntesis química (Singh et al. 2008).

En un principio llegaron al mercado DCD y Nitrapirina (Gardiazabal et al. 2007) que han tenido una mayor aceptación (Merino et al. 2002), destacando su utilización durante los años 90 (Muñoz-Guerra et al. 2006); posteriormente, se desarrolló en Alemania el DMPP, con aplicación a bajas concentraciones (Zerulla et al. 2001), siendo actualmente el inhibidor de mayor implantación comercial (Casar et al. 2006), ya que tiene mayor eficiencia que sus predecesores: DCD y Nitrapirina. Las 3 sustancias tienen un período de acción similar, del orden de 6-8 semanas, en función de la temperatura del suelo, que es el factor que más afecta a la eficacia de estos productos (Prasad & Power 1995); (Slangen & Kerkhoff 1984).

Con objeto de unificar los parámetros de eficiencia de los IN (Sahrawat 1980) creó un índice que determina el porcentaje de eficiencia en la inhibición de la nitrificación:

% inhibición = 100 x (Tasa de nitrificación de la muestra tratada/ tasa de nitrificación del control); también puede expresarse como:

$$\frac{NO_2 + NO_3}{NO_2 + NO_3 + NH_4^+} \times 100$$

Se considera que un IN es eficaz si retrasa alguna de estas reacciones:

- $NH_4^+ \gg$ hidroxilamina \gg nitroxilo \gg nitrohidroxilamina \gg $NO_2^- \gg$ NO_3^- .

Los inhibidores específicos de estas reacciones son compuestos que se unen a las enzimas y proteínas, limitando la oxidación del NH_4^+ a hidroxilamina (Slangen & Kerkhoff 1984).

Los fertilizantes que incorporan IN contribuyen a aumentar la eficiencia de utilización de los nutrientes por los cultivos, ya que ajustan la liberación de elementos nutritivos a las necesidades de los cultivos (Orea et al. 2004). Dosis moderadas de N, junto con la aplicación de IN y una adecuada gestión del riego, deberían reducir los riesgos de pérdida de rendimientos y minimizar el lixiviado (Walters & Malzer 1990).

La incorporación de NH_4^+ a la nutrición de las plantas con el uso de IN se conoce con el nombre de **EAN** (Enhanced Ammonium Nutrition) ó EAS (Enhanced Ammonium Supply).

La eficacia de los IN depende de muchos factores, como la materia orgánica del suelo, el pH, la temperatura (Di & Cameron 2004); (Prasad & Power 1995); (Zerulla et al. 2001); (McCarty & Bremner 1990), la humedad (Grundmann et al. 1995), la dosis de tratamiento (Rajbanshi et al. 1992), el potencial de nitrificación del suelo, su historial de fertilización (Suter, D. 2010a) y la concentración y biodisponibilidad del NH_4^+ del suelo (Irigoyen et al. 2003). La variabilidad en la respuesta de la nitrificación con el inhibidor se relaciona en parte con las condiciones climáticas, como la humedad y la temperatura y con las condiciones dentro del suelo incluyendo (Kelliher et al. 2008); (Barth 2006, citado por Suter et al 2010). En general, se muestran más eficaces en suelos de textura ligera, donde hay más riesgo de lixiviación (Slangen & Kerkhoff 1984). Así, algunas investigaciones indican que la mayor respuesta se obtiene cuando el uso de IN está asociado a condiciones de clima y de suelo que favorecen las pérdidas de N por desnitrificación y lixiviación (Rochester et al. 1996); (Liu et al. 1984); (Slangen & Kerkhoff 1984).

Los IN son especialmente útiles en suelos de textura gruesa, donde la lixiviación es probable y en suelos de textura fina, donde el exceso de agua puede causar pérdidas por desnitrificación del nitrato (Griffith 2010). Inicialmente se mostraron valiosos DCD y Nitrapirina (McTaggart et al. 1997). Otros fueron descartados por razones de baja

efectividad, alto costo, problemas fitotóxicos o efectos ambientales. Sin embargo, en la práctica son muy pocas las sustancias que han alcanzado una cierta presencia en la nutrición habitual de los cultivos (Carrasco 2002). Productos como la AM (2-amino-4-cloro-6-metilpirimidina), terrazol (5-etoxi-3 triclorometil-1,2,4-thiadiazole) ó DCS (N-2-ácido,5 dicloro-fenil-succinámico), no se han desarrollado comercialmente (Slangen & Kerkhoff 1984).

En los suelos bien aireados, con buena humedad y temperatura moderada, el NH_4^+ y la urea se convierten en NO_3^- , en cuestión de unos pocos días, pudiendo perderse parte del nitrógeno por lixiviación o volatilización (Norton 2008); (Egea, et al. 2003). Los IN añadidos con el fertilizante al suelo, retrasan la transformación de los iones NH_4^+ a NO_2^- (y más tarde a NO_3^-), eliminando o al menos ralentizando la actividad de las bacterias Nitrosomonas spp., del suelo (Zerulla et al. 2001); (Trenkel 1997); (Prasad & Power 1995). Este proceso aumenta la eficacia de la fertilización nitrogenada y disminuye los efectos negativos sobre la materia orgánica (Bañuls et al. 2000); (Prasad & Power 1995). Indirectamente pueden mejorar la movilización y absorción del fosfato en la rizosfera (Amberger 1991), especialmente en las plantas que absorben el ion amonio al producirse un trasvase de protones desde la planta a la rizosfera para el equilibrio de cargas de las raíces, (Curl & Truelove 1986, citados por Trenkel 1997).

En un inhibidor ideal es aquel reúne las siguientes características, (Hanck 1972, citado por Prasad & Power 1995); (Slangen & Kerkhoff 1984).

- 1.- Especificidad. Debe bloquear la conversión de amonio a nitrato, al minorar la actividad de nitrosomonas y no ser tóxico para los organismos del suelo, los animales y los seres humanos.
- 2.- Movilidad. Debe moverse con el abono o con la solución de nutrientes.
- 3.- Persistencia. El inhibidor debe mantenerse activo en el suelo durante un período de tiempo adecuado.
- 4.- Economía. El producto químico debe ser barato, ya que se utiliza como aditivo de los fertilizantes.

(Prasad & Power 1995), añadieron como característica importante que no sea tóxico para otros organismos del suelo, animales o humanos.

Ventajas de los IN:

- Disminuyen la contaminación agrícola (Trenkel 1997), ya que se reducen significativamente las pérdidas de nitratos por lixiviación (Zerulla et al 2001).
- Mejoran el aprovechamiento de Nitrógeno que se pierde menos (Zerulla et al 2001). Esto puede permitir ahorros del 15-20% sin reducir los rendimientos (Slangen & Kerkhoff 1984).

- Favorecen la nutrición mixta: nitrato-amoniaco (Trenkel 1997), al aumentar la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la disolución del suelo e incrementar la efectividad de la nutrición nitrogenada (Muñoz-Guerra & Carrasco 2003).
- Aumentan la eficiencia energética de la planta (Trenkel 1997).
- Se produce un incremento de la absorción de P y micronutrientes por la planta. Al absorber amonio, la planta acidifica ligeramente la zona próxima a los pelos absorbentes (Trenkel 1997).
- Se reduce el contenido de nitratos en los productos vegetales (Slangen & Kerkhoff 1984); (Zerulla et al. 2001):
- Disminuye la contaminación por nitratos de las aguas superficiales y subterráneas, especialmente en suelos de textura ligera con baja capacidad de retención de agua (Slangen & Kerkhoff 1984), así como de las emisiones de óxidos de N a la atmósfera (Zerulla et al. 2001):

Los inhibidores inhabilitan temporalmente la acción de las bacterias nitrosomas, evitando que el amonio se transforme en nitrato. Esta acción permite que en el suelo estén presentes simultáneamente concentraciones significativas de NH_4^+ y NO_3^- , disponibles para la planta; añadidos a los fertilizantes, ralentizan temporalmente la oxidación bacteriana de NH_4^+ a NO_2^- (lo que impide la producción de NO_3^- y su acumulación), mediante la inhibición de las bacterias nitrosomas (primer paso de la nitrificación) (Carrasco 2002) minimizando las pérdidas de nitrógeno. En condiciones normales los IN no tienen ninguna influencia sobre el segundo paso de la nitrificación (Zerulla et al. 2001).

Los Inhibidores mejoran la biodisponibilidad del N, dando como resultado mayor rendimiento de materia seca y absorción de Nitrógeno (Zaman et al. 2005); (Xu et al. 2002); (Watson et al. 1994). Estos aumentos se atribuyen a la inhibición de la hidrólisis de la urea por los IU, o a la inhibición de la nitrificación por los IN. En aplicaciones de urea con IN (Walters & Malzer 1990) comprobaron que se producía un efecto residual con absorción del fertilizante nitrogenado en los años siguientes a la aplicación, porque la persistencia del Nitrógeno se ve mejorada con la aplicación de IN (Walters & Malzer 1990). Además, los IN pueden afectar a la absorción de N de un cultivo de segundo año mediante la mejora de la inmovilización biológica del fertilizante (Bronson et al. 1991).

La formulación del IN determina su eficiencia ya que la influencia en la nitración del amonio por oxidación de amonio monooxigenasa (AMO) se ve limitada cuando sólo hay un N adyacente (piridina, pirrol, indol); es mejor cuando hay 2 ó 3 átomos adyacentes (Pirazol, 1,2,4 Triazol, Piridazina, Benzotiazol e Indazol); es menos eficiente cuando hay 2 ó 3 átomos que no están juntos (Pirimidina, Imidazol, S-triazina, Bencimidazol), y

resulta mucho menos eficaz cuando sólo hay un átomo de N (McCarty & Bremner 1989). Varios de estos compuestos (Nitrapirina, Etridiazol) afectan tanto a la monooxigenasa (AMO), como a la metano monooxigenasa (Bronson et al. 1992); (Bédard & Knowels 1989).

Los resultados obtenidos, fruto de la investigación con IN son esperanzadores en algunos casos (Bañuls et al 2001); (Serna et al. 2000). La incorporación de IN con dosis moderadas de N, y una adecuada gestión del riego, deberían reducir los riesgos de pérdida de rendimientos y minimizar el lixiviado (Walters & Malzer 1990), hecho que ha sido comprobado al observar menores lixiviados sin que disminuyera la disponibilidad de N para la planta (Grant et al. 1996); (Watson et al. 1994). El proceso de lixiviación afecta fundamentalmente a los cationes más móviles, que son susceptibles de formar sales solubles en el suelo. Se trata esencialmente de los cationes alcalinos y alcalinotérreos (Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++}) que están en las soluciones del suelo, en equilibrio con las formas “de cambio” retenidas en el complejo de cambio (Duchaufour 1984).

Los IN se pueden incorporar a fertilizantes sólidos convencionales (urea y nitrosulfato amónico principalmente), a soluciones fertilizantes y a residuos orgánicos líquidos (purines). También se pueden pulverizar tras la aplicación de cualquier producto nitrogenado, lo que permite utilizarlos con residuos orgánicos no líquidos (Carrasco & Villar 2001a). La incorporación de IN a residuos orgánicos es una práctica poco difundida en la agricultura actual y menos en la española, aunque existen diversas experiencias publicadas, entre ellas las realizadas en España por (Quemada et al. 1998).

El mantenimiento de altas concentraciones de amonio en suelos tratados con IN puede aumentar las pérdidas de amoniaco por volatilización (Conrforth & Chesney, 1974), si no se incorporan al suelo con rapidez (Trenkel 1997), pero también puede favorecer la absorción de N por las plantas que, como los cítricos, son capaces de absorber amonio a mayor velocidad que el nitrato (Serna et al. 1992). Por otra parte, el aumento de la concentración de amonio en el suelo, debido a los tratamientos con IN, podría deberse al desplazamiento de los iones Na del complejo de cambio, mediante un proceso que conduce al aumento de la salinidad (Diez et al. 2010); (Zerulla et al. 2001).

La aplicación de fertilizantes con IN en trigo y cebada aumentó la eficiencia de los fertilizantes pudiendo reducir los aportes de N e ir a dosis más bajas, disminuyendo el riesgo de lavado (Pérez et al. 2008).

Existen numerosos estudios que confirman una reducción de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación profunda cuando se utilizan IN (Timmons 1984); (Chaney & Kamprath 1982); (Reidar & Michaud 1980), aunque la reducción de la pérdida de nitrato por lavado, al aplicar IN no siempre se traduce en un incremento de producción (Weiske et al. 2001); (Slangen & Kerkhoff 1984); incluso se pueden producir reducciones de

rendimientos en cultivos que no son capaces de asimilar concentraciones relativamente altas de amonio. Generalmente, sólo en suelos con bajas concentraciones de nitratos, que son muy sensibles a su pérdida, se produce un claro incremento de rendimientos al aplicar inhibidores (Malzer 1989, citado por Chaves et al. 2005). El hecho de que las plantas prefieran absorber N en forma de nitrato puede ser la razón de la falta de respuesta al incremento de rendimientos al aplicar IN (Chaves et al. 2005).

En ocasiones, buenos resultados obtenidos en cultivo en maceta no siempre se repiten en campo (Guillaumes 2008); en otros, los datos no se derivan de mediciones directas, sino de estimaciones basadas en el incremento de rendimientos y el contenido de nitrógeno (Webb et al. 1991). En algunas experiencias, no se han obtenido resultados significativamente diferentes entre las aplicaciones con inhibidores y los fertilizantes convencionales (Buerkert et al. 1995); (Cerrato & Blackmer 1990).

Del análisis bibliográfico, no se pueden extraer conclusiones inequívocas sobre la eficiencia de los inhibidores de la nitrificación sobre la producción y la calidad, debido fundamentalmente a la diversidad de tipos y condiciones del suelo, a la variación de las prácticas culturales y a las distintas especies de plantas donde se han ensayado. De hecho, la captación y asimilación de N por las plantas en su diversidad global no pueden ser reguladas mediante la aplicación de una sustancia simple (IN) al suelo, ni siquiera en pequeñas cantidades (Slangen & Kerkhoff 1984).

También ocurre que algunos inhibidores tienen un efecto negativo y no deseado sobre las bacterias del suelo que puede alterar su desarrollo (Sturm 1994, citado por Trenkel 1997); (Zacherl & Amberger 1990).

1.11.1.1 INHIBIDORES: FACTORES AMBIENTALES Y SUELO

La creciente preocupación por el deterioro del medioambiente propició hace más de 60 años el desarrollo de los IN. La contaminación de los acuíferos debida a los nitratos es el problema ambiental más grave asociado a las prácticas de fertilización; además se puede inducir el fenómeno de la eutrofización de las aguas (Casar et al. 2006). Entre las estrategias ambientales y productivas en el uso de los nutrientes, se incluyeron el uso de los purines y de los inhibidores de la nitrificación (Guillaumes 2008), que proporcionaron fertilizantes “ecoeficientes”, y que permiten mantener la producción y calidad del fruto, con menor impacto medioambiental (Bañuls et al. 2003).

La reducción de la contaminación asociada a los nitratos requiere optimizar la fertilización nitrogenada y un control exhaustivo del riego - EPA, 2001 -, citada por (Casar et al. 2006). Es fundamental para ello, la reducción de la acumulación de NO_3^- en el suelo (Egea & Alarcón 2004) y los IN contribuyen a ello (Zerulla et al. 2001).

La vida media de los IN puede durar desde unos días a varias semanas, dependiendo de la naturaleza del producto, la dosis, el tipo de suelo, la temperatura y el pH (Singh 2008)

Las precipitaciones y las temperaturas elevadas tienden a reducir la eficiencia de los inhibidores (Liu et al. 1984). Uno de los factores más importantes para la persistencia de la acción de los IN es la temperatura (Zourarakis & Killorn 1990, citados por Singh et al. 2008). Con relación a la temperatura, los inhibidores son más eficaces a temperaturas relativamente bajas, descendiendo la eficacia a medida que las temperaturas aumentan (Mullison & Norris 1976, citados por Slangen 1984), al mismo tiempo que se degradan más deprisa (Di & Cameron 2004); (Puttanna et al. 1999); (McCarty & Bremner 1989). La tasa de hidrólisis en el agua se duplica por cada aumento de 5°C, teniendo una vida media de 8 días a 25°C (Laskowski 1972). Las aplicaciones a temperaturas relativamente bajas a finales de otoño o principios de primavera han mostrado mayor eficacia (Slangen & Kerkhoff 1984). En laboratorio los IN son más eficaces cuando se someten a temperaturas inferiores al óptimo de la nitrificación, (Bundi & Bremner 1973, citados por Singh et al. 2008). Incrementos de la temperatura del suelo en 10°C duplican la tasa de mineralización de la DCD (Rajbanshi et al. 1992).

La humedad del suelo también influye sobre la eficiencia. La DCD es más eficaz con el suelo al 40% de humedad (Puttanna et al. 1999). Los mayores riesgos de falta de eficiencia se dan en suelos de textura gruesa o con exceso de agua, donde tanto los IU como los IN tienen tendencia a alejarse de la urea o del NH_4^+ (Singh et al 2008 citando a la universidad de Illinois).

(Klein & Monagahn 2005, citados por Singh et al 2008) demostraron que el uso de IN tuvo un efecto limitado sobre la reducción de gases de efecto invernadero totales, en comparación con las emisiones de N_2O , ya que se producía un aumento de CH_4 y de CO_2 procedentes del sistema de explotación. Sin embargo, en experiencias realizadas por (Prasad & Rajale 1972), obtuvieron reducciones en las emisiones por desnitrificación.

1.11.1.2 DICIANDIAMIDA (DCD)

El efecto inhibidor de la diciandiamida ya era conocido a principios del S. XX (Kelliher et al. 2008); (Prasad & Power 1995). La DCD, forma dimérica de la cianamida, es relativamente soluble en agua (Amberger 1991). En Europa, comenzó a utilizarse a partir de los años 80 (Zerulla et al. 2001); en Japón es el IN más utilizado sobretudo en arroz (Landels 2010).

La DCD tiene un claro efecto inhibidor de la nitrificación, pero su persistencia en el suelo se limita a unas pocas semanas, siendo activo durante 1 a 3 meses. El compuesto se descompone a través de guanilurea en urea y/o amoníaco, (Boswell et al 1974, citados

por Slangen & Kerkhoff 1984). Se ha mostrado eficaz en concentraciones de 5-10 mg/kg de suelo (Slangen & Kerkhoff 1984). Se caracteriza por ser un producto bacteriostático (Amberger 1991), no tóxico, que produce fitotoxicidad (Zerulla et al. 2001); (Prasad & Power 1995); (Reeves & Touchton 1986); (Slangen & Kerkhoff 1984). Se ha comprobado que incluso con varias aplicaciones, sólo tiene un efecto depresivo sobre las bacterias Nitrosomonas (Sturm 1994, citado por Trenkel 1997), y no presenta efectos secundarios sobre el medioambiente (Suter et al. 2010a).

Una de las características que despertó el interés por la DCD, fue la posibilidad de disolverla en los purines (Amberger 1989). Sin embargo, la difusión de la DCD se ha visto dificultada por su coste, ya que han de usarse dosis elevadas (Belastegui et al. 2002), y por su gran solubilidad que favorece su percolación (Zerulla et al 2001); (Trenkel 1997). Su viabilidad económica estaba basada en la aplicación en jardinería, campos de golf y agricultura de gran valor añadido. La U.E autorizó en el Reglamento 2003/2003 el uso de DCD con sulfato amónico.

En agricultura se añade a fertilizantes que contienen sulfato amónico, nitrosulfato amónico, nitrato amónico con urea, y a la urea (Trenkel 1997), produciéndose una menor inhibición con urea que con sulfato amónico (Slangen & Kerkhoff 1984).

La DCD tiene una baja retención en el complejo arcillo-húmico del suelo, que hace que pueda ser lixiviada en el perfil del suelo, perdiendo su eficacia inhibidora (Zerulla et al. 2001); (Corre & Zwart 1995); (Abdel-Sabour et al. 1993); (Abdel-Sabour et al. 1990). Se descompone más deprisa en suelos básicos (Puttanna et al. 1999) y en los franco arenosos con elevada materia orgánica, que en suelos arenosos con poca materia orgánica (Slangen & Kerkhoff 1984); se mineraliza más rápidamente que el DMPP disminuyendo más deprisa su concentración en el suelo, (Weiske et al. 2001) debido a que la flora microbiana del suelo se aclimata tras varias aplicaciones repetidas (Rajbanshi et al. 1992); En condiciones cálidas y húmedas la DCD también es más inestable (Chen 2008). Los suelos con elevados contenidos de materia orgánica y arcilla también reducen su eficacia (Slangen & Kerkhoff 1984).

1.11.1.3 NITRAPIRINA (2-CHLORO-6-(TRICHLOROMETHYL)-PYRIDINE)

La Nitrapirina fue uno de los primeros compuestos utilizados como inhibidor selectivo de la nitrificación autotrófica, siendo el IN por excelencia en EE.UU. Comenzó a utilizarse en 1962 (Goring 1962). Es un compuesto heterocíclico que inactiva la amonio mono oxigenasa, aunque el mecanismo real de la inhibición es aún desconocido (McCarty 1999). Se trata de un compuesto con efecto bactericida, que deprime o inhibe las nitrosomonas, y que también puede producir su muerte, (Zerulla 1996 & Huffman 1996, citados por Trenkel 1997). La sensibilidad a la Nitrapirina varía con las distintas

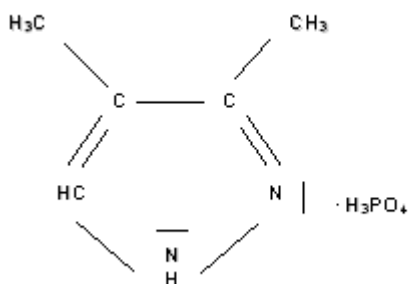
cepas de nitrosomonas (Wasnik 1980). Está registrado por la E.P.A. (Environmental protection Agency) para su uso en maíz, trigo y sorgo, como inhibidor de la nitrificación, bacteriostático y regulador de crecimiento. Debe incorporarse inmediatamente debido a su elevada capacidad de volatilización (Zerulla et al. 2001), ya que cuando se aplica sobre la superficie del suelo, se producen pérdidas del 80% de la NP (75). En el año 2009 se autorizó su uso con fertilizantes líquidos nitrogenados y estiércol líquido en el cultivo de maíz (Landels 2010).

Habitualmente se recomienda su aplicación en bandas o grupos, antes o después de la plantación o siembra, en cultivos de algodón, maíz, remolacha azucarera, sorgo, trigo y patata (Slangen & Kerkhoff 1984). Se aplica a dosis de 1,4 a 5,6 l/ha pulverizado o incorporado a fertilizantes o residuos orgánicos líquidos y tiene como inconveniente que debe ser formulado en líquido y no se puede incorporar a fertilizantes sólidos, lo que obliga a aportarlo por separado (Trenkel 1997). Es sensible a las altas temperaturas, corrosivo y explosivo; se degrada en aproximadamente 6-8 semanas en suelos cálidos, siendo más persistente en los fríos (Trenkel 1997). Puede producir problemas toxicológicos con dosis superiores a 10 ppm (Morris et al. 1980), es volátil (Wolt 2000), pertenece al grupo de los organoclorados (Zerulla et al. 2001) y no tiene ningún efecto sobre la hidrólisis de la urea (Bundy & Bremner 1974). Todo ello ha dificultado su difusión comercial.

La aplicación de Nitrapirina a los fertilizantes amoniacales, reduce las concentraciones de nitrato y nitrito en los suelos, lo que indicaría la supresión de la nitrificación (Kantrovich et al. 2004).

1.11.2 3,4 DIMETIL PIRAZOL FOSFATO (DMPP)

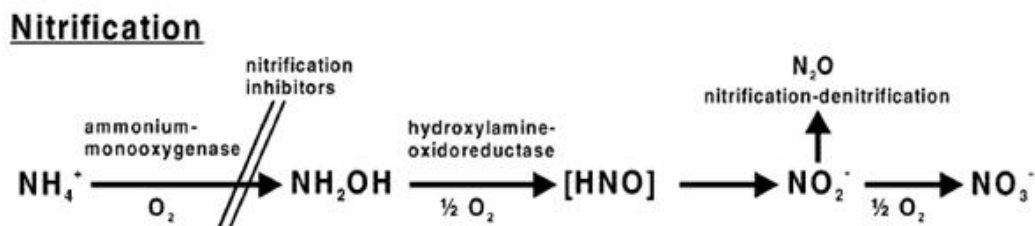
Fruto de la colaboración entre empresas e instituciones, Basf patentó en 1997 el 3,4 Dimetilpirazol fosfato (DMPP).



Nombre Guiltloc: 3,4-Dimetil-1H-Pirazol-Dihidrogeno Fosfato
Nombre comercial: ENTEC®
Forma: polvo
Color: gris / blanco
Peso Molecular: 194,2 g mol ⁻¹
Punto de Fusión: 165 °C
Densidad: 1,51 g cm ⁻³ (20 °C)
Densidad aparente: 440 kg m ⁻³
Solubilidad en agua: 132 g l ⁻¹ (pH 3, 25 °C)
46 g l ⁻¹ (pH 7, 20 °C)
pH: 2,5-3,0 (a 132 g l ⁻¹ , 25 °C)
Presión de vapor: < 10 ⁻⁶ Pa (20 °C)

El DMPP actúa uniéndose a la enzima amonio monooxigenasa (AMO) inhabilitándola definitivamente, por lo que hasta que la bacteria no desarrolla nuevas

enzimas queda paralizada su capacidad para transformar el NH_4^+ en NO_2^- (McCarty 1999), deteniéndose el proceso de nitrificación.



El DMPP ha sido muy bien aceptado en Europa Occidental para su aplicación en cultivos agrícolas y por los profesionales de la jardinería, de manera que se prevé un fuerte incremento del uso de fertilizantes con N estabilizado y recubierto en los próximos años (Landels 2010).

El DMPP tiene una solubilidad de 132 g/L a pH 3 y 25°C (Zerulla et al. 2001) y suele aplicarse a dosis de 1 kg/ha. Se presenta formulado en fertilizantes granulados nitrogenados (SA, NSA), o complejos (diámetro entre 3-3,6 mm). También se incorpora a fertilizantes líquidos y purines (Carrasco 2002).

Los gránulos del fertilizante comienzan a desintegrarse 24 horas después de ponerse en contacto con el agua. Sin embargo, la difusión del DMPP es más lenta de lo previsible, probablemente debido a una rápida adsorción por los coloides (Azam et al. 2001). En laboratorio con gránulos de fertilizante con DMPP incubados durante 10 días, el 80% del DMPP se mantiene a una distancia del gránulo entre los 0 y 5 mm. Las temperaturas y la humedad alta favorecen la circulación del DMPP (Azam et al. 2001), comprobándose que el ion amonio se difunde más rápido que el DMPP (Teske & Matzel 1988, citados por Chen et al. 2010).

Numerosos estudios toxicológicos han mostrado que el DMPP es inocuo para el hombre y para el medioambiente, y no interfiere en los procesos microbiológicos habituales del suelo, a excepción de Nitrosomonas (Gardiazabal et al. 2007); (Carrasco 2002), mostrando nula toxicidad y ecotoxicidad (Zerulla et al. 2001).

La duración de la acción del DMPP depende de las condiciones climáticas (Pasda et al. 2001), las características del suelo (Barth et al. 2002) y probablemente del cultivo implantado (Pasda et al. 2001). En términos generales, el DMPP inhibe la nitrificación durante 4-10 semanas dependiendo del clima, del suelo y del cultivo (Zerulla et al. 2001), lo que mejora la respuesta obtenida con DCD (Weiske et al. 2001).

Las tasas de nitrificación del suelo están influidas por la temperatura y humedad (Chen et al. 2010). La efectividad del DMPP para retardar la oxidación del amonio del fertilizante disminuye al aumentar la temperatura del suelo (Zerulla et al. 2001); (Slangen

& Kerkhoff 1984). En ensayos de laboratorio se obtuvo una tasa de 3,6 (Q_{10}) por cada 10°C de incremento de temperatura en el intervalo de 5 a 25°C (Chen et al. 2010). A los 14 días de exponer el DMPP a T^a de 25°C, la efectividad se redujo probablemente debido a que se había iniciado la descomposición microbiológica del DMPP. Resultados similares obtuvieron (Zerulla et al. 2001) con la nitrificación completa del sulfato de amonio a los 91 días a 20°C. Otros estudios, dieron buenos resultados con temperaturas más bajas (2-14°C), y humedad del suelo equivalente del 50% con efectos durante 95 días (Chaves et al. 2005). El DMPP (3 mg i.a/kg suelo) inhibe la nitrificación durante 42 días a una T^a entre 5 y 15°C, con un 40-60% de humedad del suelo (Chen et al. 2010). Sin embargo, las temperaturas elevadas no redujeron el efecto del DMPP en cultivo de maíz al ser añadido a la urea (Zerulla et al. 2001).

1.11.2.1 VENTAJAS DEL 3,4 DMPP

Las principales ventajas del DMPP son: no se lixivia, es completamente biodegradable, se pueden reducir las cantidades aplicadas de nitrógeno, aumenta la producción de biomasa y se reducen las emisiones de N_2O al 50% (Pasda et al. 2001).

El producto comercial (Bröckel & Hahn 2004), es soluble en ácido fosfórico concentrado y estable en la superficie de los abonos, tiene un olor agradable y apenas perceptible y presenta un color resistente frente a los ácidos, que permite su diferenciación visual.

La adición de DMPP al S.A, supone un incremento de la concentración de NH_4^+ en las capas del suelo durante el período vegetativo frente al SA (Quiñones et al. 2005) reduciéndose las pérdidas por lixiviación.

Actualmente los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación se recomiendan en zonas con especial riesgo de pérdidas de nitrato por lixiviación (Muñoz-Guerra et al. 2006).

1.11.2.2 CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO EN EL SUELO

La utilización del DMPP mantiene en el suelo elevadas concentraciones de NH_4^+ en la disolución del suelo y reduce las de NO_3^- , lo que puede disminuir las pérdidas de N por lixiviación (Bañuls et al. 2003); (Serna et al. 2000) y desnitrificación (Hua et al. 2008); (Linzmeier et al. 2001) y proporcionar a la planta una nutrición mixta amonio-nitrato, ventajosa en aspectos energéticos, hormonales y nutricionales (Irigoyen et al. 2003), mejorando la absorción del nitrógeno (Bañuls et al. 2003); (Serna et al. 2000).

La concentración de nitratos en profundidad es un buen indicador de la eficiencia de la fertilización nitrogenada; así, el N-nitrato presente a profundidades de 60-90 cm tiene un elevado riesgo de pérdida al estar situado en una zona de baja absorción radicular. La utilización de fertilizantes con DMPP, reduce la presencia de nitratos en

profundidad (Bañuls et al. 2003) y simultáneamente incrementa las concentraciones de amonio (Muñoz-Guerra et al. 2006); (Orea et al. 2004); (Bañuls et al. 2002) disminuyendo el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por el ion, y mejorando la eficiencia, ya que con menos aporte de Nitrógeno se mantienen los rendimientos (Casar et al. 2006).

En pera conferencia de 10 años, a 90 cm de profundidad en suelo franco arenoso con riego localizado, el tratamiento con NSA tuvo mayor concentración de nitratos que el NSA+DMPP. Hecho que concuerda con los resultados obtenidos por (Muñoz-Guerra et al. 2004); (Lezana & Carrasco 2002); (Muñoz-Carpena et al. 2002); (Urrestarazu 2000).

La aportación de DMPP añadido al NSA, en comparación con la fertilización tradicional, produjo en cultivo de brócoli en maceta, un mayor contenido de N en el suelo hasta la mitad del ciclo del cultivo y mejoró la eficiencia de uso del N. No hubo sin embargo, diferencias significativas en las pérdidas de N por lixiviación (Molina & Blu 2006).

La aplicación en plántones de naranjo con riego y fertilización de alta frecuencia con DMPP y sin él, (Serna et al. 2000) en suelo franco-arcilloso con caliza activa <1%, produjo un incremento de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ durante todo el ciclo de cultivo del tratamiento con DMPP frente al que no llevaba. A los 40 días de la última aplicación de los tratamientos, las concentraciones de NH_4^+ y NO_3^- se igualaron en los dos tratamientos fertilizantes.

Trabajando en columna, (Belastegui et al. 2003) llegaron a la conclusión de que la aplicación de urea+DMPP, reducía la oxidación del amonio y las pérdidas por lixiviación de nitratos.

1.11.2.3 EFICIENCIA DE ABSORCIÓN DEL NITRÓGENO

El período de efectividad del DMPP suele oscilar alrededor de las 16 semanas en cultivos extensivos, y 3-4 semanas en intensivos fertirrigados (Bañuls et al. 2000).

La aplicación de fertilizante con DMPP y sin él, en una sola vez en naranjo (Serna et al. 2000), fue visible hasta los 60-80 días después la aplicación. En pera (Carbó et al. 2002), obtuvieron resultados similares en la variedad 'Conferencia'.

La eficiencia de uso del N es más alta con DMPP que sin él, obteniéndose la mejor eficacia con la máxima frecuencia de aplicación –diaria- y una tasa de recuperación del sistema suelo-planta del 82 y el 91% (Bañuls et al. 2003), datos que coinciden con (Orea et al 2004).

Los aportes de IN en cultivo de trigo y cebada incrementan la eficacia en el uso de la fertilización, lo que permite reducir las cantidades de Nitrógeno aplicadas, disminuyendo así el potencial de riesgo de contaminación por nitratos (Pérez et al. 2008).

En trigo, aportando el Nitrógeno en fondo o postsiembra con DMPP, se consiguió una mayor efectividad del Nitrógeno durante el cultivo, frente al fertilizante sin DMPP (Muñoz-Guerra et al. 2006), aunque las aplicaciones en postsiembra en ocasiones no han mejorado los resultados (Muñoz-Guerra et al. 2004); resultados concordantes con los obtenidos por (Liu et al. 1984). En trigo Anza, aplicaciones de DMPP con purín de cerdo (Carrasco & Villar 2001b) mostraron cuatro meses después de la aplicación que el 30% del N de la fertilización se encontraba en forma amoniacal; dato muy diferente de la concentración de nitrato en el testigo (Chen 2008).

Aplicaciones de urea + DMPP en maíz, produjeron un incremento de biomasa, de rendimiento y del nitrógeno absorbido entre los tratamientos fertilizantes y el testigo, con una menor pérdida de nitrógeno por lixiviación y un incremento de la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Resultados coincidentes con los obtenidos por (Bañuls et al. 2002); (Bañuls et al. 2000) en cítricos.

La aplicación de SA+DMPP en suelo aluvial es más eficiente que en suelo de saso, aunque a los 42 días de la incubación, todo el Nitrógeno amoniacal del fertilizante se había nitrificado (Isla & González 2006). Sin embargo, (Wu et al. 2007) obtuvieron mejores resultados en suelo franco-arenoso, con una mayor duración del efecto aunque consideran que los resultados no son suficientemente consistentes en suelos arenosos de Brasil (Barth 2009).

En sendos ensayos realizados por (Serna et al. 2000), con plantones de naranjo en invernadero, pudieron comprobar que el efecto inhibidor del DMPP dejaba de ser visible a los 20 días en el primer ensayo, mientras que en el 2º lo fue a los 60-80 días.

En cítricos cultivados en la Comunidad Valenciana, (Orea et al. 2004) han comprobado que incluso en fertirrigación diaria la utilización del DMPP incrementa casi en un 10% la eficiencia de la fertirrigación, reduciendo de forma importante el NO_3^- acumulado en el medio.

El SA aplicado en cítricos con y sin DMPP, con distintas frecuencias, en fertirrigación, produjo un incremento de la concentración de amonio en todos los tratamientos con DMPP (Orea et al. 2004), para todas las frecuencias y todo el período vegetativo (Bañuls et al. 2002), acentuándose en los muestreos de primavera con temperatura más suave. Las diferencias entre la concentración de ion amonio y nitrato en el suelo, con tratamientos con DMPP y sin él, aumentan a medida que se incrementa la frecuencia de aplicación (Orea et al. 2004); (Bañuls et al. 2002); (Bañuls et al. 2001); (Serna et al. 2000) probablemente debido a que la transformación del N amoniacal a nitrato dura de 20 a 40 días (Bañuls et al. 2000); (Serna et al. 2000). Del mismo modo, al aumentar la frecuencia de aplicación se incrementa el nitrógeno retenido en la fracción orgánica del suelo (Orea et al. 2004).

Sin embargo, el nitrato alcanzó mayores concentraciones en todos los tratamientos sin inhibidor. Los árboles tratados con SA+DMPP absorbieron significativamente más N del fertilizante (143 g) que cuando solo se aportó SA (Quiñones et al. 2005). Este dato coincide con el obtenido por (Serna et al 2000).

El fraccionamiento de las aportaciones convencionales de nitrógeno en maíz no ofreció ninguna ventaja sobre una única aportación de NSA, con y sin inhibidores (Diez et al. 2010), resultados similares obtuvieron (Molina & Blu 2006) en cultivo de Lolium. Sin embargo, el fraccionamiento y la reducción de las dosis totales se plantean como herramientas válidas para reducir las pérdidas (Isla & González 2006).

1.11.2.4 INHIBIDORES DE LA INTRIFICACIÓN: EFECTOS EN LA PLANTA

La aplicación de inhibidores de la nitrificación produce un aumento de la absorción de N por la planta (Carrasco & Villar 2001a); (Bañuls et al 2001);(Serna et al. 2000); (Rochester 1996, citado por Quiñones et al. 2005), de manera que las hojas de las plantas tratadas con el DMPP en condiciones de invernadero o de campo presentan un color verde más intenso. Esto puede deberse a que la nutrición amoniacal disminuye el pH de la rizosfera y favorece la absorción de Hierro en la planta (Thompson et al. 1993). Así, en árboles tratados con DMPP durante un ciclo de crecimiento, la concentración de N foliar fue mayor que en los testigos (Quiñones et al. 2009).

Con la fertilización con DMPP se consiguen contenidos de nitratos más bajos en frutas y hortalizas (Zerulla et al. 2001); (Irigoyen 2001); (Zerulla et al. 2000).

En cítricos en los tratamientos con DMPP se produce un incremento en la relación: peso seco/planta, y esta se acentúa al aumentar la frecuencia de aplicación (Orea et al. 2004); (Serna et al. 2000); también se produce un aumento del N en hoja para todas las frecuencias de aplicación (Bañuls et al. 2002). Resultados similares obtuvieron (Bañuls et al 2001) en cítricos jóvenes, (Serna et al. 2000) en árboles adultos y (Quiñones et al. 2009); (Legaz et al. 1996) y (Serna et al. 1996) en tratamiento con SA+DCD comparado con SA. Este incremento probablemente se debe al mantenimiento de altas concentraciones de amonio y a una mayor absorción de N por las plantas, como consecuencia de una continua disponibilidad de NO_3^- y unas menores pérdidas de N por lixiviación y desnitrificación (Bañuls et al 2001); (Serna et al. 2000); (Martínez-Alcántara et al 2006, citados por Quiñones et al. 2009). También se observa que la concentración de Nitrógeno total en el árbol completo es significativamente mayor en los árboles tratados con DMPP+SA, frente al SA (Quiñones et al. 2005); resultado que coincide con el obtenido por (Serna et al. 2000). En árboles tratados con DMPP+SA la concentración de Nitrógeno procedente del fertilizante (%Npdf) fue inferior en las hojas de primavera y en los frutos de los árboles tratados en la caída de junio. Igual tendencia se observó en los

órganos jóvenes y viejos al arrancar el árbol. En las raíces fibrosas, la tendencia sin embargo, es la opuesta (Quiñones et al. 2005). Empero, (Rodriguez et al. 2003), no obtuvieron diferencias significativas en tratamiento de SAN+DMPP comparado con el testigo.

En cultivo de peral, (Carbó et al. 2002) no obtuvieron diferencias significativas en los contenidos de macro y micronutrientes ni en las hojas ni en los frutos, entre las plantas fertilizadas con DMPP y aquellas a las que no se les aplicó.

Las pellas de brócoli tratadas con N mineral + DMPP, contienen menos nitratos en las hojas que aquellas abonadas con Nitrógeno orgánico (Egea, et al. 2003); poseen una coloración más intensa en los tratamientos con DMPP debido probablemente a que la nutrición amoniacal favorece la absorción y transporte del hierro (Bañuls et al. 2002) y un mayor contenido de materia seca (Molina & Blu 2006). Las aplicaciones de fondo (Muñoz-Guerra et al. 2004), producen una acumulación inicial de nitratos, mientras que con fertirrigación se produce una disminución del 45 y 55%.

En condiciones mediterráneas, la aplicación de DCD puede reducir la acumulación de nitratos en las espinacas entre el 18 y el 61%, y el DMPP entre el 33 y el 84%, sin afectar a la producción ni a la calidad, siendo más eficaces las aplicaciones en primavera cuando la temperatura del suelo es baja y la interceptación de la radiación solar por el cultivo es alta, aumentando el N mineral en el suelo y reduciendo la acumulación de nitratos en el cultivo (Irigoyen et al. 2006); (Irigoyen 2001). Resultados similares, obtuvieron (Lezana & Carrasco 2002) en plantas y frutos de melón con menor concentración de nitratos al aplicar DMPP frente al testigo.

En cultivo de tomate en invernadero no se observaron diferencias en la concentración de Nitrógeno en las hojas, entre los distintos tratamientos en los que se aplicaron porcentajes diferentes de NH_4^+ - NO_3^- (Segura et al. 2003), y tampoco la aplicación de Nitrógeno amoniacal con DMPP en aguacate comparado con urea produjo diferencias significativas en los valores de SPAD (Gardiazabal et al. 2007). Sin embargo, en el primer y cuarto año del ensayo, la concentración de Nitrógeno en hojas fue significativamente superior en el tratamiento con DMPP.

El contenido de Nitrógeno en la planta de trigo blando, variedad Anza, no se ve influido ni por la realización de coberturas ni por la aplicación de DMPP (Carrasco & Villar 2001b), pero sí el contenido de proteína en el grano con las aplicaciones de fondo que mejoran la disponibilidad de N en la fase final del cultivo. Un hecho similar se produce al añadir DMPP al purín, con un incremento del contenido proteico del grano, y una disminución de la proteína cruda (Linzmeier et al. 2001).

Las menores concentraciones de Nitratos en plantas cultivadas con DMPP, obtenidas por diversos autores no pueden utilizarse para considerar que estos productos tienen utilidad generalizada para esta cuestión (Slangen & Kerkhoff 1984).

1.11.2.5 LIXIVIACIÓN DE NITRATOS

Las aplicaciones de fertilizantes con DMPP pueden disminuir en más de un 50% las pérdidas de nitrato por lixiviación (Muñoz-Guerra & Carrasco 2003). Aportes en fertirrigación de IN como el DMPP producen una significativa reducción del riesgo de pérdidas de nitratos por lixiviación y de emisiones de N (N_2O) a la atmósfera, comparado con la fertirrigación convencional (Lezana & Carrasco 2002). Una situación similar se produce con la combinación de riego optimizado más aporte de compost de Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.), que reduce las pérdidas de nitrato en un 80% (Diez 2003).

El Nitrógeno lixiviado guarda relación directa con el fertilizante aplicado y con la concentración de nitrato obtenida en las zonas no accesibles a las raíces (profundidad superior a 140 cm). En maíz, la fertilización con urea + DMPP y con fertilizantes sin DMPP propició una reducción de pérdidas de nitrato del 20 al 40% (Muñoz-Guerra et al. 2006). Resultados similares obtuvieron (Zerulla et al. 2001). En trigo y maíz al utilizar DMPP con purín, también se produjo una reducción importante (Guillaumes 2008).

En maíz forrajero las mayores pérdidas de N se producen por lixiviación del nitrato (50% del aplicado). La aplicación de DMPP y DCD añadido a NSA, en maíz irrigado en condiciones mediterráneas reduce las concentraciones de NO_3^- en el suelo, en un 30% comparado con el NSA sin IN, y por tanto se reduce la lixiviación de nitrato, (Baez et al 2000 citados por Estavillo et al. 2010).

El DMPP presenta un riesgo de lixiviación bajo (Carrasco 2002) e inferior a la DCD (Gardiazabal et al. 2007). En experiencias llevadas a cabo en el centro de investigación de Jülich (Alemania), no se encontró DMPP en el lixiviado por encima del límite de detección, de 0,5 mg/l (Fettweis et al. 2001). En cultivo de patata, tras la aplicación de 160 kg/ha de SA + 847,5 g/ha de DMPP la concentración de DMPP en los lixiviados no superó el límite de potabilidad del agua de 0,1 µg/l de DMPP (Fettweis et al. 2001).

Las aguas de lixiviado de cítricos cultivados en maceta con aportaciones de SA y SA+DMPP contenían menos NO_3^- y más NH_4^+ que el control (SA) (Bañuls et al. 2000). En cítricos fertirrigados, en las capas más profundas entre 40-90 cm, la concentración de nitratos fue menor en las aplicaciones con fertilizante nitrogenado más DMPP con unas pérdidas de $N-NO_3^-$ del 8,7% en el fertilizante sin DMPP, frente al 3,2% en aquel que contenía DMPP; resultados que concuerdan con los obtenidos por (Carbó et al. 2002),

(Muñoz-Carpena et al. 2002); ; (Zerulla et al. 2001); (Bañuls et al 2001); (Serna et al. 2000).

1.11.2.6 DMPP Y MATERIA ORGANICA

La aplicación de materia orgánica descompuesta reduce drásticamente la eficacia de los IN (Puttanna et al. 1999); (McCarty & Bremner 1989), por la estimulación de la actividad microbiana que acelera la degradación de los IN (Slangen & Kerkhoff 1984), o por la reducción de la actividad de los IN al ser adsorbidos por la materia orgánica. Un hecho similar sucedió al aplicar ácidos húmicos y fúlvicos con DCD y NP, reduciendo su eficiencia (Jacinthe & Pichtel 1992).

Se ha comprobado que el Nitrógeno orgánico retenido en el suelo aumenta al añadir DMPP, favoreciendo que el N se mantenga más tiempo disponible para la planta (Bañuls et al. 2003).

La utilización de DMPP aplicado a los fertilizantes minerales y a los purines de cerdo, reduce notablemente el riesgo de volatilización. Diversas experiencias muestran que se puede pasar de perder el 40% del N aplicado si los purines no se entierran, a perder el 10% si se entierran a las 10 horas, y el 3% si se entierran inmediatamente (Ferm et al. 1999); (Weslien et al. 1998). Pese a ello, la mezcla con purín no está muy extendida en nuestro país (Carrasco & Villar 2001b).

La aplicación de DCD y DMPP, añadidos a estiércoles de vacuno en sus distintas fracciones o en conjunto fue estudiada por (Pereira et al. 2010), que obtuvo reducciones de la nitrificación durante 16 y 23 días con la DCD aplicada sobre el estiércol y su fracción líquida respectivamente. El DMPP la redujo durante 30 días sobre la fracción líquida pero no tuvo efectos significativos sobre la fracción sólida. Sin embargo, las aplicaciones de purín + DMPP en forrajes no siempre han sido consistentes, y el seguimiento del amoníaco y nitrato ha presentado una gran variabilidad experimental y no se ha podido constatar que el IN favorezca una mayor presencia de amonio (Guillaumes 2008).

