



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

**OPTIMIZACIÓN DEL ABONADO NITROGENADO EN
EL MELÓN (*Cucumis melo* L.) TIPO PIEL DE SAPO.**

TESIS DOCTORAL

M^a TERESA CASTELLANOS SERRANO

Licenciada en Biología

Madrid, 2012

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y ANÁLISIS AGRÍCOLA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

**OPTIMIZACIÓN DEL ABONADO NITROGENADO EN
EL MELÓN (*Cucumis melo* L.) TIPO PIEL DE SAPO.**

AUTOR: M^a Teresa Castellanos Serrano

DIRECTORES:

M^a Carmen Cartagena Causapé, Doctora en Ciencias Químicas.

Francisco Ribas Elcorobarrutia, Doctor en Biología.

Tribunal nombrado por el Magnífico y Excelentísimo Sr. Rector de la Universidad de la
Universidad Politécnica de Madrid, el día de de 2012.

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Vocal: _____

Vocal: _____

Suplente: _____

Suplente: _____

Realizado el acto de defensa y lectura de Tesis el día de de 2012
en la E.T.S.I. Agrónomos.

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

AUTORIZACIÓN PARA LA DEFENSA

María del Carmen Cartagena Causapé, Catedrática del Departamento de Química y Análisis Agrícola de la Universidad Politécnica de Madrid, y Francisco Ribas Elcorobarutia, Investigador del Centro Agrario el Chaparrillo perteneciente a los Servicios Periféricos de la Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha, como directores de la Tesis Doctoral titulada “OPTIMIZACIÓN DEL ABONADO NITROGENADO EN EL MELÓN (*Cucumis melo* L.) TIPO PIEL DE SAPO”, realizada por M^a Teresa Castellanos Serrano, alumna del Programa de Doctorado de Tecnología Agroambiental del Departamento de Química y Análisis Agrícola, para aspirar al grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid,

AUTORIZAN

La presentación de esta memoria para que se proceda al trámite de su lectura y defensa ante el tribunal correspondiente.

Y para que conste a los efectos oportunos, firmamos el presente certificado en Madrid, a
de de 2012.

Fdo: Dra. M^a Carmen Cartagena Causapé

Fdo.: Dr. Francisco Ribas Elcorobarrutia

El presente trabajo quedaría incompleto sin el agradecimiento a todas las personas e instituciones que han hecho posible su desarrollo y finalización. Ha sido una labor de equipo que no hubiera sido posible sin la colaboración y ayuda de una serie de personas de diferentes ámbitos de las que he tenido la suerte de aprender de cada una de ellas. No imaginé nunca formar parte de un equipo así.

En primer lugar, quisiera mostrar mi agradecimiento a mis directores de tesis, M^a Carmen Cartagena y Francisco Ribas, por la confianza que han depositado en mí, por su tiempo y dedicación, su ayuda, sus conocimientos y buenos consejos brindados en todo momento, así como por la valiosa formación científica que de ellos he recibido.

A M^a Jesús Cabello por su especial dedicación, su paciencia, su tiempo, su conocimiento y consejos dados durante estos años.

A Ana Tarquis y Augusto Arce por su tiempo, sus conocimientos, su colaboración y apoyo y sus consejos ofrecidos.

A mis compañeros de despacho y a los del Departamento de Leñosos, Natalia, David, Nico, Julián, Mari Carmen, Alfonso, Pepe, porque de todos ellos he aprendido, me han aconsejado y he encontrado grandes amigos. A María, que comienza su tesis, por su apoyo en la recta final de redacción del presente trabajo.

A todo el personal de la finca “La Entresierra” porque han sido una pieza fundamental en este trabajo. A Andrés, Carlos, Petro, Adolfo, Vicky, Boni, Angel, Domingo, y a los que pasaron por allí, Jose, Domingo, Juan Luis, César, Ramón, y a todos los que me dejo en el tintero. A Juan Carlos por su paciencia y disponibilidad y al resto de personal de la finca por su apoyo y por los buenos momentos compartidos.

A los técnicos y personal de apoyo y en prácticas que han pasado por la finca La Entresierra y por los laboratorios del Chaparrillo, Petri, Graci, Pilar, Grego, Ana, Andrés, Mari Luz, Merche, Amparo, Concha, Sergio, Rafa, Lorenzo, Pedro, Nacho, Isabel, Marta, Sandra, y a los que me dejo en el tintero por su colaboración y por los buenos ratos que hemos compartido.

Al personal de Chaparrillo, especialmente a la Estación de Avisos, donde se encuentran los laboratorios, por su apoyo y paciencia manifestada.

A todo el personal del Departamento de Química y Análisis Agrícola por la paciencia mostrada a lo largo de estos años. En especial a Javi, Pilar O., Ana, Pilar L. y Demetrio por su inestimable ayuda, aguante y buena disposición en todo momento. A Paloma y Manuela por su importante trabajo, colaboración y apoyo.

A la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha por la beca predoctoral recibida y al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (I.N.I.A.) por haber financiado el proyecto de investigación (RTA04-111-C3) del que surgió la presente tesis.

Agradecimientos

Al Laboratorio Arbitral Agroalimentario del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente por facilitar la utilización de sus instalaciones y equipos. A M^a Ignacia Martín de la Hinojosa y a Agustín Pons por su ayuda y tiempo prestados.

Al apoyo incondicional de mis amigos y mi familia, porque siempre han estado y están ahí y sin los que no hubiera sido posible todo esto. Especialmente a Agus, por su cariño, su apoyo, su comprensión y su paciencia.

A todos muchas gracias.

Mayte.

A mis padres

A mis hermanos

A Agus

Abreviaturas	i
Índice de figuras	v
Índice de tablas	xv
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xxiii
Capítulo 1: Nitrógeno, agricultura y problemática del agua.	1
1.1. La importancia del nitrógeno para los cultivos.	3
1.2. La agricultura en Castilla-La Mancha.	7
1.3. La problemática del agua en Castilla-La Mancha.	14
Capítulo 2: El cultivo del melón fertirrigado como objeto de estudio.	
Importancia económica y científica.	21
2.1. Importancia económica del melón.	24
2.1.1. Producción y comercio a nivel mundial.	24
2.1.2. Producción y comercio en España.	28
2.2. Situación científica: Antecedentes.	34
2.3. El cultivo de melón. Características.	38
2.3.1. Origen, taxonomía y descripción del melón.	38
2.3.2. Composición nutricional del melón.	43
2.3.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de melón.	43
2.3.3.1. Clima.	44
2.3.3.2. Temperatura.	44
2.3.3.3. Humedad.	46
2.3.3.4. Luminosidad.	47
2.3.3.5. Suelo.	48
2.3.4. Técnicas de cultivo.	49
2.3.4.1. Marco de plantación.	49
2.3.4.2. Riego.	51
2.3.4.3. Fertirrigación.	55
2.3.4.4. Acolchado plástico.	57
Capítulo 3: Objetivos.	61

Capítulo 4: El experimento de campo: Características y diseño experimental.	65
4.1. Lugar del experimento.	67
4.2. Características geológicas e hidrogeológicas de la zona.	67
4.3. El suelo de la parcela.	69
4.4. El clima.	70
4.5. El riego.	71
4.6. Diseño experimental y tratamientos.	73
4.7. Análisis estadístico.	78
 Capítulo 5: Growth dynamics and yield of melon as influenced by nitrogen fertilizer.	79
5.1. Abstract	81
5.2. Introduction	81
5.3. Material and methods	82
5.3.1. Plant sampling and analysis	82
5.3.2. Yield, quality and nitrogen production functions	83
5.4. Results and discussion	83
5.4.1. Dry matter accumulation	83
5.4.2. Dry matter distribution	86
5.4.3. LAI and LAD	88
5.4.4. Yield and nitrogen production functions	90
5.5. Conclusions	93
 Capítulo 6: Nitrogen uptake dynamics, partitioning, yield and nitrogen returned as influenced by nitrogen fertilization	95
6.1. Abstract	97
6.2. Introduction	97
6.3. Material and methods	98
6.3.1. Nitrogen uptake in plant	98
6.3.2. Fruit yield and quality	98
6.3.3. Nitrogen uptake in the fruit yield	99
6.4. Results and discussion	99
6.4.1. Nitrogen concentration in the aerial plant parts	99
6.4.2. Nitrogen uptake	101
6.4.3. Nitrogen distribution	103
6.4.4. Fruit yield and quality	105
6.4.5. Nitrogen balance in ripe fruits	108

6.5. Conclusions	110
Capítulo 7: Efficiency indexes for melon crop optimization	113
7.1. Abstract	115
7.2. Introduction	115
7.3. Efficiency indexes	116
7.4. Material and methods	117
7.4.1. Fruit yield (FY) and marketable fruit yield (MFY)	117
7.4.2. Dry weight (DW)	117
7.4.3. Nitrogen uptake	118
7.5. Results and discussion	118
7.5.1. Crop biomass parameters	118
7.5.2. Nitrogen parameters	118
7.5.3. Efficiency indexes	122
7.6. Conclusions	124
Capítulo 8. Nitrogen fertirrigation: an integrated agronomic and environmental study.	127
8.1. Abstract	129
8.2. Introduction	129
8.3. Efficiencies and indexes applied	130
8.4. Material and methods	133
8.4.1. Drainage and water use	133
8.4.2. Nitrogen leaching	133
8.5. Results and discussion	134
8.5.1. Crop production	134
8.5.2. Water parameters	135
8.5.3. Water use efficiencies	136
8.5.4. Environmental indexes	138
8.5.5. Nitrogen mineralization	140
8.5.6. Nitrogen uptake efficiency	142
8.5.7. Relationship between environmental indexes and efficiencies	143
8.6. Conclusions	146
Capítulo 9. Discusión general.	147
9.1. Efecto del N en la dinámica de crecimiento del cultivo de melón.	149

9.1.1. Influencia en la acumulación de biomasa.	149
9.1.2. Influencia en la distribución de biomasa.	150
9.1.3. Influencia en el índice de área foliar y en la duración de área foliar.	151
9.2. Efecto del N en la dinámica de absorción y en la extracción del N.	152
9.2.1. Influencia en la concentración de N en la planta del melón.	152
9.2.2. Influencia en la absorción del N.	153
9.2.3. Influencia en la distribución del N.	154
9.3. Efecto del N en el rendimiento del melón.	154
9.3.1. Relación entre la concentración de N en hoja y el rendimiento.	155
9.3.2. Relación entre el N absorbido y el rendimiento.	156
9.4. Efecto del N en la concentración y absorción del N en cosecha.	156
9.5. Balance del N extraído.	157
9.6. Efecto del N en la calidad del melón.	157
9.7. Índices de eficiencia de uso del N.	158
9.8. Eficiencia de uso del agua.	159
9.9. Lixiviación de nitratos.	159
9.10. Mineralización del N en el suelo.	161
9.11. Índices medioambientales.	161
Capítulo 10. Conclusiones generales.	163
Capítulo 11. Bibliografía.	167
Producción científica.	195

ABREVIATURAS

Abreviaturas

BMP is best management practice

D is drainage

DAT is days after transplanting

DIRRWUE is irrigation water use efficiency calculated with dry weight (DW)

DW is dry weight

DWD is Drinking Water Directive

DWUE is water use efficiency calculated with dry weight (DW)

EII is Environmental Impact Index

ET_c is crop evapotranspiration

ET_o is reference evapotranspiration

FF is Flesh firmness

FN is fruit number

FR is Flesh ratio

Fruit N_{up} is N uptake by the fruit

FW is mean fruit weight

FY is fruit yield

II is Impact Index

Irr is irrigation water

IRRWUE is irrigation water use efficiency calculated with fruit yield (FY)

K_c is crop coefficient

LAD is leaf area duration

LAI is leaf area index

ME is Management Efficiency

MFY is marketable fruit yield

N is Nitrogen

N_{ap} (N applied) is the sum of N_w (N in the irrigation water) and N_f (N fertilizer)

N_{av} is N available

N_f is N from the fertilizer

N_g is the N loss by denitrification

N_l is N leaching

N_s final is the N in the soil at the end of the crop

N_s initial is the N in the soil before transplanting the crop

N_{up} is N uptake

N_{upE} is N uptake efficiency

N_w is N in the irrigation water

Nitrate_{leachate} is nitrate in the leachate

Nitrate_g is the nitrate concentration in groundwater

NM is N mineralization

NMI is the N mineralization index

NUE is nitrogen use efficiency

NUtE is N utilization efficiency

θ_v is volumetric soil water content

P is precipitation

R_f is runoff

SD is standard error of fruit weight

SR is skin ratio

TP N_{up} is N uptake by aerial part of the plant

TSS is total soluble solids

var. es variedad

WUE is water use efficiency calculated with fruit yield (FY)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Resumen simplificado de la cascada de N que ilustra las pérdidas, la transformación y los efectos del N del fertilizante en el medio ambiente. Fuente: Sutton et al. (2011).	4
Figura 1-2. Consumo de fertilizantes nitrogenados (t de N), fosfatados (t de P_2O_5) y potásicos (t de K_2O) durante el período comprendido entre 1998 y 2010. Elaborado a partir de los datos obtenidos de M.A.P.A. (2006) y A.N.F.F.E. (2011).	5
Figura 1-3. Distribución de la superficie de Castilla-La Mancha según usos y aprovechamientos del suelo en 1998 (a) y 2009 (c). Distribución de la superficie dedicada a tierras de cultivo en Castilla-La Mancha por provincias en 1999 (b) y 2009 (d). Elaborado a partir de los datos de M.A.P.A. (2000) y M.A.R.M. (2010).	7
Figura 1-4. Distribución de la superficie dedicada a tierras de cultivo según su ocupación principal en Castilla-La Mancha en 1998 (a) y en 2009 (d). Distribución de la superficie dedicada a tierras de cultivo en secano por provincias en 1998 (b) y en 2009 (e). Distribución de la superficie dedicada a tierras de cultivo en regadío por provincias en 1998 (c) y en 2009 (f). Elaborado a partir de los datos de M.A.P.A. (2000) y del M.A.R.M.R. (2010).	9
Figura 1-5. Distribución de la superficie regada según el método de riego en Castilla-La Mancha en 1999 (a) y en 2009 (c). Distribución de la superficie regada según el origen del agua en Castilla-La Mancha en 1999 (b) y 2009 (d). Elaborado a partir de los datos I.N.E. (1999), E.S.Y.R.C.E. (2009) y I.N.E (2009).	10
Figura 1-6. Distribución de la superficie regada según el método de riego en Ciudad Real (a) y en la comarca de La Mancha (d) en el 1999. Distribución de la superficie regada según el origen del agua en Ciudad Real (b) y en la comarca de La Mancha (e) en 1999. Distribución de la superficie de regadío en las comarcas de Ciudad Real en 1999 (c). Elaborado a partir de los datos de I.N.E. (1999), I.N.E (2009) y P.E.A.G. (2008).	12
Figura 1-7. Principales cultivos en regadío en Castilla-La Mancha en 2009 (M.A.R.M., 2010).	12
Figura 1-8. Principales cultivos en regadío en Ciudad Real en 2009 (M.A.R.M., 2010).	13

Figura 1-9. Distribución porcentual de los cultivos en regadío de La Mancha sobre el acuífero 23 (P.E.A.G., 2008).	13
Figura 1-10. Consumo de agua por técnicas de riego en 1999 (a) y 2009 (b) en Castilla La Mancha (I.N.E., 2009).	15
Figura 1-11. Necesidades hídricas teóricas ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de los cultivos de regadío de la comarca de La Mancha (P.E.A.G., 2008).	15
Figura 1-12. Mapa de acuíferos legalmente declarados como sobreexplotados en Castilla-La Mancha (Fuente: JCCM, 2011).	16
Figura 1-13. Zonas vulnerables a la contaminación de nitratos en Castilla-La Mancha declaradas actualmente (A.S.A.J.A. y Consejería de Medio Ambiente (2007), actualizado con la Orden 21/05/2009 y la Orden 04/02/2010).	19
Figura 2-1. Evolución de la producción y la superficie de cultivo de melón a nivel mundial durante el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).	25
Figura 2-2. Evolución de la producción de melón de los cinco países de mayor producción a nivel mundial durante el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).	25
Figura 2-3. Evolución de la superficie de cultivo del melón en los cinco países con mayor producción a nivel mundial en el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).	26
Figura 2-4. Evolución del rendimiento de melón en los cinco países con mayor producción a nivel mundial en el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).	26
Figura 2-5. Diez países principales en exportación de melón en 2009 (FAOSTAT, 2009).	27
Figura 2-6. Evolución de la exportación de melón en España en el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).	27
Figura 2-7. Diez países principales en importación de melón en 2009 (FAOSTAT, 2009).	28
Figura 2-8. Evolución de la importación de melón en España en el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).	28
Figura 2-9. Superficie dedicada a cada hortaliza cultivada en España en 2009 (M.A.R.M., 2010).	29

Figura 2-10. Producción de hortalizas cultivadas en España en 2009 (M.A.R.M., 2010).	30
Figura 2-11. Superficie dedicada al cultivo de melón por comunidades autónomas en España en 2009 (M.A.R.M., 2010).	31
Figura 2-12. Producción de melón obtenida en 2009 por comunidades autónomas en España (M.A.R.M., 2010).	31
Figura 2-13. Superficie dedicada al cultivo de melón por provincias en España en 2009 (M.A.R.M., 2010).	32
Figura 2-14. Producción de melón obtenida en 2009 por provincias en España (M.A.R.M., 2010).	32
Figura 2-15. Principales autonomías españolas exportadoras de melón en 2009 (FEPEX, 2010).	33
Figura 2-16. Diez principales provincias españolas exportadoras de melón en 2009 (FEPEX, 2010).	33
Figura 2-17. Artículos publicados en revistas con índice de impacto relacionados con la nutrición nitrogenada en melón desde 1935 hasta 2010 (Extraídos de la consulta realizada en la base de datos CAB DIRECT).	34
Figura 2-18. Artículos publicados en revistas con índice de impacto en función de la variedad de melón estudiada desde 1935 hasta 2010 (Extraídos de la consulta realizada en la base de datos CAB DIRECT).	35
Figura 2-19. Planta de melón, detalle de hojas, pecíolo, tallo y flor femenina.	41
Figura 2-20. Planta de melón: Detalle de fruto cuajado.	42
Figura 2-21. Coeficiente de cultivo del melón en riego por goteo (Ribas et al. (1995) y Ribas et al. (2000)).	53
Figura 2-22. Detalle de la inyección del fertilizante en el sistema de riego.	57
Figura 2-23. Detalle del acolchado plástico para un campo de melón.	58
Figura 2-24. Detalle del acolchado plástico con planta de melón transplantada.	59
Figura 4-1. Fotografía aérea de la finca experimental “La Entresierra” (Fuente: Google maps). En rojo delimitación de la finca “La Entresierra” y en fucsia delimitación de las parcelas donde se realizaron los ensayos.	68