La DCD y el DMPP reducen la nitrificación del ion amonio procedente de purines de cerdo cuando se aplica en praderas del norte de España (Belastegui et al. 2003). Estos resultados son coincidentes por los obtenidos por (Carrasco & Villar 2001a) en cultivo de trigo y similares a los obtenidos con purín de vacuno con DMPP y DCD (Fangueiro et al. 2009).

1.11.2.7 DMPP Y RENDIMIENTO

Los fertilizantes con DMPP, en términos generales, pueden contribuir a una mejora general de los rendimientos de los cultivos (Pasda et al. 2001); (Zerulla et al.

2001), aunque, según (Gutser 1999, citado por Linzmeier et al. 2001), el incremento de rendimientos al aplicar DMPP, depende del cultivo.

En fertirrigación con aportes de un 25% menos de Nitrógeno en el tratamiento con DMPP (Casar et al. 2006) obtuvieron mayor producción comparado con los tratamientos sin DMPP, lo que concuerda con los resultados obtenidos por (Rodríguez et al 2003).

Sin embargo, en cítricos de 8 años fertirrigados (Quiñones et al. 2005), no se produjeron diferencias significativas ni en la producción ni en la calidad de los frutos tratados con N+DMPP, frente al SA, aunque posteriormente aumentó el número de frutos en árboles tratados con DMPP+SA frente al testigo; resultados similares a los obtenidos por (Bañuls et al. 2002); (Serna et al. 1996); (Serna et al. 1992).

La obtención de una buena producción y una calidad adecuada de la fruta implica, entre otros muchos factores, una correcta disponibilidad de Nitrógeno en el suelo. El tratamiento con DMPP en pera Conferencia mejoró los rendimientos aunque no fueron estadísticamente diferentes (Carbó et al. 2002).

La aplicación de DMPP con diversos fertilizantes nitrogenados en cultivo de trigo blando ha producido resultados variables (Pérez et al 2009); (Muñoz-Guerra et al 2006). Así, en suelo franco-arenosos no se produjeron diferencias significativas de la producción (Ventimiglia et al 2009), mientras que en trigo abonado con DMPP en presembrado se obtuvieron mayores producciones (Muñoz et al 2006); (Frenay 1997); en trigo cultivado en la Pampa Argentina la producción fue mayor cuando se añadió DMPP al SA, comparado con la urea y el MAP (Ventimiglia & Carta 2002).

Aportaciones de DCD ó DMPP, añadido a urea o NSA, en cultivo de maíz en condiciones mediterráneas, no aumentaron la producción de maíz con relación al control con SA (Diez et al. 2010); (Diez et al 2008). Resultados similares obtuvieron (Muñoz-Guerra et al. 2006).

La aportación de DCD y DMPP en pastos del Norte de Portugal, en dos años consecutivos, solo mejoró las producciones en el primer año al aplicarlo en maíz de siembra con laboreo del suelo, en condiciones de estrés hídrico. Sin embargo, estos resultados no se repitieron en siembra directa, ni al año siguiente en siembra convencional. Aplicados con purín inyectado o en banda, se obtuvieron menores producciones, difíciles de explicar (Baez et al. 2004).

El DMPP aplicado en praderas después de aportar NSA y purín de vaca aumentó la producción, el contenido y la extracción de N de la pradera comparado con el NSA solo. Sin embargo, cuando se aplicó junto con el purín no se observaron diferencias significativas en la producción (Merino et al. 2005).

El suministro a *Lolium spp* cultivado en maceta, de DMPP+ ASN (en una aplicación) y urea en dos aplicaciones, en condiciones de sombra, produjo más materia seca en el tratamiento con DMPP (Molina & Blu 2006).

La utilización de fertilizantes con DMPP, en patata con igual dosis de N, aumentó el rendimiento bruto y económico respecto de la fertilización convencional (Casar et al. 2006). En brócoli, sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas en la producción, entre los tratamientos con DMPP y sin él (Muñoz-Guerra et al. 2004).

En menta x piperita, se produjeron mayores rendimientos en aceite esencial aplicando 300 kg/ha de N con DMPP, frente al tratamiento con urea o nitrato potásico sin DMPP (Berti et al. 2008).

En cultivo de aguacate, (Gardiazabal et al. 2007), comprobaron que con una reducción del 25% del aporte de Nitrógeno con DMPP, se obtenían rendimientos similares a los conseguidos con urea convencional. Sin embargo, aportes similares de N, produjeron un mayor crecimiento en el tratamiento con DMPP y una reducción de cosecha.

La aplicación de DMPP con purín, no supone un incremento de producción con diferencias significativas respecto a los tratamientos sin DMPP, pero marcan una tendencia. Así, (Carrasco & Villar 2001b) comprobaron que con una aplicación de purín con DMPP, en trigo Anza, antes de la siembra, obtenían rendimientos similares a los tratamientos en los que se aplicaban coberteras. Resultados semejantes en cuanto a rendimientos en cultivo de trigo blando y maíz, obtuvo (Guillaumes 2008) durante cuatro y dos campañas respectivamente.

1.11.2.8 DMPP Y CALIDAD DE LOS PRODUCTOS VEGETALES

El contenido en proteína del trigo está muy condicionado por la dosis de Nitrógeno, su fraccionamiento y su disponibilidad en el último tramo del cultivo (Muñoz-Guerra et al. 2006). En cultivo de trigo se obtuvieron mejoras estadísticamente significativas al comparar fertilizantes con DMPP con fertilizantes convencionales (Carrasco & Villar 2001a); resultados similares se dieron en la Pampa argentina debido probablemente a la aportación de azufre (Ventimiglia & Carta 2002). En cebada, sin embargo, no se repitieron estos resultados en ensayos llevados a cabo en Castilla-León (Muñoz-Guerra et al. 2006).

(Davies & Williams 1995) fertirrigaron manzana Galaxy con DMPP y sin él y comprobaron que el testigo presentaba mayor superficie coloreada, mayor firmeza y acidez y menor índice de almidón, lo que indicaría una ralentización de la maduración. Sin embargo, no hubo diferencias entre los árboles fertilizados.

Melocotones Maybell, fertirrigados con abonos convencionales, SA + DMPP + Nitrato potásico, SA + DMPP + sulfato de potasa y SA + DMPP (con un 25% menos de N) presentaron mayor dureza con los abonos convencionales; sin embargo, el fertilizante convencional presentó un menor contenido en sólidos solubles, lo que indicaría que probablemente no había alcanzado el estado de madurez adecuado cuando se recolectó (Villarrubia 2010). Los calibres de los frutos y la productividad/cm² no presentaron diferencias destacables.

Cítricos fertilizados con DMPP no presentaron diferencias significativas en los parámetros de calidad (Bañuls et al. 2002); datos coincidentes con los obtenidos por (Quiñones et al. 2009) donde la acidez y el índice de madurez no se vieron afectados, aunque sí se produjo un mayor espesor de la cáscara del fruto, un menor porcentaje de zumo en los árboles tratados con DMPP, probablemente debido a una mayor concentración de N en la hoja y un índice de color más bajo aunque pudo deberse a un retraso en la coloración (Bañuls et al. 2002); (Serna et al. 1996) o en la degradación de la clorofila promovida por el ion NH₄⁺ (Huff 1993, citado por Quiñones et al. 2009).

En ensayo realizado en cultivo de brócoli (Muñoz-Guerra et al. 2004), se observa que no hay diferencias de color ni de calibre.

La adición de DMPP en patata mejoró la calidad del tubérculo, en sus contenidos de almidón y redujo la concentración de nitratos, aunque en este caso hubo gran variabilidad (Casar et al. 2006).

1.11.2.9 DMPP Y EMISIONES GASEOSAS

Las emisiones mundiales de N₂O procedentes de la agricultura se estiman en 3,5 millones de tm, de las cuales, 1,5 se atribuyen directamente a los abonos sintéticos (Smith 1997, citado por Azam et al. 2001); (Watson et al 1992 citados por Singh et al. 2008). En la cumbre del Protocolo de Kyoto de 1990, se calculó que había 1.406.153 de tm de N en los excrementos depositados en los suelos por los animales de pastoreo. En 2010, ésta cifra aumentó en más de 500.000 t (Kelliher et al. 2008).

La aplicación de inhibidores contribuye a reducir las emisiones de N₂O y NOx (Bronson et al. 1992); (Delgado & Mosier 1996). La capacidad del DMPP para reducir las emisiones está relacionada con el pH, el carbono orgánico y el estado del N del suelo (Suter et al. 2010b).

La utilización de DMPP en la fertilización de cereal, reduce en un 20% las emisiones de N₂O (Linzmeier et al. 2001). En suelos cultivados en Alemania con trigo, cebada y maíz, durante 3 años (Weiske et al. 2001), comprobaron que se reducían las emisiones de N₂O entre un 41 y 53% en la fertilización con SA y NA tratados con DMPP,

frente al testigo; al mismo tiempo aumentaba la cantidad de metano capturado por el suelo.

Notables reducciones de las emisiones de N_2O obtuvieron (Belastegui et al. 2002), cuando aplicaron purines de vaca (-61%) o fertilizantes minerales (-58%) con DMPP, coincidiendo con los resultados obtenidos por (Estavillo et al 2010). El DMPP añadido tras la aplicación de NSA y purín de vaca, redujo las emisiones de N_2O entre un 25 y un 45%, sin producir un aumento significativo de las emisiones de NH_3 (Merino et al. 2004); (Muñoz-Guerra & Carrasco 2003). La aplicación de estiércoles líquidos con DMPP (2 kg/ha de m.a.), también redujo las emisiones de N_2O en un 32% comparado con la inyección de estos estiércoles sin DMPP (Ditter et al. 2001).

Diversos autores han comprobado cómo las aplicaciones de DMPP, reducen las emisiones de N_2O en pastizales (Macadam et al 2003); (Muñoz-Guerra & Carrasco 2003); en arroz (Zerulla et al 2000); (Majumdar et al 2000) y en cultivos de regadío (Linzmeier et al. 2001); (Delgado & Mosier 1996).

Sin embargo (Menéndez et al. 2006), en praderas intensivas no obtuvieron resultados significativos de reducción de N_2O , pero sí de NO .

La aplicación de DMPP (incluso 14 veces la dosis habitual) no afecta ni a la nitrato reductasa ni a la N_2O reductasa, lo que indicaría que las reducciones de las emisiones de N_2O y CO_2 obtenidas en condiciones de campo (Weiske et al. 2001), no se deben a fenómenos de desnitrificación (Müller et al. 2002). En un ensayo realizado por (Ditter et al 2001) comprobaron que las mayores emisiones se produjeron en las “zanjas” abiertas para la inyección, independientemente del tipo de fertilizante aplicado. DMPP y NP redujeron las emisiones de N_2O en más de un 80% comparado con el control (Chen et al. 2010). Superando a las mencionadas por (Weiske et al, 2001); (Merino et al. 2005) y comparables a las obtenidas por (Cameron 2004) en Nueva Zelanda.

En arroz a los 14 días de la siembra, se registraron emisiones de N_2O , tanto por nitrificación como por desnitrificación sin que hubiera diferencias entre tratamientos. Sin embargo, el N_2O procedente de la nitrificación fue menor en los tratamientos con DMPP; pasados 35 días y al final del cultivo, el N_2O emitido procedía de la desnitrificación en todos los tratamientos (Dominguez et al. 2007)

(Hauck en 1990, citado por Chaves et al. 2005) advirtió que el uso de N podría aumentar las emisiones de amoníaco por volatilización. La incorporación al suelo de los fertilizantes y de los residuos de cosechas, junto con un pH inferior a 7, reducen este riesgo (Chaves et al. 2005).

El DMPP estimula aparentemente la oxidación del CH_4 en las parcelas fertilizadas frente a las no fertilizadas (Weiske et al. 2001), lo que reduciría las emisiones de metano a la atmósfera (Zaman et al. 2009) al favorecerse los fenómenos metanotrópicos frente a

los metanogénicos que se producen en anaerobiosis (Müller et al. 2002). También parece que se reducen las emisiones de CO₂ al añadir DCD ó DMPP al NSA y NA en cultivos de cereal (Weiske et al. 2001).

Las emisiones de N₂O procedentes de urea sin inhibidores aumentan significativamente con la temperatura y la humedad y no son constantes para las diversas temperaturas y humedades (Chen et al. 2010).

La aplicación de DCD y DMPP a estiércol de vacuno, en sus distintas fracciones, no afectó significativamente a las emisiones de CH₄, CO₂, ni N₂O, pero si a las de NO (Pereira et al. 2010). Resultados similares obtuvieron (Menéndez et al. 2006).

1.11.2.10 DMPP Y TOXICIDAD

Existen evidencias de que la aplicación de algunos IN puede producir fitotoxicidad en las hojas de las plantas con determinadas condiciones climáticas (Belastegui et al. 2003); (Bremner 1995); (Prasad & Power 1995); sin embargo, las ventajas ambientales y los beneficios económicos que aportan parecen superar los efectos negativos en el corto plazo (Singh et al. 2008).

1.11.3 INHIBIDORES DE LA UREASA

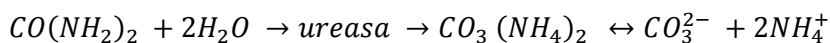
La urea es el fertilizante nitrogenado más consumido en el mundo, especialmente en los trópicos (Trenkel 1997). El liderazgo se debe fundamentalmente a su menor coste por unidad de N, como consecuencia del proceso de obtención y a su buena solubilidad. Sin embargo, con la urea se pueden producir pérdidas por volatilización de hasta el 50% del N, (Cai et al 2002, Harrison & Webb 2001, citados por Kawahami et al. s. f.).

Aplicada al suelo, la urea sufre una hidrólisis enzimática, catalizada por una metaloenzima dependiente del níquel (Artola et al. 2007), *la ureasa*, que es una proteína ampliamente distribuida en bacterias, hongos y plantas (Longo & Melo 2005) cuya actividad es más importante en los residuos de cosechas y en la parte superficial de los suelos (I.N.T.A). La bacteria *Micrococcus urea*, muy abundante en los suelos agrícolas, posee la enzima ureasa (Urbano 1999), que transforma con relativa rapidez la urea en NH₃ y CO₂. Cuanto más rápida es la hidrólisis de la urea, más alta es la concentración de NH₃ (Torello y Wehner 1983 citados por Aguilar 2009).

Los inhibidores de la ureasa (IU) retrasan durante cierto tiempo la transformación del Nitrógeno amídico en amoniacal, reduciendo las pérdidas por volatilización de NH₃ y después las pérdidas por lixiviación y desnitrificación (Urbano 1999). Los IU, retrasan la hidrólisis de la urea (Bremner et al. 1991); (Watson et al. 1994), pero tienen poco impacto sobre la nitrificación (Bremner et al. 1986) y (Bundi & Bremner 1976, citados por Singh et al. 2008). También reducen las pérdidas de amoníaco, especialmente en la zona superficial y en cultivos con mínimo laboreo cuando la urea es

la fuente principal de Nitrógeno (Wang 1996); (Bayrakli & Gezgin 1996), citados por Trenkel 1997).

La reacción de equilibrio que se produce es:



Este proceso de amonificación también libera iones OH^- , produciendo un incremento de pH alrededor de los gránulos de urea, variando el equilibrio ($NH_3 - NH_4^+$) en el suelo y favoreciendo el potencial de volatilización (Overrein & Moe 1967).

Los factores que influyen en la volatilización son: el suelo (Carmona et al. 1990), el clima y la forma de aplicar la urea (Bouwmeester et al. 1985). Los suelos de pH alcalinos volatilizan más NH_3 que los suelos con pH moderadamente ácidos (Singh et al. 2008); aunque en suelos ácidos, el período de inhibición de la hidrólisis de la urea se reduce (Sainz et al. 1997). Los suelos con más arcilla, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, producen menor volatilización (Alkanani et al. 1991). Una baja humedad del suelo en el momento de la aplicación, limita la disolución e hidrólisis de la urea, reduciendo posteriormente la volatilización del N (Vlek & Carter 1983); así en condiciones de extrema sequedad del suelo se produce una menor pérdida por volatilización (Bouwmeester et al. 1985).

La eficacia del IU está influida por la temperatura y el tipo del suelo (Chen et al. 2010) ; (Palma & Conti 1990). Además existe una correlación positiva entre la actividad de la ureasa, el carbono y el Nitrógeno del suelo (Deng & Tabatabai 1996).

Una ventaja de los inhibidores de la ureasa es que reducen los daños sobre las plántulas cuando la urea está muy próxima a la planta o en dosis excesiva (Grant et al. 1996); (Xiaobin et al. 1994) y son una herramienta válida para reducir las pérdidas de N (Sainz et al. 1997), debido a que disminuyen la velocidad de hidrólisis de la urea.

Una clara diferencia entre los mecanismos de actuación de los inhibidores de la ureasa es que disminuyen la concentración de NH_4^+ en el suelo, mientras que los IN la aumentan y reducen la de NO_3^- (Singh et al. 2008).

Numerosos productos se han ensayado durante los últimos 40 años para inhibir la actividad de la ureasa en el suelo. Entre ellos, se han estudiado: compuestos inorgánicos: metales y diversas sales; compuestos orgánicos: derivados del mercurio, formaldehído, hexamethylenetetraminas, derivados de la urea, ditiocarbamatos, xantatos, ácidos hidroxámicos, hidracida maleica, sulfuros heterocíclicos, fenoles, thiopiridinas, nitroanilidas, fosforoamidas; antimetabolitos y productos naturales: carbón, sustancias húmicas, ligninas, taninos, extractos y residuos de plantas; productos microbianos y combinaciones de los anteriores (Kiss & Simihâian 2002).

Dos grupos han adquirido relevancia en los últimos años: los ácidos hidroxámicos y las phosphorodiamidatas sintéticas.

Las phosphorodiamidatas sintéticas pueden ser utilizadas con éxito para inhibir la actividad de la ureasa de las bacterias ureolíticas en el suelo (Bremner et al. 1986); (Rao & Ghai 1986); (Kobashi et al. 1985); (Liao & Raines 1985).

1.11.3.1 NBPT

El NBPT es el compuesto más efectivo en el control de la hidrólisis de la urea, especialmente su forma oxidada (NBPTO) (Artola et al. 2007). Su aplicación en agricultura reduce las pérdidas de Nitrógeno por volatilización de amoníaco, aumentando así la eficiencia del fertilizante (Barth 2009); (Cantarella et al. 2008); (Artola et al. 2007).

La sustancia denominada, N-(n-butil) triamida tiofosforica (NBPT) o también (NBTP) es el único inhibidor de la ureasa disponible comercialmente y autorizado por el Reglamento CE 1107/2008 en Europa, y desde 1996 en EE.UU. Se ha ensayado con éxito en trigo, maíz, arroz y pastizales (Landels 2010); (Melgar 2005)

La forma de aplicación recomendada es en superficie antes de efectuar la siembra.

1.11.4 INHIBIDORES NATURALES

Existen productos naturales como el Neem y algunos compuestos metálicos, con estructura análoga a la urea que se han mostrado eficaces como inhibidores de la nitrificación (Chen 2008).

El tipo de vegetación, también puede influir sobre la actividad de las bacterias nitrificantes. Un ejemplo de ello, es la gramínea *Hyparrhenia* de la sabana de Rodhesia que inhibe el crecimiento de las bacterias nitrificantes (Haynes & Goh 1978). Otras gramíneas tropicales como *Brachiaria humidicola* (Singh et al. 2008) intervienen en el proceso de nitrificación, al producir agentes químicos que inhiben la nitrificación en el suelo (Subbarao et al, citados por Fillery 2007).

Algunos ácidos, glucósidos fenólicos y taninos de varias especies de plantas tienen efectos inhibidores de la nitrificación a dosis bajas. Un ejemplo de ello es el ácido digálico, (Haynes & Goh 1978).

El recubrimiento de urea con aceite de *Mentha spicata*, *Artimisia annua* y dementholized (DMO) produjo más biomasa y aceite esencial de *Mentha annua* en cultivo en la India, que DCD+ urea, o urea sola (Kiran & Patra 2003).

La aplicación de combinaciones de urea con extracto alcohólico de Neem, con aceite esencial de *Mentha spicata* o con DCD, produjeron un incremento de la producción de materia vegetal, de aceite esencial y de la concentración de N en hoja (Patra et al. 2002), además de una reducción en la formación de nitrato (Sharma & Prasad 1995). Sin embargo, la aplicación de extractos de *Melia* y de Neem mezclados con el suelo (Toselli

et al. 2010); (Bains et al 1971, citados por Slangen & Kerkhoff 1984) no dieron los resultados esperados respecto al retardo de la nitrificación.

También se conocen las propiedades como inhibidor de: *Pongamia glabra*, conocido como karanja, (Shattock et al 1963 citados por Slangen & Kerkhoff 1984) y de *Madhuca longifolia* (Mahua), (Bains et al 1971, citados por Slangen & Kerkhoff 1984), aunque los resultados no siempre son satisfactorios.

1.11.5 INHIBIDORES NO ESPECÍFICOS

La mayoría de fitosanitarios no han tenido un buen efecto inhibidor, aunque actuasen retrasando la nitrificación (Slangen & Kerkhoff 1984). Algunos herbicidas, insecticidas y fungicidas actúan sobre la nitrificación (Singh et al. 2008), y sobre la actividad de la ureasa destacando en este caso los fungicidas, entre ellos el mancozeb (Bremner 1995).

2 OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la influencia que la aplicación del inhibidor de la nitrificación 3,4 DIMETILPIRAZOLFOSFATO (DMPP) tiene en el cultivo del melocotonero, variedad 'Miraflores' en la comarca de Valdejalón.

Se pretende evaluar:

- La incidencia en la producción.
- La influencia sobre los parámetros que determinan la calidad del fruto.
- Y la repercusión que tiene su aplicación sobre la concentración de nitrato en los lixiviados.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

3.1.1 ENSAYO DE CAMPO DEL DMPP CON MELOCOTONEROS ADULTOS

La parcela nº 71 del polígono 26, se encuentra en el término municipal de Calatorao, entre la Autovía A-2 y la carretera autonómica A-1304, que une la autovía con Calatorao. La superficie es de 1,35 hectáreas, con una pendiente media del 3,6%.

La explotación de los Hnos. Fernández Heredia tiene alrededor de esta parcela, 8 hectáreas de melocotón Miraflores, Andross y nectarina Venus y Diamond Red.

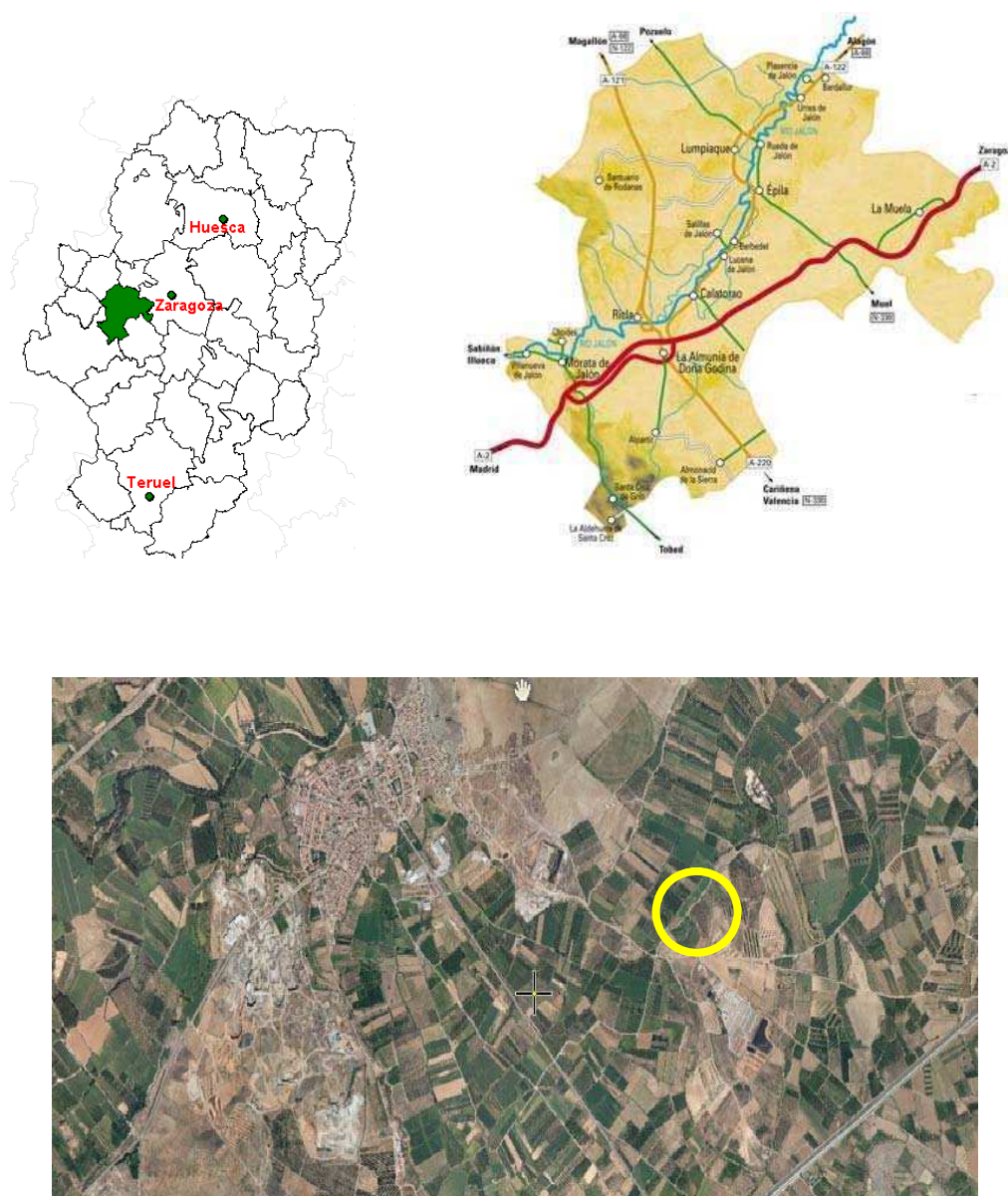


Figura 38. Situación de la parcela. Al este de Calatorao

Coordenadas geográficas:

- Latitud: 41° 31' 11,31" N
- Longitud -1° 18' 59,81 W



Figura 39. Vista de la parcela. El ensayo se localiza en el interior de la zona amarilla.

Coordenadas U.T.M.:

X: 640454,54

Y: 4597891,27

HUSO: 30

Zona amarilla de la (Figura 39): ensayo de DMPP

Esta zona, ubicada en la comarca de Valdejalón, se caracteriza por presentar un clima mediterráneo continentalizado bien definido, con suelos de marcado carácter fluvéntico y con presencia abundante de yeso y carbonato cálcico.

Se trata de lugares áridos, mediterráneo continentalizados, con influencia notable del viento del NW “Cierzo”. Las precipitaciones medias son de aproximadamente 350 mm distribuidos estacionalmente con máximos en primavera y otoño. Los veranos son secos, que junto con las elevadas temperaturas, favorecen la existencia de un prolongado periodo de estrés hídrico (de junio a octubre).

La continentalidad da lugar a fuertes contrastes entre los calores estivales y las bajas temperaturas invernales. La isoterma media anual se sitúa en los 13-15°C. En cuanto a las temperaturas mínimas, se puede observar que, en determinados periodos, pueden bajar de los 5°C, registrándose los valores más extremos en diciembre y enero. Las medias máximas del verano superan los 30°C, siendo los meses más cálidos junio, julio y agosto, en los que se pueden registrar máximas absolutas superiores a los 40°C.

En cuanto a los vientos cabe señalar la incidencia del *Cierzo* sobre las áreas de cultivo, un fuerte viento, generalmente racheado que sopla del noroeste o del oeste noroeste, es decir, siguiendo la dirección del valle aguas abajo del río, que se forma debido a la diferencia de presión entre el mar Cantábrico y el Mediterráneo, cuando se forma una borrasca en este último y un anticiclón en el anterior. La frecuencia con que sopla el cierzo en el centro del valle es del 40 % y su velocidad media, 30 km/hora. El cierzo con velocidad superior a 60 km/hora se presenta en Zaragoza con una frecuencia del 2 %. Se puede presentar en cualquier mes del año, aunque es más frecuente en invierno y comienzos de la primavera. En el centro del valle pueden darse ráfagas de 100 km/h. La máxima observada, según los datos disponibles, es de 160 km/h en julio de 1.954 (Anónimo 2003a).

3.1.2 ENSAYO EN MACETA.

Los melocotoneros cultivados en macetas de 5 litros, están regados por un sistema de riego localizado con circuito cerrado, con tubería de 16 mm, y goteros autocompensantes de 4 l/hora.

Las macetas se instalaron en un jardín de la Eupla, en La Almunia de Doña Godina, dado que no fue posible ajustar el riego en la parcela objeto del ensayo. Cada maceta se colocó en el interior de un cubo de 20 litros para recoger los lixiviados. Dentro del cubo se pusieron unos soportes con objeto de elevar la base de la maceta para evitar problemas de asfixia radicular. Todos los cubos se envolvieron en bolsas de P.E. blanco, para reflejar la luz y evitar el calentamiento de la base.

En dos de las macetas se colocaron dos tensiómetros de 15 cm, con objeto de controlar el riego.

Las macetas se colocaron formando un círculo.

Los condicionantes climáticos de La Almunia son muy similares a los mencionados de Calatorao.

Tabla 18. Distribución del riego en las macetas

RIEGO MACETAS 2010				
DÍA INICIO	DÍA FIN	MES	TIEMPO en m.	L/MACETA
10	21	ABRIL	3	0,20
22	25	ABRIL	1,5	0,10
26	30	ABRIL	7,5	0,50
31	3	MAYO	3	0,20
4	21	MAYO	6	0,40
22	2	MAY/JUN	9	0,60
2	5	JUNIO	9	0,60
5	6	JUNIO	9	0,60

7	7	JUNIO	19	1,27
8	24	JUNIO	10	0,67
24	27	JUNIO	3	0,20
27	30	JUNIO	10	0,67
1	1	JULIO	20	1,33
2	6	JULIO	10	0,67
7	8	JULIO	25	1,67
9	11	JULIO	20	1,33
12	13	JULIO	30	2,00
14	24	JULIO	30	2,00
25	29	JULIO	20	1,33
30	30	JULIO	30	2,00
1	4	AGOSTO	10	0,67
5	8	AGOSTO	20	1,33
9	20	AGOSTO	20	1,33
21	29	AGOSTO	10	0,67

Las extracciones de caldo se hicieron con intervalos de 2-3 semanas.

3.2 MATERIAL VEGETAL

3.2.1 ENSAYO DE CAMPO

Los melocotoneros del ensayo de campo se plantaron en febrero de 1999. Eran plántones de un año de la variedad Miraflores, injertada sobre el patrón GF-677.

Los árboles están formados en vaso, con tres ramas principales y dos pisos por rama principal. El marco de plantación es de 5 x 3,25 m.

3.2.2 ENSAYO EN MACETA

En el año 2009, se plantaron en maceta melocotoneros Miraflores de un año, injertados sobre patrón GF 677. Se han formado en eje libre.

Este ensayo consta de 36 melocotoneros (6 tratamientos x 6 repeticiones)

3.3 PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LA PLANTACIÓN

El número de plagas y enfermedades citadas en el cultivo del melocotonero es amplio. (Badía & Mitjana 1986), citan las siguientes plagas y enfermedades: anarsia, araña roja, mosca de la fruta, noctuides, piojo de S. José, pulgón verde, polilla oriental; abolladura, cribado, fusicoccum, monilia, oidio, moteado, podredumbre de cuello y raíces, mal de plomo, enfermedad del plomo parasitaria y no parasitaria; nematodos y diversas fisiopatías.

En la plantación, los problemas patológicos más significativos, que han requerido reiterados tratamientos han sido: oidio, pulgón, polilla oriental y en menor medida cribado

y uno de los 4 años mosca del mediterráneo. 2010 ha sido un año de abundante pulgón verde y oidio en brote.

3.4 PLANTEAMIENTO DEL ENSAYO

3.4.1 PLANIFICACION DEL ENSAYO

3.4.1.1 CAMPO

Se establecieron 6 tratamientos, con los productos mencionados en las tablas nº 1, con 6 repeticiones, repartidas al azar a lo largo de 6 filas de melocotoneros, con parcelas elementales de 3 árboles; en el árbol central de cada parcela se controlaron diversos parámetros que posteriormente serán detallados. En las 6 líneas elegidas hay una gran homogeneidad entre plantas y la pendiente es muy ligera.

En el laboratorio se pesaron las cantidades de fertilizante sólido de cada tratamiento, haciendo una aplicación semanal. La disolución de cada tratamiento se preparaba disolviendo el fertilizante en 6 garrafas (1 por tratamiento) que contenían 36 l. de agua. El fertilizante que contenía el inhibidor (amoniacales) (21.0.0) se disolvía en las garrafas de los tratamientos T1, T2 y T3 en las proporciones correspondientes (cuadros de fertilización del documento). Después se añadían el resto de fertilizantes de cada tratamiento (ac. Fosfórico y Sulfato de potasa en todos los tratamientos y ácido Nítrico (en los Ttos. 3,4 y 5) y se agitaba. A continuación a cada uno de los tres árboles de cada repetición y tratamiento, se les aplicaba la disolución bajo el gotero: 1 l/gotero x 2 got/árbol x 18 árboles = 36 litros. Se comenzaba siempre por el central. Y se utilizaban jarras de 1 l. graduadas

La distribución de los fertilizantes se ha hecho de acuerdo con los cuadros que se detallan a continuación, con un máximo de la curva en primavera para ir descendiendo a medida que se acercaba la recolección.

3.4.1.2 MACETAS

En 2009 y 2010, se aplicaron 25 mL de la disolución de cada tratamiento a cada una de las macetas de las 6 repeticiones del tratamiento.

Posteriormente, se recogía una muestra de los lixiviados, y se retiraba el resto.

Las muestras fueron analizadas con Nitrachek (Merck)

3.4.2 PLAN DE FERTILIZACIÓN

A continuación se presentan los cuadros de fertilización llevados a cabo durante los 4 años del ensayo.

El diseño experimental final queda como se indica en la figura:

- Tres primeras filas de bordura.
- En el Sur, los tres primeros árboles de cada fila forman la bordura. Al Norte hay entre 5 y 6 árboles que forman la bordura.

Nº de fila					
1	2	3	4	5	6
2	1	4	4	5	0
2	1	4	4	5	0
2	1	4	4	5	0
1	2	3	3	0	1
1	2	3	3	0	1
1	2	3	3	0	1
4	0	1	2	3	5
4	0	1	2	3	5
4	0	1	2	3	5
5	3	0	1	2	4
5	3	0	1	2	4
5	3	0	1	2	4
3	5	5	0	4	2
3	5	5	0	4	2
3	5	5	0	4	2
0	4	2	5	1	3
0	4	2	5	1	3
0	4	2	5	1	3

0	NARANJA	
1	AZUL CLARO	
2	VERDE	
3	AMARILLO	
4	AZUL	
5	ROJO	

T0

CONTROL: Ac. Fosfórico (0-64-0), Sulfato potásico (0-0-50).

T1

100% AMONIO: ES 21, Ac. Fosfórico, Sulfato potásico.

T2

75% AMONIO-25% NITRATO: ES 21, Ac. Fosfórico (0-64-0), Nitrato potásico (13-0-46), Sulfato potásico (0-0-50).

T3

50% AMONIO-50% NITRATO: ES 20-5-10, Ac. Fosfórico (0-64-0), Nitrato potásico (13-0-46), Sulfato potásico (0-0-50).

T4

25% AMONIO-75% NITRATO: ES 21, Ac. Fosfórico (0-64-0), Nitrato potásico (13-0-46), Ac. Nítrico (33)

T5

100% NITRATO: Ac. Fosfórico (0-64-0), Nitrato potásico (13-0-46), Ac. Nítrico (33)

					Tratamiento 1			Tratamiento 2				Tratamiento 3			
		Aportes de Nutrientes Habituales			100% amonio			75% amon - 25% nit				50% amon - 50% nit			
Mes	Semana	N	P2O5	K2O	ES21	Ac.Fos	Sul.Pot	ES21	Ac.Fos	Nit.Pot	Sul.Pot	ES	Ac.Fos	Nit.Pot	Sul.Pot
								21-0-0	0-64-0	13-0-46	0-0-50	20-5-10	0-64-0	13-0-46	0-0-50
abril	4 ^a	10	3,5	20	48	2,9	40	36	2,9	19	22	35	2,9	25	10
mayo	1 ^a	10	3,5	20	48	2,9	40	36	2,9	19	22	35	2,9	25	10
	2 ^a	10	3,5	20	48	2,9	40	36	2,9	19	22	35	2,9	25	10
	3 ^a	7	3,5	18	33	2,9	36	25	2,9	13	24	25	2,9	17	15
	4 ^a	7	3,5	18	33	2,9	36	25	2,9	13	24	25	2,9	17	15
junio	1 ^a	4	2	10	19	1,7	20	14	1,7	8	13	14	1,7	10	8
	2 ^a	4	2	10	19	1,7	20	14	1,7	8	13	14	1,7	10	8
	3 ^a	4	2	10	19	1,7	20	14	1,7	8	13	14	1,7	10	8
	4 ^a	4	2	10	19	1,7	20	14	1,7	8	13	14	1,7	10	8
julio	1 ^a	3	1,5	7,75	14	1,2	16	11	1,2	6	10	11	1,2	7	7
	2 ^a	3	1,5	7,75	14	1,2	16	11	1,2	6	10	11	1,2	7	7
	3 ^a	3	1,5	7,75	14	1,2	16	11	1,2	6	10	11	1,2	7	7
	4 ^a	3	1,5	7,75	14	1,2	16	11	1,2	6	10	11	1,2	7	7
agosto	1 ^a	1,5	1	4	7	0,8	8	5	0,8	3	5	5	0,8	4	4
	2 ^a	1,5	1	4	7	0,8	8	5	0,8	3	5	5	0,8	4	4
	3 ^a	1,5	1	4	7	0,8	8	5	0,8	3	5	5	0,8	4	4
	4 ^a	1,5	1	4	7	0,8	8	5	0,8	3	5	5	0,8	4	4
septiembre	1 ^a	1,5	1	4	7	0,8	8	5	0,8	3	5	5	0,8	4	4
	2 ^a	1,5	1	4	7	0,8	8	5	0,8	3	5	5	0,8	4	4
	3 ^a	1,5	1	4	7	0,8	8	5	0,8	3	5	5	0,8	4	4
	4 ^a	1,5	1	4	7	0,8	8	5	0,8	3	5	5	0,8	4	4
		84	39,5	199	400	32,7	398,0	300	33	162	249	296	33	209	146

Tratamiento 4								Tratamiento 5								Tratamiento 0	
25% amonio - 75% nitrato								100% nitrato								Control	
ES 21	Ac.Fos	Nit.Pot	Ac.Nítrico					ES 21	Ac.Fos	Nit.Pot	Ac.Nítrico					Ac.Fos	Sul.Pot
21-0-0	0-64-0	13-0-46	13,5	amonio	nitrato	%amonio	%nitrato	21-0-0	0-64-0	13-0-46	13,5	amonio	nitrato	%amonio	%nitrato	0-64-0	0-0-50
12	2,9	43	10	2,5	7,0	26,2	73,8	0	2,9	43	24	0,0	8,9	0,0	100,0	2,9	80
12	2,9	43	10	2,5	6,7	27,2	72,8	0	2,9	43	24	0,0	8,9	0,0	100,0	2,9	80
12	2,9	43	10	2,5	6,7	27,2	72,8	0	2,9	43	24	0,0	8,9	0,0	100,0	2,9	80
8	2,9	39	1	1,8	5,2	25,3	74,7	0	2,9	39	11	0,0	6,5	0,0	100,0	2,9	72
8	2,9	39	1	1,8	5,1	25,6	74,4	0	2,9	39	11	0,0	6,5	0,0	100,0	2,9	72
5	1,7	22	1	1,0	2,8	26,1	73,9	0	1,7	22	7	0,0	3,7	0,0	100,0	1,7	40
5	1,7	22	1	1,0	2,8	26,1	73,9	0	1,7	22	7	0,0	3,7	0,0	100,0	1,7	40
5	1,7	22	1	1,0	2,8	26,1	73,9	0	1,7	22	7	0,0	3,7	0,0	100,0	1,7	40
5	1,7	22	1	1,0	2,8	26,1	73,9	0	1,7	22	7	0,0	3,7	0,0	100,0	1,7	40
4	1,2	17	0	0,8	2,2	25,5	74,5	0	1,2	17	4	0,0	2,8	0,0	100,0	1,2	31
4	1,2	17	0	0,8	2,2	25,5	74,5	0	1,2	17	4	0,0	2,8	0,0	100,0	1,2	31
4	1,2	17	0	0,8	2,2	25,5	74,5	0	1,2	17	4	0,0	2,8	0,0	100,0	1,2	31
4	1,2	17	0	0,8	2,2	25,5	74,5	0	1,2	17	4	0,0	2,8	0,0	100,0	1,2	31
2	0,8	9	0	0,4	1,1	24,9	75,1	0	0,8	9	2	0,0	1,4	0,0	100,0	0,8	16
2	0,8	9	0	0,4	1,1	24,9	75,1	0	0,8	9	2	0,0	1,4	0,0	100,0	0,8	16
2	0,8	9	0	0,4	1,1	24,9	75,1	0	0,8	9	2	0,0	1,4	0,0	100,0	0,8	16
2	0,8	9	0	0,4	1,1	24,9	75,1	0	0,8	9	2	0,0	1,4	0,0	100,0	0,8	16
2	0,8	9	0	0,4	1,1	24,9	75,1	0	0,8	9	2	0,0	1,4	0,0	100,0	0,8	16
2	0,8	9	0	0,4	1,1	24,9	75,1	0	0,8	9	2	0,0	1,4	0,0	100,0	0,8	16
2	0,8	9	0	0,4	1,1	24,9	75,1	0	0,8	9	2	0,0	1,4	0,0	100,0	0,8	16
2	0,8	9	0	0,4	1,1	24,9	75,1	0	0,8	9	2	0,0	1,4	0,0	100,0	0,8	16
100	33	433	38					0	33	433	154					33	796

		Gramos para los 18 árboles del tto.			Tratamiento 1			Tratamiento 2				Tratamiento 3			
		Aportes de Nutrientes Habituales			100% amonio			75% amon - 25% nit				50% amon - 50% nit			
Mes	Semana	N	P2O5	K2O	ES21	Ac.Fos	Sul.Pot	ES21	Ac.Fos	Nit.Pot	Sul.Pot	ES	Ac.Fos	Nit.Pot	Sul.Pot
								21-0-0	0-64-0	13-0-46	0-0-50	20-5-10	0-64-0	13-0-46	0-0-50
abril	4ª	10	3,5	20	1491	91	1252	1118	91	602	698	1102	91	780	314
mayo	1ª	10	3,5	20	1491	91	1252	1118	91	602	698	1102	91	780	314
	2ª	10	3,5	20	1491	91	1252	1118	91	602	698	1102	91	780	314
	3ª	7	3,5	20	1043	91	1127	783	91	421	739	772	91	546	470
	4ª	7	3,5	20	1043	91	1127	783	91	421	739	772	91	546	470
junio	1ª	4	2	12	596	52	626	447	52	241	405	441	52	312	251
	2ª	4	2	12	596	52	626	447	52	241	405	441	52	312	251
	3ª	4	2	12	596	52	626	447	52	241	405	441	52	312	251
	4ª	4	2	12	596	52	626	447	52	241	405	441	52	312	251
julio	1ª	3	1,5	9	447	39	485	335	39	181	319	331	39	234	204
	2ª	3	1,5	9	447	39	485	335	39	181	319	331	39	234	204
	3ª	3	1,5	9	447	39	485	335	39	181	319	331	39	234	204
	4ª	3	1,5	9	447	39	485	335	39	181	319	331	39	234	204
agosto	1ª	1,5	1	6	224	26	250	168	26	90	167	165	26	117	110
	2ª	1,5	1	6	224	26	250	168	26	90	167	165	26	117	110
	3ª	1,5	1	6	224	26	250	168	26	90	167	165	26	117	110
	4ª	1,5	1	6	224	26	250	168	26	90	167	165	26	117	110
septiembre	1ª	1,5	1	6	224	26	250	168	26	90	167	165	26	117	110
	2ª	1,5	1	6	224	26	250	168	26	90	167	165	26	117	110
	3ª	1,5	1	6	224	26	250	168	26	90	167	165	26	117	110
	4ª	1,5	1	6	224	26	250	168	26	90	167	165	26	117	110
		84	39,5	232	12522	1024,0	12459,1	9391	1024	5057	7807	9259	1024	6553	4579

Tratamiento 4								Tratamiento 5								Tratamiento 0	
25% amonio - 75% nitrato								100% nitrato								Control	
ES 21	Ac.Fos	Nit.Pot	Ac.Nítrico					ES 21	Ac.Fos	Nit.Pot	Ac.Nítrico					Ac.Fos	Sul.Pot
21-0-0	0-64-0	13-0-46	61	amonio	nitrato	%amonio	%nitrato	21-0-0	0-64-0	13-0-46	61	amonio	nitrato	%amonio	%nitrato	0-64-0	0-0-50
373	91	1361	321	78	220	821	2310	0	91	1361	756	0	279	0	3130	91	2504
373	91	1361	321	78	210	850	2280	0	91	1361	756	0	279	0	3130	91	2504
373	91	1361	321	78	210	850	2280	0	91	1361	756	0	279	0	3130	91	2504
261	91	1225	28	55	162	791	2340	0	91	1225	333	0	204	0	3130	91	2254
261	91	1225	28	55	160	800	2330	0	91	1225	333	0	204	0	3130	91	2254
149	52	681	30	31	89	816	2314	0	52	681	204	0	116	0	3130	52	1252
149	52	681	30	31	89	816	2314	0	52	681	204	0	116	0	3130	52	1252
149	52	681	30	31	89	816	2314	0	52	681	204	0	116	0	3130	52	1252
149	52	681	30	31	89	816	2314	0	52	681	204	0	116	0	3130	52	1252
112	39	527	10	23	69	798	2333	0	39	527	141	0	88	0	3130	39	970
112	39	527	10	23	69	798	2332	0	39	527	141	0	88	0	3130	39	970
112	39	527	10	23	69	798	2332	0	39	527	141	0	88	0	3130	39	970
112	39	527	10	23	69	798	2332	0	39	527	141	0	88	0	3130	39	970
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
56	26	272	-1	12	35	780	2351	0	26	272	64	0	44	0	3130	26	501
3130	1024	13543	1176					0	1024	13543	4828					1024	24918

3.4.3 DATOS CLIMÁTICOS

Se han obtenido los datos climáticos de la estación situada en Epila, perteneciente a la red del Gobierno de Aragón, gestionada por SIRASA y cuyos datos se publican en la web: <http://servicios.aragon.es/oresa/oresa.do>

La estación de Epila es la más próxima a la finca y sus datos son:

Altitud: 321 m.