Figura 4-2. Fotografía el perfil del suelo donde se realizaron los experimentos.	69
Figura 4-3. Detalle del sistema de riego por goteo y de la colocación del acolchado plástico transparente.	72
Figura 4-4. Detalle de la alberca situada en la finca experimental “La Entresierra”.	73
Figura 4-5. Detalle de planta de melón transplantada sobre acolchado plástico transparente.	74
Figura 4-6. Esquema del campo experimental del melón.	74
Figura 4-7. Detalle de la subparcela elemental de abonado nitrogenado.	75
Figura 4-8. Detalle de tubos acceso sonda Diviner y sonda de succión.	75
Figura 4-9. Detalle del sistema de fertilización nitrogenada utilizado en el experimento del melón.	77
Figura 4-10. Detalle del sistema de fertilización nitrogenada constituido por: a) bomba dosificadora, b) filtro, c) válvula de retención, d) llave de paso y e) conexión a la tubería secundaria que conduce la solución fertilizante nitrogenada a la tubería de polietileno sin emisores que conduce el riego a cada parcela.	77
Figure 5-1. Dry matter production of leaf (a), stem (b), fruit (c) and total aerial plant (d) during the growing season in 2005. Each data point is the mean of four replicates. The bars represent the least significant difference ($p \leq 0.05$).	84
Figure 5-2. Dry matter production of leaf (a), stem (b), fruit (c) and total aerial plant (d) during the growing season in 2006. Each data point is the mean of four replicates. The bars represent the least significant difference ($p \leq 0.05$).	85
Figure 5-3. Dry matter production of leaf (a), stem (b), fruit (c) and total aerial plant (d) during the growing season in 2007. Each data point is the mean of four replicates. The bars represent the least significant difference ($p \leq 0.05$).	86
Figure 5-4. Dry matter distribution in leaf, stem and fruit during the growing season in 2005, (a), 2006 (b) and 2007 (c).	87

Figure 5-5. Leaf Area Index (LAI) and Leaf Area Duration (LAD) during the growing season in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c). Each data point is the mean of four replicates. The bars represent the least significant difference ($p \leq 0.05$).	89
Figure 5-6. Relationships between relative yield (Fruit yield/maximum fruit yield) and N applied in 2005, 2006 and 2007. Each data point is the mean of four replicates.	91
Figure 5-7. Relationships between relative yield (Fruit yield/maximum fruit yield) and leaf N concentration in 2005, 2006 and 2007. Each data point is the mean of four replicates.	92
Figure 6-1. Nitrogen applied effect on the concentration of the different melon plant parts: leaf (a, d and g), stem (b, e and h) and fruit (c, f and i) in 2005 (a, b and c), 2006 (d, e and f) and 2007 (g, h and i).	100
Figure 6-2. Nitrogen applied effect on N uptake (g m^{-2}) of the different melon plant parts: leaf (a, e and i), stem (b, f and j), fruit (c, g and k) and on melon total plant (d, h and l) in 2005 (a, b, c and d), 2006 (e, f, g and h) and 2007 (i, j, k and l).	101
Figure 6-3. Nitrogen distribution in leaf, stem and fruit during the growing season in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).	104
Figure 6-4. Nitrogen applied effect on the N concentration of the ripe fruit in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).	108
Figure 6-5. Nitrogen applied effect on the accumulated N uptake of the ripe fruit in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).	109
Figure 7-1. Fruit yield (FY) versus marketable fruit yield (MFY) in 2005, 2006, and 2007.	118
Figure 7-2. Melon N uptake (N_{up}) versus N available to the crop (N_{av}) in 2005, 2006, and 2007. The N_{up} was determined as the sum of the N uptake in every above-ground organ of the plant, including the fruits, and N_{av} was calculated as the N applied (N_{ap}) plus the mineral N in the soil before transplanting the melon plants (N_s). The continuous line corresponds to a general logistic function ($R^2=0.79$).	120
Figure 7-3. Relative fruit yield versus N applied (N_{ap}) in 2005, 2006, and 2007. Relative fruit yield was calculated as the ratio between fruit yield (FY) and maximum fruit yield. N_{ap} includes N in the irrigation water (N_w) plus N fertilizer (N_f). The segmented regression corresponds to the data in the three years.	121

Figure 7-4. Relative fruit yield versus N uptake (N_{up}) in 2005, 2006, and 2007. The second-order polynomial curve corresponds to the data in the three years.	121
Figure 7-5. Dry weight (DW) versus N uptake (N_{up}) in 2005, 2006, and 2007. Dry weight (DW) was determined as the sum of the dry weight in every above-ground organ of the plant, including the fruits. The linear adjustment corresponds to the data in the three years.	122
Figure 7-6. Nitrogen use efficiency indexes based on fruit yield (FY) versus N: a) N applied (NUE_1 versus N_{ap}) and N available (NUE_2 versus N_{av}); b) N available (NUE_2 versus N_{av}) and N uptake (NUE_3 versus N_{up}). The continuous lines correspond to a power law or linear adjustment to the data in the three years.	123
Figure 7-7. Nitrogen use efficiency indexes based on dry weight (DW) versus N: a) N applied (NUE_3 versus N_{ap}) and N available (NUE_4 versus N_{av}); b) N available (NUE_4 versus N_{av}) and N uptake (NUE_5 versus N_{up}). The continuous lines correspond to a power law or linear adjustment to the data in the three years.	124
Figure 8.1. Chart describing the optimization of N fertirrigation, in agronomic and environmental terms.	130
Figure 8.2. Relative fruit yield versus N available (N_{av}) in 2005, 2006 and 2007 (a) and dry weight (DW) versus N_{av} in 2005, 2006 and 2007 (b).	134
Figure 8.3. Cumulative crop evapotranspiration (ET_c), theoretical irrigation, real irrigation and drainage of each N treatment in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).	136
Figure 8.4. Impact Index (II) versus N available (N_{av}). Discontinuous lines correspond to the maximum limit, when the concentration of the NO_3^- leaching is 50 mg L^{-1} - equal to the maximum concentration established for drinking water.	138
Figure 8.5. Environmental impact index (EII) versus N available (N_{av}). Continuous lines show when the concentration of the NO_3^- leaching is equal to the concentration of NO_3^- in the groundwater.	139
Figure 8.6. Management Efficiency (ME) versus N available (N_{av}).	139
Figure 8.7. Nitrogen leaching (N_l) versus N available (N_{av}).	141

Figure 8.8. Nitrogen Mineralization (NM) versus N available (N_{av}) in 2005, 2006 and 2007.	141
Figure 8.9. Nitrogen Mineralization Index (NMI) versus N available (N_{av}).	142
Figure 8.10. Radial representation of IRRWUE, N_{upE} and ME (previously normalized) and II' , calculated as $II' = 1 - II$, in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Serie histórica de consumo agrícola de fertilizantes nitrogenados (t de N) en España (M.A.R.M., 2010).	6
Tabla 1-2. Principales cultivos en Castilla-La Mancha en 2009 (M.A.R.M., 2010).	8
Tabla 1-3. Principales cultivos en Ciudad Real en 2009 (M.A.R.M., 2010).	8
Tabla 2-1. Dosis de N aplicado recomendada por distintos autores en función de la variedad y el tipo de melón.	36
Tabla 2-2. Propuestas de clasificación taxonómica del melón (<i>Cucumis melo</i>) a partir de la clasificación de Naudin (1859).	40
Tabla 4-1. Propiedades físico-químicas del suelo experimental en 2005, 2006, y 2007.	70
Tabla 4-2. Datos climáticos mensuales y durante el período del experimento del área experimental en 2005, 2006, y 2007.	71
Tabla 4-3. Propiedades físico-químicas del agua de riego utilizada en el experimento den en 2005, 2006, y 2007.	73
Tabla 4-4. Nitrógeno aplicado con el fertilizante, N aplicado con el agua de riego y N disponible en 2005, 2006, y 2007.	76
Table 5-1. Fruit yield of melon grown at different N rates in 2005, 2006 and 2007.	90
Table 6-1. Pearson's correlation coefficients (r) and linear relationships (when $r \geq 0.5$) between N uptake by leaf (leaf N_{up}), stem (stem N_{up}), fruit (fruit N_{up}), total aerial plant (total plant N_{up}) and N applied (N_{ap}) in 2005, 2006 and 2007.	103
Table 6-2. Pearson's correlation coefficients (r) and linear relationships (when $r \geq 0.5$) of fruit yield (FY), fruit number m^{-2} (FN m^{-2}), fruit weight (FW); fruit weigh standard error (SE_{FW}), nitrogen use efficiency (NUE), flesh firmness (FF), flesh ratio (FR), skin ratio (SR) and total soluble solids (TSS) versus N applied (N_{ap}), N uptake by the fruit (fruit N_{up}) and N uptake by aerial part of the plant (TP N_{up}) in 2005, 2006 and 2007.	107
Table 6-3. Crop N balance in each treatment in 2005, 2006 and 2007.	110
Table 8-1. Water use efficiency, based on fruit yield (FY) and dry weight (DW) with respect to ET_c and I_{rr} , in the melon crop in 2005, 2006 and 2007.	137

Table 8-2. Nitrogen uptake (N_{up}), N leaching (N_l), soil mineral N to the end of the crop cycle (N_s final), N Mineralization (NM), N Mineralization daily (NM daily) and N uptake efficiency (N_{upE}) in 2005, 2006 and 2007.	140
Table 8-3. Matrix of correlation: Impact Index (II), N Mineralization (NM), N Mineralization Index (NMI), Environmental Impact Index (EII). Management Efficiency (ME), Irrigation Water Use Efficiency in relation to FY (IRRWUE) and in relation to DW (DIRRWUE), Water Use Efficiency in relation to FY (WUE) and in relation to DW (DWUE), N Uptake Efficiency (N_{upE}) and Relative FY.	144

RESUMEN

España es el quinto país mayor productor de melón (*Cucumis melo* L.) y el segundo exportador a nivel mundial. A nivel nacional, destaca Castilla-La Mancha y, concretamente, Ciudad Real donde se cultivó el 27% de la superficie total española dedicada a este cultivo y con el 30% de su producción nacional.

El cultivo del melón en Ciudad Real se concentra principalmente en la cuenca del Alto Guadiana donde se sitúan los principales acuíferos de la región, el acuífero 23 o Mancha Occidental y acuífero 24 o Campo de Montiel, ambos declarados sobreexplotados y zonas vulnerables a la contaminación de nitratos de origen agrario. El problema se agravado que las aguas subterráneas en esa zona son la fuente fundamental de abastecimiento a poblaciones y frecuentemente la única.

Dada la importancia del melón en la zona, la investigación reciente se ha centrado en su riego. Desafortunadamente, son escasos los conocimientos que hay sobre la fertilización nitrogenada en el melón piel de sapo, por lo que es muy importante abordar de forma seria estudios que conduzcan a conocer los requerimientos de N en dicho cultivo y a reducir los riesgos de contaminación por lavado de nitratos, sin afectar a la productividad y a la calidad de la cosecha. De hecho, las dosis que se recomiendan son a menudo subjetivas y la práctica habitual es una sobredosis nitrogenada.

Ante esta situación, la toma de medidas urgentes para optimizar el uso del N fertilizante es necesaria. Para ello, se estudió el efecto del N en un cultivo de melón, fertirrigado y con acolchado plástico. Los tratamientos consistieron en el suministro de once dosis diferentes de N, considerando el N fertilizante y el contenido de N del agua de riego, de manera que los tratamientos aplicados fueron: 30 (N_{30}), 85 (N_{85}), 112 (N_{112}), y 139 (N_{139}) kg ha⁻¹ en 2005, 93 (N_{93}), 243 (N_{243}) y 393 (N_{393}) kg ha⁻¹ en 2006 y 11 (N_{11}), 61 (N_{61}), 95 (N_{95}), y 148 (N_{148}) kg ha⁻¹ en 2007. El diseño estadístico fue en bloques al azar con cuatro repeticiones de cada tratamiento.

Los resultados mostraron un efecto significativo del N sobre la biomasa, observándose dos patrones de crecimiento. Por un lado, un incremento gradual de la biomasa vegetativa de la planta, hoja y tallo, con el incremento del N; y por otro lado, un incremento de la biomasa de fruto, al incrementarse el N, hasta alcanzar un máximo que corresponde con la dosis óptima de N determinada en 90 kg ha⁻¹ de N aplicado o 160 kg ha⁻¹ de N disponible. A partir de dicha dosis la biomasa de fruto, sufre un descenso.

También se observó un efecto significativo de la cantidad de N aplicado en la concentración y absorción de N en hoja, tallo, fruto y planta completa, incrementándose en

todos ellos con el aumento del N. La mayor velocidad de absorción de N se registró entre los 30-35 a 70-80 días después del trasplante, coincidiendo con el desarrollo del fruto.

El N tuvo una clara influencia en el rendimiento del melón, sus componentes, el grosor de la corteza y el índice de carne. La producción de melón aumentó, así como el peso medio de fruto y el número de frutos por m², al aumentar el N hasta alcanzar un rendimiento superior al 95% de la máxima cosecha cuando el N aplicado es de 90 kg N ha⁻¹ o el N disponible de 160 kg ha⁻¹. Cuando el N excede de la cantidad óptima, se produce un descenso en la producción, disminuyendo el peso medio de fruto y también el número de frutos por m², y también se observó un descenso en la calidad de fruto al incrementarse el grosor de corteza y disminuir el índice de carne, lo que significa un incremento de frutos ahuecados con dosis excesivas de N.

Con el incremento del N se observó una disminución de las distintas eficiencias de uso del N (NUE) calculadas, mostrando dos comportamientos diferentes. Por un lado aquellas NUE calculadas en función del N aplicado y del N disponible muestran un patrón potencial, mientras que aquellas otras calculadas en función del N absorbido muestran un patrón lineal. El análisis conjunto de ambas tendencias permite delimitar un rango en el cual se encuentra la dosis óptima de N.

También se observó que el aumento del N incrementa exponencialmente la pérdida de N lixiviado en forma de nitratos.

El aumento de la dosis del N afectó al proceso de mineralización del N en el suelo. Se apreció un efecto exponencial negativo del N disponible en la mineralización de este elemento que tuvo lugar en el suelo durante el período de cultivo, calculado a partir de los balances de este elemento.

El estudio de los nitratos lixiviados para cada una de las dosis de N utilizadas, permitió establecer una serie de índices medioambientales relacionados con el riesgo medioambiental que produce la utilización de tales dosis, de una manera sencilla, para que puedan ser incluidas en el código de Buenas Prácticas Agrícolas.

ABSTRACT

Spain is the fifth-largest producer of melon (*Cucumis melo* L.) and the second exporter in the world. To a national level, Castilla-La Mancha emphasize and, specifically, Ciudad Real, where is cultivated 27% of national area dedicated to this crop and 30% of melon national production.

Melon crop is cultivating majority in Ciudad Real and it is mainly located in the Alto Guadiana, where the major aquifers of the region are located, the aquifer 23 or Mancha Occidental and the aquifer 24 or Campo de Montiel, both declared overexploited and vulnerable zones to nitrate pollution from agricultural sources. The problem is exacerbated because in this area, groundwater is the basic resource of supply to populations, and even often the only one.

Given the importance of melon in the area, recent research has focused on the irrigation of melon crop. Unfortunately, scant information has been forthcoming on the effect of N fertilizer on melon piel de sapo crop, so it is very important to tackle in a serious study that lead to know the N requirements on the melon crop melon by reducing the risks of contamination by nitrate leaching without affecting productivity and crop quality. In fact, the recommended dose is often subjective and practice is a N overdose.

In this situation, the taking of urgent measures to optimize the use of N fertilization is required. To do it, the effect of N in a melon crop, fertirrigated and on plastic mulch, was studied. The treatments consisted in different rates of N supply, considering N fertilizer and N content in irrigation water, so the treatment applied were: 30 (N₃₀), 85 (N₈₅), 112 (N₁₁₂) and 139 (N₁₃₉) Kg N ha⁻¹ in 2005; 93 (N₉₃), 243 (N₂₄₃) and 393 (N₃₉₃) kg ha⁻¹ in 2006; and 11 (N₁₁), 61 (N₆₁), 95 (N₉₅) and 148 (N₁₄₈) kg ha⁻¹ in 2007. A randomized complete-block design was used and each treatment was replicated four times.

The results showed a significant effect of N on dry biomass and two patterns of growth were observed. On the one hand, a gradual increase in vegetative biomass of the plant, leaves and stem, with increasing N, and on the other hand, an increase of fruit biomass also with increasing N up to a maximum of biomass corresponding to the optimal dose determined in 90 kg ha⁻¹ of N applied, corresponding to 160 kg ha⁻¹ of N available for melon crop, since this optimum dose, the fruit biomass suffers a decline.

A significant effect was observed in concentration and N uptake in leaf, steam, fruit and whole plant, increasing in all of them with increasing of N doses. Fast N uptake occurred from 30-35 to 70-80 days after transplanting, coinciding with the fruit development.

The N had a clear influence on the melon yield, its components, skin thickness and flesh ratio. The melon yield increased, as the mean fruit weight and number of fruits per m²,

with increasing N until achieve an above 95% of the maximum yield when the N applied is 90 kg ha⁻¹ or 160 kg ha⁻¹ of N available. When N exceeds the optimal amount, there is a decline in yield, reducing the mean fruit weight and number of fruits per square meter, and was also observed a decrease in fruit quality by increasing the skin thickness and decrease the flesh ratio, which means an increase in fruit hollowed with excessive N doses.

There was a trend for all indexes of N use efficiency (NUE) to decline with increasing N rate. We observed two different behaviours in the calculation result of the NUE; on the one hand, all the efficiency indexes calculated with N applied and N available had an exponential trend, and on the other hand, all the efficiency indexes calculated with N uptake has a linear trend. The linear regression cuts the exponential curve, delimiting a range within which lies the optimum quantity of N.

The N leaching as nitrates increased exponentially with the amount of N.

The increase of N doses was affected on the N mineralization. There was a negative exponential effect of N available on the mineralization of this element that occurs in the soil during the growing season, calculated from the balances of this element.

The study of N leaching for each N rate used, allowed to us to establish several environmental indices related to environmental risk that causes the use of such doses, a simple way for them to be included in the code of Best Management Practices.