Coordenadas UTM:

X: 643200

Y: 4604933

Huso: 30

3.4.3.1 TEMPERATURA

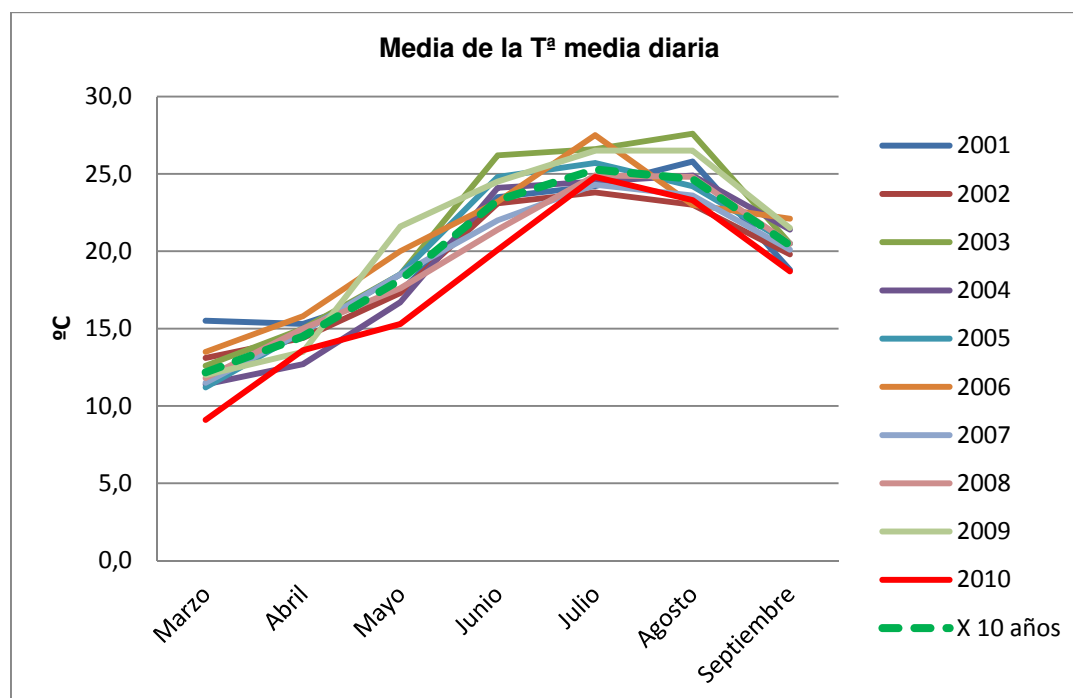


Figura 40. Temperatura media de las medias del período 2001-2010.

Como puede observarse en la (Figura 40), la temperatura media del año 2010 estuvo por debajo de la media de los últimos 10 años. Cabe destacar que 2009 fue el año más caluroso de los 4 del ensayo.

3.4.3.2 PRECIPITACIÓN

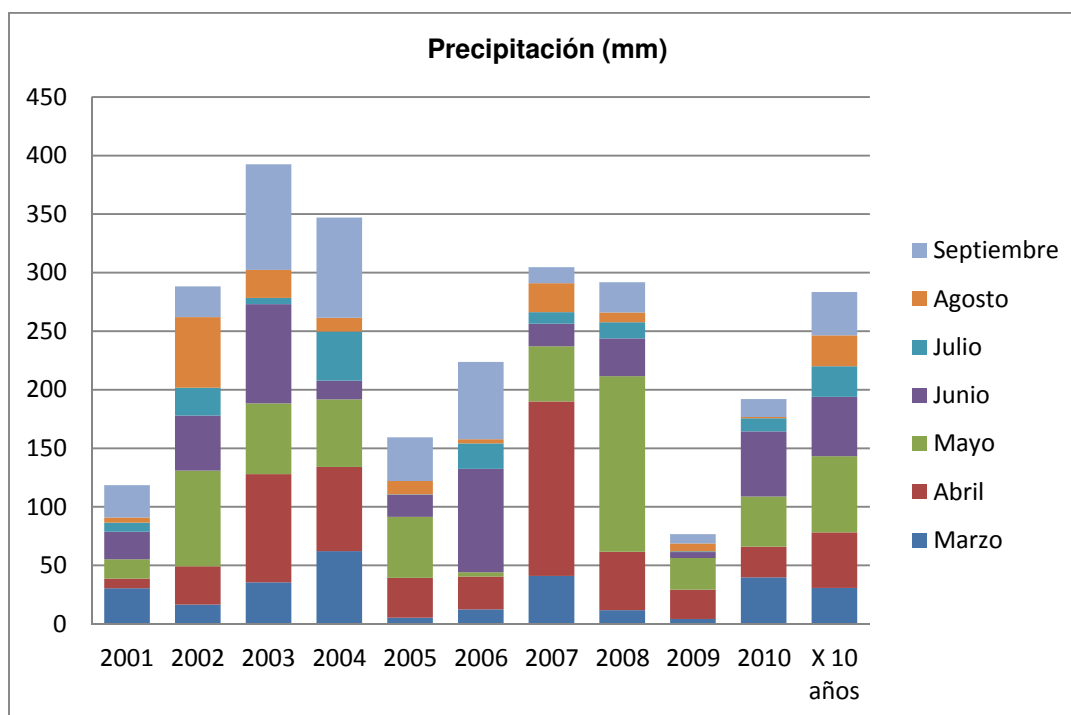


Figura 41. Datos de precipitaciones registradas en el período marzo a septiembre

En la (Figura 41), se observa la gran variabilidad de precipitaciones que se ha producido en los 4 años del ensayo, en el período de marzo a septiembre, destacando las bajas precipitaciones que se produjeron en 2009, que fue el año más caluroso de los cuatro.

En la (Tabla 19. Precipitaciones registradas en el año agrícola durante los 4 años del ensayo se observa que la precipitación del año agrícola ha estado por debajo de la media en tres de los cuatro años entre un 27% y 33%, siendo superada solo por el año 2006/07, y dando los valores más bajos en 2008/09, que además tuvo el verano más seco.

Tabla 19. Precipitaciones registradas en el año agrícola durante los 4 años del ensayo

	PRECIPITACIÓN AÑO AGRÍCOLA				
AÑO	2006_07	2007_08	2008_09	2009_10	Media anual
mm/año	486	319,4	308,9	335,4	460,7
Variación respecto de la media histórica	5	-31	-33	-27	

3.4.3.3 ETO

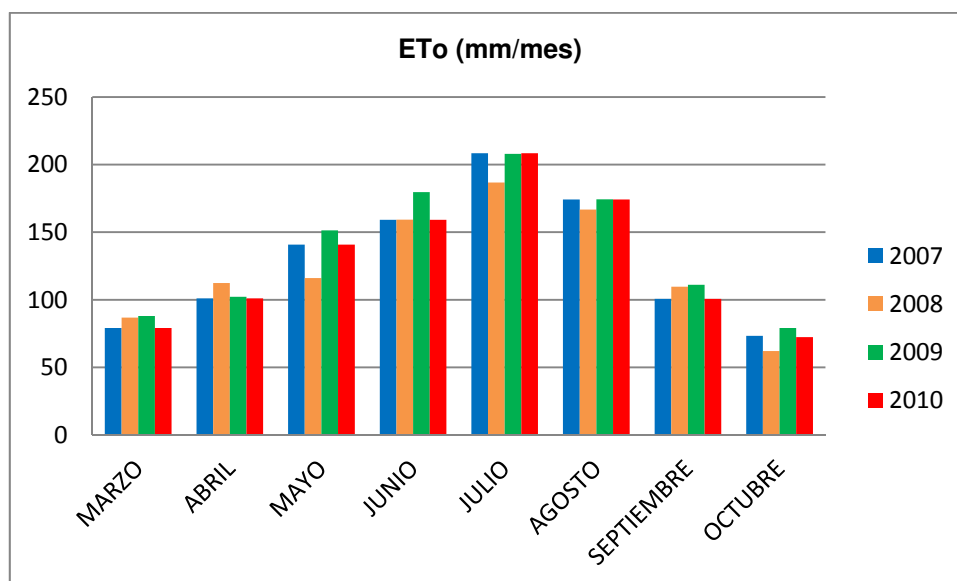


Figura 42. Evapotranspiración calculada por el método: FAO Penman-Monteith. Fuente: Oficina del regante.

La evapotranspiración de los cuatro años del ensayo ha sido muy similar como puede verse en la (Figura 42). Destacan los valores más altos de mayo y junio de 2009, que fue el año más seco y caluroso, con una primavera muy cálida, y los valores más bajos en los meses de mayo y julio del 2008.

3.4.4 RIEGO

El riego se ha realizado de manera uniforme en toda la parcela, tanto en la zona objeto del ensayo como en el resto de la plantación. La planificación del riego la efectúa el agricultor de acuerdo con:

Los datos obtenidos de la información suministrada por la oficina del regante del Gobierno de Aragón, junto con la experiencia personal del propio agricultor y del departamento de fruticultura de la Eupla.

La cantidad de agua aportada por hectárea ha oscilado entre los 5.500 y 6.500 m³, según las condiciones climáticas de cada año.

3.4.4.1 RIEGO APORTADO

La cantidad de agua aportada en el riego la ha establecido el agricultor, con el asesoramiento de la oficina del regante y del autor de este documento.

Las dosis aplicadas se reflejan en los gráficos siguientes:

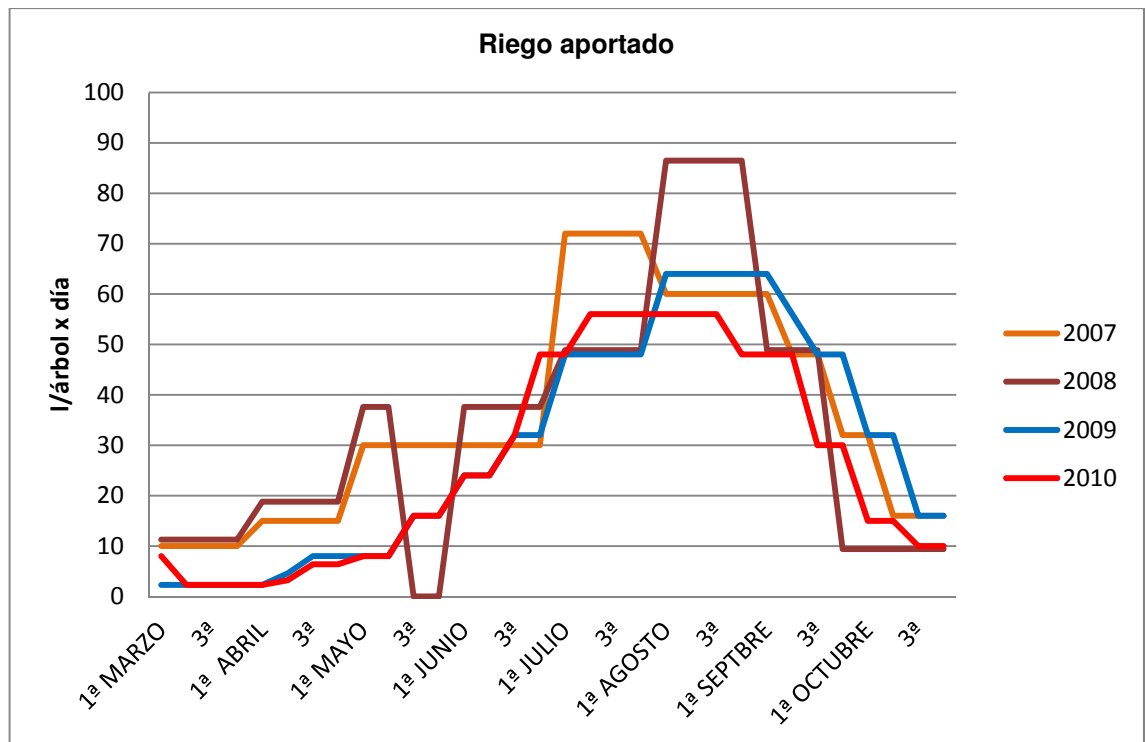


Figura 43. Riego aportado l/árbolx día

Puede comprobarse (Figura 43 y 44) y (Tabla 20. Riego aportado como las dosis aplicadas fueron mayores en 2007, reduciéndose progresivamente en los años siguientes. Así en 2010, se aportó un 25% menos de agua que en 2007. A ello, contribuyó, tanto los datos obtenidos de la oficina del regante, como una climatología con verano más fresco en 2010.

Tabla 20. Riego aportado

	2007	2008	2009	2009 OF. REG	2010	2010 OF. REG
Litros/árbol	1.136,00	1.081,00	952,00	891,66	847,14	764,17
m³/ha	6.986,40	6.648,15	5.854,80	5.483,68	5.209,93	4.699,62

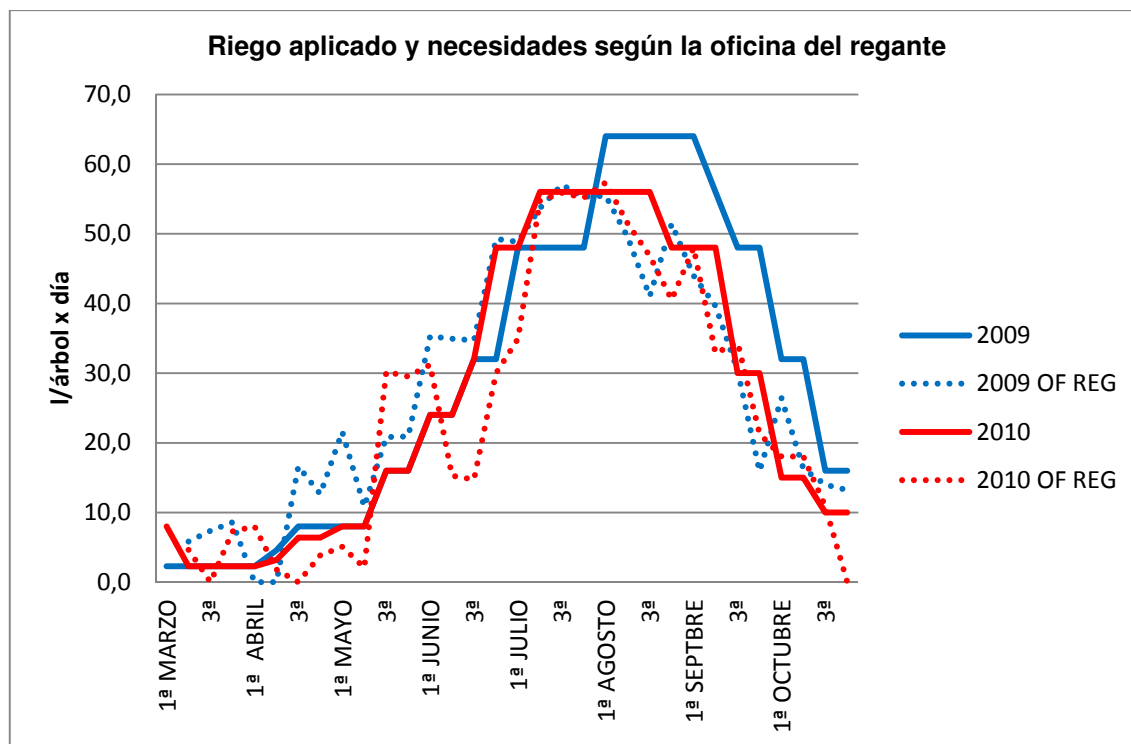


Figura 44. Riego aplicado y necesidades

3.4.5 ANÁLISIS DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO

Se procedió a medir la uniformidad de los goteros, eligiendo 6 goteros por tratamiento aleatoriamente, y recogiendo en probeta durante 1 minuto por cada gotero el agua de riego aportada (Tabla 21).

Con los datos obtenidos, no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los caudales aportados por los goteros.

Tabla 21. Uniformidad de los goteros

MEDIAS caudal goteros		
	lt/hora	
0	9,53	a
1	9,66	a
2	9,6	a
3	9,46	a
4	9,55	a
5	9,55	a

3.4.6 FERTILIZACIÓN

El programa de abonado del resto de la parcela lo ha hecho el agricultor de acuerdo con su criterio.

Las dosis aplicadas por el agricultor han sido aproximadamente de 700 kg de NPK 15-5-20 en prebrotación, y 250 kg de Nitrato potásico en junio, aplicándolo en superficie, junto al gotero



Figura 45. Montón de fertilizante aplicado por el agricultor, junto a un bulbo húmedo

3.4.6.1 APOORTE DE NITRÓGENO POR EL AGUA

La parcela se encuentra ubicada dentro de la zona vulnerable por acumulación de nitratos, establecida por el Gobierno de Aragón.

El agua aplicada tiene elevados contenidos de nitratos, superando las 50 ppm, por lo que aproximadamente, con el agua de riego se aplican entre 60 y 75 kg de N por hectárea en función de la época, el riego aportado y de la concentración, si bien la mayoría se aplica en la época de máxima demanda de agua que coincide con los meses de julio y agosto.

A la hora de planificar las aportaciones de Nitrógeno, esta cantidad se ha tenido en cuenta.

REGISTRO DE DATOS DURANTE EL PERÍODO VEGETATIVO **VEGETATIVO**

3.5.1 SEÑALIZACIÓN DE ÁRBOLES

Para facilitar la toma de datos, así como todos los procesos relacionados con la recolección y el estado de los árboles de cada tratamiento y repetición, se marcaron los

árboles centrales de cada parcela elemental con pintura de spray de distintos colores y con cinta carretera de color amarillo y negro, o rojo y blanco. También se delimitaron las parcelas elementales (tres árboles) señalando con spray de colores en la tubería porta goteros el inicio y el final de cada parcela elemental. Cada tratamiento tenía el color que se ha indicado en el apartado de planificación del ensayo.

3.5.2 MEDICIONES DE CLOROFILA Y ÁREA FOLIAR

Se utilizó el software FOLIAREA® de evaluación de la capacidad fotosintética de los cultivos. Este sistema está desarrollado específicamente para la evolución del área foliar y del contenido de clorofilas en las hojas. Dicho sistema se ha utilizado especialmente en ensayos de control de la clorosis férrica en frutales, habiendo presentado una elevada correlación con las clorofilas en la hoja (superior que la obtenida con el sistema SPAD® de Minolta) y un error muy bajo en la estimación del área foliar. Su ventaja es que no necesita de equipamientos específicos para su uso, únicamente requiere un escáner convencional y un PC. El software FOLIAREA® fue cedido por COMPO al personal investigador que llevamos a cabo el ensayo.

3.5.2.1 FUNDAMENTOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS DE FOLIAREA® VERSIÓN 2003:

El programa FOLIAREA© analiza cada punto de una imagen, diferenciando entre puntos vacíos (blancos) y puntos llenos (no blancos). Por la relación entre ambos calcula el área total ocupada por el tejido vegetal analizado así como sus dimensiones. Además en cada uno de esos puntos se mide el color verde, amarillo o pardo existente.

Determinación del área foliar y parámetros morfométricos de la hoja:

Para su estimación FOLIAREA® compara los puntos totales con aquellos que no tienen color blanco o gris claro. Al total de 125.600 puntos se le asigna el área específica en TAMAÑO DE IMAGEN (entrar en la pantalla análisis y allí en OPCIONES GENERALES e indicar las dimensiones de la hoja en mm) en mm². El área ocupada por las hojas se obtiene por comparación con el total. El área por hoja se obtiene al dividir el área total entre el número de hojas. Usando estos mismos datos se mide el perímetro medio y las dimensiones de la hoja.

Medida del color de la hoja:

De cada uno de los puntos ocupados (puntos no blancos ni grises) se realiza una división del color de acuerdo a la escala RGB (Red-Green-Blue). Esta escala oscila entre 0 y 255 para cada uno de los colores (rojo, verde y azul). En la siguiente tabla se muestran algunos colores en forma de ejemplo. En general a un menor valor en la escala RGB el color es más oscuro. Cuando predomina el verde sobre el rojo los puntos tienen

un alto contenido en clorofilas, cuando es al revés las clorofilas escasean y el color resultante es el pardo.

Valor del color	Rojo (R)	Verde (G)	Azul (B)
Blanco	255	255	255
Negro	0	0	0
Rojo intenso	255	0	0
Azul intenso	0	0	255
Verde oscuro	0	68	5
Verde media	31	179	7
Verde claro	175	232	5
Amarillo	246	246	16
Pardo	172	126	10

Con los colores básicos de cada uno se realizan las siguientes determinaciones:

De todos los puntos de la hoja se calcula el valor medio de cada uno de los colores; además los puntos se dividen en aquellos en los que el color verde predomina de forma mayoritaria (PUNTOS VERDES), en los que el color verde y el rojo están equilibrados (PUNTOS AMARILLOS), y en los que el rojo es predominante (PUNTOS ROJOS). Los valores que dividen los intervalos pueden ser modificados por el usuario.

De cada punto se dispone su contenido de rojo (0 a 250), verde (0 a 250) y azul (0 a 250). Con ese dato y usando los criterios de la tabla anterior se clasifican los puntos de la imagen de la siguiente forma:

Para los puntos en los que predomina el verde se hace una distribución de frecuencias en función del color verde de los puntos. De esta forma se estudia la distribución de pigmentos en la hoja. Se distribuyen los puntos en los siguientes grupos: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100, 100-110, 110-120, 120-130, 130-140, 140-150, 150-160, 160-170, 170-180, 180-190, 190-200, 210-220, 220-230, 230-240, 240-250, 250-256.

Posteriormente se calcula el porcentaje de puntos en cada una de las categorías.

Para los puntos en los que el verde y el rojo están equilibrados (zona amarilla o clorótica) se hace una distribución de frecuencias en función del componente verde, del componente rojo o de la media de ambos componentes de los puntos (a elegir por el usuario). Se distribuyen los puntos en los siguientes grupos: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100, 100-110, 110-120, 120-130, 130-140, 140-

150, 150-160, 160-170, 170-180, 180-190, 190-200, 210-220, 220-230, 230-240, 240-250, 250-256.

Posteriormente se calcula el porcentaje de puntos en cada una de las categorías.

Los puntos en los que el rojo es mayoritario (puntos necróticos) se cuantifican, se calcula el valor medio del color y se calcula el área ocupada por estos puntos respecto al total de puntos no vacíos.

La presentación de los resultados de los tres tipos de puntos se hace por separado.

Para cada uno de estos grupos de puntos FOLIAREA® calcula dos parámetros estadísticos fundamentales: la desviación típica y el coeficiente de variación para cada uno de los componentes de color. El cálculo se hace de acuerdo a las fórmulas mostradas a continuación.

$$\text{Desviación típica} = \sqrt{\frac{N \times \sum \text{color}^2 - (\sum \text{color})^2}{N \times (N - 1)}}$$

$$C.V. = 100 \times \frac{\text{desviación estándar}}{\text{valor medio del color}}$$

Donde: Color = valor del color (rojo, verde o azul) en la escala RGB.

N = número de puntos con color en la imagen.

En aquellos casos donde el valor sea bajo indica gran uniformidad en el contenido de ese color de todos los puntos. En hojas con manchas de color verde oscuro y verde claro las desviaciones serán mayores que aquellas que no lo presenten.

Delimitación del área de distribución de pigmentos:

FOLIAREA® delimita el área que ocupan los puntos verdes, amarillos y rojos, sus características a priori son:

PUNTO ROJOS: zonas con previsible necrosis (tejidos muertos), con bajo contenido en clorofilas, predominando el color de carotenos y xantofilas.

PUNTOS AMARILLOS: zonas con previsible clorosis. Se trata de zonas con contenido medio-bajo de clorofilas, y en los que carotenos y xantofilas comienzan a predominar en la zona.

PUNTOS VERDES: zonas de claro predominio de clorofilas sobre cualquier otro pigmento. Zonas a priori sanas.

De cada una de estas zonas y de manera independiente FOLIAREA® calcula el color medio, completando de esta forma la información aportada por el color medio general de toda la hoja.

Cálculo de los índices de capacidad fotosintética y de clorosis:

FOLIAREA[®] calcula dos índices que tratan de definir el estado global del cultivo en un momento dado. El más importante de ellos es el índice de capacidad fotosintética (ICF), que tiene en cuenta la intensidad del color verde de la hoja, su área y el porcentaje de ella que está verde. Su utilidad es fundamentalmente comparativa entre análisis. Un mayor valor de este índice indica que el cultivo presenta mayor capacidad fotosintética y por tanto mayor potencial.

$$ICF = \left[100 - \frac{\text{verde medio} - 100}{255} \right] \times \left[\frac{\% \text{zona verd}}{100} \right] \times \text{área hoja}$$

Verde medio: valor entre 0 y 255

% zona verde: % de la hoja que se considera eficiente

Área de la hoja: área en cm²

El índice de clorosis define el grado de clorosis (amarillamiento de la hoja) existente en nuestro cultivo, relacionando el color amarillo medio de la hoja (media del color rojo y verde en cada punto de la muestra que presenta color amarillo).

$$\text{Índice clorosis} = \left[\frac{\% \text{área amarilla}}{100} \right] \times \left[\frac{\text{amarillo medio de la muestra} \times 100}{255} \right]$$

Amarillo medio de la hoja: valor entre 0 y 255.

%zona amarilla: % de la hoja que presenta clorosis.

Cálculo del índice SPAD y del contenido de clorofilas de las muestras:

Diversos parámetros obtenidos con el análisis realizado por FOLIAREA[®] tienen una relación lineal con el contenido de clorofilas de la hoja y con el índice SPAD. Por tanto para obtener estos valores a partir de un análisis con FOLIAREA[®] previamente debemos obtener la ecuación de regresión que relacione ambas cosas.

Resumen de la metodología de medida de FOLIAREA[®]

Como resumen a continuación se hace una breve explicación de los parámetros medidos por FOLIAREA[®] y la metodología aplicada.

AREA FOLIAR: se mide mediante la relación entre el tamaño de la imagen y la cantidad de puntos de esta ocupados por el tejido vegetal de la muestra. Si se indica el peso de la muestra escaneada es posible mostrar la relación peso/área.

PERÍMETRO: se mide contabilizando los puntos de la imagen que reúnen dos características: contienen tejido vegetal y alguno de los puntos que le rodean está vacío.

DIMENSIONES DE LA HOJA: se sitúan un máximo de 10 hojas en la imagen. Automáticamente FOLIAREA[®] crea una cuadrícula en cada hoja y mide las dimensiones de altura y anchura de cada una de ellas, ofreciendo como resultado la media de todos ellos.

COLOR MEDIO DE LA HOJA: en cada punto de la imagen ocupado por tejido vegetal se divide el color en sus componentes rojo, verde y azul. La media de todos ellos nos da el color medio de la muestra.

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE LA HOJA: como se ha comentado anteriormente FOLIAREA[®] divide en tres zonas el tejido vegetal: zonas verdes (predomina el verde sobre el resto de colores), zona amarilla (verde y rojo son similares y el azul muy escaso) y zona parda (el color rojo predomina sobre el resto). FOLIAREA[®] estudia cada punto y calcula el porcentaje del área de la hoja que se encuadra en cada una de las zonas, expresándolo en % sobre el total del área.

DISTRIBUCIÓN DE COLORES (PIGMENTOS) DE LA HOJA: las categorías verde y amarilla mencionadas en el punto anterior se dividen a su vez en distintos grados de color, en concreto 25 grupos. De esta forma FOLIAREA[®] realiza un mapa cromático de la hoja, mostrando que porcentaje de puntos de la hoja se encuentra en cada uno de los grupos y subgrupos. Para cada grupo de puntos de la hoja (verde, amarillo y pardo) FOLIAREA[®] calcula la desviación estándar y el coeficiente de variación, estos datos indican el grado de dispersión del color en la hoja; aquellos tejidos que tengan una gran uniformidad del color tendrán bajos coeficientes de variación y desviación estándar.

CONTENIDO DE CLOROFILAS E ÍNDICE SPAD: ambos parámetros se estiman en FOLIAREA[®] mediante el uso de ecuaciones de regresión que relacionen clorofila, SPAD y parámetros de FOLIAREA como el color verde medio de la hoja. Esas ecuaciones se obtienen a partir de ensayos de laboratorio o mediante el uso de una unidad SPAD. Si se dispone del peso de la muestra es posible calcular el contenido de clorofilas por unidad de peso de hoja.

ÍNDICES DE CAPACIDAD FOTOSINTÉTICA Y DE CLOROSIS: utilizando una parte de los parámetros anteriores FOLIAREA[®] calcula estos índices que dan una imagen global del estado de la muestra analizada.

Las mediciones se hicieron con intervalos aproximados de 15 días, comenzando en Mayo y finalizando entre la última y la primera semana de septiembre.

En cada medición, se obtenían los datos de 20 hojas situadas aproximadamente a 1,5 m de altura. Para ello, se cogían las hojas de la zona media-terminal que habían alcanzado su tamaño definitivo, en ramos mixtos. Las hojas se recogían alrededor de todo el árbol. Se midieron todos los árboles centrales de las 6 repeticiones.

Los parámetros medidos fueron: área total de la muestra, área/hoja, índice de la capacidad fotosintética e índice de clorosis.

3.5.3 MEDICIONES DE SPAD

Las medidas de clorofila se han realizado en campo mediante el medidor de clorofila SPAD 502, de la casa Minolta (Soil Plant Analysis Development), cuyos datos se correlacionan con los niveles de clorofila en hojas, y por tanto, proporciona una indicación de la cantidad relativa de clorofila en las hojas de las plantas. .

Su funcionamiento se basa en el fenómeno de transmisión del material vegetal vivo, que da el contenido de clorofila total en las hojas. En general, las plantas más sanas contendrán más clorofila que las menos sanas.

Las mediciones se han realizado a media mañana, en torno a las 11 horas.

El área de medida es de 6 mm², y admite espesores de las hojas de hasta 1,2 mm.

El nivel de clorofila por encima del cual se considera que el árbol está bien equilibrado es 25nmol*cm² que equivale a 37 en valor SPAD.

Se llevó un control periódico de las mediciones con el Instrumento: SPAD 502 de Minolta. Antes de iniciar la medición se calibró el aparato. Las mediciones se hacían en cada repetición, en el árbol central de la parcela elemental, tomando datos de 15 hojas por árbol. Se medía en aquellas hojas de los extremos distales de ramos mixtos situados aproximadamente a 1,5 m de altura, que mostraban su tamaño definitivo, y alrededor de todo el árbol.

Se midió cada 15 días desde mayo hasta septiembre, variando las fechas de inicio y fin en función de las características del año.

3.5.4 FLUORESCENCIA DE CLOROFILA.

La *fluorimetría* es una técnica de emisión de radiación . La emisión de fluorescencia de la *clorofila a* se ha convertido en uno de los métodos más importantes para evaluar el comportamiento fotosintético (Seaton & Walker 1990; Agati et al. 1995 citados por Cabrera 2002).

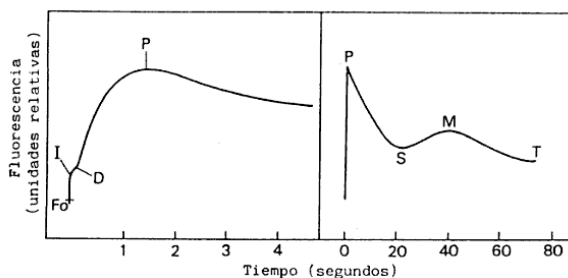
El análisis de la emisión de fluorescencia de la *clorofila a* del fotosistema II del aparato fotosintético de plantas terrestres, acuáticas y algas es una medida no destructiva, de fácil manejo y rápida respuesta (González et al. 2008), que suministra información acerca de la identidad de varios pigmentos, su organización y sobre diversas reacciones de transferencias de electrones específicas del fotosistema II (PSII) (Navarro et al. 2004). Permite caracterizar los efectos y modos de acción de diferentes tipos de estrés ambiental: (temperaturas, sequía, alta intensidad luminosa, salinidad, inundación) (Cabrera 2002); y diversos contaminantes del agua como metales pesados, herbicidas,

detergentes, así como de una variedad de compuestos contaminantes del aire. Se puede aplicar a las plantas in situ e in vivo, o a cloroplastos aislados (González et al. 2008) y se está convirtiendo en una herramienta eficaz para la gestión de las plantas en agronomía, forestales, fitopatología, zonas verdes y protección del medioambiente (Adams & Demmig-Adams 2004). La fluorescencia es útil para: comprobar las diferencias genotípicas en la tolerancia a altas temperaturas y luz intensa (P. Li & Cheng 2011); evaluar el vigor y la calidad de los productos hortícolas, encontrándose una correlación positiva entre la fluorescencia y el grado de daño por heladas en las flores de fresa (Khanizadeh & Rekika 2004); determinar la concentración de N asimilado por la planta a lo largo del tiempo de permanencia en un humedal, mediante el análisis de la *clorofila a y b* (Rosero et al. 2008). También fue utilizada por (Losciale et al. 2010) para determinar el destino de la luz absorbida en el campo en hojas de melocotonero.

La medida de la fluorescencia permite analizar la vitalidad de un órgano vegetal, ya que da información sobre la capacidad de la hoja para canalizar la energía solar a través de los procesos fotoquímicos. De toda la energía captada por la clorofila, una parte se disipa en forma de excitación no radiante, otra se utiliza en reacciones químicas fotosintéticas – síntesis de ATP, reducción de NADP^+ y otra porción se pierde en forma de fluorescencia (Monge et al. 1991). La emisión de fluorescencia está directamente ligada al proceso fotosintético. Así, la intensidad de la fluorescencia es inversamente proporcional al rendimiento fotoquímico. Se considera un indicador preciso del estado de la primera fase de la fotosíntesis, que consiste en atrapar la luz, en la transmisión de energía al nivel de las clorofilas y a la emisión de electrones por el fotosistema II.

Las mediciones de fluorescencia de la clorofila se realizaron con un fluorímetro portátil Hansatech (Pocket PEA, Inglaterra). Este aparato se utilizó durante 2009 y 2010.

Una pequeña porción del tejido foliar se adapta a la oscuridad durante 20 minutos con ayuda de unas pinzas. Esto tiene por finalidad, que los centros del *PSII* se encuentren en forma mayoritariamente oxidada. Tras el período de oscuridad la hoja se somete a un pulso de luz saturante, lo que induce la fluorescencia foliar, cuya curva de inducción se registra en la memoria del equipo. La curva de inducción tiene tres fases o niveles: El nivel F_0 es la fluorescencia constante que se aprecia tras el período de adaptación a la oscuridad, en el cual todos los centros de reacción del fotosistema II están abiertos. La siguiente fase se denomina “variable” F_v y se prolonga hasta alcanzar un máximo (P). En esta fase ascendente se distinguen dos etapas: la primera con un máximo al que sigue un ligero ascenso. A partir de P la fluorescencia desciende con una cinética lenta hasta un nivel estacionario (S), al que puede seguir otro máximo relativo (M) y un estado final (T).



Posteriormente, mediante el software específico se recuperan los datos, a partir de los cuales se calculan los parámetros: fluorescencia mínima (F_o) máxima (F_m), fluorescencia variable (F_v) y la relación F_v/F_m , valor último que permite estimar el rendimiento cuántico potencial del *PSII*, que con valores inferiores a 0,85 puede ser indicativo de situaciones de estrés.

El fluorímetro realiza la medida de la inducción Kausty (por iluminación saturante tras un periodo de oscuridad) y cálculo automático de todos los parámetros fotosintéticos: F_0 , F_M , F_v , F_v/F_M , T_{max} y área de la curva de fluorescencia entre F_0 y F_M .

La toma de datos se realizó mediante la colocación de una pinza por árbol, en una hoja desarrollada sobre ramo mixto. Los datos se tomaron en las horas centrales del día, y siempre en la orientación Este.

Se midió fluorescencia a intervalos aproximados de 15 días.

3.5.5 CEPTÓMETRO

Se utilizó el ceptómetro para determinar la radiación PAR en distintas orientaciones y altura de los melocotoneros, con objeto de determinar el grado de iluminación.

El aparato utilizado ha sido el ACCUPAR LP-80, que incluye un sensor PAR externo. Posee 80 sensores sensibles a la radiación PAR y un microcontrolador que interpreta las señales procedentes de cada sensor, dando el valor promedio por segmento especificado.

Se tomaron medidas en dos ocasiones en 2010, en los meses centrales del verano.

3.5.6 Nº FRUTOS/cm RAMO MIXTO

Durante el año 2009, se midieron 5 ramos mixtos mayores de 45 cm. alrededor del árbol y a una altura de metro y medio por árbol central de cada repetición y tratamiento y se contaron sus frutos para determinar frutos x cm.

3.5.7 CRECIMIENTO DE BROTES

En el año 2010 se han medido las longitudes de ramos mixtos, insertos sobre ramas con buen vigor, con crecimientos horizontales verticales con ángulos entre 45 y 60°, ubicados en la periferia del árbol, y a una altura entre 1 y 1,5 m.

Se marcaron con cinta amarilla, 20 brotes en cada árbol, ubicados alrededor del árbol central.

Después de la recolección se procedió a medir todos los brotes marcados.

3.5.8 PESO DE FRUTOS ACLARADOS EN 2010

Tras la realización del aclareo manual de frutos, en la primera semana de julio, se procedió al pesado de los frutos aclarados por los operarios. Las pautas del aclareo las marcó el Sr. Fernández de Heredia. Durante los años 2007 a 2009, el aclareo fue suave, ya que el melocotón se destinaba a conserva. Sin embargo, en 2010 ha sido intenso, porque la propiedad ha decidido embolsar el melocotón para llevarlo a mercado, ya que el precio que está ofertando la industria conservera no lo consideran rentable. El embolsado se hace por operarios de la explotación en la primera quincena de julio.

3.5.9 PESO ESPECÍFICO DE LAS HOJAS

El día 19 de agosto de 2010 se procedió a recoger hojas del ensayo de DMPP, para pesarlas. Se recogieron 20 hojas distribuidas alrededor del árbol, en ramos mixtos de aproximadamente 50 cm. Se cogía la primera hoja completamente desarrollada desde el extremo distal del brote.

Las hojas se escanearon para determinar su área, con escáner HP 4800, y se pesaron con balanza de precisión Kern 770 de precisión 0,1 mg. Posteriormente se procedió a secarlas, en estufa P Selecta, a 60°C durante 72 horas, para determinar el peso seco.

3.5.10 PESO, CALIBRE Y NÚMERO DE FRUTOS

Un día antes del inicio de la recolección se recogieron 20 frutos por árbol central de cada repetición y tratamiento. Se cogieron de la zona este de la copa situados en ramo mixto a la altura del hombro. Los frutos se pesaron y calibraron en laboratorio para obtener la distribución de calibres y pesos. Posteriormente los pesos se añadirían a la producción total obtenida.

La recolección a lo largo de los 4 años se ha realizado en las 3 primeras semanas de septiembre, variando la fecha en función de las características climáticas del año.

Durante 2007 a 2009, la recolección se hizo en una única pasada.

Fechas de recolección:

Año 2007

12 y 21 de septiembre

Año 2008	2 y 17 de septiembre
Año 2009	15 de septiembre
Año 2010	4 y 8 de octubre

La recolección la han efectuado los operarios de la explotación. La dirección y pautas de la recolección fueron realizadas por el autor del trabajo.

Para el pesaje y conteo de frutos se contó con la ayuda de un becario y de alumnos de Ingeniería Técnica Agrícola de la Escuela.

El trabajo durante los años 2007-2009 consistió en:

Recolección, pesaje y conteo de aquellos frutos que tenían un grado de madurez adecuado, referido a la coloración del fruto, y superaban el calibre mínimo establecido por la conservera: 62 mm. El peso medio de los frutos se obtuvo de dividir el peso de los frutos del árbol por el número de frutos de cada árbol. Previamente, a primeros de septiembre se hizo un conteo y retirada de los frutos que había en el suelo.

En 2010 el procedimiento fue diferente:

El día anterior a la recolección se contaron los frutos por árbol. Al estar embolsados el conteo es más sencillo, y de esta manera, ha sido menor la manipulación que se ha tenido que hacer con los frutos, reduciendo el riesgo de daños por golpes, presión de dedos, etc.

Al recolectar, se pesaron los frutos obtenidos en cada árbol. Con el peso y el número de frutos se obtiene el calibre medio.

3.5.11 MEDIDA DEL PERÍMETRO DE TRONCO

Se midió el perímetro de tronco a 20 cm. del suelo en la primavera de 2007. Posteriormente al finalizar cada campaña se ha vuelto a medir el perímetro de tronco.

3.5.12 ANÁLISIS DE FRUTOS

Se cogieron un día antes de la recolección 20 frutos de cada tratamiento y repetición en el árbol central. Los frutos eran de aspecto homogéneo, situados en la parte este de la copa y a la altura del hombro.

Analítica:

De cada muestra se analizaron los siguientes parámetros:

Peso (20 frutos de cada tratamiento y repetición)

Calibre (20 frutos de cada tratamiento y repetición)

Penetrometría (10 frutos de cada tratamiento y repetición)
Sólidos solubles (10 frutos de cada tratamiento y repetición)
Acidez (10 frutos de cada tratamiento y repetición)
PH (10 frutos de cada tratamiento y repetición)

3.5.12.1.1 PESO

El peso se obtiene de pesar cada fruto en la balanza EKS mod 1000, con precisión de décima de gramo.

3.5.12.1.2 CALIBRE

El calibre se obtiene al medir el diámetro en la zona ecuatorial del fruto con un calibre de lámina flexible, con precisión de mm.

3.5.12.1.3 PENETROMETRÍA

La penetrometría se obtiene después de quitar 1 cm² de piel en dos lados del melocotón en su zona ecuatorial. Se utiliza un puntal de 8 mm. Los resultados se dan en kilogramos por cm². El aparato utilizado es el PENETROMETER FT 327.

3.5.12.1.4 SÓLIDOS SOLUBLES, ACIDEZ Y PH

Actualmente se están desarrollando nuevos métodos, entre ellos técnicas no destructivas como el NIR (Near infrared spectroscopy) para la determinación de sólidos solubles de la fruta, así como aspectos relacionados con la textura, la materia seca, la acidez o los trastornos de los frutos (Nicolai et al. 2007); se basa en caracterizar la reflectancia de la pieza de fruta ante diferentes longitudes de onda. En melocotonero y nectarina, (Slaugther 1995; Walsh et al 2004 y Golic & Walsh 2006, citados por (Nicolai et al. 2007); han realizado diversos estudios para evaluar parámetros como los sólidos solubles, el contenido total en azúcares, el sorbitol y la clorofila. Mediante técnicas NIR. En cualquier caso, en muchas variedades la técnica no tiene suficiente resolución como para predecir determinados parámetros (Vila 2006).

En este estudio, los análisis se realizaron utilizando los métodos tradicionales.

Para la determinación de los sólidos solubles, de la acidez y del pH, se extrae el zumo de los frutos mediante el siguiente procedimiento:

Se cortan longitudinalmente dos trozos de melocotón de lados opuestos, desde el pedúnculo, y profundizando hasta el hueso. Los trozos de cada muestra se pasan por una licuadora; después de extraer el zumo de cada muestra se limpia la licuadora y se deja reposar el zumo.

Una vez reposado el zumo se extraen las cantidades necesarias para medir cada uno de los parámetros.

El contenido de sólidos solubles se determina con el índice de refracción. Este método es muy utilizado en la elaboración de frutas y hortalizas, para determinar la concentración de sacarosa. La concentración de sacarosa se expresa en °Brix, a una temperatura de 20°C, Los °Brix (Composición de residuo seco refractométrico) son equivalentes al porcentaje de peso de la sacarosa contenida en una solución acuosa. El valor de la I.R. está fuertemente influenciado por la temperatura (Espada & Mené 2010). La mayoría de los refractómetros corrigen automáticamente la temperatura. Si a 20°C una solución contiene 60 °Brix, significa que la solución contiene un 60% de sacarosa. En productos como los zumos, la presencia de otras sustancias sólidas influye en la refracción de la luz; sin embargo, el índice de refracción y los °Brix son suficientes para determinar el contenido de sólidos solubles del producto. (Paltrinieri et al. 1993). En un refractómetro ATAGO, -ATC-1E, se añaden unas gotas de zumo con pipeta "Pasteur", para obtener los °Brix.

La determinación del pH se realizó mediante pH-metro digital CRISON, con calibrado previo al inicio de cada jornada de medición, en dos puntos: 7,02 y 4. (Paltrinieri et al. 1993) La relación entre el pH y la concentración en ácido no tiene una precisión suficiente, ya que puede variar en función de la concentración de los cationes, por lo que se hace necesario determinar la acidez mediante neutralización (Espada 2007); para ello se realiza una volumetría de neutralización (Espada & Mené 2010).

Espada & Mené 2010) con hidróxido sódico 0,1 N. Se extraen 10 cc que se mezclan con 10 cc de agua destilada, en un erlenmeyer; a continuación con una bureta graduada se va añadiendo NaOH 0,1 N, hasta alcanzar pH 8,1. El dato obtenido se procesa posteriormente para expresarlo como ácido málico.

La expresión de la acidez en g/L, se obtiene de la fórmula
 Ó áidez. fórmula Kadel y Mitchell 81.

$\text{NaOH} \cdot 0.1 \text{ NAOH} \cdot 6.7/\text{ml jugo en \%}$

$$A(g/L) = \frac{V \times N \times M}{v \times n}$$

Donde:

A = acidez.

V = volumen rol de NaOH gastados.

N = normalidad de la solución de NaOH.

n = número de H remplazables del ácido en el cual se expresa la acidez.

M = masa molecular del ácido en el cual se expresa la acidez.

v = volumen, cc de muestra.

El factor (M/n) para el ácido málico es: 67

$$\% \text{ ácido málico} = \frac{mL \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times 6,7}{mL \text{ jugo}}$$

3.5.13 ANÁLISIS DE AGUA

Cada año se extrajo agua del pozo, después de 15 minutos de funcionamiento de la bomba. La muestra fue enviada al laboratorio AGQ agroindustrial y agroambiental de Sevilla, para la determinación de los nitratos y C.E.

3.5.14 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS DE LAS MACETAS

Después de cada aporte de fertilizante, y pasados 5 días se recogían muestras de lixiviados para su posterior análisis.

En algunas semanas no se produjo lixiviado, por lo que en algún caso, pasaron 2-3 semanas sin tener muestras para analizar.

Se analizaron mediante el aparato NITRACHEK.

El Nitrathek reflectómetro es un instrumento digital utilizado para la determinación del contenido de nitratos en el agua o en un extracto acuoso del suelo. El método se basa en las lecturas de las tiras que se ponen en contacto con la solución y se introducen en el lector. El rango de medición es 5 a 500 ppm (mg / l) de nitrato, con una precisión de 1 mg/l. Antes de su utilización es necesario calibrarlo.