CAPÍTULO 1

Nitrógeno, agricultura y

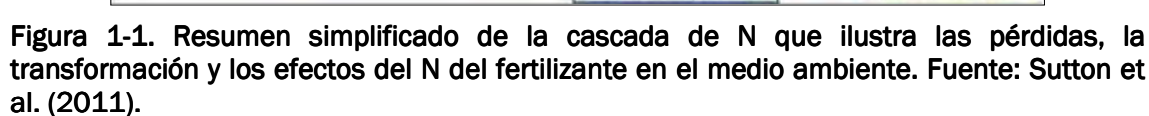
problemática del agua.

Recientemente, en la Conferencia Internacional de la Ciencia sobre “Nitrógeno y el Cambio Global” se acordó un comunicado denominado “La Declaración de Edimburgo sobre el nitrógeno”, en el que se alcanzó un acuerdo sobre una estrategia global para reducir las pérdidas y los efectos adversos del nitrógeno. La sociedad debe centrarse en la mejora de la eficiencia de uso del nitrógeno, especialmente en la agricultura. Esta estrategia puede proporcionar importantes beneficios económicos a los agricultores y a la sociedad en su conjunto (I.N.I., 2011).

1.1. La importancia del nitrógeno para los cultivos

De todos los macronutrientes proporcionados a los cultivos, el nitrógeno (N) es generalmente considerado el más importante para el crecimiento, desarrollo, productividad y longevidad de los cultivos hortícolas (Huett, 1996). Es el constituyente de muchos componentes en las plantas, incluyendo todas las proteínas, las cuales son el material de construcción de las células y de los tejidos de la planta y la producción de clorofila, lo que hace posible la fotosíntesis. Muchas enzimas necesitan N para la asimilación de nutrientes y también los ácidos nucleicos implicados en la reproducción del código genético, el ADN y ARN, son dependientes del N (Taiz and Zeiger, 2004).

Las plantas absorben el N tanto en forma de amonio (NH_4^+) como de nitrato (NO_3^-), compuestos que son formados por los procesos de mineralización y nitrificación respectivamente. Su asimilación se diferencia dado que el nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo, mientras que gran parte del amonio está adsorbido sobre las superficies de las arcillas (Hanley, 1990). El N, en sus formas relacionadas, entra en el suelo de diferentes maneras: a través de la fijación del N por parte de algunas plantas, con la lluvia, mediante la aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, y a través de los residuos de plantas y animales. Las plantas absorben parte del N presente en el suelo. Otra parte de N se pierde a la atmósfera por volatilización (en forma de NH_3) y por desnitrificación (en forma de N_2 o N_2O), algo de N permanece en el suelo, en formas orgánicas o inorgánicas, y finalmente, el N en forma de NO_3^- también puede lixiviarse del suelo por acción del agua, alcanzando las aguas superficiales y las subterráneas (Figura 1-1) (Hanley, 1990).



El exceso de N puede causar perjuicios, tanto desde el punto de vista económico, al disminuir la calidad de la fruta y la producción (efecto conocido como la ley de los rendimientos decrecientes o Ley de Mistcherlich (García-Serrano y Ruano, 2010), como desde el punto de vista medioambiental, debido a que el nitrato es un elemento muy móvil en el suelo, por lo que el riego y/o la lluvia junto con un exceso en la fertilización nitrogenada puede provocar la contaminación de las aguas subterráneas. A menudo, los agricultores aplican cantidades de fertilizantes nitrogenados superiores a los requerimientos del cultivo, lo que supone un mayor riesgo de lixiviación del nitrato, así como la acumulación de grandes cantidades de N en el suelo, aspecto importante en períodos de intercultivo ya que, con la llegada de las precipitaciones, los nitratos son lavados del perfil del suelo y arrastrados al acuífero, quedando asimismo no disponibles para el siguiente cultivo.

La cantidad y la cinética del N absorbido por el cultivo son importantes para orientar la fertilización nitrogenada. El componente cuantitativamente más importante en el cálculo de la cantidad óptima de fertilización para los cultivos es la cantidad mínima de N absorbido por el cultivo, que le permite alcanzar su producción potencial máxima. Las estrategias de manejo del N deben ser específicas para un entorno determinado, ya que su eficacia es variable según el clima, suelo, agua, cultivos y sistemas de cultivo.

Los fertilizantes más consumidos en España para uso agrícola son los nitrogenados, comparándolos con los potásicos y los fosfóricos, con más del 50% del total (M.A.P.A., 2006; A.N.F.F.E., 2011). Durante el período comprendido entre 1998 y 2010 se consumieron más de trece millones de toneladas de abonos nitrogenados (13380364 t), lo que supuso un consumo medio anual de 1029259 t año⁻¹ (M.A.P.A., 2006; A.N.F.F.E., 2011) (Figura 1-2). Parece lógico este mayor consumo de fertilizantes nitrogenados, ya que el fósforo y el potasio son elementos que se requieren en menor cantidad que el N (excepto para algunas especies) y son relativamente estables en el suelo de modo que su aporte únicamente se relaciona con las exportaciones del cultivo, por el contrario el N tiene una dinámica especial en el suelo, como se ha indicado anteriormente, ya que los compuestos asimilables por las plantas son muy susceptibles de pérdidas (I.D.E.A., 2007).

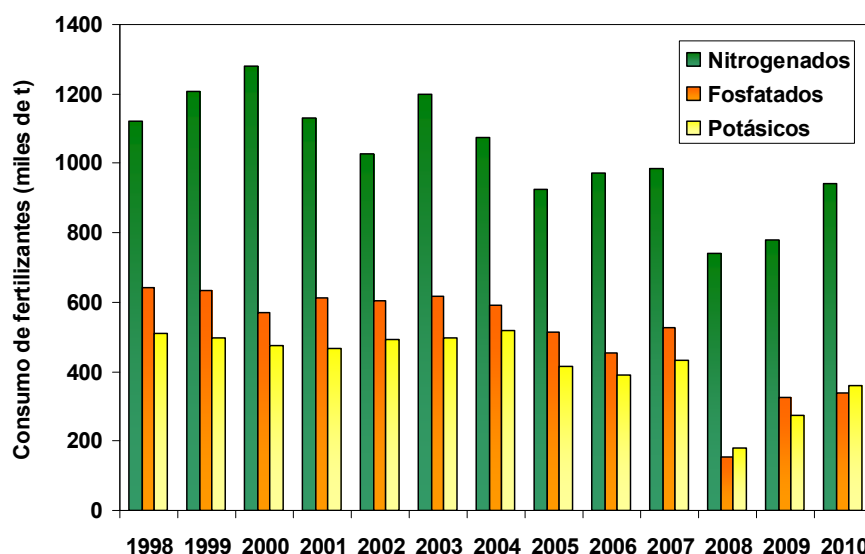


Figura 1-2. Consumo de fertilizantes nitrogenados (t de N), fosfatados (t de P₂O₅) y potásicos (t de K₂O) durante el período comprendido entre 1998 y 2010. Elaborado a partir de los datos obtenidos de M.A.P.A. (2006) y A.N.F.F.E. (2011).

Los fertilizantes nitrogenados más consumidos a nivel nacional durante el período comprendido entre 1998 y 2010 se detallan en la Tabla 1-1. Destacan los compuestos nitrogenados, la urea y el nitrato amónico-cálcico, cada uno de ellos con más del 23% del total consumido, seguidos del nitrato amónico y del sulfato amónico, con el 8% cada uno (M.A.R.M., 2010).

Tabla 1-1. Serie histórica de consumo agrícola de fertilizantes nitrogenados (t de N) en España (M.A.R.M., 2010).

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Nitrato de cal	6534	7584	11160	15192	9123	13513	12749	14493	14982	11522	13575	12669	33564
Nitrato de chile	1156	1210	2201	1122	1170	1386	1188	1432	1067	2704	4541	1812	11468
Nitratos amónico-cálcico	235680	317732	328201	219151	179806	244598	218125	234994	232358	207894	169449	171423	318736
Nitrato amónico	134877	109070	129634	111658	92442	124253	93437	49896	51320	43356	32853	35291	51391
Sulfato amónico	72198	73823	88723	76723	89272	80999	83609	64670	90079	79282	86706	61868	113880
Nitrosulfato amónico	18627	21264	27451	14252	14291	19238	14262	13419	14356	4098	793	11850	32725
Urea	264327	289925	323084	304029	277042	301120	274286	202929	244112	245465	190697	257642	244279
Soluciones nitrogenadas	47433	44222	49874	49627	41838	74164	58780	69878	76272	92063	39346	71152	81227
Amoniaco agrícola	5389	2403	2825	3107	2959	1344	3616	3761	4001	874	1317	517	142
Compuestos	324868	325700	301178	318606	296587	318815	289205	248553	220354	266481	179748	138597	52689
Total ^(*)	1123755	1207018	1279154	1131006	1026546	1198606	1072949	923764	969783	985857	739757	781069	941100

(*) El total de N consumido incluye otros fertilizantes nitrogenados que por su escasa importancia no se detallan.

Este consumo supuso un coste total en dicho período de casi 6300 millones de euros en fertilizantes nitrogenados (M.A.R.M., 2010).

Durante el mismo período y por comunidades autónomas, Castilla-La Mancha fue la tercera comunidad con mayor consumo de fertilizantes nitrogenados, con 1442409 t de N, después de Andalucía y Castilla y León (A.N.F.F.E., 2011; M.A.P.A., 2006). Consumo que supuso un coste de aproximadamente 678 millones de euros para la región (M.A.R.M., 2010).

1.2. La agricultura en Castilla-La Mancha

En 2009 Castilla-La Mancha fue la región española con mayor porcentaje de superficie dedicada a tierras de cultivo (47%) (Figura 1-3c) (M.A.R.M., 2010), un 9% menos que en 1998 (Figura 1-3a) (M.A.P.A., 2000).

En la región destacó Ciudad Real, que fue la provincia con la mayor superficie de tierras de cultivo, contribuyendo con el 27% al total de la región (1084917 ha) en 1998 (Figura 1-3b) (M.A.P.A., 2000) y un 28% (1038357 ha) en 2009 (Figura 1-3d) (M.A.R.M., 2010). En 1998, el 55% de la superficie geográfica de la provincia se dedicó a tierras de cultivo (M.A.P.A., 2000), mientras que en 2009 fue de un 53% (M.A.R.M., 2010); observándose la misma tendencia que en la región, al reducirse un 4% la superficie agrícola entre ambos años (M.A.P.A., 2000; M.A.R.M., 2010).

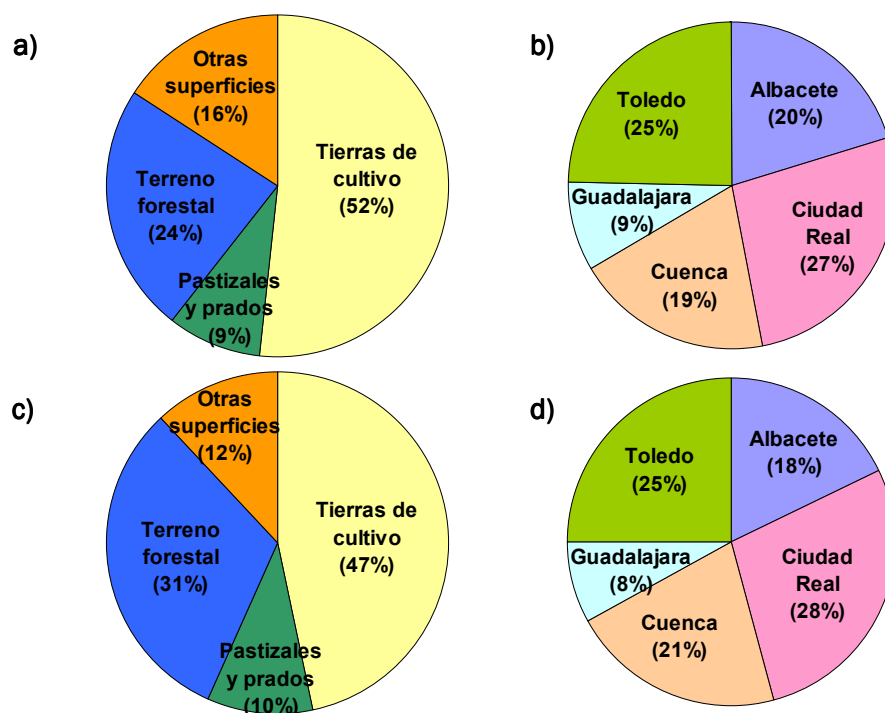


Figura 1-3. Distribución de la superficie de Castilla-La Mancha según usos y aprovechamientos del suelo en 1998 (a) y 2009 (c). Distribución de la superficie dedicada a tierras de cultivo en Castilla-La Mancha por provincias en 1998 (b) y 2009 (d). Elaborado a partir de los datos de M.A.P.A. (2000) y M.A.R.M. (2010).

En la Tabla 1-2 se muestran, por orden de importancia en cuanto a superficie, los 25 principales cultivos de Castilla-La Mancha (M.A.R.M., 2010).

Tabla 1-2. Principales cultivos en Castilla-La Mancha en 2009 (M.A.R.M., 2010).

Cultivo	Superficie (ha)	Producción (t)
Cebada	860253	1949554
Viña	495657	2734915
Olivo	335235	370629
Trigo	222889	487918
Girasol	212214	143446
Avena	167573	224406
Almendro	55860	29147
Guisantes secos	36710	42338
Maíz	32108	416023
Gramíneas forrajeras	24832	213860
Champiñón	21900	55050
Centeno	19886	25776
Lentejas	18163	9482
Tritacle	13531	22745
Tranquillón	12010	14959
Cebolla	11668	788084
Melón	10570	323699
Yeros	10475	7515
Alfalfa	10108	636228
Veza para forraje	9757	91945
Veza	9570	7543
Ajo	8446	72948
Sandía	4088	97566
Patata	3817	95357
Garbanzos	3191	2002

En Ciudad Real, los principales cultivos aparecen en la Tabla 1-3 por orden de importancia en función de la superficie destinada en la provincia.

Tabla 1-3. Principales cultivos en Ciudad Real en 2009 (M.A.R.M., 2010).

Cultivo	Superficie (ha)	Producción (t)
Viña	175765	1252473
Cebada	155399	414786
Olivo	136888	160813
Avena	67790	79898
Trigo	43529	66264
Tranquillón	10671	13571
Melón	8492	297220
Guisantes secos	6233	6102
Maíz	4426	52694
Almendro	3702	4078
Cebolla	3243	220524
Veza para forraje	3063	28581
Sandía	2512	70336
Gramíneas forrajeras	2340	35180
Centeno	1658	1018
Tritacle	1634	1590
Veza	1309	1055
Girasol	1201	825
Patata	986	29580
Alfalfa	755	41525
Pimiento	750	28125
Ajo	730	5201
Tomate	653	29385
Yeros	503	330
Colza	335	520

Las condiciones climáticas y topográficas de Castilla-La Mancha hacen que la agricultura de secano sea predominante en la región. Sin embargo, cada día es mayor la dedicación al regadío. En 2009, la superficie dedicada al secano en la región se redujo un 14%, mientras que la del regadío se incrementó un 30% respecto a 1998 (Figura 1-4a y d) (M.A.P.A., 2000; M.A.R.M., 2010). En ese mismo año, esta comunidad fue la región a nivel nacional con mayor superficie de tierras de cultivo en secano (3151239 ha) y la segunda en regadío (554197 ha), con el 85% y 15% de la superficie agrícola regional, respectivamente (Figura 1-4d) (M.A.R.M., 2010).

A pesar de que el porcentaje que ocupan las tierras en regadío de la región fue más bajo que el de la media nacional, que se situó en un 21% (M.A.R.M., 2010), este desempeña un importante papel social y económico en la región, pues aumenta la rentabilidad de las explotaciones y contribuye con un mayor grado de seguridad económica a los agricultores (Domínguez y de Juan, 2008). Las principales áreas de regadío de la región están intencionalmente situadas cerca de las fuentes de aguas subterráneas. Los acuíferos incluidos en las Unidades Hidrológicas (U.H.) 04.04 Mancha Occidental, 04.06 Campo de Montiel y 08.29 Mancha Oriental, son las principales fuentes de agua de más de la mitad de las tierras de regadío en la región (Domínguez y de Juan, 2008).

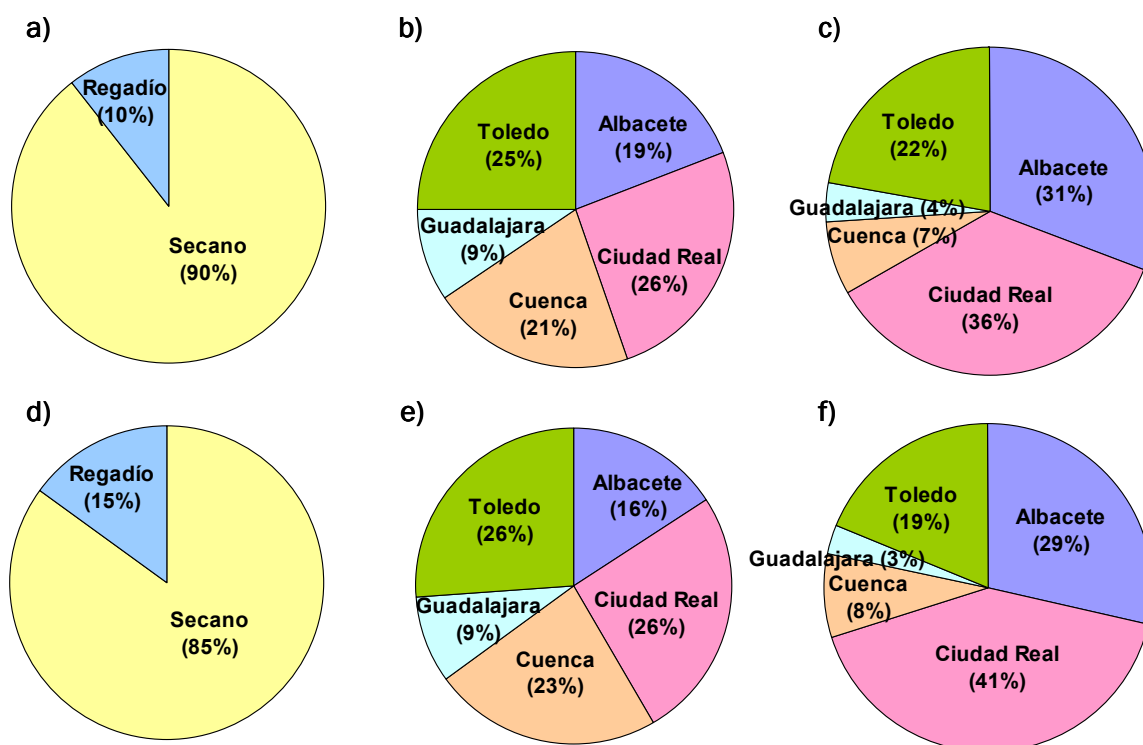


Figura 1-4. Distribución de la superficie dedicada a tierras de cultivo según su ocupación principal en Castilla-La Mancha en 1998 (a) y en 2009 (d). Distribución de la superficie dedicada a tierras de cultivo en secano por provincias en 1998 (b) y en 2009 (e). Distribución de la superficie dedicada a tierras de cultivo en regadío por provincias en 1998 (c) y en 2009 (f). Elaborado a partir de los datos de M.A.P.A. (2000) y del M.A.R.M. (2010).