3.5.15 ANÁLISIS DE SUELO

Al finalizar las campañas, se tomaron muestras de suelo en el horizonte de 0-30 cm, de cada árbol central de cada parcela elemental. También se tomaron muestras en el horizonte 30-60, en las 3 repeticiones de la parte final de la parcela.

La toma de muestras se efectuó con barrena de extracción de muestras de suelo, en el interior del bulbo húmedo, entre la zona central y la zona perimetral. Cada muestra tenía un peso aproximado de 750 gramos.

En el año 2010, se tomó una muestra adicional a principios de julio en el horizonte 60-70 cm, con objeto de comprobar la presencia de nitratos y de amonio en dicho horizonte, una vez que ya se había reducido notablemente la cantidad de Nitrógeno aportado.

Las muestras fueron referenciadas, y enviadas al laboratorio AGQ mencionada anteriormente, para la determinación de las concentraciones de ion amonio y nitrato.

3.5.16 MADERA DE PODA

En el año 2010 una vez finalizada la caída de hojas, se realizó la poda de los árboles centrales de cada tratamiento y se procedió a pesar mediante balanza de 60 kg, con precisión de 100 g, la madera de poda de cada árbol.

3.5.17 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se ha realizado con el paquete Statgraphics Plus 5.1. Se ha realizado el análisis de regresión de parámetros relacionados y se ha aplicado el test de separación de medias de 'Duncan' cuando el análisis de varianza fue significativo.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE AGUAS 2007

De las muestras de agua recogidas, que fueron analizadas por los *laboratorios AGQ Agroalimentaria y Medioambiente (Sevilla)*. *Acreditado por ENAC*, en 2007, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.1 PROPIEDADES QUÍMICAS:

- pH: 7,45
- C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C): 1.625
- Residuo Calculado (g/l): 0,89
- Presión Osmótica (atm): 0,59
- Dureza total: 66,5
- S.A.R.: 0,07

De ellos se infiere, que el pH es ligeramente básico, con una CE de $1.625 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C . Este dato, clasificaría el agua, según el criterio de la FAO, en situación de riesgo moderado de salinización del suelo (C2 – valores entre 700 y $3.000 \mu\text{S}/\text{cm}$).

Según la FAO, valores de $1,3 \text{ dS}/\text{m}$ en el agua, supondrían una reducción de rendimiento del 10%. Sin embargo, según el criterio Watsuit, esta agua es apta para el riego del melocotonero.

Del dato del S.A.R., se deduce según criterio de la FAO, que no hay riesgo de sodificación del suelo (S1).

Se trata de aguas muy duras, con niveles de Cloruros aceptables y con aportes de Nitrógeno relevantes.

4.1.1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA:

4.1.1.1.1 CATIONES: (Tabla 22)

Tabla 22. Concentración de Cationes. *Espect. Emisión Plasma*

	meq/l	mg/L
<i>Calcio</i>	11,0	221,3
<i>Magnesio</i>	2,3	27,9
<i>Sodio</i>	0,18	4,07
<i>Potasio</i>	<0,05	<2,00

4.1.1.1.2 ANIONES: (Tabla 23)

Tabla 23. Concentración de Aniones

		meq/l	mg/L
Alcalinidad (Bicarbonatos)	Potenciometría (titración)	6,32	385,5
Cloruros	Espect. UV-VIS	4,32	153,0
Nitratos	Espect. UV-VIS	0,9	55,7
Sulfatos	Espect. Emisión plasma	0,9	43,2

- Suma de Aniones (meq/l): 12,4
- Suma de Cationes (meq/l): 13,5

4.2 ANÁLISIS DE SUELO.

Los resultados de los análisis de suelo *efectuados por laboratorios AGQ Agroalimentaria y Medioambiente (Sevilla). Acreditado por ENAC* han sido:

4.2.1 ANÁLISIS HASTA 30 CM

Tabla 24. Análisis de suelo. Perfil 0-30 cm

	0-30
FERTILIDAD	
pH al agua 1:2,5	8,06
Prueba de salinidad CE 1:5 dS/m	1,59
Materia orgánica %	2,2
Nitrógeno mineral en nitratos ppm	<0,81
Fósforo Olsen, ppm	18,03
Potasio (extracto acetato amónico) ppm	154
CATIONES DE CAMBIO	
Magnesio, meq/100 g suelo	2,83
SALES SOLUBLES (en extracto de pasta saturada)	
C.E. Extracto saturado. dS/m a 25°C	4,88

Porcentaje de saturación	43,5
CATIONES	
Calcio meq/l	29,9
Magnesio, meq/l	16,11
Sodio, meq/l	10,68
MICROELEMENTOS ASIMILABLES	
Hierro, ppm	3,2

4.2.2 ENTRE 30 Y 60 CM

Tabla 25. Análisis de suelo. Perfil 30-60 cm

	30-60
FERTILIDAD	
pH al agua 1:2,5	8,05
Prueba de salinidad CE 1:5 dS/m	2,01
Materia orgánica %	2,03
Nitrógeno mineral en nitratos ppm	3,99
Fósforo Olsen, ppm	8,96
Potasio (extracto acetato amónico) ppm	128
CATIONES DE CAMBIO	
Magnesio, meq/100 g suelo	3
SALES SOLUBLES (en extracto de pasta saturada)	
C.E. Extracto saturado. dS/m a 25°C	4,7
Porcentaje de saturación	41,2
CATIONES	
Calcio meq/l	29,3
Magnesio, meq/l	17,34
Sodio, meq/l	10,01
MICROELEMENTOS ASIMILABLES	
Hierro, ppm	3

El pH del suelo es ligeramente alcalino en los dos perfiles muestreados con niveles de materia orgánica aceptables. Se observa una mayor concentración de nitratos en el perfil 30-60 que en el perfil 0-30, como efecto del lavado. En el perfil 0-30, los niveles de fósforo son ligeramente elevados y aceptables los de potasio.

De los datos de CEe del suelo, para el cultivo del melocotonero, se deduce que hay riesgo de pérdida de rendimientos del 30% según el criterio de (Ayers & Westcott 1985) y del 35% según el criterio de (Mass & Hoffman 1977).

Los niveles de materia orgánica, fósforo y potasio se consideran normales. La concentración de Nitrógeno nos indica que estamos ante un suelo medio en el perfil 0-30 y fértil en el perfil 30-60.

4.3 RESULTADOS DEL AÑO 2007

4.3.1 PH DE LAS DISOLUCIONES DE FERTILIZANTES

Como puede comprobarse en la (Tabla 26) el pH de las disoluciones presenta valores muy ácidos teniendo en cuenta que el fertilizante se disuelve en 36 l. de agua. Los tratamientos con mayor concentración de N en forma de ácido nítrico son los que han dado valores más bajos (pH 1,71 en el T5).

Tabla 26. Valores de pH de las disoluciones fertilizantes

pH de las disoluciones de fertilizantes						
	0	1	2	3	4	5
pH	2,62	2,59	2,46	2,35	1,75	1,71

4.3.2 LECTURAS DE SPAD

En el año 2007 se realizaron 7 lecturas de Spad. Los valores de los datos tomados (Tabla 27) crecieron de forma progresiva desde el 7 de mayo hasta el 27 de agosto (última toma de datos).

Las mediciones con Spad presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las tomas de datos realizadas a partir del día 25 de junio, de manera que el 16 de julio el T1 y T4 presentaron diferencias con el T0. El día 30 de julio, todos los tratamientos presentaron diferencias con T0. A partir de esta fecha no hubo diferencias significativas en ningún tratamiento.

Tabla 27. Valores obtenidos con el Spad en 2007

Valores de Spad 2007						
Fecha	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
7-may	23,7a	23,1a	24,2a	23,7a	23,4a	23,6a
28-may	25,7a	25,9a	26,7a	26,5a	26,0a	25,3a
25-jun	31,6a	31,0a	31,3a	30,4a	31,5a	30,2a
16-jul	38,2b	39,9a	39,2ab	39,5ab	40,2a	39,3ab
30-jul	38,1b	40,9a	41,9a	40,8a	40,6a	40,4a
13-ago	40,7a	40,7a	41,7a	40,6a	41,8a	41,2a
27-ago	42,4a	42,9a	43,3a	42,6a	44,1a	43,1a

Comparando estos valores con los obtenidos en el período 2001-2006 (Tabla 28) en una plantación de melocotoneros de características similares ubicada en Ricla (Gómez & Lorén 2004) se observa que los valores de las primeras semanas han sido inferiores hasta finales de junio, para alcanzar cifras parecidas a partir de julio.

Tabla 28. Valores medios tomados con Spad por el autor en una explotación de melocotonero 'Miraflores' de Ricla

Valores medios de Spad de una parcela de Melocotón 'Miraflores' ubicada en Ricla						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
17-may	30,5	30,9	31,7	29,8	33,2	30,8
10-jun	34,2	33,9	31,4	31,2	27,0	34,8
25-jun	39,4	35,6	33,2	33,9	28,9	36,1
27-jul	38,5	40,4	36,4	34,4	26,4	37,5
13-ago	37,2	40,4	43,3	34,4	28,5	38,6
28-ago	40,8	41,9	42,6	38	33,3	41,6

4.3.3 FOLIÁREA

4.3.3.1 ÁREA FOLIAR, ICF, INDICE CLOROSIS

El **área foliar** en melocotonero está correlacionada con la radiación PAR incidente (Le Roux et al. 1999). Así, la radiación PAR influye sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo de los melocotoneros y ambos tipos de desarrollo están correlacionados linealmente (Dussi 2009). La reducción de la iluminación del 20% produce un menor peso específico de las hojas y del espesor de la epidermis (Wang et al. 2011).

El área de las hojas del estudio tuvo valores entre 20 y 21 cm² (Tabla 29). Sólo hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) el día 30 de julio cuando el T0 presentó un área de hoja inferior al resto de tratamientos.

Se realizaron 5 tomas de hojas desde primeros de julio hasta finales de agosto para la determinación del ICF, IC y área foliar. En el índice de capacidad fotosintética hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) el día 5 de julio, con valores inferiores del T5 respecto del T1 y el 30 de julio con diferencias del T1 y T2 respecto del T0.

El índice de clorosis presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) el día 5 de julio con mayor índice del T5 respecto al T0 y T2 y el 30 de julio donde el T0 presentó mayor índice de clorosis que el T2.

Tabla 29. Datos obtenidos con el software Foliarea en 2007

PARÁMETRO	FECHA	TRATAMIENTO					
		0	1	2	3	4	5
ÁREA HOJA	05-jul	21,4a	21,9a	22,8a	22a	21,8a	21,3
	11-jul	20,8a	20,9a	21,7a	21,4a	20,7a	21,2a
	30-jul	20,4b	21,9a	21,7ab	21,2ab	21,5ab	21,4ab
	13-ago	20,9a	20,9a	21,4a	21,9a	20,8a	21,4a
	27-ago	20,5a	21,4a	21,8a	20,5a	21a	21,3a
ICF	05-jul	1150,7ab	1189,5ab	1233,6a	1179ab	1152,5ab	1098,1b
	11-jul	1096,8a	1117a	1169,9a	1122,2a	1074a	1095,3a

	30-jul	1094,3b	1197,4a	1183,9a	1147,7ab	1159,8ab	1158,3ab
	13-ago	1129,5a	1153a	1189,8a	1202,8a	1137,3a	1172,8a
	27-ago	1120,9a	1186,1a	1208,7a	1134,9a	1150,1a	1176,5a
INDICE CLOROSIS	05-jul	0,034b	0,045ab	0,04b	0,044ab	0,052ab	0,064a
	11-jul	0,045a	0,034a	0,043a	0,045a	0,042a	0,049a
	30-jul	0,048a	0,033ab	0,027b	0,039ab	0,036ab	0,038ab
	13-ago	0,043a	0,029a	0,026a	0,029a	0,036ab	0,031a
	27-ago	0,042a	0,038a	0,039a	0,037a	0,042a	0,035a

4.3.4 PRODUCCIÓN

4.3.4.1 EN EL ÁRBOL

Las producciones han sido elevadas (*Tabla 30*) con una horquilla de 53 a 62 t/ha, sin que se presentaran diferencias significativas en ninguno de los tratamientos ($p < 0,05$). La poda y aclareo realizado por la propiedad no fueron intensos, de ahí que esta producción sea razonable dado que los frutos se destinaban a la industria y prácticamente todos los frutos fueron válidos para su comercialización. Este dato es coincidente con el obtenido por (Gómez & Lorén 2004) en un ensayo donde se comparaban diferentes formas de fertirrigación nitrogenada en melocotonero ‘Miraflores’.

Tabla 30. Datos de producción en el árbol en 2007

	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
kg/árbol	86,7a	87,8a	92,1a	86,7a	97,2a	101,5a
Nº frutos/árbol	514a	542,2a	566a	545,7a	609,8a	591a
g/fruto	168,7a	161,9a	162,7a	159,9a	159,4a	171,7a

No hubo diferencias en las producciones del árbol ($p < 0,05$) entre tratamientos, aunque el T5 dio mayor producción y tampoco se presentaron diferencias significativas en el número de frutos del árbol ni en los caídos al suelo (*Tabla 31*), tanto en el conteo efectuado días antes de la recolección como en el realizado inmediatamente después de la recogida de los frutos del árbol.

Tabla 31. Frutos caídos al suelo en 2007

Frutos caídos al suelo						
	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
Conteo antes de recolectar	15,5a	17,5a	13,8a	13,5a	14,5a	18,5a
Conteo después de recolectar	42,8a	53,5a	45,3a	54,7a	47,8a	48,5a

4.3.5 PARÁMETROS DE CALIDAD

El Nitrógeno es el nutriente con mayor efecto sobre la calidad de la fruta. Así los frutos que han recibido la aplicación de N muestran atributos comerciales con mejor calidad de fruto (Rufat et al. 2009), aumentando los °Brix en comparación con árboles no fertilizados (George & Nissen, 1992), de manera que una buena fertilización nitrogenada produce frutos más equilibrados en sus contenidos en azúcares (Amo 1997). Niveles elevados producen crecimiento exuberante y mayor sombreado, pero no aumentan el tamaño del fruto ni la producción (Crisosto et al. 1997); inducen el retraso en la maduración (Domingo 2010) (Crisosto et al. 1997); (Daane et al. 1995) e inhiben el cambio de color de fondo, mientras que su deficiencia produce frutos pequeños con menos sabor (Crisosto et al. 1997).

Tabla 32. Parámetros organolépticos del año 2007

Parámetros organolépticos						
	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
Sólidos solubles	11,2a	10,6ab	9,9b	10,7ab	10,8a	10,5ab
pH	3,77a	3,80a	3,77a	3,77a	3,75a	3,77a
Ác. Málico	8,4a	8,4a	8a	8,2a	8,6a	8,2a
Penetrometría	3,3a	3,6a	3,4a	3,5a	3,3a	3,2a

En el ensayo no se presentaron diferencias significativas en los valores de pH, ácido málico y penetrometría (Tabla 32), pero sí en la concentración de sólidos solubles, donde el T0 y T4 tuvieron mayores concentraciones que el resto de tratamientos ($p<0,05$). Dichas concentraciones en esta campaña han sido relativamente bajas ya que no han superado los 11° Brix. No es habitual encontrar diferencias significativas de pH, más teniendo en cuenta, que este es incluso independiente de la posición del fruto en el árbol (Amo 1997). Estos datos son similares a los obtenidos por (Gómez & Lorén 2004), en sendos ensayos de quelatos y fertilizantes nitrogenados en melocotón ‘Miraflores’ y ‘Sudanell’ en Ricla y en La Almunia respectivamente, donde apenas existieron diferencias significativas en los parámetros organolépticos.

La penetrometría ha presentado valores ligeramente bajos, entre 3 y 4 kg/cm², sin que hubiera diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$).

El sistema de formación en vaso, no parece influir sobre la calidad de los frutos, ya que no suelen darse diferencias en los parámetros organolépticos de firmeza, acidez y sólidos solubles en melocotoneros con distintos sistemas de formación (Nuñez et al. 2006).

4.3.6 ANÁLISIS DE AMONIO Y NITRATOS EN EL SUELO

No se produjeron diferencias significativas en las concentraciones de amonio y nitrato en el suelo en ninguno de los dos perfiles (0-30 y 30-60) ($p < 0,05$) (Tabla 33).

Se constatan niveles más altos de nitrato en el perfil 0-30 que en el perfil 30-60, aunque no ha habido diferencias significativas ($p < 0,05$). También las concentraciones de amonio son inferiores en el perfil 30-60, aunque la diferencia con el perfil 0-30 es menor que en el caso del nitrato.

Tabla 33. Análisis de amonio y nitratos en el suelo de 2007

Concentración de Nitrato y Amonio en el suelo mg/kg de suelo							
	Profundidad	Tratamiento					
		0	1	2	3	4	5
0-30	Amonio	64,1a	76,8a	64,6a	75,9a	56,4a	50,7a
	Nitrato	573,7a	268,1a	281,6a	274a	263,6a	325,2a
30-60	Amonio	50a	71,5a	50a	52,3a	50a	52a
	Nitrato	28,4a	154,4a	145,4a	112,7a	95,2a	142,3a

Los Análisis han sido efectuados por Laboratorios AGQ Agroalimentaria y Medioambiente (Sevilla). Acreditada por ENAC

4.4 DATOS DE 2008

4.4.1 CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA DE RIEGO

La concentración de nitratos de la muestra del agua de riego tomada en julio fue de 57 mg/L, lo que equivale a una aportación de nitrógeno por el riego de 80 unidades/ha x año. Conviene tener en cuenta que el momento de mayor aportación de agua y por tanto de N se produce en julio y agosto, con el 48% del total anual. Este momento no coincide con la época de máxima demanda del melocotonero, por lo que parte del Nitrógeno puede perderse por lixiviación y no ser utilizado por las plantas.

4.4.2 LECTURAS DEL SPAD

Se realizaron 7 lecturas a lo largo del período vegetativo. En la primera realizada el 4 de junio no se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Tabla 34).

Tabla 34. Valores de Spad del 2008

Valores de Spad						
	Tratamiento					
Fecha	0	1	2	3	4	5
04-jun	31,6a	35,2a	34,9a	33,5a	33a	33,15a
27-jun	39,5c	40,9ab	41,8a	40,3bc	39,9bc	39,9bc
09-jul	38,9b	40,8a	40,5ab	39,1b	39,4ab	39,3ab
24-jul	40,3a	42,4b	41,8ab	41,6ab	41,3ab	41,4ab
06-ago	41,9b	43ab	43,9a	43,7a	43,1ab	42,5ab
20-ago	42b	43,3a	43,8a	44,1a	43,4a	43,a
04-sep	43,1b	44,9a	44,3a	44,3a	44,3a	44ab

El 27 de junio hubo diferencias del T2 respecto de T0, que variaron el 9 y 27 de julio con diferencias del T1 con respecto al T2 en ambos casos, y con el T3 el día 9. El 6 de agosto las diferencias fueron de T2 y T3 respecto de T0. En las lecturas del 20 de agosto hubo diferencias significativas de todos los tratamientos con el T0 y en las del 4 de septiembre, del T1, T2, T3 y T4 con el T0 ($p<0,05$).

4.4.3 FOLIÁREA

Se realizaron 5 muestreos. De las hojas muestreadas el 14 de julio se obtuvieron diferencias significativas en el área foliar de T2 con T5 y T1; también las hubo de la capacidad fotosintética de T2, respecto de T0, T1, T3 y T5, y en el índice de clorosis de T2 con relación a T1 ($p<0,05$) (Tabla 35)

Tabla 35. Datos obtenidos con el software Foliarea en 2008

PARÁMETRO	FECHA	TRATAMIENTO					
		0	1	2	3	4	5
ÁREA HOJA	14-jul	22,23ab	21,56b	23,54a	22,24ab	22,35ab	21,83a
	29-jul	22a	22a	23,25a	22,94a	22,48a	23,42a
	12-ago	22,53b	23,98ab	24,39ab	24,34ab	24,09ab	24,69a
	29-ago	23,42a	24,23a	23,95a	24,08a	24,42a	24,2a
	09-sep	22,2a	22,94a	23,21a	22,52a	22,81a	22,51a
ICF	14-jul	1167,1b	1131,3b	1283,6a	1168,1b	1182,9ab	1171,8b
	29-jul	1182,7b	1163,8b	1227,1ab	1226,7ab	1204,2ab	1287,2a
	12-ago	1172,2b	1232,2ab	1260,8ab	1271,6ab	1231,8ab	1315,6a
	29-ago	1215,7a	1256,9a	1230,4a	1252,4a	1265,0a	1279,0a
	09-sep	1139,9a	1163,9a	1195a	1109,6a	1144a	1140,6a
ÍNDICE CLOROSIS	14-jul	0,018ab	0,026a	0,010b	0,018ab	0,015ab	0,011ab
	29-jul	0,019a	0,019a	0,016a	0,016a	0,017a	0,014a
	12-ago	0,020a	0,012a	0,014a	0,014a	0,013a	0,013a
	29-ago	0,011a	0,009a	0,009a	0,011a	0,010a	0,010a
	09-sep	0,013a	0,010a	0,014a	0,009a	0,011a	0,009a

En el muestreo del 29 de julio no hubo diferencias en el área foliar, ni en el índice de clorosis, pero sí en la capacidad fotosintética de T5 que fue superior respecto de T0 y T1 ($p<0,05$)

Las hojas muestreadas el día 12 de agosto, tuvieron diferencias significativas en el área y capacidad fotosintética de T5 (área, 24,7 cm²) respecto de T0 (22,5 cm²) y no hubo diferencias en el índice de clorosis ($p<0,05$).

Muestreos posteriores, realizados el 29 de agosto y 9 de septiembre no mostraron diferencias significativas en ninguno de los 3 parámetros.

Se observa que cuando la toma de datos coincide con paradas de crecimiento, disminuye la manifestación de la clorosis férrica. Esta diferencia también se ha observado

en una serie de árboles de la parcela que no habían sido tratados con paclobutrazol, donde la manifestación de la clorosis ha sido más constante.

4.4.4 PESO Y CALIBRE DE FRUTOS

4.4.4.1 DISTRIBUCIÓN DE CALIBRES DE 120 FRUTOS POR TRATAMIENTO

El calibre medio de los frutos tomado con 15 días de antelación a la recolección no mostró diferencias significativas entre tratamientos, con valores entre 63,3 y 65,4 mm de diámetro ($p < 0,05$) (Tabla 36).

Tabla 36. Calibre medio de 20 frutos del árbol en 2008

CALIBRE MEDIO DE 20 FRUTOS/ÁRBOL						
Tratamiento	0	1	2	3	4	5
mm/fruto	65,4a	64,3a	63,7a	63,3a	64a	64,4a

En la (Figura 46) se puede observar como T0 presentó un mayor porcentaje de frutos en el rango de calibres 62-67 y 68-73. T2 y T3 tuvieron casi 1/3 de los frutos en calibres bajos de: 57-61.

Tabla 37. Distribución porcentual de calibres en 2008

PORCENTAJE						
	T1	T2	T3	T4	T5	T0
<56	0,8	1,7	3,3	0,8	0,0	0,0
57-61	21,7	30,8	27,5	24,2	21,7	12,5
62-67	60,8	47,5	55,8	55,0	59,2	60,0
68-73	15,8	19,2	12,5	19,2	18,3	27,5
74-80	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,0
>80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100,0

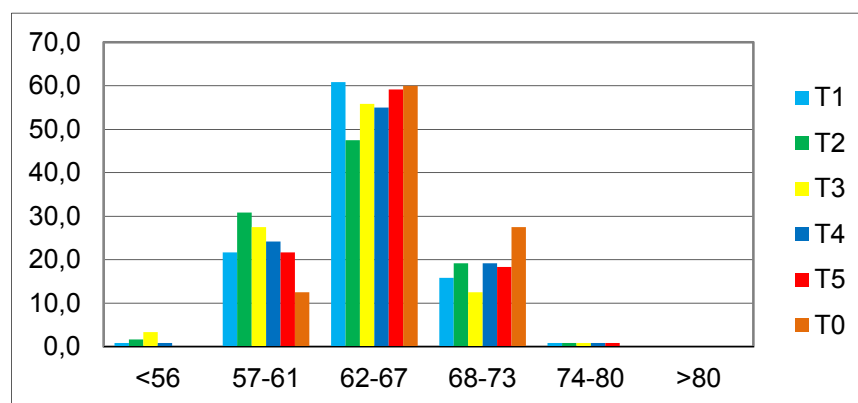


Figura 46. Distribución porcentual de calibres

4.4.5 PRODUCCIÓN

La producción, en kilogramos por árbol, fue significativamente diferente entre T5 (119,2 kg) y T0 (93,8 kg) (Tabla 38). El número de frutos del árbol también fue mayor en T2 (720), y T5 (716), respecto de T0 (534). Del mismo modo, el número de frutos del suelo fue significativamente superior en T1 (54) respecto de T0 (40). En ensayos realizados en años anteriores, (Gómez & Lorén 2004) observaron una reducción del número de frutos por árbol en los tratamientos testigo que no se fertilizaron, respecto de aquellos tratamientos con aplicación de fertilizante.

Tabla 38. Producción en 2008

Producción						
	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
kg/árbol	93,83b	107,41ab	113,57ab	93,07b	104,98ab	119,19a
nº frutos/árbol	534,5b	680,7ab	720,3a	620,3ab	642,3ab	716,7a
g/fruto	176,13a	157,9b	157,89b	158,26b	163,79b	168,62ab
kg suelo prerrecolec.	1,17a	1,12a	1,56a	1,36a	1,52a	1,63a
kg suelo postrecolec	5,52a	7,4a	6,46a	6,5a	6,9a	6,72a
kg totales	100,52b	115,92ab	121,59ab	103,92ab	113,9ab	127,54a

En cuanto al peso de los frutos, fue superior en T0, con 176 g (muy similar al de los 120 frutos muestreados), respecto de T1, T2, T3 y T4.

La cantidad de frutos caídos al suelo, tanto en prerecolección como en postrecolección no presentó diferencias significativas ($p < 0,05$).

La producción total (frutos del árbol y del suelo), fue significativamente diferente entre T5 con 127,5 kg/árbol y T0 con 100,5 kg/árbol ($p < 0,05$).

Hay una clara correlación entre los kilogramos por árbol y el número de frutos ($p < 0,01$) y coeficiente de correlación del 0,94

$$\text{Kg} = 18,2328 + 0,134401 * \text{NFRUTOS}$$

También se obtiene una correlación significativamente estadística entre el número de frutos y su peso ($p < 0,01$). Coeficiente de correlación del -0,54

$$\text{NFR} = 1776,2 - 6,8619 * \text{gfruto}$$

4.4.6 PARÁMETROS DE CALIDAD

La concentración de sólidos solubles fue superior en T0 con relación a T1, T2 y T5 (Tabla 39). El peso de los 10 frutos recolectados para el muestreo presentó diferencias significativas del T0, respecto de T1 y T2. La correlación entre el peso de los frutos y su calibre fue elevada (r^2 : 0,95).

Tabla 39. Parámetros organolépticos de 2008

Parámetro	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
g/fruto	178,8a	151,5c	158,1bc	173ab	165,4abc	173,9ab
mm de Ø)	73,2a	69,8c	70,5ab	73,2a	72,5bc	73,5a
Sólidos solubles °Brix	11,0a	9,8c	9,9bc	10,3abc	10,8ab	10,03ab
Ác. Málico (g/l)	2,9a	2,98a	2,85a	2,56a	2,65a	2,61a
Penetrometría kg/cm ²	4,8a	4,6a	4,4a	4,7a	4,7a	4,9a

Los valores de penetrometría, no presentaron diferencias significativas, encontrándose entre los 4,4 kg/cm² del T2 y los 4,9 kg/cm² del T5.

Los valores de acidez, expresada en g de ácido málico por litro de zumo, no presentaron diferencias significativas, variando entre los 2,6 g del T3 y 3 g del T1. Los valores obtenidos se consideran inferiores a los normales para esta variedad. En experiencias de (Gómez & Lorén 2004), se obtuvieron valores entre 4,6 y 7,5 g/litro.

4.4.7 CAUDAL DE LOS GOTEROS

No se produjeron diferencias significativas entre los caudales emitidos por los goteros de los distintos tratamientos, con caudales entre 9,46 y 9,66 l/hora (Tabla 40). Esta cantidad estaba por encima del caudal indicado por el fabricante que era de 8l/h, debido a que la presión del sistema era ligeramente superior a la recomendada.

Tabla 40. Caudal medio de los goteros

CAUDAL GOTEROS	Tratamiento	0	1	2	3	4	5
(L/h)		9,5a	9,6a	9,6a	9,5a	9,5a	9,5a

4.4.8 ANÁLISIS DE AMONIO Y NITRATOS EN EL SUELO

En el horizonte de 0 a 30 cm no se produjeron diferencias significativas entre tratamientos en la concentración de amonio y nitratos. Las concentraciones de amonio fluctuaron entre los 50,3 mg/kg de T0 y los 80,3 de T5; las de nitratos entre los 186,3 mg/kg de T4 y los 322,8 de T1 (Tabla 42)

Tampoco se produjeron diferencias en el horizonte de 30 a 60 cm.

Si pudo constatar una menor concentración de nitratos en el horizonte 30-60, con relación al horizonte 0-30 cm, lo que indicaría un menor riesgo de lavado.

Tabla 41. Concentración de amonio y nitrato en el suelo

Concentración de amonio y nitrato en el suelo (mg/kg)							
		Tratamiento					
		0	1	2	3	4	5
0-30	Amonio	50,29a	79,53a	64,12a	70,95a	61,44a	80,33a
	Nitrato	213,78a	322,75a	188,61a	238,69a	186,27a	201,26a
30-60	Amonio	59a	50a	50a	60a	50a	51a
	Nitrato	84,67a	101,47a	78a	109,1a	92,22a	95,83a

4.5 DATOS DE 2009

4.5.1 CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA DE RIEGO

La concentración de nitratos de la muestra de agua tomada en el mes de Julio fue de 56 mg/L y por lo tanto similar a los años anteriores.

4.5.2 LECTURAS DEL SPAD

A lo largo de 2009, se efectuaron 6 tomas de datos (Tabla 43).

Los resultados obtenidos el 8 de junio, presentaron valores bajos con relación a otros obtenidos en ensayos con condiciones similares (Gómez & Lorén 2004), en torno a 25,5, sin que hubiera diferencias significativas ($p < 0,05$)

En la medición del 22 de junio, hubo diferencias significativas entre el T1 y el T3, y T4. El T5 tuvo valores inferiores y significativamente diferentes de T0, T1 y T2 ($p < 0,05$).

Tabla 42. Valores obtenidos con el spad en 2009

Spad						
	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
08-jun	27,03a	26,72a	25,57a	25,13a	27,63a	25,91a
22-jun	30,65ab	31,8a	30,12ab	29,73bc	29,32bc	28,2c
16-jul	37,75a	36,68a	38,58a	37,08a	36,57a	37,91a
28-jul	41,11a	41,45a	39,3a	40,71a	41,51a	41,71a
11-ago	42,51a	42,36a	43,56a	42,11a	43,8a	43,21a
24-ago	42,98a	43,8a	44,11a	43,71a	44,78a	44,23a

A partir de este momento, las distintas mediciones no han presentado diferencias significativas entre tratamientos, produciéndose para todos ellos, un continuo incremento de los valores, comenzando en 37 el 16 de julio, y alcanzando el valor de 44 a finales de agosto. Cabe indicar que probablemente esto se debió al efecto del paclobutrazol, ya que su acción induce un menor crecimiento y como consecuencia de ello se ralentiza la aparición de hojas jóvenes que tienen menor actividad fotosintética que las adultas.

4.5.3 DATOS DE FOLIÁREA

Durante 2009 se recogieron hojas en 6 ocasiones. Sólo se encontraron diferencias significativas en alguno de los parámetros en las muestras del 9 de junio y 16 de julio (Tabla 43).

Tabla 43. Datos del software foliarea del año 2009

		0	1	2	3	4	5
ÁREA 1 H	09-jun	21,5b	23,6ab	23,3ab	24,4a	23,5ab	23,2ab
	16-jul	22,2a	23,7a	23,5a	24,1a	24,2a	23,9a
	27-jul	21,6a	23,7a	23,0a	23,2a	22,7a	23,2a
	11-ago	25,2a	27,9a	27,3a	26,8a	27,2a	26,5a
	24-ago	24,7a	26,9a	25,2a	23,0a	24,4a	25,7a
ICF	09-jun	1018,7b	1113,1ab	1124,0ab	1159,2a	1164,4b	1112,0ab
	16-jul	1215,8b	1330,8ab	1274,9ab	1346,7ab	1357,4ab	1334,0a
	27-jul	1150,0a	1279,3a	1232,0a	1250,0a	1227,7a	1243,9a
	11-ago	1396,9a	1461,6a	1697,2a	1364,0a	1438,7a	1387,1a
	24-ago	1220,6a	1328,6a	1256,4a	1225,0a	1187,2a	1271,7a
I. CLOROSIS	09-jun	1,48a	1,34abc	1,27bc	1,24c	1,32bc	1,41bc
	16-jul	1,35a	1,25a	1,3a	1,25 ^a	1,25a	1,27a
	27-jul	1,39a	1,25a	1,31a	1,3a	1,33a	1,29a
	11-ago	1,79a	1,35a	1,38a	1,39a	1,38a	1,41a
	24-ago	1,57a	1,46a	1,48a	1,55a	1,55a	1,53a

Las muestras del 9 de junio presentaron diferencias en el área foliar, I.C.F. e Índice de clorosis. Así, el T3 fue significativamente diferente del T0 ($p < 0,05$)

El índice de capacidad fotosintética fue significativamente superior en T5 con relación al T0 el día 16 de julio. El índice de clorosis también fue significativamente superior en T0, con relación a los tratamientos: T2, T3, T4 y T5 ($p < 0,05$).

4.5.4 FLUORIMETRÍAS 2009

La razón F_v/F_m es un parámetro especialmente útil puesto que indica el rendimiento cuántico (Val & Monge 1990) y es proporcional a la máxima eficiencia fotoquímica primaria de las hojas (Demming-Adams & Adams s. f.) y es una de las variables de fluorescencia más estudiadas por numerosos autores (Björkman & Demmig 1987), que han encontrado buenas correlaciones entre este parámetro y el estrés hídrico (Fililla et al 1998 citados por Navarro et al. 2004).

La eficacia máxima fotoquímica se determina como la relación entre la fluorescencia variable F_v y la fluorescencia máxima F_m , por la fórmula $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$ (Navarro et al. 2004); (Val & Monge 1990). Los valores de F_v/F_m se mostraron estables y con poca variación entre equipos e instrumentos, cuando se utilizó el mismo

protocolo de medición, siendo poco estables cuando no se utilizó un mismo protocolo en el muestreo (Bussotti 2011).

(Bleda et al. 2011) comprobaron que los valores de fluorescencia de la clorofila, se correlacionaron de forma lineal con las concentraciones de N en hojas en dos patrones de cítricos.

En el estudio se midió fluorescencia en dos ocasiones durante 2009.

De los datos obtenidos el 31 de julio (*Tabla 44*) se observa que solo hubo diferencias significativas del área del T2 respecto del T1 y del parámetro TFm entre T2 y T0, T1 y T3.

Tabla 44. Fluorimetría 31 de julio

31-jul						
	0	1	2	3	4	5
F0	5444a	5519a	5386a	5555a	6015a	5097a
Fm	27306a	27274a	29728a	28908a	28244a	26797a
Fv	21862a	21755a	24341a	23352a	22228a	21700a
Fv/Fm	0,794a	0,794a	0,811a	0,801a	0,784a	0,808a
TFm	246,6b	238,3b	530,0a	241,6b	323,3ab	280,0ab
Fv/F0	4085a	3946a	609a	4397a	931a	4313a
ÁREA	620460ab	571676b	959078a	595976ab	801947ab	617516ab
PI	5375a	4296a	7028a	6728a	5945a	5844a
RC_ABS	1826a	1636a	2073a	1779a	1672a	1932a

De los datos del 17 de agosto (*Tabla 45*) , solo cabe destacar la existencia de diferencias significativas ($p<0,05$) del parámetro TFm entre T2 y T3; F0 de T5 respecto de T0; PI entre T5 y T0 y de la relación RC_ABS entre T5 y los demás tratamientos, salvo T3.

Tabla 45. Fluorimetría 17 de agosto

17-ago						
	0	1	2	3	4	5
F0	394a	349ab	347ab	369ab	362ab	340b
Fm	1913a	2087a	2079a	1952a	2130a	2056a
Fv	1519a	1737a	1732a	1583a	1767a	1715a
Fv/Fm	0,77a	0,83a	0,83a	0,80a	0,83a	0,83a
TFm	245ab	250ab	275a	221b	251ab	258ab
Fv/F0	4,13a	4,99a	5,00a	4,44 ^a	4,91a	5,05a
ÁREA	39349a	41196a	40333a	37053a	45909a	41850a
PI	3862b	6023ab	6292ab	5031ab	6507ab	6829a
RC_ABS	1328b	1839a	1854a	1580ab	1944a	1937a

4.5.5 **CALIBRE DE LOS FRUTOS MUESTREADOS**

El calibre de los frutos muestreados no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Tabla 46. Calibre de los frutos muestreados.

	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
mm	72,68a	70,82a	70,33a	70,82a	70,68a	71,02a

4.5.6 **PRODUCCIÓN Y PESO DE LOS FRUTOS**

La producción de 2009 (Tabla 47) no presentó diferencias significativas entre tratamientos, aunque destacó el T5 con 95,3 kg frente al testigo con 82,0. Este año, las producciones fueron ligeramente inferiores a los años anteriores debido a que el aclareo realizado por la propiedad fue más intenso.

Tabla 47. Producción del árbol año 2009

PRODUCCIÓN DEL ÁRBOL						
TTO	0	1	2	3	4	5
KG/ÁRBOL	82a	90,1a	90,9a	89,1a	89,1a	95,3a
FRUTOS/ÁRBOL	486a	549a	568a	560a	530a	585a
GRAMOS/FRUTO	168,9a	166,7a	160,9a	161a	167,8a	162,8a

El número de frutos por árbol no presentó diferencias significativas, aunque el T0 tuvo menos frutos que el resto de tratamientos. Se mantiene una elevada correlación entre el número de frutos y la producción ($r^2=0,87$)

El peso de los frutos tampoco presentó diferencias significativas, aunque T0, T1 y T4 dieron frutos con mayor peso. La correlación entre el número de frutos y la cosecha fue significativa ($p < 0,01$), con un coeficiente de correlación de 0,94. La correlación entre el número de frutos y su peso, fue de signo negativo, con una relación estadísticamente significativa ($p < 0,01$) y un coeficiente de -0,54.

Se realizó un muestreo de 20 frutos por árbol, con objeto de establecer una distribución de calibres, comprobando que no había diferencias significativas en su distribución comercial. Se puede apreciar como los calibres de 2009 son superiores a los de años anteriores. La producción por hectárea es similar al año 2007 e inferior al 2008 (Figura 47).

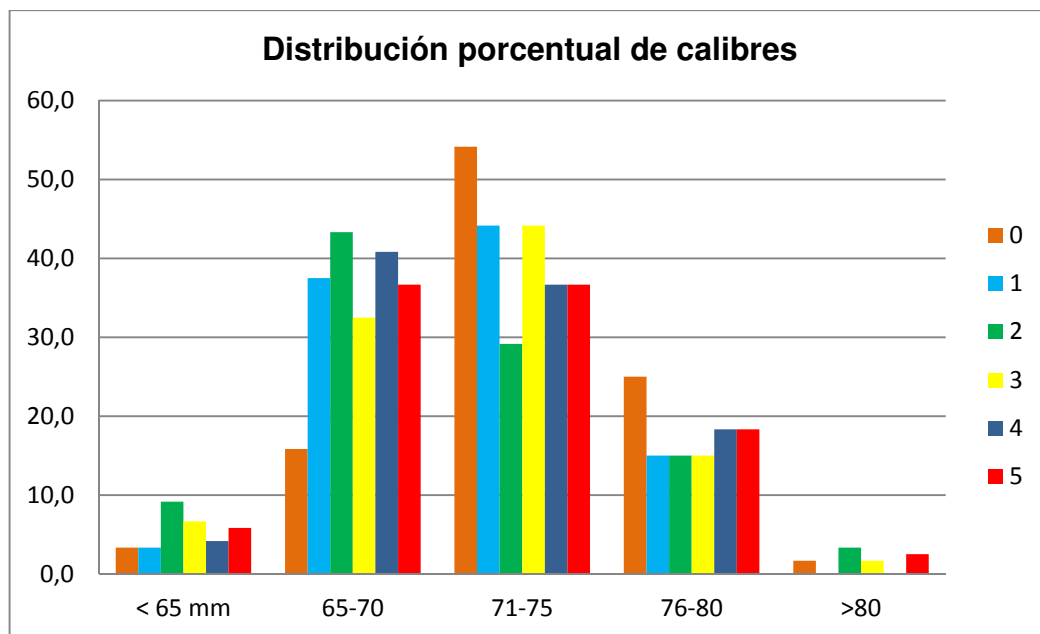


Figura 47. Distribución de calibres

4.5.7 PARÁMETROS DE CALIDAD

La concentración en fruto de ácido málico en 2009 no presentó diferencias significativas entre tratamientos, siendo sus valores muy bajos: 1,6-1,7 g/L de zumo (Tabla 48)

Los resultados de penetrometría de la recolección de 2009, presentaron valores bajos, entre 1,6 y 2 kg/cm², debido a que se retrasó la recolección por la lluvia y se produjo un ablandamiento excesivo de los frutos que, por otra parte, iban destinados a zumo, como consecuencia de los bajos precios de este año.

Los valores de pH de la cosecha del 2009, no fueron significativamente diferentes y se encontraban en el intervalo de valores normales, entre 3,6 y 3,7.

Tabla 48. Parámetros organolépticos

Parámetros organolépticos						
	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
Ac. málico g/l	1,73a	1,65a	1,71a	1,63a	1,73a	1,71a
Penetrometría kg/cm2	1,58a	1,71a	1,95a	1,63a	2,02a	1,87a
pH	3,75a	3,72a	3,68a	3,75a	3,73a	3,7a
Sólidos solubles °Brix	9,91a	9,58a	9,75a	9,41a	9,83a	9,66a

4.5.8 FRUTOS/CM DE RAMO MIXTO

Se contaron los frutos que había en 5 ramos mixtos de longitud similar, para determinar el número de frutos por cm de longitud. No se obtuvieron diferencias

significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, si bien, el T1 y T2, con 0,24 frutos/cm dieron valores más altos que T0 y T4 ($< 0,19$ frutos/cm) (Tabla 49).

Tabla 49. Frutos por centímetro de ramo mixto

	Tratamiento					
	0	1	2	3	4	5
frutos/cm	0,194a	0,242a	0,24a	0,224a	0,191a	0,204a

4.6 DATOS 2010

4.6.1 CONCENTRACIÓN DE NITRATOS DEL AGUA DE RIEGO

En el muestreo efectuado en el mes de Julio, la concentración de nitratos fue muy superior a la obtenida en años anteriores (> 150 mg/L, con una conductividad eléctrica superior a $1,9$ dS/m, por lo que se procedió a realizar un nuevo muestreo en septiembre, en el que se obtuvieron valores similares a los de años anteriores con una concentración de 55 mg/L. *Análisis efectuado por laboratorios AGQ Agroalimentaria y Medioambiente (Sevilla). Acreditado por ENAC.*

4.6.2 LECTURAS DEL SPAD 2010

De los resultados obtenidos se observa que en 2010 los valores han sido más elevados que en 2009, con diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), los días 27 de mayo, 25 de junio, 8 de julio, 19 de agosto y 9 de septiembre (Tabla 50)

En la lectura del 27 de mayo el T1 y T5 han presentado valores significativamente superiores al T0 ($p < 0,05$).

El 25 de junio, T2, T3 y T4 fueron significativamente superiores al T0.

El 19 de agosto todos los tratamientos presentaron valores significativamente superiores al T0, mientras que el 9 de septiembre sólo presentaron diferencias T2 y T3 respecto de T0 ($p < 0,05$).

T1 y T3 han sido los tratamientos que en más ocasiones se han mostrado significativamente diferentes de T0.

En experiencias realizadas en melocotón Miraflores sobre GF677, en la localidad de Ricla con N en forma amoniacal y nítrica durante el período 2001-2006, sólo se observaron diferencias significativas en los valores de Spad obtenidos en los muestreos del mes de mayo y primeros de junio respecto del testigo (Gómez & Lorén 2004).

Tabla 50. Valores obtenidos con el spad en 2010

	0	1	2	3	4	5
27-may	35,5b	38,1a	37,7ab	38,9a	37,7ab	38,8a
11-jun	34,0a	35,5a	35,7a	35,3a	34,6a	34,2a
25-jun	32,9b	35,2ab	34,8ab	36,0a	35,3a	34,7ab
08-jul	38,9b	40,5a	40,5a	40,8a	40,6a	40,3ab
20-jul	41,6a	42,3a	42,1a	42,6a	43,0a	42,5a
05-ago	44,7a	45,1a	45,1a	45,8a	46,1a	45,3a
19-ago	44,2b	46,4a	46,6a	45,6a	46,4a	46,4a
09-sep	42,4b	48,4a	47,9ab	48,1a	47,8ab	47,8ab

Cuando se comparan los datos del T0 respecto de la media de los otros tratamientos (Tabla 51), se obtienen diferencias significativas ($p < 0,05$), los días 25 de junio y 19 de agosto a favor de los demás tratamientos. El día 8 de julio el testigo presentó valores significativamente superiores a la media de los demás.

Tabla 51. Spad. Comparación del testigo y media de los demás tratamientos

	T0	TX
25 de junio	32,9b	35,2a
8 de julio	41,6a	40,6b
20 de julio	41,6a	42,5a
5 de agosto	44,5a	45,5a
19 de agosto	44,2b	46,3a

4.6.3 DATOS DE FOLIÁREA

4.6.3.1 ÁREA FOLIAR

De los muestreos realizados se observó que (Tabla 52):

- El día 14 de junio hubo diferencias significativas entre T5 (20,26 cm²) y T0 (18,26 cm²).
- El 25 de junio T5 fue significativamente diferente de T0 y T3, al mismo tiempo que T2 y T5 presentaron diferencias con T0.
- El 8 de julio todos los tratamientos tuvieron áreas significativamente superiores a T0. Este hecho se repitió el día 20 de julio, si bien, en esta fecha T5 resultó también significativamente diferente de T4 ($p < 0,05$).
- El 5 de agosto todos los tratamientos fueron significativamente superiores de T0; 14 días después no hubo diferentes entre los tratamientos. El día 8 de septiembre nuevamente T5 fue diferente de T0 y también de T1 ($p < 0,05$).

- Se puede constatar cómo T5 ha tenido áreas foliares significativamente superiores de T0 en todas las fechas muestreadas y en dos ocasiones respecto de T3 y T4.
- Los demás tratamientos han sido diferentes de T0 en alguno de los muestreos del 8 y 20 de julio, 5 de agosto y 19 de septiembre.

Tabla 52. Área foliar promediada de 1 hoja

		0	1	2	3	4	5
ÁREA FOLIAR	14-jun	18,26b	19,42ab	19,3ab	19,43ab	19,59ab	20,26a
	25-jun	18,38c	19,85abc	20,29ab	19,09bc	19,63abc	21,12a
	08-jul	18,63b	20,98a	21,28a	21,19a	20,58a	21,76a
	20-jul	16,24d	19,61bc	19,56bc	19,72bc	18,94cd	20,27a
	05-ago	17,39b	21,45a	22,14a	21,72a	22,07a	21,93a
	19-ago	16,64a	21,14a	21,37a	20,91a	20,60a	21,66a
	08-sep	16,1d	19,93bc	20,06ab	19,7ab	19,53ab	21,09a

4.6.3.2 I.C.F

El tratamiento T5 ha sido diferente ($p<0,05$) de T0 en todas las fechas de muestreo con un mayor índice. Los demás tratamientos han sido diferentes de T0 en todas las fechas muestreadas a partir del 8 de julio (Tabla 53).

T5 también ha sido diferente de todos los tratamientos el 25 de junio y de T1 el día 8 de septiembre.

Se constata que T5 ha dado los valores más altos de área foliar y de índice de capacidad fotosintética, con valores superiores a T0, significativamente diferentes ($p<0,05$), lo que indicaría que ha podido tomar más nitrógeno del suelo en todo momento.

Tabla 53. Índice de capacidad fotosintética.

		0	1	2	3	4	5
I.C.F	14-jun	869,9b	949,5ab	933,6ab	941,0ab	941,4ab	974,8a
	25-jun	907,7c	1003,8abc	1036,4bc	963,5ab	958,9ab	1071,4a
	08-jul	951,8b	1097,5a	1118,1a	1116,4a	1070,2a	1144,3a
	20-jul	834,5b	1023,5a	1008,3a	1021,3a	984,6a	1057,7a
	05-ago	903,4b	1145,7a	1169,2a	1145,6a	1174,8a	1166a
	19-ago	856,40b	1117,3a	1127,5a	1099,6a	1087,6a	1154,5a
	08-sep	850,8e	1015,4cd	1083,8abc	1053,7ab	1047,6ab	1136,6a

4.6.3.3 INDICE CLOROSIS

El índice de clorosis ha sido significativamente superior en el T0 respecto de los demás, los días 8 de julio y 5 de agosto (Tabla 54). También fue superior al T4 el 25 de junio.

Tabla 54. Índice de clorosis

		0	1	2	3	4	5
INDICE DE CLOROSIS	14-jun	0,0648a	0,058a	0,0573a	0,0533a	0,0545a	0,0549a
	25-jun	0,0424a	0,0311ab	0,0265ab	0,0242ab	0,0199b	0,0238ab
	08-jul	0,035a	0,0154b	0,0165b	0,0161b	0,0211b	0,0144b
	20-jul	0,0267a	0,0139a	0,0219a	0,0218a	0,0187a	0,0158a
	05-ago	0,0211a	0,0144b	0,0103b	0,0128b	0,0111b	0,0114b
	19-ago	0,02744a	0,01187a	0,01226a	0,01623a	0,01303a	0,01202a
	08-sep	0,01735a	0,01099a	0,0149a	0,00999a	0,00927a	0,00946a

4.6.4 FLUORIMETRÍAS

4.6.4.1 FLUORIMETRÍAS 2010

Se constata la existencia de diferencias significativas en los valores de F0 entre T1 y los tratamientos T0 y T5; también hay diferencias en la relación Fv/Fm entre T2, T3 y T5 con T1; asimismo la relación Fv/F0 presentó diferencias significativas entre T3 y T5 con relación a T1, T2 y T4 (Tabla 55)

Tabla 55. Fluorimetría del 28 de junio

28-jun						
	0	1	2	3	4	5
F0	4660b	5218a	4837ab	4815ab	4976ab	4673b
Fm	27670a	28700a	30354a	31000a	28160a	28160a
Fv	23009a	23482a	25516a	26185a	23184a	25327a
Fv/Fm	0,83ab	0,815b	0,84a	0,844a	0,822ab	0,843a
TFm	283a	365a	242a	241a	266a	281a
Fv/F0	4,97abc	4,52c	5,27ab	5,44a	4,7ab	5,41a
ÁREA	680623a	705297a	648703a	674235a	720233a	580505a
PI	9607a	7772a	9747a	10539a	8136a	10447a
RC_ABS	2647a	2364a	2625a	2718a	2391a	2721a

De los resultados obtenidos el 16 de julio, cabría destacar las diferencias significativas entre T5 y T0 en algunos parámetros, como Fm, Fv ($p < 0,05$) (Tabla 56).

Tabla 56. Fluorimetría del 16 de julio

16-jul						
	0	1	2	3	4	5
F0	4888ab	4614b	4673ab	5152a	4781a	4963ab
Fm	32054a	27918b	28735ab	29037ab	30242ab	27888b
Fv	27165a	23304ab	24062ab	23885ab	25461ab	22925b
Fv/Fm	0,848a	0,835a	0,835a	0,82a	0,841a	0,818a
TFm	486ab	255a	563a	426ab	281ab	258b

Fv/F0	5,5a	5,0a	5,2a	4,7a	5,3a	4,6a
ÁREA	760527ab	689811b	765434ab	1003498a	717008a	940068ab
PI	10065a	8540a	9471a	8097a	9551a	9859a
RC_ABS	5540a	5044a	5197a	4683a	5325a	4768a

El 30 de julio aparecen como destacables las diferencias significativas de algunos parámetros de T4 y T5 con relación a T0, entre ellos Fv_Fm (*Tabla 57*)

Tabla 57. Fluorimetría del 30 de julio

30-jul						
	0	1	2	3	4	5
F0	5269ab	5155ab	4870bc	5031bc	5110abc	4723c
Fm	31574b	33369ab	35250ab	34099ab	36245a	33626ab
Fv	26314b	28213ab	30379ab	29068ab	31135a	28902ab
Fv/Fm	0,825b	0,841ab	0,861a	0,851ab	0,858a	0,861a
TFm	325a	598a	535a	683a	293a	370a
Fv/F0	5,10b	5,47ab	6,24a	5,75ab	6,10a	6,18a
ÁREA	913074a	1012960a	1691720a	1325400a	1099870a	1063980a
PI	9156a	13043a	10508a	11357a	11357a	14673a
RC_ABS	2430a	2610a	2937a	2664a	2759a	3182a

Los datos obtenidos el día 10 de agosto, muestran diferencias de PI entre T1, T2 y T4 respecto de T0 ($p<0,01$) y de RC_ABS, T4, T2 y T1 respecto de T0 (*Tabla 58*).

Tabla 58. Fluorimetría del 10 de agosto

10-ago						
	0	1	2	3	4	5
F0	4687a	4908a	5187a	5187a	4849a	4803a
Fm	27999b	29169ab	28587ab	31812a	29651ab	28503ab
Fv	22836b	24481ab	23679ab	26625a	24801ab	23700ab
Fv/Fm	0,814a	0,838a	0,824a	0,837a	0,835a	0,829a
TFm	358a	258a	316a	211a	260a	238a
Fv/F0	4,41a	5,25a	4,95a	5,19a	5,13a	4,98a
ÁREA	792516a	840536a	895610a	853871a	811096a	810245a
PI	5955b	10924a	10842a	9001ab	10042a	10284b
RC_ABS	2015b	2794a	2789a	2416ab	2680a	2748a

Destacar las diferencia significativas de Fv/Fm entre T1 y T0, T3, T4 ($p<0,01$) y también Fv/F0 de T1 respecto de T0, T3 y T4. PI es diferente ($p<0,01$) de T0 y T2 (*Tabla 59*).

Tabla 59. Fluorimetría del 19 de agosto

19-ago						
	0	1	2	3	4	5
F0	4859a	4649a	4862a	4571a	4877a	4831a
Fm	29578ab	31638a	31008a	27814b	30332ab	31360a
Fv	24719ab	26988a	26145a	23243b	25455ab	26529a
Fv/Fm	0,83b	0,85a	0,84ab	0,83b	0,83b	0,84ab
TFm	255b	466a	316ab	211b	316ab	203a
Fv/F0	5,12b	5,82a	5,38ab	5,08b	5,21b	5,48ab
ÁREA	661922b	1023180a	699011b	673588b	808586ab	780208ab
PI	9796b	13983a	10160b	10609ab	11023ab	11201ab
RC_ABS	2620bc	3216a	2649bc	2839abc	2848abc	2794abc

El día 1 de septiembre no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 60).

Tabla 60. Fluorimetría del 1 de septiembre

01-sep						
	0	1	2	3	4	5
F0	5162a	5021a	4901a	4929a	5087a	5261
Fm	27971a	28880a	29252a	27748a	29027a	28660a
Fv	22890a	23859a	24351a	22829a	23939a	23399a
Fv/Fm	0,814a	0,825a	0,83a	0,821a	0,824a	0,814a
TFm	486a	283a	358a	315a	368a	591a
Fv/F0	4,44a	4,76a	4,97a	4,66a	4,70a	4,47a
ÁREA	710056a	756082a	881148a	764597a	769283a	772697a
PI	6211a	7997a	9641a	8158a	8552a	7177a
RC_ABS	2139a	2658a	2658a	2465a	2595a	2296a

Finalmente, el día 9 de septiembre, hubo diferencias de Fv/Fm entre todos los tratamientos respecto de T0 ($p < 0,01$) y también de Fv/F0 (Tabla 61).

Tabla 61. Fluorimetría del 9 de septiembre

09-sep						
	0	1	2	3	4	5
F0	5410a	5024ab	4751b	4827b	5027ab	4912ab
Fm	25297b	30435a	29010ab	28494ab	29673ab	28960ab
Fv	20517b	25411a	24259ab	23667ab	24645a	24047ab
Fv/Fm	0,789b	0,834a	0,835a	0,828a	0,829a	0,829a
TFm	33200b	47400ab	33200b	39200ab	43200ab	60000a
Fv/F0	3,86b	5,07a	5,1a	4,9a	4,9a	4,9a
ÁREA	651784b	963963a	901924ab	785004ab	775726ab	1048860a
PI	6659a	10652a	10928a	11446a	9051a	8963a
RC_ABS	2305a	2878a	2985a	2980a	2609a	2665a

4.6.5 DATOS DEL CEPTÓMETRO

Se observa la gran diferencia existente entre las distintas zonas del árbol y las diferentes alturas. Al mismo tiempo, se pueden comprobar las diferencias según la orientación (*Tabla 62*).

Datos medios de las mediciones hechas en las 4 direcciones de la rosa de los vientos, a distinta altura del árbol, tanto en la zona externa como en el interior.

Tabla 62. Datos del ceptómetro del 12 de julio

HORA DE LA MEDIDA: 12.00	CEPTÓMETRO 12/Julio	
EXTERIOR	1.664	w/m ²
ZONA MEDIA EXTERIOR	639	
ZONA ALTA	1.159	
ZONA BAJA INTERIOR	271	

4.6.6 PESO DE LAS HOJAS

No ha habido diferencias significativas ($p < 0,05$) en el peso fresco de las hojas recogidas, pero si en el peso seco, donde T0 presentó valores significativamente inferiores a los otros tratamientos. Lo mismo sucedió con el área de las hojas. Sin embargo no hubo diferencias en el peso específico (

Tabla 63).

Tabla 63. Peso de las hojas en fresco, en seco, área, PE

	0	1	2	3	4	5
Peso fresco 20 hojas, mg	9144,3a	11010,7a	11321,3a	11399,7a	11116,2a	11303,3a
Peso seco 20 hojas, mg	3726,7b	4192,8a	4275,3a	4283,2a	4285,8ab	4302,7a
área 20 hojas. Cm2	332,8b	422,9a	427,4a	418,3a	412,1a	433,2a
PE., mg/cm2	11,22a	10,3a	10,0a	10,2a	10,2a	9,9a

Al analizar los datos medidos de todos los tratamientos con el T0, se observa que el peso fresco, el peso seco y el área de las hojas fue significativamente superior en la media de los tratamientos respecto del T0 y que el peso específico fue superior en el T0 ($p' < 0,05$) (*Tabla 64*).

Tabla 64. Peso de las hojas en fresco, en seco, área, PE, testigo y medias del resto

	T0	TX
Peso fresco 20 hojas, mg	9144.3b	11230,2a
Peso seco 20 hojas, mg	3726,6b	4267,9a
área 20 hojas. Cm2	332,79b	422,78a
PE., mg/cm2	11,21a	10,13b

4.6.7 LONGITUD DE BROTES

El número de ramos mixtos para un diámetro de tronco entre 15 y 20 cm debe ser de 80 a 100 (Royo et al. 2005) para marcos de plantación de 5x4. Los árboles del ensayo tenían entre 70 y 85 ramos mixtos mayores de 50 cm, encontrándose por tanto dentro del óptimo recomendado por este autor, ya que el marco de plantación del ensayo era más estrecho (5 x 3,25 m), con mayor número de plantas por hectárea.

El número de ramos mixtos con tamaño superior a 50 cm de longitud ha estado entre 70 y 85.

El número de frutos cuajados por ramo mixto antes del aclareo, fue significativamente superior en el T2 respecto del T0 ($p<0,05$), no habiendo diferencias significativas en la longitud de los ramos mixtos verticales, ni tampoco en los horizontales, tanto el 25 de mayo como el 25 de junio. Tampoco hubo diferencias significativas ($p<0,05$) en el número de frutos/cm², salvo entre los tratamientos T2 y T0 (

Tabla 65).

Tabla 65. Longitud de brotes el día 26 de mayo

		0	1	2	3	4	5
25 mayo	Nº frutos/R.mixto	12,26b	16,5ab	18,0a	15,4ab	14,3ab	15,2ab
	Longitud R.M ángulo 45º	63,5a	65,7a	64,5a	63,3a	61,1a	60,9a
	Frutos/cm	0,191b	0,255ab	0,278a	0,245ab	0,231ab	0,248ab
	Longitud R.M. horizontales	48,7a	50,7a	54,4a	50,6a	50,1a	50,8a

Se midieron 20 ramos mixtos alrededor del árbol en la zona media exterior y con inclinación hacia la horizontal, sin que hubiera diferencias significativas ($p<0,05$) (Tabla 66)

Tabla 66. Longitud media de Ramos mixtos en noviembre

	0	1	2	3	4	5
Long media R.M 5 noviembre	51,0a	57,8a	57,4a	57,1a	57,0a	57,7a

4.6.8 PRESENCIA DE PULGÓN

A diferencia de los años anteriores, en 2010 hubo presencia de pulgón (*Myzus persicae*), por lo que haciendo un conteo de brotes afectados se observó que había diferencias entre T2 y T3 ($p < 0,05$) (Tabla 67).

Tabla 67. Presencia de pulgón. Nº de árboles del tratamiento con pulgón.

25-jun	0	1	2	3	4	5
árbol	0,16ab	0,16ab	0b	0,66a	0,16ab	0,16ab
Nº brotes/árbol	0,5ab	0,8ab	0b	2,6a	0,6ab	1ab

4.6.9 ACLAREO

El peso medio de los frutos aclarados fue de 15,2 g (Tabla 68).

Tabla 68. Datos del muestreo de 60 frutos aclarados (10 por Tratamiento)

nº frutos	g	g/fruto
60	912	15,2

Se observa en la (Tabla 69)Tabla 68) que el T2 precisó de un mayor aclareo que T0, habiendo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el número de frutos pero no en el peso de los frutos aclarados.

También se produjeron diferencias en el número de frutos aclarados entre T2 y T3 respecto de T0 ($p < 0,05$).

Tabla 69. Datos del aclareo de melocotones

Aclareo de melocotones. 25 de junio						
	0	1	2	3	4	5
g/fruto	18,2a	15,2a	15,4a	15,8a	15,4a	15,1a
kg de frutos aclarados	9,2a	10,0a	11,9a	12,2a	8,8a	10,8a
nº frutos aclarados	503b	659ab	778a	774a	575ab	718ab

Eliminados los valores extremos, los datos de aclareo presentaron diferencias significativas de T2 respecto de T4, T5 y T0 ($p < 0,05$) (Tabla 70)

Tabla 70. Datos de aclareo eliminando el valor máximo

	0	1	2	3	4	5
kg	6,64b	7,96ab	10,7a	8,28ab	6,8b	7,71b
Nº frutos	437b	524ab	704a	544ab	447b	507b

4.6.10 PRODUCCIÓN

(Rufat et al. 2005), no obtuvieron diferencias significativas de producción hasta el tercer año, debido tanto al papel que juegan las reservas de N como a los procesos que aportan N al sistema. En este estudio, ha habido diferencias significativas a partir del 4º año. Otros autores como (Alonso et al 2012) no obtuvieron diferencias significativas entre los distintos tratamientos, aunque cuando aplicaron una dosis intermedia de 112,5 kg/ha de N, la producción acumulada de tres años fue mayor. (Domingo 2007), en un ensayo de tres años sólo obtuvo diferencias significativas en uno de los tres años.

4.6.10.1 1ª PASADA

Los frutos de T4 y T5 fueron significativamente más pesados que T0 y en T0 hubo más kilogramos de melocotones caídos al suelo que en el resto ($p<0,05$) (Tabla 71). También fue mayor el número de frutos en el suelo en el T0 respecto de los demás tratamientos.

Tabla 71. Producción de la primera pasada

	RECOLECCIÓN PRIMERA PASADA					
	0	1	2	3	4	5
KG/ÁRBOL	46,0a	46,3a	47,5a	39,0a	33,4a	41,3a
FRUTOS/ÁRBOL	214,2a	201,3a	215,3a	175,3a	142,5a	173,2a
GRAMOS/FRUTO	215,6b	230,7ab	222,5ab	224,2ab	235,3a	238,7a
KGSUELO/ÁRBOL	5,6a	3,07b	3,6b	3,2b	2,7b	2,7b
FRUTOSSUELO/ÁRBOL	37,8a	19,5b	20,8b	19,3b	16b	17,5b
KGTOTALES/ÁRBOL	51,7a	49,4a	51,0a	42,2a	36,1a	44,0a
FRUTOSTOTALES/ÁRBOL	252a	220,8a	236,2a	194,7a	158,5a	190,7a

En la segunda pasada, la producción en kg/árbol ha sido superior del T4 respecto de T0, y de los tratamientos T1, T2, T3 y T5 respecto de T0. El número de frutos fue mayor en T4 respecto de T0 y también los kilogramos de frutos del suelo en T2 y T3 respecto de T0 ($p<0,05$). La producción total por árbol y el número de frutos también fue superior en T4 respecto de T0 (Tabla 72).

Tabla 72. Producción de la segunda pasada

RECOLECCIÓN SEGUNDA PASADA. 8 DE OCTUBRE						
	0	1	2	3	4	5
KG/ÁRBOL		1	1	1		17,8ab
	,9b	9,03ab	8,05ab	7,05ab	7,7a	
FRUTOS/ÁRBOL	8,2b	85,6ab	85,5ab	74,5ab	120,3a	83,3ab

GRAMOS/FRUTO	228,2b	188,8b	172,3b	220,5b	193,0b	221,3b
KG/SUELO	0,55b	2,3a	1,8ab	2,36a	1,6ab	1,7ab
FRUTOS/SUELO	1,2b	11,7a	12,2a	13,5a	9ab	9,5ab
TOTAL KG/ÁRBOL	2,4b	21,3ab	19,8ab	19,4ab	29,3a	19,6ab
TOTAL FRUTOS/ÁRBOL	9,4b	97,3ab	97,7ab	88,0ab	129,3a	92,8ab

En la producción total por árbol (Tabla 73), T1 y T2 dan producciones significativamente superiores a T0 ($p<0,05$). T2 tuvo mayor número de frutos que T0 ($p<0,05$), y el peso de los frutos de T4 fue superior a T0 ($p<0,05$). También hubo diferencias de T1 y T2 en el peso de frutos totales (árbol y suelo) con relación a T0 ($p<0,05$).

Tabla 73. Producción total

	PRODUCCIÓN TOTAL (ÁRBOL+SUELO)					
	0	1	2	3	4	5
Total kg/árbol	47,9b	65,4a	65,5a	56,0ab	61,2ab	59,0ab
Total frutos/árbol	222,3b	287,0ab	300,8a	245,0ab	262,8ab	256,5ab
g/fruto del árbol	215,6b	227,2ab	218,15ab	226,3ab	233,6a	231,5ab
Calibre (mm)	75,6b	78,1ab	76,2ab	78,0ab	80,2a	78,6ab
kg totales	54,1b	70,7a	70,9a	61,6ab	65,4ab	63,6ab
Nº frutos totales	261,4a	318,2a	333,8a	282,6a	287,8a	283,5a

Cuando agrupamos los resultados de producción de primera y segunda pasada, en función del tipo de nitrógeno aplicado, no se obtienen diferencias significativas, si bien el tratamiento amoniacal ha producido más que el de nitrato y el mixto (Tabla 74).

Tabla 74. Producción del árbol en las dos pasadas agrupadas por tipo de nitrógeno

		Kg/árbol		Nº frutos/árbol		g/fruto	
1	AMONICAL	65,4	a	293,9	a	222,0	a
2	NITRATO	60,0	a	259,6	a	231,5	a

En primera pasada, no ha habido diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$), aunque se ha recolectado un 21% más del tratamiento amoniacal que en el de nitrato (Tabla 75)

Tabla 75. Producción del árbol en primera pasada agrupada por tipo de nitrógeno

		kg/árbol		Nºfrutos/árbol		g/fruto	
1	AMONICAL	46,9	a	208,3	a	226,6	a
2	NITRATO	37,3	a	157,8	a	237,0	a

En segunda pasada, tampoco ha habido diferencias significativas, pero del tratamiento de nitrato se ha recolectado un 19% más que del tratamiento amoniacal (Tabla 76)

Tabla 76. Producción del árbol en segunda pasada agrupada por tipo de nitrógeno

		kg/árbol		Nºfrutos/árbol		g/fruto	
1	AMONICAL	18,5	a	85,6	a	180,5	a
2	NITRATO	22,7	a	101,8	a	207,1	a

4.6.11 PARÁMETROS DE CALIDAD

En las experiencias realizadas durante 2001-2006 en melocotón 'Miraflores' en Ricla, no se observaron diferencias significativas entre el testigo y las aplicaciones de N amoniacal y nítrico en ninguno de los parámetros organolépticos (Penetrometría, azúcares y acidez). Tampoco hubo diferencias en los contenidos de macro y microelementos en los frutos, ni en la época de maduración (Gómez & Lorén 2004). Sin embargo, (Domingo 2010), obtuvo que los frutos de árboles con menor carga, y aquellos con mayor aportación de N, maduraron más tarde, observándose en la firmeza, la consistencia de la pulpa y la coloración de la epidermis.

En la primera pasada del ensayo hubo diferencias significativas del ácido málico entre T0 (que presentó valores superiores) y T2 y T4. También T0 tuvo valores de SSD superiores al resto de los tratamientos, con valores > de 14ºBrix. En la segunda pasada no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) (Tabla 77).

Tabla 77. Datos organolépticos

		Tratamiento	0	1	2	3	4	5
04/10/2010		1ª PASADA						
	PENETROMETRÍA	kg/cm2	2,7a	2,8a	2,9a	2,8a	2,5a	2,8
	SSD	ºBrix	14,4b	12,7a	12,5a	12,9a	13,5ab	12,6a
	pH		3,8a	3,8a	3,7a	3,8a	3,8a	3,8a
	Ác. Málico	g/l	8,7a	8ab	6,8b	7,3ab	7,2b	7,3ab
08/10/2010		2ª PASADA						
	PENETROMETRÍA	kg/cm2	2,8a	2,2a	2,4a	2,2a	2,3a	2,4a
	SSD	ºBrix	13,6a	11,8a	11a	10,7a	12a	11,6a
	pH		3,7a	3,8a	3,8a	3,86a	3,8a	3,8a
	Ác. Málico	g/l	8,7a	7,9a	7,7a	8,1a	8,9a	8,7a

En la segunda pasada no se han producido diferencias significativas de los parámetros y los valores de SSD han sido ligeramente inferiores con relación a la primera pasada.

En la parcela del ensayo hubo 12 árboles ubicados en una zona con poco suelo, que no se fertilizaron con N durante los 4 años y sólo recibieron el riego. En ellos se controló la maduración y calidad del fruto, observándose en el 4º año una menor producción (40 kg/árbol, frente a 59,5 de media de los demás tratamientos), con frutos

más pequeños (166 g/fruto, frente a 225 g/fruto de los demás tratamientos), pero con un adelanto en la maduración de 10 días y una menor firmeza, en torno a 1,5 kg/cm², junto con un elevado contenido en azúcares (14°Brix), y con un sabor excepcional (apreciación subjetiva de quienes los degustaron). Este hecho, explicaría la influencia del factor suelo sobre la producción.

En ensayos realizados durante 2001-2004 en una parcela de similares características con la variedad 'Miraflores', los valores de acidez variaron cada año desde 4,6 hasta 7,5 g ácido málico/L. El pH estuvo siempre entre 3,6 y 3,8 (Gómez & Lorén 2004) sin que hubiera diferencias significativas entre tratamientos. En este mismo ensayo, la acidez en la primera pasada fue menor.

4.6.12 DISTRIBUCIÓN DE CALIBRES

La aplicación de varias dosis de N (0, 60 y 120) no produjo diferencias significativas en el calibre del estudio efectuado por (Domingo 2010), aunque el N120 incrementó la producción un 13% en comparación con el T0. Esta misma dosis de 120 N en melocotonero afectó negativamente a la fuerza con que era retenido el fruto en el árbol, lo cual es positivo cuando se trata de recolección mecanizada (Domingo et al. 2007). Por otra parte, dosis altas de N (150 kg/ha), produjeron frutos con mayor peso medio y calibre, frente a dosis medias y bajas (Alonso et al 2012).

La medición del calibre de 20 frutos en este estudio (*Tabla 78*) y (*Tabla 79*), 10 días antes de la recolección, alrededor del árbol sobre ramo mixto de 50-60 cm, a 1,5-1,7 m de altura dio los siguientes resultados, sin que hubiera diferencias significativas.

Tabla 78. Medición del calibre de 20 frutos

	0	1	2	3	4	5
Calibre mm de Ø	73,9a	73,8a	73,9a	72,8a	74a	72a

Tabla 79. Distribución de frutos por calibres en porcentaje

Categoría	Diámetro en mm	0	1	2	3	4	5
AAAA	51-56						
AAA	56-61	0,0	0,0	0,7	0,0	0,7	0,7
AA	61-67	12,5	7,6	6,3	7,6	4,2	4,2
A	67-73	36,8	27,1	40,3	34,0	25,7	20,8
B	73-80	31,9	38,2	32,6	35,4	50,0	47,9
C	80-90	2,1	10,4	3,5	6,3	2,8	9,7
D	>90						

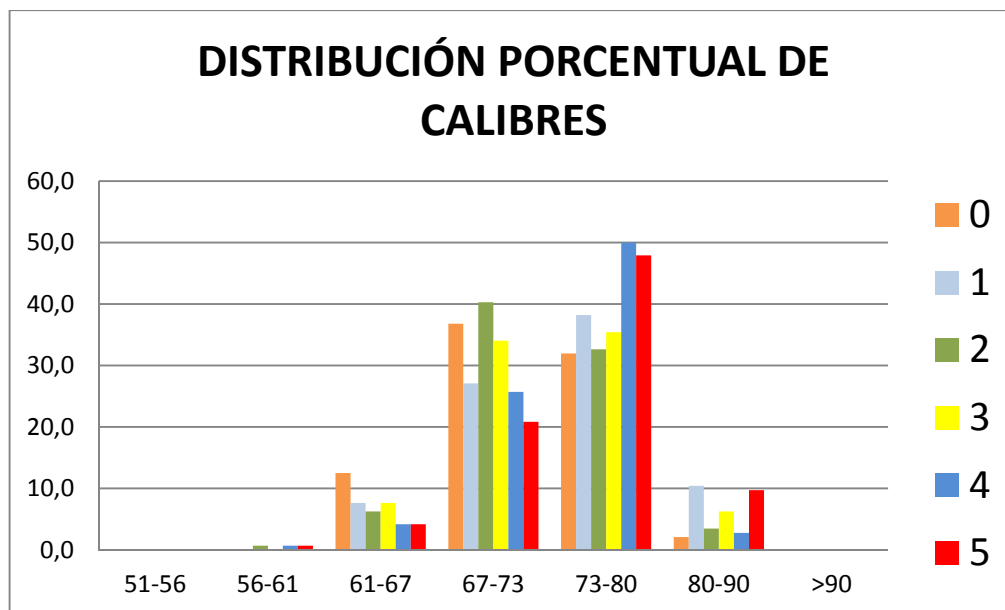


Figura 48. Distribución porcentual de calibres

En la (Figura 48) se puede observar como T4 y T5 han dado mayor número de frutos con calibre 73-80, que tiene mayor valor comercial.

4.6.13 MADERA DE PODA

No hubo diferencias significativas en los kilogramos de madera de poda, aunque T5 dio valores más altos que el resto de tratamientos (Tabla 80).

Tabla 80. Kilogramos de madera de poda

	MADERA DE PODA DE INVIERNO					
	0	1	2	3	4	5
kg	6,1a	7,9a	7,3a	5,9a	6,9a	8,1a

La madera de poda eliminando los tratamientos extremos (más y menos cantidad de madera) da como resultado la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos amoniacales y el T0 (Tabla 81).

Tabla 81. Madera de poda eliminando los tratamientos con mayor y menor madera

	T0	TTO AMONICAL	TTO NITRATO
Kg	6,16a	7,53b	6,96ab

4.6.14 PERÍMETRO DE TRONCO

No ha habido diferencias significativas en los perímetros del tronco medidos a 20 cm del suelo en 2010, ni tampoco en el incremento de perímetros de 2010 con relación a 2007 (Tabla 82).

Tabla 82. Evolución del perímetro del tronco. Año 2007 al 2010

	0	1	2	3	4	5
	PERÍMETRO cm					
2007	41,33a	44,50a	46,25a	43,58a	44,08a	44,91a
2010	45,08a	48,50a	51,41a	47,66a	48,75a	49,66a
Incremento	3,75a	4,00a	5,16a	4,08a	4,66a	4,75a
			ASTT cm ²			
2007	137,72a	159,22a	171,49a	154,66a	156,45a	162,50a
2010	164,50a	189,13a	211,74a	184,58a	190,51a	198,85a
Incremento	26,77a	29,91a	40,25a	29,91a	34,06a	36,35a

4.6.15 CONCENTRACIÓN DE NITRATO Y AMONIO EN SUELO

Se consideran niveles de referencia de nitratos en el suelo: de 10 a 15 ppm (Villar & Aran 2008 citados por Domingo 2010). El suelo de la parcela de este ensayo presenta niveles similares en el perfil superior. En melocotoneros fertilizados con N, la concentración de Nitratos aumenta linealmente hasta que se alcanzan los 250 kg/ha/año (Daane 1995).

En numerosos estudios se ha confirmado una reducción de las pérdidas de Nitrógeno por lixiviación profunda cuando se utilizan IN (Timmons 1984); (Chaney & Kamprath 1982); (Reidar & Michaud 1980). La adición de DMPP al S.A, supone un incremento de la concentración de NH_4^+ en las capas del suelo durante el período vegetativo frente al SA (Quiñones et al. 2005), comprobándose que a los 4 y 100 días de aplicar SA y SA+DMPP, la concentración en el suelo de NH_4^+ es mayor en el tratamiento con DMPP, lo que indica que se ha producido una elevada velocidad de nitrificación en el suelo de los fertilizantes convencionales (Bañuls et al. 2000).

Tradicionalmente se reducía el riesgo de lavado de nitrato, mediante el fraccionamiento de las aplicaciones de fertilizantes. En algunos cultivos, como los cítricos, se aportan cantidades elevadas de fertilizantes nitrogenados y una manera de reducir las pérdidas es la aplicación fraccionada (Orea et al. 2004) con sistemas de riego a presión y localizado, que posibilitan la utilización más racional del agua y de los fertilizantes, especialmente los nitrogenados, disminuyendo las oportunidades de arrastre hacia aguas subterráneas o superficiales de sustancias nitrogenadas (Egea et al. 2003), al poder aplicar los nutrientes con una frecuencia muy elevada (Carbó et al. 2002).

La fertirrigación no es sinónimo de inexistencia de pérdidas de N en forma de nitratos, ni soluciona todos los problemas de lixiviación ya que parte del N se pierde en cualquier caso (Muñoz-Carpena et al. 2002), (Urrestarazu 2000). Así, en cultivo de platanera, (Muñoz-Carpena et al. 2002) se produjeron pérdidas del 48 al 52% del N aplicado y en cultivo hidropónico, (Urrestarazu 2000) encontró pérdidas de entre el 43 y el

74%. Por otra parte, se ha observado en ensayos de campo, que la elevada frecuencia de aplicación del Nitrógeno y otros nutrientes no siempre se traduce en una mayor productividad del árbol o una mayor calidad del fruto (Conradie & Muyburgh 2000, citados por Rombolà & Sorrenti 2006).

4.6.15.1 MUESTRAS TOMADAS EL DÍA 9 DE JULIO A 60 CM

Puede comprobarse como los valores son muy similares en todos los tratamientos, aunque T4 y T5 dieron resultados significativamente diferentes. Resulta contradictorio que el T0 diera valores más altos de nitratos que los otros tratamientos (Tabla 83).

Tabla 83. Concentración de nitrato y amonio el 9 de julio a 60 cm de profundidad

	0	1	2	3	4	5
	mg/kg					
AMONIO	<50	<50	53,4	<50	<50	<50
NITRATOS	199,94a	165,73ab	186,86ab	150,65ab	121,29b	153,73ab

4.6.15.2 MUESTRAS TOMADAS EL 21 DE OCTUBRE

Los niveles de nitrato en el perfil 0-30 son más altos en el T1 que en T0, T3 y T4. Los valores en T2 son más altos que en T0. Los valores de amonio son muy similares e inferiores a 50 ppm en todos los casos (Tabla 84).

En el perfil 30-60, la concentración de nitratos es mayor en T4 y T5 que en T0. Los niveles de amonio también son inferiores a 50 ppm.

Puede comprobarse como, en general, el nivel de nitratos es inferior en el perfil 30-60 que en el perfil 0-30 y que el T0 tiene menores concentraciones de Nitratos que los demás tratamientos.

Las concentraciones de nitratos en el perfil 30-60 en el mes de julio son superiores a los obtenidos el 21 de octubre. Esto resulta lógico puesto que en Octubre se dejó de fertilizar.

Tabla 84. Concentración de nitrato y amonio el 21 de octubre

		0	1	2	3	4	5
Prof. cm		Ppm					
0-30	AMONIO	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	NITRATO	61,1c	136,2a	125,2ab	72,38ab	74,6ab	104,8abc
30-60	AMONIO	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	NITRATO	49a	56,9ab	72,0ab	60,9ab	88,7b	84,4b

4.6.16 LIXIVIADOS EN MACETA

Se recogieron los lixiviados en 6 ocasiones (*Tabla 85*).

De los lixiviados en maceta se puede observar como T5 produjo lixiviados con mayor concentración de nitratos significativamente diferentes ($p < 0,05$) de T0 en 4 de las 6 muestras. T4 lo es en tres ocasiones. T3 fue diferente de T0 en una ocasión, T2 en dos ocasiones y T1 en ninguna. Es decir, los tratamientos con mayor concentración de Nitrógeno en forma nitrato, presentaron mayor lixiviación de nitratos que los amoniacales.

Tabla 85. Lixiviados obtenidos en maceta

CONCENTRACIÓN DE NITRATO EN LOS LIXIVIADOS						
	0	1	2	3	4	5
02-jul	6,2c	9,5c	41,0ab	12,2bc	15,3abc	43,2a
06-ago	21,2d	34,3cd	35,8cd	45,5ab	42,3ab	58,8a
20-ago	4,3a	5,2a	6,2a	7,8a	6,7a	6,0a
10-sep	6,2c	9,5c	41,0ab	12,2bc	15,3abc	43,2a
24-sep	11,2b	12,5b	10,8b	18,5ab	27,8a	21,2ab
08-oct	4,7b	8,3b	9,0b	9,2b	18,0a	18,3a

4.7 TABLAS EN BLOQUE DE LOS 4 AÑOS DEL ENSAYO

4.7.1 SPAD

En la (*Tabla 86*) se puede observar que en el período postfloral de:

- 55 a 65 días, en el año 2007 y 2010 no se produjeron diferencias significativas.
- 75 a 91 días. No hubo diferencias significativas en los años 07-08 y 09
- 102 a 105 días. Se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.
 - 2008. T2 y T1 respecto de T0.
 - 2009. T5 respecto de T0, T1 y T2; T3 y T4 respecto de T0
 - 2010. T1, T2, T3 y T4 respecto de T0
- 116-125 días. Se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.
 - 2007. T1 y T4 respecto de T0
 - 2008. T1 respecto de T0 y T3
- 131-137 días. Se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.
 - 2007. Todos los tratamientos respecto de T0.
 - 2008. T1 respecto de T0

- 145-150 días. Se produjeron diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.
 - 2008. T2 y T3 respecto de T0
 - 2010. T1 y T3 respecto de T0
- 158-164
 - En este período solo hubo diferencias significativas en 2008, de todos los tratamientos respecto T0 ($p<0,05$).

Tabla 86. Datos de Spad agrupados por tiempo transcurrido desde la floración

SPAD								
TTO	07-05-07						27-5-10	
ddpflor	54						63	
0	23,7	a					35,5	b
1	23,1	a					38,1	a
2	24,2	a					37,7	ab
3	23,7	a					38,9	a
4	23,4	a					37,7	ab
5	23,6	a					38,8	a
TTO	28-5-07		4-6-08		8-6-09		25-06-10	
ddpflor	75		84		89		91	
0	25,7	a	31,6	a	27,03	a	32,93	b
1	25,9	a	35,2	a	26,7	a	35,15	ab
2	26,7	a	34,8	a	25,57	a	34,76	ab
3	26,5	a	33,5	a	25,13	a	36,05	a
4	26	a	33	a	27,6	a	35,26	a
5	25,3	a	33,1	a	25,91	a	34,73	ab
TTO	25-6-07		27-6-08		22-6-09		8-7-10	
ddpflor	102		105		101		104	
0	31,6	a	39,5	a	30,65	ab	38,9	b
1	31	a	40,9	bc	31,8	a	40,5	a
2	31,3	a	41,8	c	30,12	ab	40,5	a
3	30,4	a	40,3	ab	29,73	bc	40,8	a
4	31,5	a	39,9	ab	29,3	bc	40,6	a
5	30,2	a	39,9	ab	28,2	c	40,3	ab
TTO	16-7-07		9-7-08		16-7-09		20-7-10	
ddpflor	123		117		125		116	
0	38,2	b	38,9	b	37,75	a	41,6	a
1	39,9	a	40,8	a	36,7	a	42,3	a
2	39,2	ab	40,4	ab	38,58	a	42,1	a
3	39,5	ab	39,1	b	37,08	a	42,6	a
4	40,2	a	39,4	ab	36,6	a	43	a

5	39,3	ab	39,3	ab	37,91	a	42,5	a
TTO	30-7-07		24-7-08		28-7-09		5-8-10	
ddpflor	137		132		137		131	
0	38,1	b	40,3	b	41,11	a	44,7	a
1	40,9	a	42,4	a	41,5	a	45,1	a
2	41,9	a	41,75	ab	39,3	a	45,1	a
3	40,8	a	41,6	ab	40,71	a	45,8	a
4	40,6	a	41,3	ab	41,5	a	46,1	a
5	40,4	a	41,4	ab	41,71	a	45,3	a
TTO	13-8-07		6-8-08		11-8-09		19-8-10	
ddpflor	150		144		150		145	
0	40,7	a	41,85	b	42,51	a	44,2	b
1	40,7	a	43,05	ab	42,4	a	46,4	a
2	41,7	a	43,9	a	43,56	a	46,6	ab
3	40,6	a	43,7	a	42,11	a	45,6	a
4	41,8	a	43,1	ab	43,8	a	46,4	ab
5	41,2	a	42,5	ab	43,21	a	46,4	ab
TTO	27-8-07		20-8-08		24-8-09			
ddpflor	164		158		163			
0	42,4	a	42	b	42,98	a		
1	42,9	a	43,3	a	43,8	a		
2	43,3	a	43,8	a	44,11	a		
3	42,6	a	44,1	a	43,71	a		
4	44,1	a	43,4	a	44,8	a		
5	43,1	a	43,8	a	44,23	a		

4.7.2 AREA/HOJA

Área foliar. En la (Tabla 87) se puede observar que en el período postfloral de:

- 116-125 días. Se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.
 - 2008. T2 respecto de T1
 - 2010. T5 respecto del resto y T1, T2, T3 y T4 respecto de T0
- 131-137 días. Se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.
 - 2007. T1 respecto de T0
 - 2010. Todos respecto de T0
- 145-150 días. Se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.
 - 2008. T5 respecto de T0

- 2010. Todos respecto de T0
- 163-167 días. Se produjeron diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.
 - 2010 T5 respecto del resto y T1, T2, T3 y T4 respecto de T0.
- Puede observarse como en el año 2010, T5 fue superior respecto de T0, y también en algunas fechas el resto de tratamientos.

Tabla 87. Datos de área de hoja, agrupados por tiempo transcurrido desde floración

ÁREA/HOJA								
TTO	11/07/2007		14/07/2008		16/07/2009		20/07/2010	
ddpf	118		122		125		116	
0	20,80	a	22,20	ab	22,27	a	16,24	e
1	20,90	a	21,60	b	23,70	a	19,61	cd
2	21,70	a	23,50	a	23,57	a	19,56	cd
3	21,40	a	22,20	ab	24,12	a	19,72	cd
4	20,70	a	22,40	ab	24,21	a	18,94	bc
5	21,20	a	21,80	b	23,93	a	20,27	a
TTO	30/07/2007		29/07/2008		27/07/2009		05/08/2010	
ddpf	137		137		136		131	
0	20,40	b	22,00	a	21,59	a	17,39	b
1	21,90	a	22,00	a	23,76	a	21,45	a
2	21,70	ab	23,30	a	23,08	a	22,14	a
3	21,20	ab	22,90	a	23,24	a	21,72	a
4	21,50	ab	22,50	a	22,70	a	22,07	a
5	21,40	ab	23,40	a	23,20	a	21,93	a
TTO	13/08/2007		12/08/2008		11/08/2009		19/08/2010	
ddpf	150		150		150		145	
0	20,90	a	22,50	b	25,24	a	16,64	b
1	20,90	a	24,00	ab	27,99	a	21,14	a
2	21,40	a	24,40	ab	27,30	a	21,37	a
3	21,90	a	24,30	ab	26,81	a	20,92	a
4	20,80	a	24,10	ab	27,24	a	20,61	a
5	21,40	a	24,70	a	26,57	a	21,66	a
TTO	27/08/2007		29/08/2008		24/08/2009		08-09-10	
ddpf	164		167		163		164	
0	20,50	a	23,40	a	24,72	a	16,10	e
1	21,40	a	24,20	a	26,92	a	19,93	cd
2	21,80	a	24,00	a	25,21	a	20,06	cd
3	20,50	a	24,10	a	23,10	a	19,70	bc
4	21,00	a	24,40	a	24,48	a	19,53	bc
5	21,30	a	24,20	a	25,66	a	21,09	a

4.7.3 INDICE DE CAPACIDAD FOTOSINTÉTICA

Índice de capacidad fotosintética. En la (Tabla 88) se puede observar que en el período postfloral de:

- 116-118 días. Se produjeron diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.
 - 2008. T2 respecto de T0, T1, T3 y T5
 - 2009. T5 respecto de T0
 - 2010. Todos respecto de T0
- 131-137 días. Se produjeron diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.
 - 2007. T1 y T2 respecto T0
 - 2008. T5 respecto de T0
 - 2010. Todos respecto de T0
- 145-150 días. Se produjeron diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.
 - 2010. Todos respecto T0
- 163-167 días. Se produjeron diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.
 - 2010. T5 respecto de T0 y T1; T4, T3 y T2 respecto de T0.

Tabla 88. Datos de ICF agrupados por tiempo transcurrido desde floración

INDICE CAPACIDAD FOTOSINTETICA								
TTO	11/07/2007		14/07/2008		16/07/2009		20-07-10	
ddpf	118		122		125		116	
0	1096,80	a	1167,10	b	1215,83	b	834,49	b
1	1117,00	a	1131,30	b	1330,87	ab	1023,47	a
2	1169,90	a	1283,70	a	1274,93	ab	1008,33	a
3	1122,20	a	1168,20	b	1346,77	ab	1021,30	a
4	1074,00	a	1182,90	ab	1357,40	ab	984,57	a
5	1095,30	a	1171,80	b	1334,02	a	1057,70	a
TTO	30/07/2007		29/07/2008		27/07/2009		05/08/2010	
ddpf	137		137		136		131	
0	1094,30	b	1182,70	b	1150,08	a	903,37	b
1	1197,40	a	1163,80	b	1279,36	a	1145,71	a
2	1183,90	a	1227,10	ab	1232,02	a	1169,15	a
3	1147,70	ab	1226,70	ab	1250,07	a	1145,58	a
4	1159,80	ab	1204,20	ab	1227,75	a	1174,75	a
5	1158,30	ab	1287,20	a	1243,95	a	1165,97	a
TTO	13/08/2007		12/08/2008		11/08/2009		19/08/2010	

ddpf	150		150		150		145	
0	1129,50	a	1172,20	b	1396,96	a	856,40	b
1	1153,00	a	1232,20	ab	1461,68	a	1117,30	a
2	1189,80	a	1260,80	ab	1397,17	a	1127,46	a
3	1202,80	a	1271,60	ab	1364,02	a	1099,64	a
4	1137,30	a	1315,60	a	1438,70	a	1087,58	a
	27/08/2007		29/08/2008		24/08/2009		08/09/2010	
ddpf	164		167		163		164	
0	1120,90	a	1215,70	a	1220,68	a	850,77	d
1	1186,10	a	1256,90	a	1328,68	a	1015,43	bc
2	1208,70	a	1230,40	a	1256,42	a	1083,85	ab
3	1134,90	a	1252,40	a	1225,02	a	1053,72	ab
4	1150,10	a	1265,00	a	1187,19	a	1047,56	ab
5	1176,5	a	1279,00	a	1271,71	a	1136,64	a

4.7.4 PARÁMETROS DE CALIDAD

En la (

Tabla 90), se puede observar como los contenidos en sólidos solubles disueltos fueron bajos durante los tres primeros años. El año 2010, los valores fueron más altos, superando los 12,5° Brix en todos los casos.

Se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en:

- 2008. Del T0 respecto de T1, T2 y T5, y de T2 respecto de T4
- 2010. De T0 respecto de T1, T2, T3 y T5.