De nuevo, en Castilla-La Mancha destaca Ciudad Real como la provincia que mayor superficie dedica al regadío y la segunda con respecto a la superficie de secano. En 2009, la superficie dedicada al secano se redujo un 13% (Figura 1-4b y e), mientras que la del regadío se incrementó un 51% comparado con la que ocupaban en 1998 (Figura 1-4c y f) (M.A.P.A., 2000; M.A.R.M., 2010). En este mismo año, Ciudad Real contribuyó con el 26% de la superficie agrícola en secano de la región, mientras que en la de regadío fue de un 41% (M.A.R.M., 2010). En la provincia, la superficie de regadío se concentra principalmente en la comarca de la Mancha, con 76% del total, donde se localiza uno de los principales acuíferos de la región anteriormente citados, el acuífero Sistema 23 o acuífero de La Mancha Occidental (U.H. 04.04). El resto de la superficie de regadío de Ciudad Real se reparte entre el Campo de Calatrava con el 17%, el Campo de Montiel con el 4% y finalmente en Montes Norte con el 3% (P.E.A.G., 2008).

Por técnicas de riego, en Castilla-La Mancha, en 1999, el 56% de la superficie en regadío de la región utilizó la aspersión, el 29% el riego localizado, el 13% el riego por gravedad (a pie, a manta,...) y el 2% otros métodos de riego (Figura 1-5a) (I.N.E., 1999). En este año, el 78% de la superficie en regadío de la Comunidad utilizó agua subterránea, y el restante 22% se regó con agua superficial (Figura 1-5b) (I.N.E., 1999).

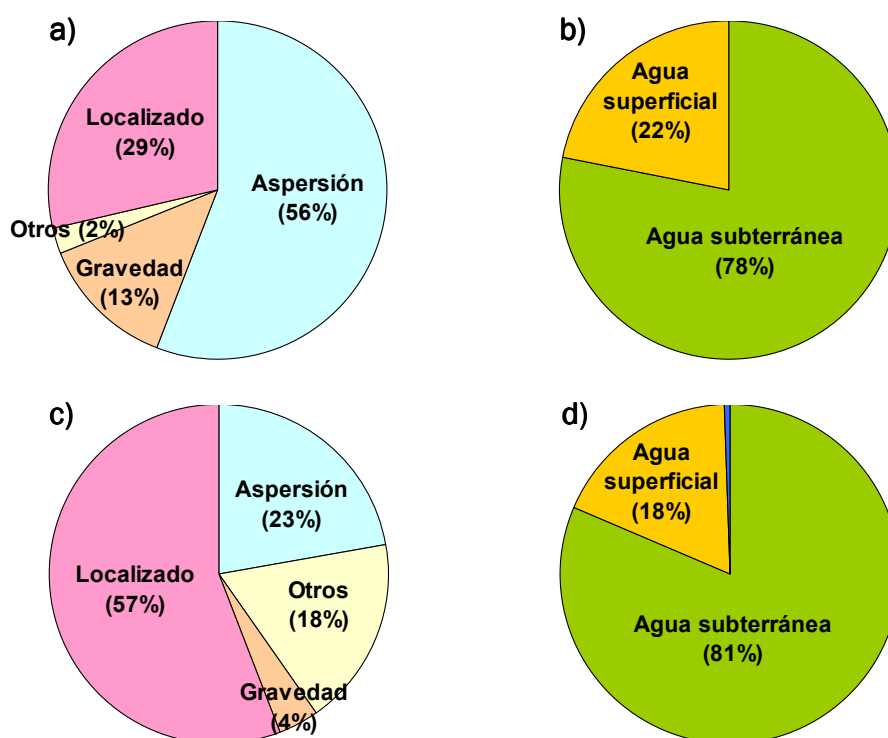


Figura 1-5. Distribución de la superficie regada según el método de riego en Castilla-La Mancha en 1999 (a) y en 2009 (c). Distribución de la superficie regada según el origen del agua en Castilla-La Mancha en 1999 (b) y 2009 (d). Elaborado a partir de los datos de I.N.E. (1999), E.S.Y.R.C.E. (2009) y I.N.E (2009).

En 2009, en el 23% de la superficie de regadío de la región se utilizó la aspersión, en el 57% el riego localizado, en el 4% el riego por gravedad y en el 18% por otros métodos como el automotriz (Figura 1-5c) (E.S.Y.R.C.E., 2009). En este mismo año, Castilla-La Mancha fue la segunda Comunidad Autónoma en cuanto a superficie regada con el sistema localizado (272821 ha) (E.S.Y.R.C.E., 2009). El 81% de la superficie de regadío de la Comunidad utilizó agua subterránea, el 18% agua superficial y el restante 1% agua reutilizada procedente de las estaciones de depuración de aguas residuales (Figura 1-5d) (I.N.E., 2009).

Comparando las técnicas de riego utilizadas en ambos años, se ha observado un descenso considerable de la superficie regada con aspersión de un 56% a un 23% y de un 13% a un 4% la regada por gravedad, mientras que el riego localizado se ha incrementado notablemente pasando del 29% en 1999 al 57% en 2009 (I.N.E., 1999; E.S.Y.R.C.E., 2009).

En 1999 en Ciudad Real se concentró el 38% de la superficie regional regada por aspersión, el 56% la regada con riego localizado, el 8% por gravedad y el 32% por otros métodos (I.N.E., 1999). De la superficie total regada en Ciudad Real, el 55% se regó con aspersión, el 41% con riego localizado, el 3% por gravedad y el 2% por otros métodos de riego (Figura 1-6a) (I.N.E., 1999). En el 91% de la superficie total regada de la provincia se utilizó agua subterránea y en el 9% restante agua superficial (Figura 1-6b) (P.E.A.G., 2008).

Con respecto a las técnicas de riego utilizadas en la comarca de La Mancha, el 51% de la superficie de esta zona utilizó el riego localizado, el 47% el riego por aspersión y el 2% el riego por gravedad. A nivel provincial, el 38% de la superficie se regó por goteo, el 36% con aspersión y el 1% por gravedad (Figura 1-6d) (P.E.A.G., 2008). El 96% de la superficie en regadío de esta comarca se regó con agua subterránea y el 4% con agua superficial (Figura 1-6e) (P.E.A.G., 2008), constituyen el 73% de la superficie agrícola provincial regada con agua subterránea y el 3% de dicha superficie regada con agua superficial (Figura 1-6c) (P.E.A.G., 2008).

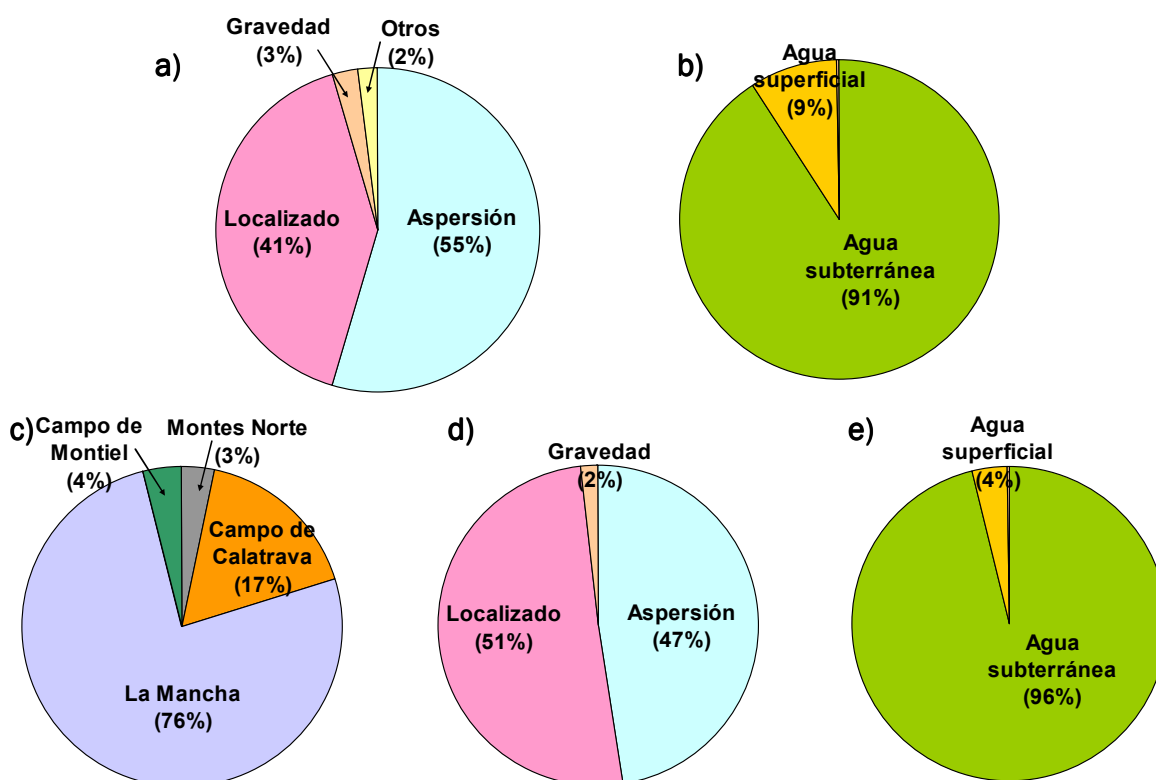


Figura 1-6. Distribución de la superficie regada según el método de riego en Ciudad Real (a) y en la comarca de La Mancha (d) en el 1999. Distribución de la superficie regada según el origen del agua en Ciudad Real (b) y en la comarca de La Mancha (e) en 1999. Distribución de la superficie de regadío en las comarcas de Ciudad Real en 1999 (c). Elaborado a partir de los datos de I.N.E. (1999), I.N.E (2009) y P.E.A.G. (2008).