4.7.4.1 SÓLIDOS SOLUBLES DISUELTOS

Cabe destacar que durante los 4 años del ensayo, el T0 ha dado valores más altos de S.S, y la clara diferencia entre el año 2010 (con valores más altos) y el resto (

Tabla 89).

Tabla 89. Sólidos solubles totales de los 4 años del ensayo

SOLIDOS SOLUBLES DISUELTOS								
TTO	2007		2008		2009		2010	
0	11,2	a	11,0	a	9,9	a	14,4	a
1	10,6	ab	9,8	bc	9,6	a	12,7	b
2	9,9	b	9,9	bc	9,8	a	12,5	b
3	10,7	ab	10,3	abc	9,4	a	12,9	b
4	10,8	a	10,8	ab	9,8	a	13,5	ab
5	10,5	ab	10,0	bc	9,7	a	12,6	b

4.7.5 CORRELACIONES ENTRE VALORES DE SPAD, FOLIÁREA Y FLUORIMETRÍAS

4.7.5.1 AÑO 2009

En el año 2009, se manifiestan correlaciones significativas ($p < 0,01$) entre distintos valores parametrizados en varias ocasiones. A continuación se exponen detalladamente.

4.7.5.1.1 9 DE JUNIO

Se presentaron correlaciones múltiples entre área, ICF y SPAD, y simples entre área e ICF y área y SPAD.

$$\text{Área} = 9,0241 + 0,0171025 \text{ ICF} - 0,182471 \text{ SPAD}; R \text{ 81,4}; p < 0,01$$

$$\text{Área} = 4,10412 + 0,0171617 \text{ ICF}; r \text{ 0,87}; p < 0,01$$

$$\text{SPAD} = 36,7364 - 0,447169 \text{ ICF}; r - 0,42; p < 0,01$$

4.7.5.1.2 16 DE JULIO

Se presentaron correlaciones múltiples entre área, ICF y SPAD, y simples entre área e ICF y área y SPAD.

$$\text{Área} = 6,47566 + 0,0157032 \text{ ICF} - 0,0911769 \text{ SPAD}; R: \text{ 90,8\%}; p < 0,01$$

$$\text{Área} = 2,6258 + 0,0160368 \text{ ICF}; r \text{ 0,94}; p < 0,01$$

$$\text{Área} = 32,7598 - 0,243816 \text{ SPAD}; r - 0,27; p < 0,01$$

4.7.5.1.3 ÚLTIMA SEMANA DE JULIO

Hubo correlaciones múltiples entre: ICF-SPAD-Fv/Fm; ÁREA-ICF-SPAD-Fv/Fm, y simple entre ICF-SPAD

$$\text{ICF} = 99,4629 + 20,2512 \text{ SPAD} + 0,377135 \text{ Fv_Fm}, \text{ para una } p < 0,1 \text{ y } R \text{ 13,75\%}.$$

$$\text{ICF} = 410,188 + 20,0235 \text{ SPAD}; P < 0,05; r \text{ 0,34}$$

$$\text{Área} = 5,61953 + 0,0174016 \text{ ICF} - 0,146364 \text{ SPAD} + 0,00222748 \text{ Fv_Fm}; p < 0,01; R \text{ 96,85\%}$$

4.7.5.1.4 11 DE AGOSTO

Las correlaciones múltiples se presentaron entre: ÁREA-ICF-SPAD-Fv/Fm, y simple entre ICF-SPAD

$$\text{Área} = 10,3334 + 0,016086 \text{ ICF} - 0,131556 \text{ SPAD} - 0,000313417 \text{ Fv_Fm}; p < 0,01; R \text{ 92,84\%}$$

$$\text{ICF} = 608,868 + 18,4345 \text{ SPAD}; p < 0,1; r \text{ 0,29};$$

4.7.5.1.5 16 DE AGOSTO

El día 16 de agosto los datos obtenidos de área de hoja, ICF y valores Spad, presentaron correlaciones con grado de significación ($P < 0,01$), con una R del 90,81%.

La ecuación que correlaciona los valores es:

$$\text{Área} = 6,47566 + 0,0157032 \text{ ICF} - 0,0911769 \text{ SPAD}$$

4.7.5.1.6 24 DE AGOSTO

En esta fecha se produjeron correlaciones significativas entre área de hoja, ICF y Spad; También entre área e ICF.

$$\text{Área} = 4,19105 + 0,10159483 \text{ ICF} + 0,0284057 \text{ SPAD}; R 94,7\%; (p < 0,01)$$

$$\text{Área} = 5,3845 + 0,0159921 \text{ ICF}; r 0,97; (p < 0,01)$$

4.7.5.1.7 Correlaciones con todos los valores agrupados

Al agrupar todos los datos de 2009, se obtienen las correlaciones observadas en la (Tabla 91), donde puede verse que el área es el parámetro más correlacionado con otros como ICF, Spad, Fv/Fm y PI

Tabla 90 Correlaciones agrupadas de 2009

	2009 agrupadas	P	r
ÁREA =	-130,164-0,22865 ICF+14,0632 SPAD	0,01	20,3
ÁREA =	- 332,316 + 11,8223 SPAD	0,01	0,41
ICF =	884,11 + 9,80038 SPAD	0,01	0,41
AREA =	-494,161-0,580095 ICF + 19,5738 SPAD + 0,00242786 PI + 0,820835 Fv_Fm	0,01	22,14
AREA =	- 420, 122 +0,849767 Fv_Fm	0,1	0,795

4.7.5.2 AÑO 2010

4.7.5.2.1 11 de junio

Hay relación estadísticamente significativa ($p < 0,01$) entre el área y el ICF; $r: 0,97$.

$$\text{Área} = 2,265 + 0,018 \text{ ICF}$$

También hay las siguientes correlaciones significativas:

$$\text{Área} = 5,51028 + 0,018449 \text{ ICF} - 0,104743 \text{ SPAD} + 4,67134 \text{ IC}; (p < 0,01); r: 0,97$$

$$\text{ICF} = 1559,06 - 11,4297 \text{ SPAD} - 3945,86 \text{ IC}; (p < 0,01); r: 0,41$$

4.7.5.2.2 25 de junio

Se produjeron correlaciones entre el área con ICF, IC y también una correlación múltiple con ICF, SPAD, Fv/Fm, PI e IC (Tabla 91).

Tabla 91. Correlaciones del 25 de junio

		P	r
ÁREA =	1,74162 + 0,0175193 ICF	0,01	0,98
ÁREA =	21,0286- 83,1173 IC	0,01	-0,71
AREA =	6,44924 + 0,0181559 ICF – 0,155938 SPAD + 1,39522 Fv_Fm – 1,67211 ⁻⁷ PI+ 4,70961 IC	0,01	0,98

4.7.5.2.3 8 de julio

Se produjeron correlaciones múltiples significativas del área con ICF, SPAD, Fv/Fm, PI e IC; del ICF con Spad, Fv/Fm, PI e IC; también del área con ICF (Tabla 93).

Tabla 92. Correlaciones del 8 de julio

		P	r
ÁREA =	6,66405 + 0,0168594 ICF - 0,134755 SPAD + 1,69936 Fv_Fm- 0,0000307684 PI + 7,0134 IC	0,01	0,98
ICF =	2682,54 - 12,1047 SPAD - 1339,07 Fv_Fm + 0,0107196 PI- 4881,42 IC	0,01	0,51
AREA =	3,432 + 0,016 ICF	0,01	0,98

4.7.5.2.4 27 de julio

En esta fecha hubo correlación múltiple del área con ICF, SPAD, Fv/Fm, PI e IC. También se produjeron correlaciones simples del área con ICF y del SPAD con Fv/Fm (Tabla 94).

Tabla 93. Correlaciones del 27 de julio

		P	r
ÁREA =	6,44924+0,0181559 ICF - 0,155938 SPAD +1,39522 Fv_Fm- 1,67211E ⁻⁷ +4,70961 IC	0,01	0,98
AREA =	1,742+0,018 ICF	0,01	0,98
SPAD =	55,378- 15,11 Fv_Fm	0,05	0,36

4.7.5.2.5 5 de agosto

Hay relación estadísticamente significativa ($p < 0,01$) entre el área y el ICF; $r: 0,99$
 Área = $2,11 + 0,017 \text{ ICF}$

4.7.5.2.6 19 de agosto

Se han producido las siguientes correlaciones.

Para el resto de los parámetros no existe correlación estadísticamente significativa ni en combinaciones simples ni múltiples (Tabla 94).

Tabla 94. Correlaciones del 19 de agosto

		P	r
ÁREA =	2,296 + 0,017 ICF	0,01	0,99
ÁREA =	22,637-141,977 IC	0,01	0,60
IC =	0,703-0,00005281 ICF	0,01	0,67
IC =	0,248 - 0,276 Fv_Fm	0,05	0,40
Fv_Fm =	0,801+0,000003709 PI	0,01	0,79

4.7.5.2.7 8 de septiembre

En esta fecha se produjeron correlaciones simples significativas del área con ICF, con IC; de IC con ICF; de Fv/Fm con PI y con IC; de ICF con PI y una múltiple del área con ICF, SPAD, Fv/Fm, PI e IC (Tabla 96).

Tabla 95. Correlaciones del 8 de septiembre

	08-sep	P	r
ÁREA =	1,847+0,017 ICF	0,01	0,99
ÁREA =	21.169- 151,251 IC	0,01	0,58
IC =	0,053-0,00003903 ICF	0,01	0,59
Fv_Fm =	0,779+0,000005543PI	0,01	0,81
Fv_Fm =	0,803-0,809IC	0,05	0,35
ICF=	909,309 - 0,15PI	0,05	0,34
AREA =	1,60526 + 0,0169758 ICF - 2,93724 IC - 0,0044426 SPAD + 0,781351 Fv_Fm - 0,0000336116 PI	0,01	0,98

4.7.6 CORRELACIONES CON TODOS LOS VALORES DE AREA, ICF, SPAD E IC AGRUPADOS

En la (Tabla 96) se presentan correlaciones con todos los valores de área, ICF, SPAD e IC agrupados.

Tabla 96. Correlaciones de todos los valores de área, ICF, Spad e IC agrupados

	2010 AGRUPADOS	P	r
ÁREA =	-2,63604E ⁻¹³ -8,67143 E ⁻¹⁶ ICF - 1,12348 E ⁻¹³ IC + 2,64576E ⁻¹⁴ Fm_Fm - 6,37951E ⁻¹⁹ PI + 3,17376E ⁻¹⁵ SPAD	0,01	1
SPAD =	66,7561 - 0,00684879 ICF - 178,826 IC - 16,4206 Fv_Fm - 0,000029727 PI	0,01	0,2
ICF=	1310,52- 4942,07 IC - 248,607 Fv_Fm + 0,00296388 PI	0,01	0,37
AREA =	3,01531 + 0,0162711 ICF	0,01	0,96

AREA =	21,2811 - 72,7464 IC	0,01	-0,52
AREA =	19,1063 + 0,0000731579 PI	0,1	0,13
SPAD =	35,8826 + 0,00600701 ICF	0,1	0,14
SPAD =	44,9246 - 142,024 IC	0,01	-0,41
ICF=	1133,5 - 5017,58 IC	0,01	-0,6

4.7.7 PRODUCCIONES, NÚMERO DE FRUTOS Y PESO DE LOS FRUTOS DE CADA TRATAMIENTO DURANTE LOS 4 AÑOS

En la (Tabla 97) se presentan las producciones de cada tratamiento con las medias de todo el ensayo y los porcentajes de cada año tomando como valor 100 el año 2007.

El año 2008, comparado con el año 2007 (índice 100), tuvo una producción del 115%, con un 116% en número de frutos y un peso/fruto del 100%. En 2010, la producción fue del 64%, el número de frutos del 47% y el peso de estos del 137%. En 2009, apenas hubo diferencias con los valores de 2007.

Así, en 2010 hubo 59 kg/árbol de media de todos los tratamientos, frente a 105 kg del año 2008; el número de frutos/árbol fue de 262 en 2010 a 652 en 2008; el peso de los frutos fue de 225 g/fruto en 2010 a 164 g/fruto en 2008.

En número de frutos/árbol (

Tabla 98), 2008 tuvo un 116%, 2009 un 97% y 2010 un 47%. El fuerte descenso se ha debido a que el aclareo ha sido más intenso que en años anteriores, ya que el producto se iba a embolsar para destinarlo a mercado en fresco. En cuanto al peso de los frutos (Tabla 99), en 2010 se produjo un incremento del 37% con relación a los años anteriores, como consecuencia del menor número de frutos/árbol.

Tabla 97. Producciones de cada tratamiento durante los 4 años

	2007	2008	2009	2010
	kg/árbol	kg/árbol	kg/árbol	kg/árbol
0	86,7a	93,83b	82a	47,9b
1	87,8a	107,41ab	90,1a	65,4a
2	92,1a	113,57ab	90,9a	65,5a
3	86,7a	93,07b	89,1a	56,0ab
4	97,2a	104,98ab	89,1a	61,2ab
5	101,5a	119,19a	95,3a	59,0ab
Media año	92,0	105,3	89,4	59,2
% sobre año 2007				
Valor 100	100%	115%	97%	64%

Tabla 98. Número de frutos de cada tratamiento durante los 4 años

	2007	2008	2009	2010
	Nº fr/árbol	Nº fr/árbol	Nº fr/árbol	Nº fr/árbol
0	514,0a	534,5b	486a	222,3b
1	542,2a	680,7ab	549a	287,0ab
2	566,0a	720,3a	568a	300,8a
3	545,7a	620,3ab	560a	245,0ab
4	609,8a	642,3ab	530a	262,8ab
5	591,0a	716,7a	585a	256,5ab
Media año	561,5	652,5	546,3	262,4
% sobre año 2007				
Valor 100	100%	116%	97%	47%

Tabla 99. Peso de los frutos de cada tratamiento durante los 4 años

	2007	2008	2009	2010
	g/fruto	g/fruto	g/fruto	g/fruto
0	168,7a	176,13a	168,9a	215,6b
1	161,9a	157,9b	166,7a	227,2ab
2	162,7a	157,89b	160,9a	218,15ab
3	159,9a	158,26b	161,0a	226,3ab
4	159,4a	163,79b	167,8a	233,6a
5	171,7a	168,62ab	162,8a	231,5ab
Media año	164,1	163,8	164,7	225,4
% sobre año 2007				
Valor 100	100%	100%	100%	137%

5 **DISCUSIÓN**

En general, las informaciones disponibles de los ensayos de fertilización nitrogenada en leñosas, en condiciones reales de campo, son poco concluyentes debido fundamentalmente a la dificultad de controlar la efectividad de dichos tratamientos (Monge et al. 2007).

En los frutales el conocimiento real de las necesidades en fertilización es muy complejo. Por una parte, al ser cultivo plurianual, resulta difícil determinar la respuesta del árbol a la fertilización, ya que existe una acumulación de sustancias de reserva en los diferentes órganos de la planta, difíciles de cuantificar y de determinar su estado antes y después de la aplicación de fertilizantes. Por otra, la respuesta de los árboles a la fertilización es por lo general lenta (Alonso et al. 2012).

Las dosis de abono no producen efectos detectables a nivel de planta, como mínimo, hasta el tercer año de reiterar el tratamiento sobre los mismos árboles (Rufat et al. 2005); durante los primeros 25-30 días de la temporada de crecimiento, todo el uso del N por los tejidos en crecimiento es suministrado por los órganos de almacenamiento (Rufat & Dejong 2001) y, además, es difícil cuantificar los distintos términos que integran el balance de nitrógeno, entre los que se encuentran los aportes al suelo por la mineralización de la materia orgánica, del agua de riego y del abonado (Espada 2002, citado por Monge et al. 2007). Solo a partir del tercer año (Muñoz- Guerra et al. 2008) observaron diferencias entre árboles abonados y no abonados. Incluso en situaciones de exceso de vigor de los árboles frutales, se puede dejar de fertilizar con Nitrógeno durante 1-2 años (Jhonson & Uriu 1989), sin consecuencias en la producción.

El índice **Spad** muestra buenas correlaciones con el nivel de coloración verde de las hojas, lo que permite detectar diferencias no visibles al ojo humano (Espada & Romero 2009).

De la determinación del nivel de clorofila de las hojas, con la ayuda del chlorophyll meter, modelo Spad 502, se puede indicar que en el ensayo se obtuvieron valores diferentes en los cuatro años, de manera que cuando ha habido diferencias entre tratamientos, no se han mantenido ni en el tiempo ni entre los mismos tratamientos. En 2010 se produjeron diferencias significativas entre varios tratamientos y el testigo ($p < 0,05$) hasta la parada de crecimiento; durante dicha parada no hubo diferencias; de nuevo se produjeron diferencias el 19 de agosto. En este año, solo el T3 ha presentado diferencias en todos estos casos con el T0. Los tratamientos T1, T2 y T3 fueron los que en más ocasiones presentaron diferencias significativas en los índices de spad con T0, lo que podría estar relacionado con la aplicación de N amoniacal + DMPP, al mantenerse el N más tiempo a disposición de la planta.

Estos datos son coincidentes con los obtenidos por (Gómez & Lorén 2004) en un ensayo de fertilización con Nitrógeno amoniacal y nítrico en melocotonero 'Miraflores' en Ricla, donde no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Estos mismos autores, cuando estudiaron en melocotoneros 'Sudanell' el comportamiento de varios quelatos de hierro obtuvieron diferencias significativas entre los distintos tratamientos y el testigo.

Los resultados tienen cierta similitud con los obtenidos por (Gardiazabal et al. 2007) en la aplicación de Nitrógeno amoniacal con DMPP en aguacate, y estarían en línea con los mencionados por (Monge et al. 2007), que observaron cómo el hecho de aplicar las mismas unidades de nitrógeno por hectárea, no permitió comprobar la concordancia entre la concentración de nitrógeno en las hojas y la dosis de aquel aplicadas al suelo, lo que podría explicar que los resultados obtenidos con las lecturas de Spad no sean concluyentes.

Sin embargo, (Rufat et al. 2009) obtuvieron una mayor absorción de N en las plantas fertilizadas, que supuso un incremento de los valores Spad y de la concentración de N en hojas y en frutos (Domingo 2010) coincidiendo con (Rubio-Covarrubias et al. 2009); (Domingo et al. 2007) y (Jia et al. 1999) que también consiguieron mayores concentraciones de clorofila en melocotoneros tratados con más N, aunque su tasa fotosintética fue menor. (Domingo et al. 2007), comprobaron la existencia de correlaciones significativas entre el N en hoja y los valores de Spad y (Espada & Romero 2009) observaron como se producían diferencias en los valores Spad, de la variedad de melocotón 'Jesca' en función del patrón utilizado.

Con el análisis de hojas mediante el software "**Foliarea**", se observaron diferencias en 2007, entre los tratamientos amoniacales y el testigo, en el índice de capacidad fotosintética y entre el T5 y el T2. El área de las hojas fue mayor en el T1 respecto de T0, presentando mayor índice de clorosis T0 que T2 y T5. Estos datos, sin embargo, no guardan relación con los obtenidos mediante las mediciones con Spad, salvo los del día 30 de julio que son coincidentes, es decir, que los valores de Spad, de área y de ICF son mayores en el T1 que en el T0.

En 2008, el área de las hojas fue mayor en algunas fechas en T2 y T5 respecto de T1 y en T5 respecto de T0 a finales de agosto, lo que guardó relación con los valores de Spad. El ICF fue superior en T5 respecto de T0 en el período final de julio a mediados de agosto. Solo hubo cierta relación entre los valores de Spad y el ICF en la medición de mediados de agosto.

En 2009, el área del T3 fue superior a T0 en una medición, y el ICF del T3 y T5 también fue superior a T0 en una ocasión a principios de junio, guardando cierta relación con valores de Spad del T3, T4 y T5 mayores de T0 en fechas próximas. En esas mismas fechas el índice de clorosis del T0 fue mayor que el de T2, T3, T4 y T5.

En 2010 el área del T5 fue mayor que el testigo en todos los casos; también se presentaron en varias fechas diferencias de T5 con el resto de los tratamientos, incluido el T4 (75% nitrato). Así mismo, el T1 y T2 (amoniacales) fueron superiores a T4 en dos ocasiones, lo que entraría en contradicción con lo obtenido del T5. El ICF fue superior al T0 en todas las medidas, pero este resultado no se produjo a la inversa con el IC. Hubo una clara relación del ICF con los valores SPAD el 19 de agosto, y también se mantuvo en otras fechas, aunque no siempre los resultados fueron concordantes.

Las primeras mediciones con **fluorímetro**, se realizaron en 2009, sin que se produjeran diferencias significativas en la relación F_v/F_m en ninguna de las dos fechas (fin de julio y mitad de agosto). Los valores obtenidos se encontraron entre 0,79-0,8 y 0,77-0,83, ligeramente inferiores al óptimo descrito por (Björkman & Demmig 1987), que observaron que la variable de máxima emisión fluorescente a 692 nm (F_v/F_m , 692) mantuvo constante el valor medio para las especies C3, en torno a $0,83 \pm 0,004$, indicando que es un valor óptimo para un gran número de especies

Sin embargo, en 2010, en general, los valores de F_v/F_m fueron más altos, estando siempre por encima de 0,8. De las 6 fechas de medición, solo hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en 4 de ellas, siendo relevante la del 9 de septiembre en la que todos los tratamientos fueron significativamente diferentes del T0. En los otros casos han sido dos o más tratamientos distintos los que se han mostrado diferentes respecto de T0. Es decir, a lo largo del período vegetativo, se puede concluir que los valores han sido superiores a los de 2009, lo que indicaría una mayor eficiencia fotosintética. Todo ello demostraría que los melocotoneros no estuvieron sometidos a ningún tipo de estrés ambiental y que las condiciones de 2010 fueron ligeramente más favorables que en 2009, probablemente debido a que la carga fue menor.

La razón F_v/F_m en promedio es de 0,8-0,83 en hojas no fotoinhibidas, siendo una medida de la máxima eficiencia cuántica potencial de los PSII (Krause & Weis 1991 citados por Cabrera 2002); (Björkman & Demmig 1987). Diferentes tipos de estrés ambiental que afectan la eficiencia del FSII, producen una disminución característica de la razón F_v/F_m , que es usada como una manera de medir la eficiencia fotoquímica de los FSII (Baker 1991, Krause & Weis 1991, citados por Cabrera 2002).

El cociente F_v/F , permitió detectar posibles daños por estrés hídrico en plantas de vivero de pino a raíz desnuda y con cepellón, (Mena et al. 1997); otros autores, (Tartachnyk et al. 2007), observaron que tras una granizada se produjo una rápida disminución de la fotosíntesis con una reducción de F_v/F_m desde 0,81 a 0,75 en una hora, para pasadas 3 horas, recuperar el rendimiento cuántico. En condiciones de 0% de sombra se produce una fuerte fotoinhibición de la fotosíntesis, comprobado por la

reducción de la F_v/F_m a valores de 0,4 a 0,62, frente a 0,83 con 50% de sombra (Santa María, 2001).

El aumento de **la carga frutal** conlleva un incremento de la eficiencia del árbol para producir fruta en g/cm^2 de ASTT, (Quezada 1993, citado por Gabino et al. 1995), ya que al incrementar el aclareo, se produce un mayor tamaño del fruto; sin embargo, también se produce una menor eficiencia productiva (g/cm^2 de sección de tronco), sin afectar a la madurez ni al crecimiento vegetativo (Gabino et al. 1995). Estos autores consideran que la carga frutal adecuada en melocotonero es de 3 a 6 fr/cm^2 . El tamaño, la firmeza y el contenido en sólidos solubles están negativamente relacionados con la carga frutal (Cittadini & Peri 2006); (Caruso 2001 y Crisostoto 1995, citados por Cassiera et al. 2007); existiendo una clara correlación lineal entre la carga frutal (n° frutos/árbol) y el peso medio del fruto (Ojer & Reginato 2002); relaciones inferiores a 6 hojas/fruto, producen frutos de poco peso frente a las relaciones de 30 hojas/frutos (conserva vs mercado). Así, a mayor carga frutal, el tamaño de los frutos es menor, sin que esto signifique que la disminución del peso sea proporcional a la del calibre (Farley 1923, citado por Ojer & Reginato 2002); (Ojer 1996); (Reginato & Camus 1993); (Johnson & Handley 1989). Frutos alimentados por 30 hojas fueron más dulces y menos ácidos (Souty et al. 1998) que los alimentados por un número menor de hojas. En la variedad Ribadoux de melocotón, (Cassiera et al. 2007), consiguieron incrementos del 48% en el calibre de los frutos, cuando la relación hojas/frutos fue superior a 50. Cabe constatar que se han obtenido diferencias significativas en la producción total debidas a la carga (Ojer 1996); (Johnson & Handley 1989); (Cain & Mehlenbacher 1956), y que al incrementar el N aplicado aumentaba linealmente la concentración de N en las hojas, los frutos y el desarrollo vegetativo (Domingo 2010).

En los tres primeros años de este estudio, la carga frutal fue de: 2007 (3,2 frutos/ cm^2); 2008 (4 frutos/ cm^2); 2009 (3,2 frutos); sin embargo, en 2010, el número fue aproximadamente de 1 fr/cm^2 . Los resultados productivos de distintas dosis de N están más relacionados con la carga del árbol que con el peso medio del fruto, (Neilsen 1999, citado por Rufat et al. 2005). Así, las mayores producciones se obtuvieron en 2008, cuando el número de frutos y la producción por árbol fue mayor, aunque el valor comercial de los frutos hubiera sido inferior si hubieran estado destinados a consumo en fresco, dado que los calibres fueron menores.

En el ensayo, al final de la estación, el área de las hojas ha sido mayor en los tratamientos nitrogenados que en el T0, que también tenía menor número de frutos, dato que difiere de los resultados obtenidos por (Rosati et al. 1999), ya que la fertilización nitrogenada aumentó la concentración de nitrógeno en las hojas, sin que hubiera relación significativa entre la concentración y el área de las hojas entre los árboles fertilizados y el

control. Sin embargo, (Klein et al. 1991) encontraron correlaciones lineales en nogal de los parámetros mencionados. Por otra parte, (Berman & Dejong 2003), comprobaron que el área de las hojas fue mayor en los árboles sin frutos que en aquellos con producción comercial o cosecha muy abundante.

El sistema de formación parece influir sobre el área de las hojas y la materia seca, ya que árboles formados en eje central tuvieron hojas más grandes y con más materia seca que los formados en Ypsilon, aunque no se produjeron diferencias ni en términos de eficiencia productiva por sección de tronco ni del LAI (índice área foliar) (Caruso et al. 1996)

En 2009 se observaron correlaciones entre los valores de Spad e ICF, y también en varias fechas estuvieron significativamente relacionados los valores de Área, Spad, ICF y Fv/Fm, lo que coincidiría con lo mencionado por varios autores donde se correlaciona el área con el índice Spad y la capacidad fotosintética (Wang et al. 2011); (Dussi 2009); (Le Roux et al. 1999); (Klein et al. 1991)

En 2010 se presentaron en la mayoría de las mediciones, correlaciones significativas entre el área y el ICF y el área y el IC. En una ocasión hubo correlación lineal entre el área, ICF, SPAD, Fv/Fm, PI e IC.

Cuando se agruparon e hicieron las medias de todos los valores a lo largo del año, se produjeron correlaciones lineales entre el área y el ICF y el área e IC.

El **peso específico de las hojas** del T0, sin fertilización nitrogenada, fue mayor que el de los otros tratamientos, con valores de 90 a 112 g/m²; situación similar a la obtenida por (Rufat et al. 2009), donde el peso específico mostró una tendencia negativa, aunque no significativa, respecto de la aplicación de N.

En general, los tratamientos nitrogenados presentaron al final del ensayo, mayores valores de Spad, lo que indicaría una mayor concentración de N en las hojas, que estaría relacionado con el mayor peso específico de estas. Sin embargo, (Rosati et al. 1999), con fertilización nitrogenada obtuvieron aumentos en la concentración de N en las hojas, sin que hubiera relación significativa entre la concentración y el área de estas entre los árboles fertilizados y el control. La distribución del N por unidad de área en las copas de los melocotoneros es principalmente una función del reparto con el área de la hoja, con la luz y con la concentración de nitrógeno por unidad de masa, relacionado con la disponibilidad de N en el suelo.

La **longitud de los ramos mixtos** no ha presentado diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, hecho coincidente con los resultados obtenidos por (Royo et al. 2005), donde un aumento del contenido de N en las hojas y frutos no afectó a la longitud de los brotes. Dicha longitud, sí se ve afectada por el tipo de patrón en melocotonero (Picolotto et al. 2009) y el crecimiento de su biomasa está condicionado

por el desarrollo del melocotón durante la tercera fase de crecimiento (Berman & Dejong s. f.)

(Royo et al. 2005) estiman que la longitud total de ramos mixtos con relación a los cm^2 de área de tronco, debe estar en torno a 0,5. Otros autores, sin embargo, consideran que la relación número de ramos mixtos/ cm^2 de sección de tronco debe estar entre 0,3 y 0,6; los árboles del ensayo, que estaban tratados con paclobutrazol, tenían una relación dentro del intervalo: 0,36 - 0,47 y por tanto, adecuada.

En el ensayo no se han encontrado diferencias significativas en el peso de **la madera de poda** coincidiendo con los resultados obtenidos por (Alonso et al. 2012), aunque el T5 dio valores más altos que el resto de tratamientos. Según (Bussi et al. 1991), los aportes de N aumentan el peso de la madera de poda del melocotonero, aunque esto depende más del tipo de patrón de melocotonero utilizado (Picolotto et al. 2009).

Tampoco se han producido diferencias significativas en el área de los troncos a 20 cm del suelo, lo que coincide con los resultados obtenidos para distintas dosis de nitrógeno por (Alonso et al 2012) y (Rufat 2010), donde los crecimientos del tronco no se correspondieron con las aportaciones de N. Situación similar observó (Razzeto 1984, citado Rufat 2010). Sin embargo, (Bussi et al, 1991) obtuvieron un mayor crecimiento del tronco al aumentar los aportes de N. El patrón parece tener una clara influencia sobre el crecimiento del diámetro del tronco (Picolotto et al. 2009).

Durante los 3 primeros años de este estudio no hubo presencia significativa de **insectos y ácaros**. Sí hubo oídio en las hojas terminales de los ramos mixtos a partir del mes de junio, durante los 4 años del trabajo, estando generalizada la enfermedad en todos los tratamientos.

El último año del ensayo, el T3 presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), con un mayor número de brotes afectados por pulgón que T2. Sin embargo, no se han presentado diferencias con el resto de tratamientos. A la vista de estos resultados la presencia de pulgón en los árboles parece estar más relacionado con una distribución aleatoria que con la cantidad o tipo de nitrógeno aplicado. Esto coincidiría con lo descrito por (Grechi et al. 2010), ya que según él, las prácticas culturales y la dinámica de población de los pulgones influyen más sobre las pérdidas de cosecha, que la concentración de N en las hojas y las labores de poda. Sin embargo, (Sauge et al. 2010), obtuvieron resultados diferentes, ya que el número de pulgones de los melocotoneros se correlacionó positivamente con el estatus del N en la planta y el crecimiento vegetativo hasta un nivel medio de N. Por encima de aquel disminuyó su presencia y, a concentraciones bajas, se mantuvo estable. Asimismo, nectarinos fertilizados con altas

tasas de N, fueron más susceptibles a daños en fruto por monilia, anarsia y polilla (Daane et al. 1995).

El contenido de azúcares del melocotón, en g/100 g de peso fresco, es habitualmente de: 1 g de glucosa, 1 g de fructosa y 7 g de sacarosa (Widdowson y McCnace 1935, citados por Vila 2006), y está linealmente relacionada con la concentración de materia seca (Domingo 2010). Se considera que el melocotón tiene buena calidad cuando supera los 12° Brix (Santaella & Sánchez s. f.). La variedad 'Miraflores' en ensayos comparativos de comportamiento varietal llevados a cabo por (Iglesias & Carbó 2002) en Lérida, dio valores en torno a 13°Brix.

Los contenidos de sólidos solubles de los frutos de este experimento en 2010 fueron más altos que en las tres campañas anteriores. Esta diferencia no parece que se deba a razones de tipo ambiental, sino a la modificación del sistema de cultivo, ya que en los 3 años anteriores la producción se destinó a industria y en 2010 se realizó un aclareo más intenso y se embolsó el melocotón para destinarlo a mercado de producto fresco. Esta menor carga se tradujo en un mejor reparto de asimilados y, por tanto, en una mayor concentración de azúcares en los frutos. Téngase en cuenta que se pasó de producciones superiores a las 50 t/ha en 2009, a producciones de 34 t/ha en 2010.

En general, no ha habido diferencias significativas en los parámetros de calidad de los melocotones. En 2007, T0 y T4 presentaron mayor acidez que T2 ($p < 0,05$), sin que hubiera diferencias en los contenidos de SST. En 2008, T0 tuvo mayor contenido de azúcares que T1, T2 y T3. En 2009, no se produjeron diferencias significativas. En 2010, T0 mostró una concentración media de SST significativamente mayor que el resto de tratamientos en la primera pasada (estos datos son coincidentes con los obtenidos por (Fernández et al. 2009). En segunda pasada no hubo diferencias. En el ensayo realizado en melocotonero 'Miraflores' por (Gómez & Lorén 2004), el contenido de azúcares fue mayor en la primera pasada.

En el ensayo, el contenido de SST fue inferior a 10,5° Brix en los años 2007, 2008 y 2009, mientras que en 2010 se obtuvieron valores superiores a 12° Brix.

Resultados similares, es decir, sin diferencias significativas obtuvieron (Alonso et al. 2012); (Domingo 2010); (Chatzitheodorou et al. 2004); (Amo 1997) al evaluar melocotones fertilizados y no fertilizados, aunque en un panel de catas, los fertilizados obtuvieron mayor puntuación. Valores similares se obtuvieron en los ensayos realizados por (Rufat et al. 2009); (Muñoz- Guerra et al. 2008) y (Brunneto et al. 2007) si bien en el primer caso los melocotones presentaron mejores atributos comerciales en términos de calidad de fruto. La reducción del riego en un 30% en la fase III, produjo en melocotonero, una mayor concentración de SST y un menor número de frutos (Domingo 2010).

(Jia et al. 1999), obtuvieron una concentración de SST y sacarosa más alta en el tratamiento con nivel medio de N (concentración del fertilizante líquido: 80 ppm) y más bajos en el más alto (160 ppm). El nivel medio de N produjo los frutos más apreciados en una cata. Así mismo, la coloración fue menor en los frutos con mayor aporte de N.

Los valores habituales de pH del zumo extraído de la pulpa de melocotón, suelen encontrarse en el intervalo de 3,5 a 5 (Gil et al. 2002); la acidez valorable en el intervalo del 0,2-0,9% y la acidez total (mayoritariamente ácido málico) en torno a 0,36 g/100 ml (Van Gorsel et al. 1992). Del total de la acidez, un 50-60% corresponde al ácido málico – (Byrne 1991, citado por Amo 1997). Tratamientos con niveles medios elevados de N, dieron valores de acidez titulable, ácido cítrico y málico mayor que en los tratamientos con niveles medios (Jia et al. 1999). Sin embargo, (Alonso et al, 2012) no obtuvieron diferencias significativas en melocotonero, con aportaciones diferentes de N.

Los valores de acidez del estudio en 2007 y 2010 han sido similares a los obtenidos por (Iglesias & Carbó 2002) en Lérida (8,8 g/L de ácido málico). Sin embargo, en 2008 y 2009 fueron inferiores, debido probablemente a que se retrasó la recolección.

La firmeza es un indicador del estado de madurez del fruto, (Monet 1978, citado por Amo 1997), que manifiesta exteriormente los cambios fisiológicos que se producen en el interior del fruto, (Amoros 1989, citado por Amo 1997). Las frutas sobremaduras se ablandan en exceso, presentan texturas anómalas, son más susceptibles a los ataques fúngicos y pierden rápidamente el sabor y los aromas (Ferrer et al. 2001). En los árboles tratados, los valores de penetrometría no han presentado diferencias significativas entre tratamientos con DMPP y sin él, y tampoco con el tratamiento testigo, coincidiendo con lo expuesto por (Meheriuk et al. 1995), que indica que la firmeza no se vio afectada al incrementar la dosis de nitrógeno aplicada. Sin embargo (Rufat et al. 2009), obtuvieron resultados diferentes, ya que melocotones que habían recibido aplicaciones de N presentaron mayor firmeza que los no fertilizados, especialmente para las dosis más altas de N. En el segundo año del ensayo de fertilización (Alonso et al 2012), también observaron diferencias significativas en la firmeza de los frutos, siendo menos firmes los frutos de las plantas que recibieron menor aporte de N.

En este estudio, la firmeza en 2009 dio los valores más bajos, entre 1,6 y 2 kg/cm² (este año la recolección se retrasó por cuestiones comerciales) y 4,4-4,9 kg/cm² de 2008. En 2010 también se obtuvieron valores relativamente bajos de 2,5 a 2,9 kg/cm², al recogerse los melocotones con unos parámetros de coloración, azúcares y dureza establecidos por el comprador. (Iglesias & Carbó 2002) han obtenido firmezas en recolección de la variedad 'Miraflores' en Lérida de 5,1 kg/cm²

En melocotoneros, tras 10 años de ensayo, (Chatzitheodorou et al. 2004) obtuvieron una gran variabilidad en la penetrometría sin que hubiera un patrón claro

entre las distintas combinaciones de fertilizantes. Sin embargo, (Domingo 2010) comprobó que dosis altas de N (120), no afectaban a la firmeza y en general la aplicación de N tendía a incrementar este valor, aunque las diferencias significativas solo ocurrieron en 2 de los 3 años de ensayo.

Las respuestas de la fertilización nitrogenada se pueden clasificar en efectos sobre el crecimiento de las raíces que determina la absorción de agua y nutrientes; efectos sobre el tamaño de la estructura del árbol y la superficie foliar que determinan la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada y, consecuentemente, disponibilidad de asimilados, efectos sobre la floración y cuajado que determinan la carga de los frutos por árbol; efectos sobre el crecimiento del fruto que determina el tamaño del fruto y efectos sobre la maduración del fruto que determinan su calidad (Rufat et al. 2009).

Una correcta fertilización nitrogenada mejora **los rendimientos**, que están asociados con la duración del período del desarrollo del fruto (Saenz et al. 1997), que en el melocotón 'Miraflores' es relativamente largo. El incremento del N, aumenta la carga frutal, el tamaño de la copa y el desarrollo vegetativo (Domingo 2010); también aumenta la cosecha (Domingo 2010); (Rufat et al. 2009); (Chatzitheodorou et al. 2004); (Mattos et al. 1991); la productividad del agua (Domingo 2010); y alarga el período de desarrollo del fruto (Domingo 2010); (Rufat et al. 2009), incrementando las posibilidades de asimilación y de producción (Saenz et al. 1997). Asimismo, una carga frutal elevada alarga dicho período, aunque es más significativo el efecto del N (Saenz et al. 1997). Aplicaciones de N60 y N120 dieron más frutos y mayor producción que el tratamiento control (Rufat et al. 2009). Por otra parte, la producción depende tanto de la carga como del peso medio de los frutos, comprobándose que la dosis de 80 U.N/ha en melocotonero tuvo mejor comportamiento sobre la producción que el T0 y N200 (Rufat et al. 2004).

En manzanos Top Red, Early y Smoothee, en ensayo realizado en Lleida, con 80 y 200 UN/ha y distintos tipos de riego, (Rufat et al. 2004) constataron que la respuesta que se producía a las aportaciones de N era más lenta, confirmando la importancia que tienen las reservas en el suelo y en la planta y la mineralización de la materia orgánica. Los resultados mencionados, son similares a los obtenidos en este trabajo, ya que durante el tercer año, sólo se produjeron diferencias significativas ($p < 0,05$) del T5 con respecto al T0; sin embargo, en el 4º año, todos los tratamientos tuvieron rendimientos superiores y significativamente diferentes del T0 ($p < 0,05$). En olivo, sin embargo, (Monge et al. 2007) no observaron diferencias significativas en la producción de aceituna arbequina y empeltre abonadas con distintas dosis de Nitrógeno.

En melocotonero, **el % de frutos cuajados** adecuado para obtener una buena producción es del 9 al 20% (Royo 2008). La variedad 'Miraflores' se caracteriza por tener

una elevada floribundez (> de 40 flores/metro lineal de ramo mixto) (Iglesias & Carbó 2002), que en ausencia de heladas acaba dando porcentajes de cuajado adecuados.

En los 4 años de duración de este ensayo, hubo una abundante floración, con buenos cuajados, ya que no se produjeron heladas ni problemas patológicos, y las producciones fueron elevadas.

En ensayos realizados por (Domingo et al. 2007), un mayor contenido de N en el suelo (N inicial más N aportado) se correlacionó con el número de frutos. Sin embargo, la aplicación de N no afectó a la cosecha.

De los 4 años del presente estudio se obtiene que, el 2008 comparado con el año 2007 (índice 100), se obtuvo una producción del 115%, con un 116% en número de frutos y un peso/fruto del 100%. En 2010, la producción fue del 64%, el número de frutos del 47% y el peso de estos del 137%. En 2009, apenas hubo diferencias con respecto a los valores de 2007.

Así, si se comparan los años extremos: en 2010 se obtuvieron 59 kg/árbol de media de todos los tratamientos, frente a 105 kg del año 2008; el número de frutos/árbol fue de 262 en 2010 y 652 en 2008; el peso de los frutos fue de 225 g/fruto en 2010 y 164 g/fruto en 2008.

Los calibres en los tres primeros años estuvieron entre 65-68 mm, suficiente para superar el límite inferior establecido por la industria de 62 mm. En 2010, los calibres de fruto estuvieron entre 75 y 80 mm, debido a su destino para consumo en fresco, superando la media obtenida por (Iglesias & Carbó 2002), en varios ensayos de comparación de variedades, donde el melocotón 'Miraflores' produjo valores medios de 73,8 mm.

Los distintos tratamientos han tenido mayor número de frutos que el T0, pero no ha habido diferencias significativas de producción entre los tratamientos con DMPP y aquellos sin él. Si las hubo entre el testigo y el resto. Otros autores, (Muñoz- Guerra et al. 2008), al aplicar N con inhibidor obtuvieron incrementos de producción, debido fundamentalmente a la presencia de un mayor número de frutos.

La reducción de la pérdida de nitrato por lavado, al aplicar IN no siempre se traduce en un incremento de producción (Weiske et al. 2001). Generalmente, sólo en suelos con bajas concentraciones de nitratos, que son muy sensibles a su pérdida, se produce un claro incremento de rendimientos al aplicar inhibidores (Malzer 1989, citado por Chaves et al. 2005). El hecho de que las plantas preferencialmente absorban N en forma de nitrato puede ser la razón de la falta de respuesta al incremento de rendimientos al aplicar IN (Chaves et al. 2005).

Las producciones obtenidas durante 2010, no han presentado diferencias significativas entre los tratamientos con **Namoniacal** y **Nnitrato** ($p < 0,05$), pero en ellas,

se ha observado un ligero incremento de las producciones del tratamiento con N *amoniaco* frente al N *nitrato* (9% más de producción y 13% más de frutos, con un descenso del peso de los frutos de un 4%).

En un ensayo realizado en Valdejalón con melocotoneros 'Miraflores' sobre GF-677 de 10 años de edad, durante el período 2000-2006, no se observaron diferencias significativas entre los árboles fertilizados con N amoniacal y los fertilizados con N nítrico, ni en el de pH del suelo a 30 y 60 cm de profundidad, ni en la producción, aunque el valor promedio fue ligeramente superior en los árboles fertilizados con N nítrico. Tampoco el calibre y los parámetros organolépticos presentaron diferencias entre la fertilización amoniacal y la nítrica (Gómez & Lorén 2004).

En cítricos, se suele aportar el Nitrógeno en forma amoniacal, que se transforma en nitrato perdiéndose parte del N, lo que supone una baja eficiencia en la fertilización nitrogenada (Legaz et al. 1993). En suelos arenosos, sin embargo, la aplicación de N en forma NO_3^- es más eficiente que los aportes de NH_4^+ (Legaz et al. 1996). Al aumentar la relación ion amonio/ion nitrato en la solución nutritiva, se produce un aumento del número de frutos recolectados (Rufat et al. 2009). Esto se ha observado en los resultados de 2010, si bien las diferencias no han sido significativas ($p < 0,05$).

En plantones de naranjo en Valencia, fertilizados, con DMPP y sin él, (Serna et al. 2000), observaron un incremento de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ durante todo el ciclo de cultivo del tratamiento con DMPP frente al que no llevaba. A los 40 días de la última aplicación de los tratamientos, las concentraciones de NH_4^+ y NO_3^- se igualaron en los dos tratamientos fertilizantes.

En el manzano, la fertilización amoniacal produce más flores por corimbo, que en aquellas fertilizadas únicamente con Nitrógeno nítrico (Gao et al 1992).

En zonas áridas y semiáridas, con agricultura de regadío, es frecuente que se produzca una acumulación de N mineral en primavera y verano, que es la época de riegos y abonados, y un lavado del perfil durante el otoño e invierno, dependiendo de la cantidad de las precipitaciones. (Quilez et al. 2006). En suelos de saso incubados en laboratorio, en condiciones similares a las que se producen en primavera y verano en el valle del Ebro, la nitrificación del SA se produce en 7 días mientras que en un suelo aluvial tardará 12 días (Isla & González 2006). En experimentos realizados en regadíos de Aragón (Quilez et al. 2006), han comprobado que la combinación de menores dosis de fertilizante con alta eficiencia de riego producen una reducción de las pérdidas por lavado de nitrato en torno al 60% respecto al manejo en el que se aplican elevadas dosis de fertilizante y riego.

La determinación de la concentración de nitratos en **los lixiviados** de agua de drenaje, no es una tarea sencilla. (Zotarelli et al. 2007), utilizó varios métodos en cultivos

de tomate, pimiento y calabacín, y observó discrepancias entre los distintos métodos, si bien había consistencia entre los resultados obtenidos con lisímetros de drenaje y muestras de suelo analizadas. Sin embargo, las sondas de succión, dieron resultados inferiores a los otros métodos, debido a la incapacidad para obtener muestras cuando el suelo estaba seco. A pesar de sus limitaciones, contribuyeron a mejorar el conocimiento de la posible contaminación asociada a las aplicaciones de Nitrógeno. El uso de sensores de humedad, tipo FDR, y el riego localizado sub-superficial, en cultivo de pimiento, redujo las pérdidas por lixiviación de Nitrato e incrementa la producción (Zotarelli et al. 2008)

La fertilización nitrogenada produjo un incremento de N en profundidad (90 cm), en campos de melocotonero, manzano y peral, con el consiguiente riesgo de percolación (Muñoz- Guerra et al. 2008). Del mismo modo, la sobrefertilización produjo una acumulación del nutriente en el suelo que se convirtió en vulnerable a la desnitrificación (gases volátiles) y lixiviación, siendo las especies leñosas más susceptibles que otras plantas a sufrir este proceso (Weinbaum et al. 1992).

En un experimento realizado por (Monge et al. 2007), las mayores concentraciones de nitratos, en todos los tratamientos, se encontraron a 30 cm. de profundidad, disminuyendo a los 60 cm, lo que indicaría una mayor asimilación de nitrógeno por las raíces de la planta o que a altas dosis de abono aplicado se produce la inhibición de la nutrición. A partir de 133 kg de N/ha observaron un fuerte incremento en la concentración de nitratos en ambas profundidades.

En el estudio, los datos de 2008 mostraron que no había diferencias significativas en la concentración de amonio y de nitrato en los dos perfiles analizados: 0-30 cm y 30-60 cm. Los valores de nitratos en el perfil 30-60 fueron muy superiores a los del amonio. Dichas diferencias se ampliaron en el perfil 0-30 cm, llegando en los tratamientos T3, T4 y T5 a triplicar la concentración de nitratos a la de amonio, lo que indicaría que se estaban produciendo pérdidas por lixiviación.

En el año 2009, no obtuvimos resultados, porque el laboratorio extravió las muestras.

En el año 2010, en las muestras de suelo del 9 de julio, a 60 cm de profundidad, la concentración de nitratos del T0 fue mayor que la del T4, lo que debería entenderse como un error del muestreo. El 21 de octubre se recogieron muestras en los perfiles 0-30 y 30-60. En el perfil 0-30, el T1 tuvo concentraciones significativamente superiores de nitratos ($p < 0,05$) que el T0. Las concentraciones de amonio no alcanzaron en ningún tratamiento las 50 ppm. En el perfil 30-60 no existieron diferencias entre tratamientos en la concentración de amonio, mientras que T4 y T5 fueron superiores y estadísticamente significativas respecto de T0. Esto tendría similitud con lo obtenido por (Muñoz- Guerra et al. 2008) al aplicar DMPP en manzano y peral, obtuvo una reducción de la

concentración de N en profundidad del 30% en peral y 70% en manzano. Del mismo modo, Amberger 1981 y Rogers & Ashworth 1982, citados por Davies & Williams 1995) obtuvieron menores pérdidas por lixiviación cuando utilizaron IN.

Por otra parte, en 2010, el resultado de los lixiviados que se produjeron en las macetas del estudio dejó patente que los tratamientos con mayor concentración de nitrógeno en forma nitrato, produjeron mayores concentraciones de nitrato en los lixiviados, lo que desde el punto de vista medioambiental, indica un mejor comportamiento del DMPP frente a las aplicaciones en forma nitrato.

En suelos tratados con SA se encontró mayor concentración de NO_3^- , comparado con los tratamientos con DMPP (Quiñones et al. 2009), coincidiendo con (Muñoz-Carpena et al. 2002); (Zerulla et al. 2001); (Carrasco & Villar 2001). La ausencia de IN también produjo mayor concentración de NO_3^- en las aguas de drenaje (Martínez-Alcántara 2006, citado por Quiñones et al. 2009); (Bañuls et al 2001); (Serna et al. 2000). Resultados similares obtuvieron en diversos cultivos leñosos y herbáceos (Quiñones et al. 2009); (Muñoz-Guerra et al. 2004); (Carbó et al. 2002); (Carrasco & Lezana 2002); (Muñoz-Carpena et al. 2002); (Bañuls et al 2001); (Carrasco & Villar 2001); (Zerulla et al. 2001); (Urrestarazu 2000); (Serna et al. 2000). Las pérdidas por lixiviación de Nitrógeno amoniacal en cítricos cultivados en invernadero en maceta y fertirrigados con SA + DMPP, fueron insignificantes (1000 veces menos), comparadas con el nitrato y el tratamiento DMPP + SA disminuyó casi un 50% la lixiviación de nitratos (Muñoz-Guerra & Carrasco 2003). Reducciones significativas de lixiviados obtuvieron (Segura & Carrasco 2006); (Bañuls et al. 2002), en tomate fertirrigado, (Muñoz-Guerra 2008) en peral y manzano y (Serna et al. 1994a) al aplicar DCD + SA en suelo arenoso, con mejora en la absorción del Nitrógeno y disminución de las pérdidas por lavado.

6 CONCLUSIONES

1. En cultivos leñosos el conocimiento real de las necesidades de fertilización es muy complejo, y al tratarse de un cultivo plurianual, resulta difícil determinar la respuesta del árbol a la fertilización.
2. Los datos obtenidos con el spad no han sido concluyentes. Si bien los tratamientos con DMPP fueron los que en más ocasiones presentaron diferencias significativas con el testigo.
3. El área foliar fue significativamente superior en el 4º año, en el tratamiento Nitrato 100%. En general, el área de las hojas ha sido mayor en los tratamientos nitrogenados con relación al testigo.
4. El peso específico de las hojas fue mayor en el testigo.
5. Los valores obtenidos con el fluorímetro de la relación F_v/F_m estuvieron dentro de los parámetros normales. En el 4º año, las condiciones de la planta con relación al estrés ambiental fueron mejores que en el 3-er año, probablemente debido a la menor carga del árbol.
6. Se produjeron correlaciones positivas entre el área, el ICF y de signo negativo entre el área y el IC.
7. La longitud de los ramos mixtos no ha presentado diferencias significativas en ningún tratamiento.
8. El peso de la madera de poda no ha presentado diferencias entre tratamientos.
9. No se observaron diferencias en la incidencia de la plaga de pulgón entre tratamientos.
10. Los contenidos de SS en fruto en el 4º año, fueron superiores a los tres anteriores. Esto parece deberse a que la carga fue inferior en este año al destinarse los frutos al mercado en fresco.
11. En general no se han producido diferencias significativas en los parámetros de calidad de los frutos.
12. En el 4º año (2010), se produjeron diferencias significativas en la producción por árbol entre los tratamientos amoniacales con DMPP (T1 – 100% N amoniacal y T2 –75% N amoniacal) y el Testigo.
13. En cuanto a los lixiviados, en términos generales en campo no hubo diferencias significativas. Si se produjeron, sin embargo, en maceta, donde los tratamientos con DMPP produjeron menos concentración de Nitratos en los lixiviados.

7 **BIBLIOGRAFÍA**

- A.D.A.S.A, 2008. Estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales del Ebro. Available at: <http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/Calidad/CalidadDeAguas.html>.
- A.E.M.A., 2009a. Contaminación atmosférica, Copenhagen.
- A.E.M.A., 2009b. La adaptación al cambio climático y el agua. Si el pozo se seca., Copenhagen.
- Abad, A., 2003. Efecto del abonado nitrogenado en la calidad y rendimiento del trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y Trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. Durum) y en el contenido de nitratos en el suelo en los regadíos de Urgell (Lérida). Lérida: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria.
- Abdel-Sabour, M., Massoud, M. & Bavey, P., 1990. The effect of water movement on the transportation of dicyandiamide, ammonium and urea in unsaturated soils. *Pflanzenernähr. Boden*, 153, pp.245–247.
- Abdel-Sabour, M., Massoud, M. & Bavey, P., 1993. The effect of leaching on transport of dicyandiamide, ammonium and urea in unsaturated soils of Egypt. *Journal Soil science*, 33(1), pp.1–8.
- Abdoulkarim, E. & Solmaz, V., 2009. Water pricing for agricultural production in the south of Iran. *Water Resources Management*, 23, pp.957–964.
- Adams, W. & Demmig-Adams, B., 2004. Photoprotective strategies of overwintering evergreens. *Bioscience*, 54, pp.41–49.
- Adriaanse, F. & Human, J., 1993. Effect of time of application and nitrate/ammonium ratio on maize grain yield, grain N concentration and soil mineral N concentration in a semiarid region. *Field Crops Research*, 34(1), pp.57–60.
- Aerts, R., 1996. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns. *Journal of Ecology*, (84), pp.597–608.
- Aguilar, J., 2009. Efecto del inhibidor NBPT en la volatilización del amoníaco proveniente de la hidrólisis de urea en un sistema semiestático y en pastos, Zamorano, Honduras.
- Alarcón et al., 2006. Estrategias de riego deficitario en melocotonero temprano. *Vida Rural*. Marzo 2006.
- Alarcón et al., 1997. Respuesta del melón Galia (C.V.Revigal) sobre lana de roca a distintas aguas de riego y zonas de cultivo. *Actas de Horticultura*, 18, pp.439–444.
- Albert, L., 2002. Nitratos y nitritos. Capítulo 17. En *Curso básico de toxicología ambiental*. G. Limusa-Wiley.
- Ali, K. et al., 1999. Levels of nonstructural carbohydrate in leaves and roots and some characteristics of chloroplasts after application of different amounts of nitrogen fertilizer to peach seedlings. *The Japanese Society for Horticultural Science*, 68(4), pp.717–723.
- Alkanani, T., MacKenzie, A. & Barthakur, N., 1991. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. *Soil Science Society of America*, 55, pp.1761–1766.
- Alonso, J. et al., 2009. Mejora de la calidad del melocotón de Calanda. Material vegetal, técnicas de cultivo, conservación y comercialización. *Horticultura internacional*, 69,

pp.74–80.

Alonso, J., Castrillo, E. & Espada, J., 2012. Fertilización mineral en melocotonero tardío para una producción sostenible de calidad. Vida Rural, (Febrero).

Amberger, A., 1991. Mobilization of rock phosphates in soils. En 2nd African soil Science society conference. El Cairo. Egipto.

Amiri, M., Fallahi, E. & Golchin, A., 2008. Influence of foliar and ground fertilization on yield, fruit quality, and soil, leaf, and fruit mineral nutrients in apple. Journal of Plant Nutrition, 31, pp.515–525.

Amo, M., 1997. Evolución de los parámetros físicos y químicos del fruto del melocotonero, variedad «Cofrentes». Influencia de la fertilización y orientación. Tesis Doctoral. Murcia: UCLM.

Andreotti, C., Ravaglia, D. & Costa, G., 2009. Innovative light management to improve production sustainability, overall quality, and the phenolics composition of nectarine (Prunus persica cv. Stark Red Gold). Journal of Horticultural Science & Biotechnology, Isafut, special issue, pp.145–149.

Angle, J. et al., 1993. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure and fertilizer applications. Journal of environmental Quality, 22, pp.141–147.

Anónimo, Ciclo del nitrógeno. <http://www.fagro.edu.uy/~microbiologia/docencia/materiales%20teoricos/ciclo%20del%20N%20y%20del%20S.pdf>.

Anónimo, 2003a. G.E.A. Enciclopedia aragonesa on line. Available at: http://www.enciclopedia-aragonesa.com/voz.asp?voz_id=20374.

Anónimo, 2010. La problemática de la contaminación por nitratos. Available at: <http://www.miliarium.com/Proyectos/Nitratos/Introducción> [Accedido julio 16, 2010].

Anónimo, 2003b. Los nitratos y la salud. Revista O.C.U., 96, pp.108–110.

Anónimo, Nutrición mineral de las plantas. http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/bolarios/FisioVegetal/TeoriaFisioVegetal/Resumenes/tema7.htm.

Anónimo, 1994. Variation de l'efficience des racines et calendrier de fertilisation azotée. Mécanismes de régulation de l'absorption racinaire d'azote. Infos-Ctifl, 106.

Aparicio, P., Arrese, C. & Becana, M., 2000. Fijación biológica del nitrógeno. En Fundamentos de fisiología Vegetal. McGraw Hill Interamericana, pp. 247–259.

Arias, D.J. et al., 2008. Gestión sostenible del agua mediante nuevos métodos de fertirrigación. Available at: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2696391> [Accedido junio 21, 2010].

Artola, E. et al., 2007. La ureasa en plantas: efectos fisiológicos de los inhibidores de ureasa. Available at: www.ruena.csic.es/pdf/presentacion_aparicio_universidad_publica_navarra.pdf.

Aulakh, M. et al., 2001. Denitrification, N₂O and CO₂ fluxes in rice-wheat cropping system as affected by crop residues, fertilizer N and legume green manure. Biology and Fertility of Soils, 34(6), pp.375–389.

Azam, F. et al., 2001. Release, movement and recovery of 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), ammonium, and nitrate from stabilized nitrogen fertilizer granules in a silty clay soil under laboratory conditions. Biology and Fertility of Soils, 34(2), pp.118–125.

Badía, M. & Mitjana, J., 1986. Guía práctica del melocotonero, Dilagro.

Baez, D. et al., 2004. Efecto del sistema de laboreo, tipo de abonado y uso de inhibidores de la nitrificación en la producción de maíz forrajero. Pastos y ganadería extensiva, pp.541–548.

Baligar, Fageria, N. & He, Z., 2001. NUTRIENT USE EFFICIENCY IN PLANTS. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32(7&8), pp.921–950.

- Ball-Coelho, B., & Roy, R., 1999. Enhanced ammonium nutrition sources to reduce nitrate leaching. *Nutrient Cycling in agroecosystems*, 54, pp.73–80.
- Bañuls *et al.*, 2001. A new nitrification inhibitor (DMPP) improves the nitrogen fertilizer efficiency in citrus-growing systems. En Hannover. Alemania, pp. 762–763.
- Bañuls, J. *et al.*, 2003. Mejora de la ecoeficiencia de uso de N del fertilizante con inhibidor de la nitrificación DMPP en el sistema Planta-suelo de cítricos. *Fruticultura profesional*, Nutrifitos. I congreso Iberoamericano de nutrición vegetal(2), pp.92–94.
- Bañuls, J. *et al.*, 2000. Optimización de la fertilización nitrogenada con el inhibidor de la nitrificación (DMPP) con riego por goteo en cítricos. *Levante Agrícola*, pp.117–121.
- Bañuls, J. *et al.*, 2002. Respuesta de la frecuencia de aplicación del DMPP como inhibidor de la nitrificación en clementina de Nules. *Levante Agrícola*, 1-er cuatrimestre.
- Barcelo, J. *et al.*, 2005. *Fisiología Vegetal*, Madrid: Pirámide.
- Barker, R., Dawe, D. & Inocencio, A., 2003. *Economics of water productivity in managing water for agriculture*. In: *Water productivity in agriculture. Limits and opportunities for improvement.*, London, UK.: Kigne, J., R. Barker and D. Molden (Eds). CAB Internacional.
- Barth, 2009. Inhibidores de urease de nitrificação na eficiência de uso de adubos nitrogenados. *informações agrônômicas*, 127, p.20.
- Barth, G., & Von Tucher, S., Schimidhalter, 2002. Influence of soil parameters on the efficiency of the new nitrification inhibitor DMPP. *Plant and Soil Sciences*, vol 92, pp. 756-757.
- Bartolini, R., 1989. *La fertilidad de los suelos, terrenos, plantas, fertilizantes.*, Madrid: Mundiprensa.
- Bassirirad, H., 2000. *Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change*. *New Phytologist*, 147, pp.155–169.
- Bazylinski, D. & Blakemore, R., 1983. Denitrification and Assimilatory Nitrate Reduction in *Aquaspirillum magnetotacticum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 46(5), pp.1118–1124.
- Beaton, J., 2010. *Uso eficiente de fertilizantes. Uso eficiente de fertilizantes... Una perspectiva histórica.*
- Bédard, C. & Knowels, R., 1989. Physiology, biochemistry, and inhibitors of CH₄, NH₄ + and CO oxidation by methanotrophs and nitrifiers. *Microbiol. Rev.*, 53(68-84).
- Belastegui *et al.*, 2003. Dicyandiamide and 3,4-dimethyl pyrazole phosphate decrease N₂O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover. *Journal of plant physiology*, 160, pp.1517–1523.
- Belastegui, X., *et al.*, 2002. *Nutrición mineral de las plantas*. En pp. 263–266.
- Berman, M. & Dejong, T., 2003. Seasonal patterns of vegetative growth and competition with reproductive sinks in peach (*Prunus persica*). *Journal of Horticultural Science*, 78(3), pp.303–309.
- Berti, M. *et al.*, 2008. Rendimiento y composición del aceite esencia de *Mentha x piperita* L. según fuentes y dosis de fertilización nitrogenada producido en la zona centro-sur de Chile. *AGRO-CIENCIA*, 24(1-2), pp.58–71.
- Betrán, 2006a. Referencias para la fertilización nitrogenada y razonamiento del aporte del resto de nutrientes. En *Fertilización nitrogenada. Informaciones Técnicas*. Zaragoza: Gobierno de Aragón, pp. 63–77.
- Betrán, 2006b. Revisión de la fertilización nitrogenada. En *Fertilización nitrogenada. Informaciones técnicas*. Zaragoza: Gobierno de Aragón.
- Björkman, O. & Demmig, B., 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170(4), pp.489–504.

- Bleda, F. et al.*, 2011. Chlorophyll fluorescence and mineral nutrition in citrus leaves under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 34(11), pp.1579–1592.
- De Boer, W. & Kowalchuk*, 2001. Nitrification in acid soils: micro-organisms and mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(7-8), pp.853–866.
- Bohn, H., McNeal, B. & O'connor, G.A.*, 1993. Química del suelo, México: Limusa.
- Bolan, N. et al.*, 2004. Gaseous emissions of nitrogen from grazed pastures: Processes, measurements and modelling, environmental implications, and mitigation. *Advances in Agronomy*, 84, pp.37–120.
- Bonilla, I.*, 2000. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. En *Fundamentos de fisiología Vegetal*. McGraw Hill Interamericana, pp. 83–98.
- Bordoli, J.*, 2001. Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa. En *Siembra directa en el Cono Sur*. Documentos. Montevideo. Uruguay: Procisur, p. 450.
- Bosch, A. & Boixadera, J.*, 2006. Fertilidad, sostenibilidad y calidad alimentaria. *Fruticultura profesional*, 163(Extraordinario. Nutrifitos), pp.7–12.
- Le Bot, J., Adamowicz, S. & Robin, P.*, 1998. Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, 74, pp.47–82.
- Bould, C.*, 1966. Leaf analysis of deciduous fruits. In: *Fruit Nutrition*, Childers, N.F. En *Fruit Nutrition*. New Jersey.
- Bouwman, A.*, 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutr.Cycl. Agroecosystems*, 46, pp.53–70.
- Bouwmeester, R., Vlek, P. & Stompe, J.*, 1985. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from urea-fertilized soil. *Soil Science Society of America*, 49, pp.376–381.
- Boyer, J.*, 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218, pp.443–448.
- Briggs, G.*, 1975. The behavior of the nitrification inhibitor «N-Serve» in broadcast and incorporated applications to soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26, pp.1083–1092.
- Britto, D. & Kronzucker, J.*, 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal Plant Physiology*, 159, pp.567–584.
- Bröckel, U. & Hahn, C.*, 2004. Product design of solid fertilizers. *Chemical Engineering Research and Design*, 82(A11), pp.1453–1457.
- Bronson et al.*, 1991. N_2O recovery in winter-wheat as affected by application timing and dicyandiamide. *Soil Science Society of America*, 55(1), pp.130–135.
- Bronson et al.*, 1992. Nitrous-oxide emissions in irrigated corn as affected by nitrification inhibitors. *Soil Science Society of America*, 56, pp.161–165.
- Brun, C., Raese, J. & Stahly, E.*, 1985. Seasonal responses of 'Anjou' pear trees to different irrigation regimes. I. Soil moisture, water relations, tree and fruit growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110, pp.830–834.
- Brundtland, G.*, 1987. World commission on environment and development: our common future., Osford. Reino Unido: Oxford University Press.
- Brunneto, G. et al.*, 2007. Nitrogen fertilization in serial cycles and its impact on yield and quality of peach. *Pesquisa agropecuaria brasileira*, 42(12), pp.1721–1725.
- Buerkert, B., Horlacher, D. & Marschner, H.*, 1995. Time course of nitrogen in soil solution and nitrogen uptake in maize plants affected by form and application time of fertilizer nitrogen. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 174, pp.325–336.
- Bundy, L. & Bremner, J.*, 1974. Effects of nitrification inhibitors on transformations of urea nitrogen in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 6, pp.369–376.
- Bussi, C., Besset, J. & Girard, T.*, 2003. Effects of fertilizer rates and dates of application on apricot (cv Bergeron) cropping and pitburn. *Scientia Horticulturae*, 98, pp.139–147.
- Bussi, C., Huguet, J. & Defrance, H.*, 1991. Fertilization scheduling in peach orchards

under trickle irrigation. *Journal of Horticultural Science*, 66(4), pp.478–493.

Bussotti, F., 2011. Chlorophyll fluorescence: From theory to (good) practice. An introduction. *Environmental and Experimental Botany*, 73, pp.1–2.

C.H.E., 2009. Introducción y resumen del informe de situación de la calidad de las aguas. Available at: <http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/Calidad/CalidadDeAguas.html>.

Cabrera, 2007. Mineralización y nitrificación. Procesos claves en el ciclo del nitrógeno. *Informaciones agronómicas del Cono Sur*, 34, pp.1–26.

Cabrera, H., 2002. Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de altamontaña. *Revista chilena de historia natural*, 75(3). Available at: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2002000300013&lng=en&nrm=iso&tlng=en [Accedido enero 13, 2012].

Cadahía, C., 2005. Fertilización cultivos hortícolas, frutales y ornamentales 3ª ed., Madrid: Mundiprensa.

Cadahía, C., 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales 1ª ed., Mundiprensa.

Cadahía, C., Eymar, E. & Martín, I., 2002. Ventajas agronómicas, económicas y ecológicas de la fertirrigación. *Vida Rural*, pp.31–34.

Cain, J. & Mehlenbacher, R., 1956. Effect of nitrogen and pruning on trunk growth in peaches. *Proc. American Society Horticultural Science*, 67, pp.139–143.

Cantarella, H. et al., 2008. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, 65(4). Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162008000400011&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

Cao, W. & Tibbitts, T., 1994. Responses of potatoes to solution pH levels with different form of nitrogen. *Journal Plant nutrition*, 17, pp.109–126.

Carbó, Pagés, J. & Carrasco, I., 2002. Mejora de la fertirrigación de perales Conferencia en la provincia de Girona, mediante la utilización del inhibidor de la nitrificación 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP-Entec). *Fruticultura profesional, Nutrifitos*, pp.9–13.

Cárdenas, R. et al., 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura . Chapingo. Available at: <http://www.chapingo.mx/noticias/img/revistas/articulos/doc/c50fb64bbce00c701bb2f281b180576d.pdf>.

Carmona, G., Christianson, C. & Byrnes, B., 1990. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide on ammonia volatilization from urea. *Soil Biology and Biochemistry*, 22, pp.933–937.

Carrasco, 2002. Nuevas tecnologías en fertilización para el respeto del medioambiente. *Phytoma*, 135, pp.55–60.

Carrasco & Lezana, J., 2002. Mejora de la eficiencia de la fertilización con el nuevo inhibidor de la nitrificación 3,4 Dimetilpirazol fosfato (DMPP, Entec). *Agrícola vergel*. Available at: www.compo.es/compo/WebApp?Resource=IdealPortal.Page&Node=38862920&MenuEspecial=Enfermedades.

Carrasco & Villar, J., 2001a. Ensayos con inhibidores de la nitrificación en la zona regable de los canales de Urgell (Pla D'Urgell. Lleida). En pp. 252–260. Available at: <http://www.compo.es/compo/WebApp?Resource=IdealPortal.Page&Node=38862920Ensa>.

Carrasco & Villar, J., 2001b. Uso de inhibidores de la nitrificación en suelos fertilizados con purines de cerdo.

Carrera, M., 1992. Patrones para el melocotonero. *Fruticultura profesional*, (46), pp.12–21.

Caruso, T., Giovannini, D. & Liverani, A., 1996. Rootstock influences the fruit mineral, sugar and organic acid content of a very early ripening peach cultivar. *Journal of*

Horticultural Science & Biotechnology, 72, pp.931–937.

Casar, C. *et al.*, 2006. Optimización de la fertilización nitrogenada en programas de producción integrada de patata mediante la utilización de fertilizantes con el inhibidor de la nitrificación 3,4 dimetilpirazol fosfato.

Casella, S., Leporini, C. & Picci, G., 1986. Gaseous nitrogen losses from fertilized soil during nitrification and denitrification using the acetylene blockage technique. *Biology and Fertility of Soils*, 2(2). Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/BF00257581>.

Cassiera, F., Rodríguez, J. & Cárdenas, J., 2007. La relación hoja: fruto afecta la producción, el crecimiento y la Calidad del fruto en duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. «Rubidoux»). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 60(1), pp.3657–3669.

Causapé, J., 2007. Pérdidas de nitrato en el drenaje de zonas regables y su impacto ambiental, Zaragoza: Gobierno de Aragón.

Cerrato, M. & Blackmer, A., 1990. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, 82, pp.138–143.

Chalmers, D., Mitchell, P. & Jerie, P., 1983. The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. *Acta Horticulturae. ISH.*, 146.

Chaney, H. & Kamprath, E., 1982. Effect of nitrapyrin in N reponse of corn on sandy soils. *Agronomy Journal*, 74, pp.565–569.

Chapin, F.S. & Aerts, R., 2000. The mineral nutrition of wild plants. *Advances in ecological. Research*, vol 30, p.5.

Chatzitheodorou, I., Sotiropoulos, T. & Mouhtaridou, G., 2004. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium fertilisation and manure fruit yield and fruit quality of the peach cultivars «spring Time» and «Red Haven». *Agronomy Research*, 2(2), pp.135–143.

Chaves *et al.*, 2005. Influence of DCD and DMPP on soil N dynamics after incorporation of vegetable crop residues. *Biology and Fertility of Soils*, 43(1), pp.62–68.

Chen, 2008. Agricultural sustainability and environmental quality in Australia. En Melbourne- Australia.

Chen *et al.*, 2010. Influence of nitrification inhibitors on nitrification and nitrous oxide (N₂O) emission from a clay loam soil fertilized with urea. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(Issue 4), pp.660–664.

Chesness, S. & Couvillon, G., 1980. Peach tree reponse to trickle application of water and nutrients. *ASAE*, 80; 2079, p.19.

Cittadini, E.D. & Peri, P.L., 2006. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. *RIA. INTA*, 35(1), pp.143–150.

Consejo Europeo, 2006. Directiva 2006/118/CE, Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ.do?uri=CELEX>.

Consejo Europeo, 1991. Directiva 91/676/CEE, Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31>.

Corbeels, M., Hofman, G. & Cleemput, O., 1999. Simulation of net N immobilization and mineralization in substrate-amended soils by the NCSOIL computer model. *Biology and Fertility of Soils*, 28, pp.422–430.

Costa, J., Bosch, M. & Blanco, A., 1995. Growth and cropping of «Blanquilla» pear trees treated with paclobutrazol. *Journal of Horticultural Science*, 70(3), pp.433–443.

Cramer, 2005. Registration of fertilizers in Germany and in the European Union. En Frankfurt.

Cribbs, W. & Mills, H., 1979. Influence of nitrapyrin on the evolution of N₂O from an organic medium with and without plants. *Soil Science and Plant Analysis*, 10, pp.785–795.

Crisosto, C., Johnson, R. & Dejong, T., 1997. Orchard factors affecting postharvest stor-

fruit quality. *Hortsciencie*, 32, pp.820–823.

Daane, K. et al., 1995. Excess nitrogen raises nectarine susceptibility to disease and insects. *California Agriculture*, 49(4), pp.13–18.

Dalias, P. et al., 2002. Temperature responses of net N mineralization and nitrification in conifer forest soils incubated under standar laboratory conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(5), pp.691–701.

Davies, W., Wilkinson, S. & Loveys, B., 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of the mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist*, 153(3), pp.449–460.

Davies & Williams, P., 1995. The Effect of the Nitrification Inhibitor Dicyandiamide on Nitrate Leaching and Ammonia Volatilization: A U.K. Nitrate Sensitive Areas Perspective. *Journal of Environmental Management*, 45(3), pp.263–272.

Delgado, J. & Mosier, A.R., 1996. Mitigation to decrease nitrous oxides emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux. *Journal Environmental Quality*, 25(5), pp.1105–1111.

Demming-Adams, B. & Adams, W., Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43, pp.599–626.

Deng, S. & Tabatabai, M., 1996. Effect of tillage and residues management on enzyme activities in soils. I. Amydohydrolases. *Biology and Fertility of Soils*, 22, pp.202–208.

Di & Cameron, 2005. Reducing environmental impacts of agriculture by using a fine particle suspension nitrification inhibitor to decrease nitrate leaching from grazed pastures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 109(3-4), pp.202–212.

Di & Cameron, K.C., 2004. Effects of temperature and application rate of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture soil. *Australian Journal of Soil Research*, 42(8), p.927.

Diehl, R. & Mateo, J., 1982. *Fitotecnia General* 2^a ed., Mundiprensa.

Diez et al., 2010. Comparison of nitrification inhibitors to restrict nitrate leaching in a maize crop irrigated under mediterranean conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(2), pp.481–492.

Diez-López, J.A.; Hernáiz-Algarra, P; Arauzo-Sanchez, M; Carrasco-Martín, I; 2008. Effect of nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 6 (2) 294-303

Dinnes, D. et al., 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. *Agronomy Journal*, 94, pp.153–171.

Ditter, K. et al., 2001. Use of a novel nitrification inhibitor to reduce nitrous oxide emission from 15N-labelled dairy slurry injected into soil. *Rapid communications in mass spectrometry*, 15, pp.1291–1296.

Domingo, X. et al., 2007. Efectos del riego y de la fertilización nitrogenada en el crecimiento estacional, producción y calidad de melocotón «Andross» para industria. En XI Congreso SECH. Albacete, pp. 426–429.

Domingo, X., 2010. Effects of irrigation and nitrogen application on vegetative growth, yield and fruit quality in peaches (*Prunus persica* L. Batsch cv. Andross) for processing. Lleida: Universitat de Lleida.

Dominguez, 1996. *Tratado de fertilización*, Mundiprensa.

Dominguez, V., Irisarri, P. & Gonnet, S., 2007. Emisiones de óxido nitroso por suelos cultivados con arroz: efecto de un inhibidor de la nitrificación. *AGRO-CIENCIA*, XI(2), p.59–57.

Dong, S. et al., 2005. Foliar N application reduces soil NO₃–N leaching loss in apple orchards. *Plant and Soil*, 268(1), pp.357–366.

- Drake, S., Rease, J. & Smith, T., 2002. Time of nitrogen application and its influence on 'golden delicious' apple yield and fruit quality. *Journal of plant nutrition*, 25, pp.143–157.
- Drury, C., Zhang, T. & Kay, B., 2003. The non-limiting and least-limiting water ranges for soil N mineralization: Measurement and effects of soil texture, compaction and legume residue addition. *Soil Science Society of America*, 67(5), pp.1388–1404.
- Duchaufour, P., 1984. Edafología. Edafogénesis y clasificación, Barcelona: Masson.
- Durán, S., 1993. Melocotoneros, nectarinas y pavías. Portainjertos y variedades., Fundación La Caixa.
- Dussi, M., 2009. Influence of light interception on vegetative and productive development of peaches cv. Elegant Lady. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de Mendoza*. Argentina, 41(1), pp.155–164.
- E.F.M.A, 1997. Code of Best Agricultural Practice: Nitrogen,.
- Egea et al., 2009. El riego deficitario y sus implicaciones para una gestión eficiente del agua en explotaciones frutícolas. *Agrónomos*, pp.29–36.
- Egea, C. et al., 2003. Evaluación de la eficacia de la fertirrigación nitrogenada mediante el inhibidor de la nitrificación 3,4 Dimetilpirazol fosfato frente a diferentes tipos de fertilizantes en un cultivo de Brocolí. *Fruticultura profesional*. Nutrifitos, pp.84–86.
- Egea, C. & Alarcón, A.L., 2004. Seguimiento y control de la fertirrigación nitrogenada mediante el producto inhibidor de la nitrificación 3,4-dimetilpirazolfosfato, en cultivo de melón tipo verde. *Agrochimica*, 48(1-2), pp.77–88.
- Eissenstat, D., Wells, C. & Wang, L., 2001. Root efficiency and mineral nutrition in apple. *Acta Horticulturae*, 564, pp.165–183.
- Escudero, A. & Mediavilla, S., 2003. Dinámica interna de los nutrientes. *Ecosistemas*, 1. Available at: www.aet.org/ecosistemas/031/investigación7.html.
- Espada, 2006. Fertilización nitrogenada. Información técnica. Gobierno de Aragón, monográfico, pp.95–112.
- Espada, J., 2007. Época de recolección y calidad del fruto de albaricoque, Gobierno de Aragón.
- Espada, J., 2010. Necesidades de frío invernal de frutales caducifolios, Gobierno de Aragón.
- Espada, J. & Mené, R., 2010. Cultivo de nuevas variedades de albaricoquero en Aragón, Gobierno de Aragón.
- Espada, J.L. & Romero, J., 2009. Comportamiento agronómico de la variedad de melocotonero «Jesca» sobre distintos patrones en replantación. Información técnica. Gobierno de Aragón.
- Espada, Romero, J. & Segura, J., 2000. Comportamiento agronómico de patrones de melocotonero en suelos calizos., Gobierno de Aragón.
- Estavillo, J. et al., 2010. Emisiones gaseosas de nitrógeno en el Norte de España. www.ruena.csic.es. Available at: www.ruena.csic.es/pdf/ponencia_ruena2005_estavillo.pdf.
- Evans, J., 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecología*, 78, pp.9–19.
- Eymar, E. et al., 2005. Aportaciones para la mejora de la fertirrigación de nectarino. *Vida Rural*, Dossier frutales de hueso, pp.32–36.
- F.A.O., 2007. Current world fertilizer trends and outlook to 2010/11, Roma.
- F.A.O.S.T.A.T., 2010. Fertilizantes. <http://faostat.fao.org/site/422/DesktopDefault.aspx?PageID=422#ancor>.
- Fageria, Baligar, U.C. & Clark, R., 2006. Physiology of crop production, Haworth Press, Inc.
- Failla, O. et al., 1993. Stato nutrizionale di alcune zone viticole dell'Italia centro-

settentrionale. Vignevisini, 20, pp.77–82.

Fallahi et al., 2001. Influence of nitrogen and bagging on fruit quality and mineral concentrations of BC-2 Fuji apple. *Horttechnology*, 11(3), pp.462–466.

Fallahi et al., 1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *Hortscience*, 32, pp.831–835.

Fangueiro, D. et al., 2009. Influence of two nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on annual Ryegrass yield and soil mineral N dynamics after incorporation with cattle slurry. *Soil Science and Plant Analysis*, 40(21), pp.3387–3398.

FAO-IFA, 2000. Fertilizers and their use, ROMA: FAO-IFA.

Faust, M., 1989. Physiology of temperate zone fruit trees, New York: John Wiley and sons.

Fereres, E. & Soriano, M., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58, pp.147–159.

Fergin, A. et al., 1980. The effect of ammonium/nitrate ratio in the nutrient solution on tomato yield and quality. *Acta Horticulturae*, 98, pp.149–160.

Ferm, M. et al., 1999. Emission of NH₃ and N₂O after spreading of pig slurry by broadcasting or band spreading. *Soil use and management*, 15, pp.27–33.

Fernández & Maldonado, J., 2000. Absorción y transporte de nutrientes minerales. En *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw Hill Interamericana, pp. 99–112.

Fernández, V. et al., 2009. Surface application of calcium-containing gels to improve quality of late-maturing peach cultivars. www.interscience.wiley.

Ferrer, A., Remón, S. & Oria, R., 2001. Mantenimiento postcosecha de la calidad del melocotón. *Horticultura profesional*, 101.

Fettweis, U. et al., 2001. Lysimeter experiments on the translocation of the carbon-14-labelled nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in a gleyic cambisol. *Biology and Fertility of Soils*, 34(2), pp.126–130.

Fideghelli, C., 1986. El melocotonero, Mundiprensa.

Fideghelli, C. et al., 1998. Evoluzione della peschicoltura nel Mondo. Atti II Convegno sulla peschicoltura meridionale.

Fillery, I., 2007. Plant-based manipulation of nitrification in soil: a new approach to managing N loss? *Plant and Soil*, 294(1-2), pp.1–4.

Foster, S. et al., 2006. Protección de la Calidad del Agua Subterránea, Banco Mundial - GW-MATE.

Frenay, J., 1997. Strategies to reduce gaseous emissions of nitrogen from irrigated agriculture. *Nutrient Cycling in agroecosystems*, 48, pp.155–160.

Frutos, L., 1977. El campo aragonés., Librería General.

Furuya, S. & Umekiya, Y., 2002. The influence of chemical forms on foliar-applied nitrogen absorption for peach trees. *Acta Horticulturae*, 594, pp.97–103.

G.E.N.C.A.T., 2002. Los nitratos en el agua de consumo, Available at: www.gencat.cat/salut/depsalut/html/es/dir90/nitratos.htm.

Gabino, M., Rodrigo, F. & Camús, J., 1995. Evaluación de la intensidad de carga dejada en el raleo de nectarinas mediante la unidad número de fr/cm² de área de la sección transversal del tronco. *Agricultura Técnica*, 55(1), pp.42–47.

Gaitán, J., Penón, E. & Costa, M., 2005. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y su relación con algunas propiedades del suelo. *Ciencia Forestal*, 15, pp.33–41.

Gallegos, C. et al., 2000. Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra*, 18(2), pp.133–139.

Galloway, J. et al., 2003. The nitrogen cascade. *Bioscience*, 53(4), pp.341–356.

Gárate, A. & Bonilla, I., 2000. Nutrición mineral y producción vegetal. En *Fundamentos*

- de fisiología Vegetal. McGraw Hill Interamericana, pp. 113–130.
- García, I.*, 2008. Análisis del mercado de fertilizantes en España en el contexto de la agricultura actual. Available at: www.freshplaza.es/news_detail.asp?id=15341.
- García-Serrano, P. et al.*, 2010. Guía práctica de la Fertilización racional de los cultivos en España. 1ª parte. En Guía práctica de la Fertilización racional de los cultivos en España. Madrid: Ministerio de medioambiente, rural y marino.
- Gardiazabal, F., Mena, F. & Magdahl, C.*, 2007. Efecto de la fertilización con inhibidores de la nitrificación (ENTEC SOLUB 21) en paltos (*Persea americana* Mill) CV. Hass.
- Gastal, F. & Lemaire, G.*, 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, 53(370), pp.789–799.
- George, A.P. & Nissen, R.J.*, 1992. Effects of water stress, nitrogen and paclobutrazol on flowering, yield and fruit quality of the loz-chill peach cultivar, «Fordaprince». *Scientia Horticulturae*, 49(3-4), pp.197–200.
- Gil, M. et al.*, 2002. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach and plum cultivars from California. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp.4976–4982.
- Gil-Pelegrín, E. et al.*, 2005. El continuo suelo-planta-atmósfera como un modelo integrador de la ecofisiología foresta. *Investigación agraria. Sistemas y Recursos Forestale*, 13, pp.358–370.
- Gitay, H., Suárez, A. & Watson, R.*, 2002. Cambio climático y biodiversidad, I.P.P.C. Available at: www.ipc.ch.
- Goday, A. & Pagés, M.*, 2004. Proteínas de respuesta al estrés hídrico. En *La ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis*. Madrid: Thompson Editores. Paraninfo S.A.
- Goldhamer, D.A. & Fereres, E.*, 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science*, 23(1), pp.11–19.
- Goldhamer, D.A.*, 2002. *Agricultural Water Management. Regulated Deficit irrigation in trees and vine*. pp 67.
- Goldhamer, D.A.; Shackel, K.*, 1989. Irrigation cutoff and Drought Irrigation Strategy effects on almond. 17 th Annual Almond Research Conference. Modesto 35-37.
- Gómez, J.*, 1990. Programación y manejo del riego y abonado en frutales. ITEA, 86V(3), pp.155–166.
- Gómez, J. & Lorén, J.*, 1999. Establecimiento de las fenologías de las especies leñosas y su relación con las necesidades hídricas. Plan hidrológico. Cuenca del Ebro,
- Gómez, J. & Lorén, J.*, 2004. Evaluación de la influencia de la aplicación de N en forma amoniacal y nítrica en cultivo de melocotonero «Miraflores» en Valdejalón, Zaragoza: EUPLA.
- González, 2007.* Historia de la Ciencia del suelo. 6ª parte. Edafología y Química Agrícola en el S. XVIII. Available at: <http://weblogs.madrinasd.org.universo/archive/2007/05/07/65077.aspx>.
- González, F. & Vera, C.*, 2006. Ciclo del Nitrógeno. Desnitrificación y reducción disimilatoria del nitrato. En Seminario nº 4. Universidad nacional del Comahue. Méjico.
- González & Guzman, G.*, 2006. Tras los pasos de la insustentabilidad. Agricultura y medioambiente en perspectiva histórica (S. XVIII-XX), Barcelona: ICARIA.
- González-Altozano, P. & Castel, J.*, 2003. Riego deficitario controlado en Clementina de Nules. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(2), pp.81–92.
- Goos, R. & Schimelfenig, A.*, 1999. Response of spring wheat to nitrogen fertilizers of different nitrification rates. *Agronomy Journal*, 91, pp.287–293.
- Van Gorsel, H. et al.*, 1992. Compositional characterization of prune. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, pp.784–789.

- Grant, C. *et al.*, 1996. Volatile losses of NH₃ from surface-applied urea and urea ammonium nitrate with and without the urease inhibitors NBPT or ammonium thiosulphate. Canadian journal of soil science, pp.411–413.
- Grechi, Isabelle *et al.*, 2010. Modelling coupled peach tree–aphid population dynamics and their control by winter pruning and nitrogen fertilization. Ecological Modelling, 221(19), pp.2363–2373.
- Griffith, B., 2010. Efficient Fertilizer Use Manual. Environment. Available at: www.mossaicco.com.
- Grundmann, G. *et al.*, 1995. Differential effects of soil water content and temperature on nitrification and aeration. Soil Science Society of America, 59(5), pp.1342–1349.
- Guillaumes, E., 2008. Estratègies ambientals i productives en l'ús de nutrients en condicions de regadiu. Lleida.
- Hagin, J. & Tucker, B., 1982. Fertilization of dryland and irrigated soils, Springer-Verlag, Berlin.
- Haynes, R. & Goh, K., 1978. Ammonium and nitrate nutrition of plants. Biology Review, 53, pp.465–510.
- Hernández, M., 1995. Daños por heladas en plantaciones frutales en floración. Boletín Sanitario Vegetal. Plagas, 21, pp.377–394.
- Hogdes, C., Soil Fertility Basics, Nort Carolina State University. Available at: www.soil.ncsu.edu/.../Nutrient%20Management%20for%20CCA.pdf.
- Holland, E. *et al.*, 1997. Variations in the predicted spatial distribution of atmospheric nitrogen deposition and their impact on carbon uptake by terrestrial ecosystems. Journal of geophysical research, 102(D13), pp.15849–15866.
- Hua, L. *et al.*, 2008. Effect of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen leaching, nitrifying organisms, and enzyme activities in a rice-oilseed rape cropping system. Journal of environmental sciences, 20, pp.149–155.
- IFA, 2011. <http://www.anffe.com/noticias/2011/2011-06-24%20Estimaciones%20de%20IFA%20sobre%20el%20mercado%20mundial%20de%20fertilizantes/index.html>.
- Iglesias, 2009. Situación, innovación varietal y tecnología del cultivo del melocotonero en España. Vida Rural, Dossier melocotonero, pp.21–28.
- Iglesias, I., 2012. El sector del melocotonero en España. Situación y perspectivas.
- Iglesias, I. & Carbó, 2002. Melocotonero. Las variedades de más interés, LLEIDA: I.R.T.A.
- Intrigliolo, D., Bonet, L. & Castel, J., 2009. Nuevas técnicas para el manejo del riego de los cítricos. Agrónomos, pp.48–57.
- Irigoyen, I., 2001. Acumulación de nitrato en espinaca (*Spinacia oleracea* L.) para congelado. Influencia de la fertilización nitrogenada. Pamplona: Pública de Navarra.
- Irigoyen, I *et al.*, 2003. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at various temperatures. Australian Journal of Soil Research, 41, pp.1177–1183.
- Irigoyen, Ignacio *et al.*, 2006. The influence of 3,4-dimethylpyrazole phosphate and dicyandiamide on reducing nitrate accumulation in spinach under Mediterranean conditions. The Journal of Agricultural Science, 144(06), p.555.
- Isla, R. & González, 2006. Utilización de inhibidores de la nitrificación en el cultivo de maíz en suelos de alto potencial de lavado en regadíos de Aragón.
- Jacinte, P. & Pichtel, J., 1992. Interaction of nitrapyrin and dicyandiamide with soil humic compounds. Soil Science Society of America, 56(2), pp.465–470.
- Jhonson, R. & Uriu, K., 1989. Mineral Nutrition, 13. En Peach, plums and nectarine, growing and handling for fresh market. University of California. Available at:

groups.ucanr.org/nutrientmanagement/files/81582.pdf.

Jia, H., Hirano, K. & Okamoto, G., 1999. Effects of fertilizer levels on tree growth and fruit quality of «Hakuho» peaches (*Prunus persica*). Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 68(3), pp.487–493.

Johnson *et al.*, 2001. Can we approach complete dependence on foliar-applied urea nitrogen in an early-maturing peach? Journal of the American Society for Horticultural Science, 126(3), pp.364–370.

Johnson *et al.*, 2006. Using dormant shoots to determine the nutritional status of peach trees. En Proceedings of the Vth International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Plants : Talca, Chile, January 16-21, 2005. Sociedad Chilena de Fruticultura.;International Society for Horticultural Science.;International Society for Horticultural Science. Leuven Belgium: ISHS International Society for Horticultural Science.

Johnson & Amdris, H., 2001. Proceedings of the Fourth International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Crops : Penticton, British Columbia, Canada, 13-18 August 2000 Neilsen, D; Fallahi, B; Pereya F.;, Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS).

Johnson, R. & Handley, D., 1989. Thinning response of early, mid and late-season peaches. Journal Amer. Soc. Hort. Science, 114(6), pp.852–855.

Jurán, J.M., Gryna, J.R. & Bingham, J.R., 2005. Manual Control Calidad 2^a ed., Reverté S.A.

Kant, S. & Kafkafi, U., 2002. Impact of mineral deficiency stress. www.plantstress.com. Available at: http://www.plantstress.com/Articles/min_deficiency_i/impact.htm.

Kantrovich, J., Klubek, B. & Varsa, E.C., 2004. Acidulation Effects of Nitrogen Fertilizer on the Ecology of Nitrifying Bacteria. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 35(3&4), pp.303–318.

Kawahami, E., Derrick, M. & Snider, J., Effects of Urea with NBPT and DCD on the Yield of Field-Grown Cotton. [arkansasagnews](http://arkansasagnews.uark.edu/573-11.pdf). Available at: arkansasagnews.uark.edu/573-11.pdf.

Keller, M., 2005. Deficit Irrigation and vine mineral nutrition. American Journal of Enology and Viticulture, 56, pp.267–283.

Kelliher, F. *et al.*, 2008. The temperature dependence of dicyandiamide (DCD) degradation in soils: A data synthesis. Soil Biology and Biochemistry, 40, pp.1878–1882.

Kim, Y. *et al.*, 2009. Root storage of nitrogen applied in autumn and its remobilization to new growth in spring of persimmon trees (*Diospyros kaki* cv. Fuyu). Scientia Horticulturae, 119(2), pp.193–196.

Kiran, U. & Patra, D., 2003. Influence of natural essential oils and their by-products as nitrification retarders in regulating nitrogen utilization for Japanese mint in sandy loam soils of subtropical central India. Agriculture, Ecosystems & Environment, 94(2), pp.237–245.

Kiss, S. & Simihâian, M., 2002. Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil, Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Klein, I. *et al.*, 1991. Specific leaf weight and nitrogen allocation responses to light exposure within walnut trees. Hortsciencie, 26(2), pp.183–185.

Kobashi, K., Takebe, S. & Numata, A., 1985. Specific-inhibition of urease by n-acylphosphoric triamides. Journal biochemistry, 98, pp.1681–1688.

Kruse, J., Kissel, D. & Cabrera, M., 2004. Effects of drying and rewetting on C and N mineralization in soils and incorporated residues. Nutrient Cycling in agroecosystems, 69(3), pp.247–256.

Ladha, J. *et al.*, 2005. Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects. Advances in Agronomy, 87, pp.85–156.

- Lamsfus, C. *et al.*, 2004. Implicaciones ecofisiológicas y agronómicas de la nutrición nitrogenada. En *La ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis*. Madrid: Thompson Editores. Paraninfo S.A, pp. 361–385.
- Landels, S., 2010. Enhanced-efficiency fertilizers: world market overview. En Miami. U.S.A.
- Landsberg, J. & Jones, H., 1981. Water deficits and plant growth. En *Apple orchards*. Academic Press, pp. 419–469.
- Larcher, W., 1983. *Physiological plant ecology* 2ª ed., Berlín.
- Laskowski, D., 1972. Influence of the environment on N-Serve stability. *American Society of Agronomy*, 97.
- Lattanzi, F., Schnyder, H. & Thornton, B., 2004. The sources of carbon and nitrogen supplying leaf growth. Assessment of the role of stores with compartmental models. *Plant physiology*, 137, pp.383–395.
- Layne, R. & Flore, J., 1992. Photosynthetic Compensation to Partial Leaf Area Reduction in Sour Cherry. *Journal Amer. Soc. Hort. Science*, 117(2), pp.279–286.
- Legaz *et al.*, 1996. *Dinámica de nutrientes y mejora de las técnicas de fertilización en cítricos*, Valencia: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
- Legaz & Primo-Millo, 1988. Normas para la fertilización de los agrios. *Serie Fullets divulgació*, 5, p.29.
- Legaz, Serna & Primo-Millo, E., 1993. Mejora de la eficiencia de la utilización de los fertilizantes nitrogenados. *Serie de estudis i investigacions*. I Congreso de Citricultura de la Plana, 4, pp.137–155.
- Leib *et al.*, 2006. Partial rootzone drying and deficit irrigation of ‘Fuji’ apples in a semi-arid climate. *Irrigation Science*, 24(2), pp.85–99.
- Lewis, O.A., 1986. *Plants and nitrogen*. Institute of Studies in biology, 166.
- Lezana, J. & Carrasco, 2002. 3,4 Dimetilpirazol fosfato. El nuevo inhibidor de la nitrificación. *Vida Rural*. Febrero, 143, pp.49–50.
- Liao, C.F. & Raines, S., 1985. Inhibition of soil urease activity by amido derivatives of phosphoric and thiophosphoric acids. *Plant and Soil*, 85, pp.149–152.
- Limaux, F., Meinard, J. & Recous, S., 1987. Le témoin «Double Densité» pour déclencher la fertilisation azotée du blé: bases théoriques et principes généraux. Available at: [195.101.239.47/.../Saint_Brieuc%20\(double%20densité\).pdf](http://195.101.239.47/.../Saint_Brieuc%20(double%20densité).pdf).
- Linn, D. & Doran, 1984. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. *Soil Science Society of America*, 48, pp.794–799.
- Linzmeier, W., Gutser, R. & Schmidhalter, U., 2001. Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biol fertil soils*, 34, pp.103–108.
- Liu, L. *et al.*, 1984. Effect of etridiazol and nitrapyrin treated N fertilizers on soil mineral N status and wheat yields. *Agron journal*, 76, pp.201–206; 265–270.
- Loebenstein, G. & Thottappilly, G., 2007. *The mission of agricultural research* Loebenstein; Thottappilly., Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Longo, R. & Melo, W., 2005. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. *Revista brasileira de ciência do solo*, 29, p.661–657.
- Loomis, R. & Connor, D., 2002. *Ecología de Cultivos*. Productividad y manejo en sistemas agrarios., Mundiprensa.
- Lucena, J., 1997. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants. A critical review. *Acta Horticulturae*, 448, pp.179–192.
- M.A.R.M., 2009. *Anuario 2008 2008*.ª ed., Ministerio de medioambiente, rural y marino.
- M.A.R.M., 2007. *Balance del nitrógeno en la agricultura española (2005)*.

- Machet, J.M. et al.*, 1987. Signification du coefficient reel d'utilisation et consequences pour la fertilisation azotée des cultures. C.R. Acad. Agric. Fr., 73, pp.39–55.
- Madrid, R. et al.*, 1985. Relaciones entre parámetros físicos durante el desarrollo de las naranjas (var. Valencia Late). Influencia del tipo de riego. ITEA, 85, pp.23–24.
- Majumdar, D. et al.*, 2000. Reducing nitrous oxide emission from an irrigated rice field of North India with nitrification inhibitors. Agriculture, Ecosystems & Environment, 81, pp.163–169.
- Makino, A. & Osmond, B.*, 1991. Effects of nitrogen nutrition on nitrogen partitioning between chloroplasts and mitochondria in pea and wheat. Plant physiology, 96, pp.355–362.
- Malcom, P. et al.*, 2008. Leaf development, net assimilation and leaf nitrogen concentrations of five Prunus rootstocks in response to root temperature. Scientia Horticulturae, 115, pp.285–291.
- Maldonado, J.*, 1993. Asimilación del nitrógeno y del azufre. En Fisiología y bioquímica vegetal. Madrid: McGraw Hill Interamericana.
- Maldonado, J.*, Agüera, E. & Pérez, R., 2000. Asimilación del nitrógeno y del azufre. En Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw Hill Interamericana.
- Marangoni, B.*, 2000. Abonado postcosecha de árboles frutales. Optimización nitrogenada. Available at: http://www.ediho.es/horticom/tem_aut/nutric/aposc.html.
- Marschner*, 1995. Mineral nutrition of higher plants 2ª ed., Londres: Academic Press.
- Martín & Carrasco*, 2003. La fertilización mineral en agricultura ecológica. Available at: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=762895> [Accedido junio 7, 2010].
- Martínez*, 2003. Sedimentación de un lodo nitrificante en dos tipos de reactores en presencia de materia orgánica. México: Universidad Autónoma de Iztapalapa.
- Mattos, M., Freire, C. & Magnani, M.*, 1991. Yield of peach-trees, cv Diamante, under different levels of N applied to the soil. Pesquisa agropecuaria brasileira, 26(1), pp.113–117.
- McCarty*, 1999. Models of action of nitrification inhibitors. Biol fertil soils, 29, pp.1–9.
- McCarty & Bremner, J.*, 1989. Inhibition of nitrification in soil by heterocyclic nitrogen compounds. Biology and Fertility of Soils, 8, pp.204–211.
- McCarty & Bremner, J.*, 1990. Persistence of effects of nitrification inhibitors added to soils. Soil Science and Plant Analysis, 21, pp.639–648.
- McTaggart, I. et al.*, 1997. Nitrous oxide emissions from grassland and spring barley, following N fertiliser application with and without nitrification inhibitors. Biology and Fertility of Soils, 25(3), pp.261–268.
- Médiène, S. et al.*, 2002. Influence of nitrogen availability on shoot development in young peach trees [Prunus persica (L.) Batsch]. Trees, 16(8), pp.547–554.
- Medrano, H. & Flexas, J.*, 2004. Relaciones hídricas de las plantas. En La ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis. Madrid: Thompson Editores. Paraninfo S.A, pp. 1141–1174.
- Meheriuk, M., Neilsen, G. & Hogue, E.*, 1995. Influence of Nitrogen Fertilization and Orchard Floor management on Yield, Leaf Nutrition, and Fruit Quality of 'Fairhaven' Peach. Journal of the American Pomological Society, 49(4).
- Melgar, R.*, 2005. Nuevos productos de fertilizantes. Resumen de los principales conceptos e información presentada en el Taller Internacional de Fertilizantes de Eficiencia Mejorada. IFA. Alemania. www.fertilizar.org. Available at: www.fertilizar.org.ar/vertext.php?id_nota=134.
- Mena, A. et al.*, 1997. Efecto de las condiciones de almacenamiento en la fotosíntesis y florescencia de plantulas de Pinus radiata, reimplantadas en riego y en sequía. En Irati (Navarra), pp. 401–406.

- Menéndez, S. *et al.*, 2006. 3,4-Dimethylpyrazol Phosphate Effect on Nitrous Oxide, Nitric Oxide, Ammonia, and Carbon Dioxide Emissions from Grasslands. *Journal of Environment Quality*, 35(4), p.973.
- Mengel, K. & Kirkby, E., 1987. Principles of plant nutrition, International Potash Institute.
- Merino, P. *et al.*, 2005. 3,4 Dimethylpyrazole phosphate reduces nitrous oxide emissions from grass-land after slurry application. *Soil use and management*, 21, pp.53–57.
- Merino, P. *et al.*, 2004. Effect of DMPP on NH₃, N₂O and NO emissions from grassland. in: *Land use in grassland dominated regions. Grassland Science in Europe*, 9, pp.340–342.
- Merino, P. *et al.*, 2002. Mitigation of N₂O emissions from grassland by nitrification inhibitor and Actilith F2 applied with fertilizer and cattle slurry. *Soil use and management* 18, 18(2), pp.135–141.
- Millard, 1995. Internal cycling of Nitrogen in Trees. *Acta Horticulturae*, 383, pp.3–14.
- Miller, 1986. Root systems in relation to stress tolerance. *Hortsciencie*, 21, pp.963–970.
- Miller & Cramer, M., 2004. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and soil*, 274, pp.1–36.
- Molina, M. & Blu, R., 2006. Evaluation of the Nitrification Inhibitor 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate in Two Chilean Soils. *Journal of Plant Nutrition*, 29(3), pp.521–534.
- Molina-Soria, C. & Fernández-Escobar, R., 2007. Los niveles críticos de nitrógeno en el olivar. En Albacete.
- Monge, E., Blanco, A., *et al.*, 2007. Efecto de la sobrefertilización nitrogenada en la calidad de las manzanas. http://digital.csic.es/bitstream/10261/8925/1/BlancoA_CongLogr_2007.pdf.
- Monge, E. *et al.*, 2006. Respuesta del manzano a diferentes dosis de abono nitrogenado. Resultados preliminares de suelo, planta y calidad de fruto. En *Innovaciones fisiológicas y tecnológicas de la maduración y post-recolección de frutas y hortalizas. : Comunicación presentada al VIII Simposio Nacional y V Ibérico sobre Maduración y Postrecolección* (Orihuela, Murcia, 27-30 de septiembre de 2006). Elche: Limencop, pp. 137–142.
- Monge, E., Aguirre, R. & Blanco, A., 1994. Application of Paclobutrazol and GA 3 to Adult Peach Trees: Effects on Nutritional Status and Photosynthetic Pigments. *Journal Plant Growth Regulation*, 13, pp.15–19.
- Monge, E., Espada, J. & Val, J., 2007. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la producción y vecería en olivares jóvenes (empeltre y arbequina). En *Sociedad Española de Ciencias Hortícolas Grupo de Fertilización Jornadas*. Logroño: Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- Monge, E., Montañes, L. & Val, J., 1991. El hierro modulador de la estructura y función del cloroplasto. En *Fijación y movilización de nutrientes*. C.S.I.C, pp. 90–111.
- Montañes, L., Heras, L. & Sanz, M., 1991. Desviación del Óptimo Porcentual (DOP): nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. *An. Aula Dei*, 20, pp.93–107.
- Moore, F., 1973. N-serve nutrient stabilizer: A nitrogen management tool for leafy vegetables. *Down to earth*, 28((4)), pp.4–7.
- Moreno, M. *et al.*, 2004. Comportamiento de diferentes patrones con variedades de melocotonero: influencia en la concentración mineral de flores y hojas. *Geórgica*, 10, pp.53–65.
- Moreno, M., 2003. Mejora y selección de patrones frutales de hueso en la estación experimental de Aula Dei. ITEA, 99 V 1, pp.11–22.
- Moreno, M., 2005. Selección de patrones y variedades de melocotonero. *Vida Rural*, 29, pp.28–31.
- Morris, D., Boonkerd, N. & Vasuvat, Y., 1980. Effects of N-serve on soybeans and soil nitrogen transformations. *Plant and Soil*, 57(1), pp.31–39.
- Mosier *et al.*, 1998. Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils.

Climatic change, 40, pp.7–38.

Mosier *et al.*, 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: Assessment, measurement and mitigation. *Plant and soil*, 181(1), pp.95–108.

Mosier, A.R., 1998. Soil processes and global change. *Biology and Fertility of Soils*, 27(3), pp.221–229.

Moya, J., 2002. Riego localizado y fertirrigación 3ª ed., Madrid: Mundiprensa.

Müller, C. *et al.*, 2002. The nitrification inhibitor DMPP had no effect on denitrifying enzyme activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, pp.1825–1827.

Muñoz *et al.*, 1993. Seasonal uptake of ¹⁵N-nitrate and distribution of absorbed nitrogen in peach trees. *Plant and Soil*, 150, pp.263–269.

Muñoz- Guerra, L. *et al.*, 2008. Estudios de eficiencia en el uso del nitrógeno en frutales de hueso y pepita pabo parámetros de producción integrada: comparación de dosis y tipos de fertilizantes. *Phytoma España*, 202, pp.74–80.

Muñoz-Carpena *et al.*, 2002. Nitrogen evolution and fate in Canary Islands (Spain) sprinkler fertigated banana plot. *Agricultural Water Management*, 52(2), pp.93–117.

Muñoz-Guerra *et al.*, 2004. Evaluación del uso en cultivos extensivos del inhibidor de la nitrificación 3,4 dimetilpirazol fosfato (DMPP). Aspectos ambientales y productivos.

Muñoz-Guerra, L. *et al.*, 2006. Nutrición nitrogenada de cereales utilizando abonos con el inhibidor de la nitrificación DMPP. *Vida Rural*, pp.22–27.

Muñoz-Guerra, L. & Carrasco, 2003. Efectos del inhibidor de la nitrificación DMPP sobre la disminución de pérdidas de nitrógeno hacia las aguas y la atmósfera. *Fruticultura profesional*, Nutrifitos.

Myrold, D. & Bottomley, P., 2008. Nitrogen mineralization and immobilization. En *Nitrogen in agricultural systems*. Agronomy monograph. Madison WI: American Society of Agronomy.

N.Z.F.S.A., 2010. Nitrates and nitrites in our food. Available at: <http://www.nzfsa.govt.nz/consumers/chemicals-nutrients-additives-and-toxins/nitrates-nitrites/nitrates-and-nitrites.htm>.

Nario *et al.*, 2003. Nitrogen N15 Fertilizer use efficiency in Peach (*Prunus persica* L. cv. Goldencrest) trees in Chile. *Scientiae Horticulturae*.

Nava, G. & Dechen, A., 2009. Long-term annual fertilization with nitrogen and potassium affect yield and mineral composition of «Fuji» apple. *Scientia Agricola*, 66, pp.377–385.

Navarro, R., Maldonado-Rodriguez, R. & Ariza, D., 2004. Chlorophyll fluorescence in five procedences *Pinus halepensis* Mill to quantify response to water stress. *Cuadernos Sociedad Española Ciencias Forestales*, 17, pp.69–74.

Neilsen *et al.*, 2001. Remobilization and uptake of N by newly planted apple (*Malus domestica*) trees in response to irrigation method and timing of N application. *Tree Physiology*, 21, pp.513–521.

Neilsen, Neilsen, D. & Herbert, L., 2009. Nitrogen fertigation concentration and timing of application affect nitrogen nutrition, yield, firmness, and color of apples grown at high density. *Hortsciencie*, 44(5), pp.1425–1431.

Nicolai, B. *et al.*, 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), pp.99–118.

Nii, N., Yamaguchi, K. & Nishimura, M., 1997. Changes in carbohydrate and ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase contents in peach leaves after applications of different amounts of nitrogen fertilizer. *The Japanese Society for Horticultural Science*, 66(3-4), pp.505–511.

Norton, J., 2008. Nitrification in Agricultural Soils. En *Nitrogen in agricultural systems*. Agronomy monograph. Madison WI: American Society of Agronomy.

- Núñez, R. et al., 2006. Eficiencia agronómica de seis sistemas de formación con la variedad de melocotón «Merril O»Henry' (*Prunus persica* Batsch). ITEA, 120(1), pp.13–26.
- O.N.U., 1992. *Informe de la Conferencia de las N.U. sobre medioambiente, Río de Janeiro*.
- Oaks, A., 1979. Nitrate reductase in roots and its regulation. En Nitrogen assimilation in plants. New York: Academic Press, pp. 217–244.
- Ojer, M., 1996. Determinación de la capacidad de carga frutal, en un huerto de durazneros, cvs. Bowen y Andross. Investigación Agrícola. Chile, 16(1-2), pp.1–7.
- Ojer, M. & Reginato, G., 2002. Efectos de la carga frutal en durazneros. Revista FAC UNCuyo, 34(1).
- Ordoñez, R., González, P. & Giraldez, J., 1991. Actas del III simposio sobre el agua en Andalucía. En Instituto Tecnológico geominero de España.
- Orea, G. et al., 2004. Mejora de la eficiencia de uso del N en función de la frecuencia de aplicación del inhibidor de la nitrificación DMPP en cítricos. Fruticultura profesional, Nutrifitos. Symposium Ibérico de nutrición mineral de las plantas, pp.427–430.
- Orús, F., 2006. Introducción. En La fertilización nitrogenada. Guía de actualización. Informaciones técnicas. Zaragoza: Gobierno de Aragón, pp. 7–9.
- Orús, F. & Sin, E., 2006. El balance del Nitrógeno en la Agricultura. En Fertilización nitrogenada. Informaciones técnicas. Zaragoza: Gobierno de Aragón, pp. 11–22.
- Overrein, L. & Moe, P., 1967. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. Soil Science Society of America, 31, pp.57–61.
- Owens, L., 1987. Nitrate leaching losses from monolith lysimeters as influenced by nitrapyrin. Journal Environmental Quality, 16, pp.34–38.
- Palma, M. & Conti, M., 1990. Urease activity in Argentine soils: field studies and influence of saple treatment. Soil Biology and Biochemistry, 22, pp.105–107.
- Paltrinieri, G., Figuerola, F. & Rojas, L., 1993. Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe., Santiago de Chile. Available at: <http://www.fao.org/docrep/x5062s/x5062S09.htm#La%20calidad>.
- Parés, J. et al., 2008. Nutrición mineral y productividad del agua en manzanos sometidos a riego deficitario. En Granada.
- Parés, J., 2010. Optimización en el uso del agua y del abonado nitrogenado en plantaciones de manzano (*Malus x domestica* Borkh) cultivadas en zonas vulnerables del Valle Medio del Ebro: Influencia sobre la fisiología del crecimiento vegetativo, reproductivo y la calidad de fruto. Zaragoza: de Zaragoza y C.S.I.C. E.E.A.D.
- Paschold, P., Artelt, B. & Hermann, G., 2008. Effect of the stabilized nitrogen fertilizer ENTEC 26 on the yield of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). En 11th international Asparagus Symposium. pp. 111–116.
- Pasda, G.;hndel, R. & Zerulla, W., 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. Biology and Fertility of Soils, 34(2), pp.85–97.
- Patra, D. et al., 2002. Nimin and Mentha spicata oil as nitrification inhibitors for optimum yield of Japanese mint. Soil Science and Plant Analysis, 33(3-4), pp.451–460.
- De Paz, J. & Ramos, C., 2004. Simulation of nitrate leaching for different nitrogen fertilization rates in a region of Valencia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 103(1), pp.59–73.
- Peil, R. & Galvez, J., 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de frutos cultivadas en invernaderos. Revista brasileira agrociencia, 11, pp.5–11.

- Pereira, J. et al.*, 2010. Effect of cattle slurry pre-treatment by separation and addition of nitrification inhibitors on gaseous emissions and N dynamics: A laboratory study. *Chemosphere*, 79(6), pp.620–627.
- Pérez*, 2004. Abonos estabilizados. Avance de resultados de ensayos en cultivos de maíz., Gobierno de Aragón.
- Pérez et al.*, 2008. Efecto de la fertilización en cereales de invierno en siembra directa. *Revista Tierras*, (149).
- Pérez et al.*, 2009. Resultados de los ensayos realizados con abonos de liberación lenta en trigo. *Vida Rural*, (294), pp.40–46.
- Pérez-Pérez, J., Robles, J. & Botía, P.*, 2009. Influence of deficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in 'lane late' sweet orange. *Agricultural Water Management*, 96, pp.969–974.
- Picolotto, L. et al.*, 2009. Características vegetativas, fenológicas e produtivas do pessegueiro cultivar Chimarrita enxertado em diferentes porta-enxertos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(6). Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X20090006000006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt [Accedido marzo 22, 2012].
- Pino et al.*, 2002. Eficiencia de uso del 15N-fertilizante en vid Thompson Seedless. *R.C. Suelo Nutrición Vegetal*, 2(1), pp.16–24.
- Pizarro, F.*, 1987. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión y exudación, Madrid: Mundiprensa.
- Polcarpo, M. et al.*, 2002. Dynamics of nitrogen uptake and partitioning in early and late fruit ripening peach (*Prunus persica*) tree genotypes under a Mediterranean climate. *Plant and Soil*, 239, pp.207–214.
- Postel, S.L., Daily, G.C. & Ehrlich, P.R.*, 1996. Human Appropriation of Renewable Fresh Water. *Science*, 271(5250), pp.785–788.
- Prasad & Power, J.*, 1995. Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environmental. En *Advances in agronomy*. Elsevier Academic press, pp. 233–281.
- Prasad, R. & Rajale, G.*, 1972. The influence of nitrification inhibitors and slow release nitrogen materials on transformations of fertilizer nitrogen in soils of fluctuating moisture content. *Soil Biology and Biochemistry*, 4(4), pp.451–457.
- Puttanna, K., Nanje, N. & Prakasa, E.*, 1999. Effect of concentration, temperature, moisture, liming and organic matter on the efficacy of the nitrification inhibitors benzotriazole, o-nitrophenol, m-nitroaniline and dicyandiamide. *Nutrient Cycling in agroecosystems*, 3, pp.251–257.
- Quemada, M. et al.*, 1998. Ammonia volatilization from surface or incorporated biosolids by the addition of dicyandiamide. *Journal of environmental Quality*, 27, pp.980–983.
- Quilez, D., Yagüe, R. & Isla, R.*, 2006. Lavado de nutrientes y riego. En *Fertilización nitrogenada. Informaciones Técnicas*. Gobierno de Aragón, pp. 39–50.
- Quiñones, A. et al.*, 2009. Improvement of N fertilization by using the nitrification inhibitor DMPP in drip-irrigated citrus trees. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(1).
- Quiñones, A. et al.*, 2005. Uso eficiente de la fertilización nitrogenada convencional en cítricos mediante el inhibidor de la nitrificación (DMPP) en riego a goteo. *Levante Agrícola*, Trimestre 2005, pp.11–17.
- R.A.E.*, 2001. Diccionario de la Real Academia Española.
- Raese, J. & Drake, S.*, 1997. Nitrogen fertilization and elemental composition affects fruit quality of «Fuji» apples. *Journal of plant nutrition*, 20(12), pp.1797–1809.
- Rahmatullah et al.*, 2006. Phosphate availability from phosphate rock as related to nitrogen form and the nitrification inhibitor DMPP. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(5), pp.675–678.

- Raigón, M.*, 1993. Fertilización nitrogenada de cítricos con aporte controlado de nitrógeno. Valencia: Politécnica de Valencia.
- Rajbanshi, S.S., Benckiser, G. & Ottow, J.C.G.*, 1992. Effects of concentration, incubation temperature, and repeated applications on degradation kinetics of dicyandiamide (DCD) in model experiments with a silt loam soil. *Biology and Fertility of Soils*, 13(2), pp.61–64.
- Rao, D.L. & Ghai, S.*, 1986. Effect of phenylphosphorodiamidate on urea hidrolisis, ammonia volatilization and rice growth in an alkali soil. *Plant and Soil*, 94, pp.313–320.
- Raun, W.R. & Johnson*, 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91, pp.357–363.
- Razeto, B.*, 2003. Manejo estratégico y racional de la nutrición de cultivos frutales. Determinación de las necesidades de los cultivos. *Agrolatino*, pp.27–40.
- Reeves & Touchton*, 1986. Relative phytotoxicity of dicyandiamide and availability of its nitrogen to cotton, corn and grain sorghum. *Soil Science Society of America*, 50, pp.1353–1357.
- Reginato, G. & Camus, J.*, 1993. Efecto de la fecha e intensidad de raleo sobre la producción y crecimiento del duraznero cv. Angelus. 13, 1-2(1-8).
- Reidar, G. & Michaud, H.*, 1980. Improving fertilizer efficiency. The use of a dicyandiamide nitrification inhibitor. *Nitrogen*, 124, pp.31–35.
- Revilla, G. & Zarra, I.*, 2000. La fisiología vegetal y su impacto social. La célula viva. En *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw Hill Interamericana, pp. 1–16.
- Rincón*, 2000. Necesidades hídricas, absorción de nutrientes y respuesta a la fertilización nitrogenada de la lechuga Iceberg. Murcia: de Murcia.
- Ríos, L.*, 2009. Fertilización nitrogenada con inhibidores de la nitrificación. Nitrógeno más eficiente.
- Robinson, D.*, 1996. Resource capture by localized root proliferation: why do plants bother? *Annals of Botany*, 77, pp.189–195.
- Rochester, I., Contable, G. & Saffigna, P.*, 1996. Effective nitrificationn inhibitors may improve fertilizer recovery in irrigated cotton. *Biology and Fertility of Soils*, 23, pp.1–6.
- Rodrigo, A. et al.*, 1997. Modelling temperature and moisture effects on C/N transformations in soils: comparison of nine model. *Ecology Model*, 102(2-3), p.325:339.
- Rodríguez, F.*, 2009. Regadío y medioambiente. Sostenibilidad del regadío en la agricultura española. *Agrónomos*, pp.21–26.
- Rodríguez, V. et al.*, 2003. *Efecto de los inhibidores de nitrificación en la productividad de plantas de naranjo dulce*, Chaco. Argentina: Universidad Nacional Nordeste.
- Rombolà, A. & Sorrenti, G.*, 2006. Fertilización y diagnosis del estado nutricional de las especies frutales. *Fruticultura profesional*, 161(Simposio internacional nutrición vegetal), pp.5–18.
- Romero et al.*, 2008. Respuesta de un cultivo de melocotonero al riego deficitario controlado. *Vida Rural*, Febrero, pp.40–46.
- Romero, Botia, P. & García, F.*, 2004. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant and soil*, 260, pp.155–168.
- Romic et al.*, 2003. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annum* L.) cultivation. *Agricultural Water Management*, 60(2), pp.87–97.
- Rosati, A., Day, K. & Dejong, T.*, 1999. Distribution of leaf mass per unit area and leaf nitrogen concentration determine partitioning of leaf nitrogen within tree canopies. *Tree Physiology*, 20, pp.271–276.
- Le Roux, X. et al.*, 1999. Photosynthetic light acclimation in npeach leaves: importance of changes in mass: area ratio, nitrogen concentration, and leaf nitrogen partitioning. *Tree Physiology*, 23, pp.377–386.

Royo, B., 2008. Siniestros producidos por accidentes climatológicos en frutales. En Calatayud.

Royo, B., Miranda, C. & Gonzaga, L., 2005. Determinación de la carga de poda y de la intensidad de aclareo en melocotonero mediante la estimación precoz de la producción potencial. *Fruticultura profesional, Especial melocotonero*(152), pp.59–66.

Ruano, S., 2003. Consumo actual y futuro de los fertilizantes en España. *Vida Rural*, pp.31–34.

Rubio-Cabetas, M., et al., 2005. Evaluación de nuevas selecciones de patrones de melocontero resistentes a nematodos agalladores. *Fruticultura profesional, Especial melocontero*(152°), pp.53–58.

Rubio-Covarrubias, O. et al., 2009. Evaluating foliar nitrogen compounds as indicators of nitrogen status in *Prunus persica* trees. *Scientia Horticulturae*, 120, pp.27–33.

Rufat, J., 2010. El abonado nitrogenado del manzano: cuanto, cuando y como”. *Vida Rural*.

Rufat, J., Lamarca, J., et al., 2009. España: Resultados de los ensayos de fertirrigación en melocotón para industria. *Revista Vida Rural*, 282, pp.21–28.

Rufat, J. et al., 2005. Respuesta del manzano golden a diferentes dosis de nitrógeno. *Fruticultura profesional*, 155(Extraordinario Nutrifitos), pp.6–14.

Rufat, J., Domingo, X., et al., 2009. Resultados de los ensayos de fertirrigación en melocotón para industria. www.eumedia.es.

Rufat, J. et al., 2004. Riego y abonado nitrogenado en manzano Golden. *Vida Rural*, Abril.

Rufat, J. & Dejong, T., 2001. Estimating seasonal nitrogen dynamics in peach trees in response to nitrogen availability. *Tree Physiology*, 21, pp.1133–1140.

Saenz, J., Dejong, T. & Weinbaum, S., 1997. Nitrogen stimulated increases in peach yields are associated with extended fruit development period and increased fruit sink capacity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122(6), pp.772–777.

Sahrawat, K., 1980. Control of urea hydrolysis and nitrification in soil by chemicals-prospects and problems. *Plant and Soil*, 57, pp.335–352.

Sainz, H. et al., 1997. Nitrogen transformations in a soil under no-till corn as affected by urease inhibitor and time of fertilizer application. *Ciencia del suelo*, 15, pp.6–11.

Salisbury, F. & Ross, C., 1994. *Fisiología vegetal*, México: Grupo editorial Iberoamérica.

Sánchez, 1995. Control de la contaminación de las aguas. En II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental. UNESCO, pp. 265–281.

Sánchez & Doerge, T., 1999. Using nutrient uptake patterns to develop efficient nitrogen management strategies for vegetables. *Hortotechnology*, 9, pp.601–606.

Sánchez, J., et al., 2003. Eliminación de nitratos por desnitrificación en la zona no saturada del suelo en un humedal del cinturón periurbano de Vitoria-Gasteiz. *Estudios de la zona no saturada del suelo*, VI, pp.385–390.

Sánchez-Díaz & Aguirreolea, J., 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. En *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw Hill Interamericana, pp. 45–64.

Sands, R. & Mulligan, D., 1990. Water and nutrient dynamics and tree growth. *Forest Ecology and Management*, 30(1-4), pp.91–111.

Santaella, M. & Sánchez, M., Índices de madurez y momento óptimo de recolección en relación con el almacenamiento refrigerado del melocotón. <http://www.horticom.com>. Available at: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/73/161/73161.pdf>.

Sanz, 2005. Abonado de fondo o fertirrigación. ¿Incompatibles o complementarios? *Horticultura, Extra*, pp.67–70.

Sanz, 1999. Evaluation of interpretation of DRIS system during growing season of the peach tree: Comparison with DOP method. *Soil Science and Plant Analysis*, 30, pp.1025–1036.

- Sanz, Pascual, J. & Machín, J., 1997. Predicción mediante análisis floral de la clorosis férrica en melocotoneros. Corrección e influencia en la calidad del fruto. ITEA, 93V(3), pp.177–182.
- Sauge, M., Grechi, I & Pöessel, J., 2010. Nitrogen fertilization effects on *Myzus persicae* aphid dynamics on peach: vegetative growth allocation or chemical defence? *Entomologia experimentalis et applicata*, 136(2), pp.123–133.
- Scandellari, F. et al., 2010. SEason pattern of net nitrogen rhizodeposition from peach (*Prunus persica* L. Batsch) trees in soils with different textures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, pp.162–168.
- Schenk, M., 2005. Agricultural practices to minimize nitrate accumulation in edible parts of crop plantas, in *Impacts of Agriculture on Human Health and Nutrition*.
- Schjonning, P. et al., 1997. Turnover of organic matter in differently textured soils: I. Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma*, 97, pp.177–198.
- Segura & Carrasco, 2006. Fertirrigación nitrogenada del cultivo de tomate bajo invernadero. *Horticultura*, 199, pp.8–13.
- Segura, M., et al., 2005. Dieffenbachia growth responses and N leaching from container-grown plants fertilized by several methods. En *International Symposium on Soiless Cultrue and Hydroponics location Almeria*. Almeria, pp. 387–391.
- Segura, M., et al., 2003. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre un cultivo de tomate en invernadero. Relación nitrato/amonio. En *Palma de Mallorca*, pp. 470–475.
- Sekler, D., 2003. A note on transpiration. En *Water productivity in agricultura. Limits and opportunities for improvement*. London, U.K.: CAB Internacional., pp. 311–318.
- Senate of the United States of America, 1996. Public law 104–170. “Food Quality Protection Act of 1996”.
- Serna, M., et al., 2000. Evaluation of 3,4 Dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibition in a Citrus cultivated soil. *Biology and Fertility of Soils*, 32, pp.41–46.
- Serna, M., Bañuls, J. & Quiñones, A., 1992. The influence of nitrogen concentration and ammonium/nitrate on N-uptake mineral composition and yield of citrus. *Plant and soil*, 147, pp.1–23.
- Serna, M., Legaz, F. & Primo-Millo, E., 1994. Efficacy of Dicyandiamide as a soil nitrification inhibitor in citrus production. *Soil Science Society of America*, J 58, pp.1817–1824.
- Serna, M., Legaz, F. & Primo-Millo, E., 1996. Improvement of the N fertilizer efficiency with dicyandiamide (DCD) as a soil nitrification inhibitor in Citrus production. *Fert Research*, 43, pp.137–142.
- Sharma, S.N. & Prasad, R., 1995. Use of nitrification inhibitors (neem and DCD) to increase N efficiency in maize-wheat cropping system. *Fertilizer Research*, 44(3), pp.169–175.
- Shepherd, M., et al., 1996. The influence of organic nitrogen mineralization on the management of agricultural systems in the U.K. *Soil use and management*, 12, pp.76–85.
- Da Silva, J., 2005. Manipulação de efluentes de bovinicultura: pretratamento e aplicação ao solo. Lisboa: Nova.
- Simon, J. & Corre, L., 1992. Fertilisation des cultures annuelles et lessivage de l’azote nitrique. *Fourrages*, 129, pp.3–10.
- Sinclair, T. & Gardner, F., 2001. *Principles of ecology in plant production* 2^a ed., CAB international.
- Singh, J., Sagggar, S. & Bolan, N., 2008. The role of inhibitors in the bioavailability and mitigation of nitrogen losses in grassland ecosystems. *Developments in Soil Science*, 32, pp.329–362.

- Slangen, J. & Kerkhoff, P.*, 1984. Nitrification inhibitors in agriculture and horticulture: A literature review. *Fertilizer Research*, 5(1), pp.1–76.
- Smil, V.*, 1997. Global population and the nitrogen cycle. *Scientific american*, 277(1), pp.76–81.
- Soing, P. et al.*, 1999. Fertilisation des vergers. *Environnement et qualité*, París: CTFL.
- Soing, P. & Mandrin, J.*, 1993. Nutrition du Pêcher. *Cinétiques des consommations*. *Infos-Ctifl*, 92, pp.33–35.
- Sort, X. & Ubalde, J.*, 2010. Aspectos de viticultura de precisión en la práctica de la fertilización razonada. *Acenología*, 123.
- Souty, M. et al.*, 1998. Quality of peach fruit in relation to carbon supply. En *Bourdeaux, Francia*.
- Sumpsi, J.*, 2009. La producción mundial de alimentos deberá aumentar hasta el 2050 en torno a un 70%.
- Suter, H. et al.*, 2010a. Comparison of the ability of the nitrification inhibitors DCD and DMPP to reduce nitrification and N₂O emissions from nitrogen fertilisers. En *Brisbane, Australia*.
- Suter, H. et al.*, 2010b. Reducing N₂O emissions from nitrogen fertilisers with the nitrification inhibitor DMPP. En *Brisbane, Australia*, pp. 205–207.
- Tagliavini, M., Millard, P., et al.*, 1996. Foliar nitroge uptake and withdrawal from peach leaves during senescence. En *3rd International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Trees*. Aula Dei. Zaragoza: Val, J, Montañes, L; Monge, E, pp. 459–465.
- Tagliavini, M., Scudellari, D., et al.*, 1996. Nitrogen fertilization management in orchards to reconcile productivity and environmental aspects. *Fertilizer Research*, 43(1-3), pp.93–102.
- Tagliavini, M., Millard, P. & Quartieri, M.*, 1998. Storage of foliar absorbed N and remobilisation for spring growth in young nectarine (*Prunus persica* var *nectarina*) trees. *Tree Physiology*, 18, pp.203–207.
- Tartachnyk, I., Blanke, M. & Jackson, M.*, 2007. Effect of Hail on Photosynthesis, Chlorophyll Fluorescence, Stomatal Closure and Evapotranspiration of Apple Leaves. *Acta Horticulturae*. ISH., 732(VIII Simposio Internacional de Canopy, portainjertos y Fisiología Ambiental en Sistemas de Orchard).
- Taylor, B. & Van Ende, B.*, 1969. The nitrogen nutrition of the peach tree. IV. Storage and mobilization of nitrogen in mature trees. *Australian Journal of Soil Research*, 20(5), pp.869–881.
- Teyker, R. & Hobbs, D.*, 1992. Growth and root morphology of corn as influenced by nitrogen form. *Agronomy Journal*, (84), pp.694–700.
- Thompson, C., Marschner, H. & Römmheld, V.*, 1993. Effect of nitrogen fertilizer form on the pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorous, and micronutrient uptake by bean. *J plant nutr.* (16), pp.493–506.
- Thompson & Troeh, F.*, 1988. *Los suelos y su fertilidad* 4ª ed., Barcelona: Reverte.
- Timmons, D.*, 1984. Nitrate leaching as influenced by water application level and nitrification inhibitors. *Journal Environmental Quality*, 13, pp.305–309.
- Tisdale, S. et al.*, 1993. *Soil Fertility and Fertilizers* 5ª ed., McMillan Publishing Company.
- Toselli, M. et al.*, 2010. Evaluation of the effectiveness of soil-applied plant derivatives of Meliaceae species on nitrogen availability to peach trees. *Scientia Horticulturae*, 124(2), pp.183–188.
- Trenkel, M.*, 1997. Improving fertilizer use efficiency: controled-release and stabilized fertilizers in agriculture, París: International Fertilizer Industry Association (IFA).
- Trindade*, 1997. Fluxo e perdas de azoto en explorações forrageiras de Bovinicultura

- leiteira no noreste de Portugal. Vila Real: De tras-os-Montes e Alto Douro.
- UNESCO (N.U.), 2008. Sección I. En El agua, una responsabilidad compartida. 2º Informe de las N.U. sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Sociedad estatal Expoagua Zaragoza 2008 S.A., pp. 20–23.
- Urbano, P., 1995. Tratado de fitotecnia general, Mundiprensa.
- Urbano, P., 1999. Utilización de fertilizantes con liberación controlada de nutrientes. Vida Rural, Dossier fertilización, pp.37–40.
- Urrestarazu, M., 2000. Manual de cultivos sin suelo, Mundiprensa.
- Val, J., 2003. Absorción, transporte y uso de nutrientes en las plantas. El calcio, un caso a estudiar. Agrolatino., (1º Congreso Iberoamericano de nutrición vegetal.), pp.9–15.
- Val, J. & Monge, E., 1990. Fosforilación del fotosistema2. Regulación de la energía luminosa en fotosíntesis. Anales Aula Dei, 20(1-2), pp.125–148.
- Vallejo et al., 2001. Nitrous oxide emission and denitrification nitrogen losses from soils treated with isobutylenediurea and urea plus dicyandiamide. Biology and Fertility of Soils, 34(4), pp.248–257.
- Vallejo, A., 2005. Emisiones de óxidos de nitrógeno procedentes de suelos de la zona Centro de España. www.ruena.csic.es. Available at: www.ruena.csic.es/pdf/ponencia_ruena2005.vallejo.pdf.
- Vega, M. & Bontoux, L., 2010. Los nitratos en los alimentos: una cuestión de sanidad alimentaria. www.alfinal.com. Available at: [http://www.alfinal.com/Salud/nitratosen alimentos.php](http://www.alfinal.com/Salud/nitratosen_alimentos.php).
- Ventimiglia, L. & Carta, H., 2002. Fertilización en el doble cultivo trigo-soja de segunda. Revista tecnológica agropecuaria del INTA.
- Ventimiglia, L., Torrens, L. & Camarasa, J., 2009. Fertilización en trigo con nitrógeno: dosis, momento y tipo de producto aplicado. www.inpofos.org/.../Fertilización%20en%20trigo%20con%20nitrógeno.pdf.
- Verheye, W., 2005. Land use management, in Land Use and Land Cover.
- Vila, R., 2006. Caracterización físico-química del membrillero japonés (*Chaenomeles* sp. Lindl). Desarrollo fisiológico y conservación frigorífica. Murcia: de Murcia.
- Villarrubia, D., 2010. www.ivia.es. Available at: www.ivia.es/.../resultado%20Carlet%202007%20fertilirrigacion%20nectarina.pdf.
- Vlek, P. & Carter, M., 1983. The effect of soil environment and fertilizer modification on the rate of urea hydrolysis. Soil Science, 136, pp.56–63.
- Walters, D. & Malzer, 1990. Nitrogen management and nitrification inhibitor effects on Nitrogen- 15-urea: I. Yield and fertilizer use efficiency. Soil Science Society of America, 54, pp.115–122.
- Wang, 1996. Modelling nitrogen transport and transformations in soils subject to environmentally friendly fertilization practices. Haifa. Israel: Institute of Technology.
- Wang, S., Kong, Y. & Yao, Y., 2011. Difference in photosynthetic performance among three peach cultivars grown under low light conditions in greenhouses. African Journal of Biotechnology, 10(8), pp.1347–1352.
- Wargo, J., Mervin, I. & Watkins, C., 2003. Fruit size, yield, and market value of «GoldRush» apple are affected by amount, timing and method of nitrogen fertilization. Hortotechnology, 13, pp.153–161.
- Wasnik, H., 1980. Use of «Neem» cake coated urea on the economy of nitrogen in wheat variety Kalyansona. Journal of Maharashtra Agriculture Universities, 5, pp.30–32.
- Watson et al., 1994. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-BUTYL) thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. Soil Biology and Biochemistry, 26(9), pp.1165–1171.
- Webb, J., Froment, M. & Sylvester-Bradley, R., 1991. Effects of cultivation and

nitrification inhibitor on soil nitrogen availability after a grass ley and on the response of the following cereal crop to fertilizer nitrogen. *Journal of Agricultural Science*, 117, pp.9–21.

Weinbaum, S. *et al.*, 1984. Effects of time of nitrogen application and soil texture on the availability of isotopically labeled fertilizer nitrogen to reproductive and vegetative tissue of mature almond trees. *American Society Horticultural Science*, 109, pp.339–343.

Weinbaum, S. *et al.*, 2001. Proceedings of the fourth international Symposium on mineral nutrition of deciduous fruit crops. *Acta Horticulturae*, 564, pp.41–49.

Weinbaum, S., Johnson, R. & Dejong, T., 1992. Causes and consequences of overfertilisation in orchards. *Horticultural Technology*, 2, pp.112–120.

Weinberger, J., 1950. Prolonged dormancy trouble in peaches in the southeast in relation to winter temperatures. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 56, pp.107–112.

Weiske, A. *et al.*, 2001. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biology and Fertility of Soils*, 34(2), pp.109–117.

Wells, C. & Wang, 2001. Root efficiency and mineral nutrition in apple. *Acta Horticulturae*, 564, pp.165–184.

Weslien, P. *et al.*, 1998. Nitrogen losses following application of pig slurry to arable land. *Soil use and management*, 14, pp.200–208.

Westwood, N., 1982. *Fruticultura de zonas templadas*, Madrid: Mundiprensa.

White, R., 1987. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*, Brisbane. Australia.

Whitmore, A., 1996. Modeling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. *Neth. J. Agricultural Science*, 44, pp.73–86.

Wolt, J., 2000. Nitrpyrin behavior in soils and environmental considerations. *Journal Environmental Quality*, 29, pp.367–379.

Wu, S. *et al.*, 2007. Effects of a new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on nitrate and potassium leaching in two soils. *Journal of Environmental Sciences*, 19, pp.841–847.

Xia, G. *et al.*, 2009. Effects of nitrogen supply on source-sink balance and fruit size of «Gala» apple trees. *Journal Amer. Soc. Hort. Science*, 134(1), pp.126–133.

Xiang, C., Cui, S. & Ni, N., 2005. Effect of nitrogen fertilization on primary xylem differentiation in roots of young peach trees. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 74(5), pp.392–394.

Xiaobin, W. *et al.*, 1994. Effects of placement of urea with a urease inhibitor on seedling emergence, N uptake and dry matter yield of wheat. *Canadian journal of soil science*, November 1994, pp.449–452.

Xu, X. *et al.*, 2002. Nitrous oxide and methane emissions during rice growth and through rice plants: effect of dicyandiamide and hydroquinone. *Biology and Fertility of Soils*, 36, p.53.58.

Zacherl, B. & Amberger, A., 1990. Effect of the nitrification inhibitors dicyandiamide, nitrpyrin and thiourea on *Nitrosomonas europaea*. *Fertilizer Research*, 22, pp.37–44.

Zaman, M. *et al.*, 2009. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6), pp.1270–1280.

Zaman, M. *et al.*, 2005. Increasing the utilisation of urea fertilisers by pasture. En In: *Proceedings of the workshop on developments in fertiliser application Technologies and nutrient management*. Fertiliser and Lime Research Centre. Massey University. Palmerston North: Currie and Hanly, pp. 276–284.

Zegbe, J. & Serna-Pérez, A., 2009. El riego parcial de la raíz incrementa la productividad del agua en manzano en un ambiente semiárido. Chapingo Serie Horticultura, 15(2), pp.111–118.

Zerulla et al., 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. Biology and Fertility of Soils, 34(2), pp.79–84.

Zerulla et al., 2000. The development and testing of a new nitrification inhibitor. En London.

Zotarelli, L. et al., 2007. Monitoring of Nitrate Leaching in Sandy Soils. Journal of Environment Quality, 36(4), p.953.

Zotarelli, L. et al., 2008. Nitrogen and water use efficiency of zucchini squash for a plastic mulch bed system on a sandy soil. Scientia Horticulturae, 116(1), pp.8–16.