En la Figura 1-7 aparecen los 20 principales cultivos de regadío en relación con la superficie que se les destina en Castilla-La Mancha. Destaca el viñedo, del que el 24% de la superficie dedicada a este cultivo se encuentra en regadío; el olivar en el que el 5% de la superficie olivarera está regadío y el melón con el 94% (M.A.R.M., 2010).

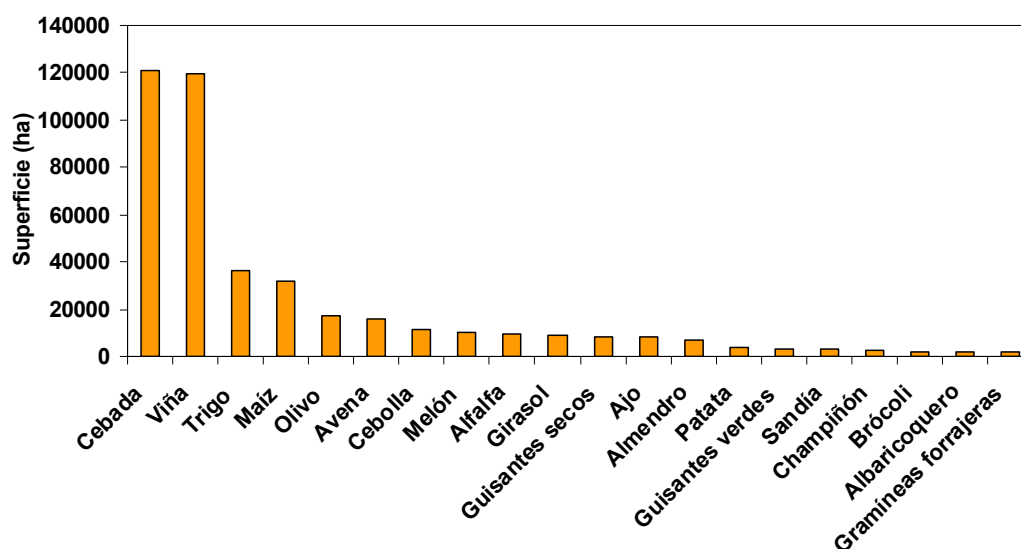


Figura 1-7. Principales cultivos en regadío en Castilla-La Mancha en 2009 (M.A.R.M., 2010).

En la Figura 1-8 aparecen los 20 principales cultivos de regadío en función de la superficie que se les dedica en la provincia de Ciudad Real. El viñedo en regadío constituye un 30% de la superficie vitivinícola de la provincia; el olivar en regadío un 4% de la superficie olivarera de la provincia y el melón, con ausencia de este cultivo en secano, regándose el 100% (M.A.R.M., 2010).

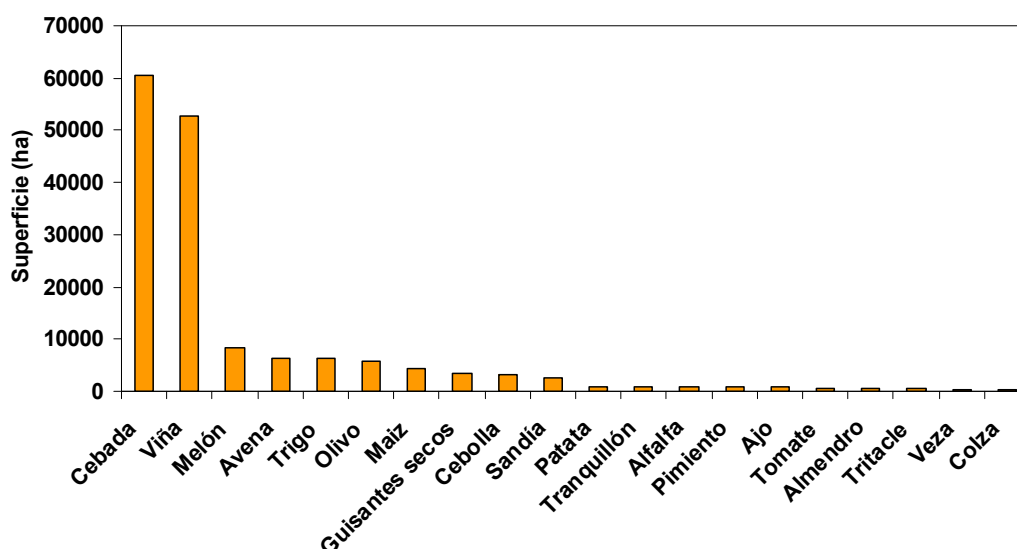


Figura 1-8. Principales cultivos en regadío en Ciudad Real en 2009 (M.A.R.M., 2010).

Con respecto a los principales cultivos que se encuentran en la comarca de La Mancha sobre el acuífero 23, en función de la superficie que se les dedicó en 2001, destacan el viñedo, con el 64% de la superficie de regadío en esta zona; la cebada con el 16% del total y el melón con el 8%, el resto de cultivos tiene escasa representatividad con menos del 3% de la superficie total (Figura 1-9) (P.E.A.G., 2008).

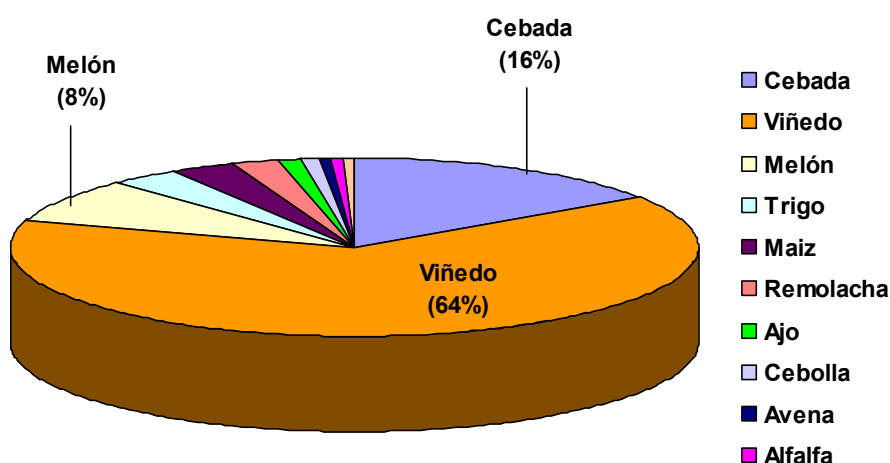


Figura 1-9. Distribución porcentual de los cultivos en regadío de La Mancha sobre el acuífero 23 (P.E.A.G., 2008).

En 2009, el 54% de la producción total de herbáceos y leñosos de la región se obtuvo en regadío, ocupando solamente el 17% de la superficie agrícola dedicada a dichos cultivos (M.A.R.M., 2010). Una hectárea de regadío produce, por término medio, unas 5 veces lo que una hectárea de secano.

1.3. La problemática del agua en Castilla-La Mancha

A pesar de la importancia productiva del regadío, este tiene grandes exigencias a veces contradictorias: Por una parte, debe disponer de costosas infraestructuras que deben ser renovadas conforme envejecen. Por otra, su papel de gran consumidor de agua ya que es el principal usuario en nuestro país, con el 82 % del consumo total como media del producido en el período comprendido entre 1998 y 2009 (I.N.E., 2009; M.A.R.M., 2010), levanta recelos e incomprensiones en un país como España, en donde existe una gran competencia por este recurso escaso entre los usuarios de los distintos ámbitos (consumo humano, esparcimiento, industria, energía, etc.) (M.A.R.M., 2011).

El incremento de la superficie de los cultivos en regadío, como se ha indicado que ha ocurrido en Castilla-La Mancha, podría suponer un aumento del consumo de agua y también un incremento de los aportes de fertilizantes (P.E.A.G., 2008). De hecho, como se ha indicado anteriormente, Ciudad Real es la provincia que mayor superficie destina al regadío de la región, concentrándose principalmente en La Mancha, comarca con la mayor demanda de agua y donde se ha observado mayores aportaciones nitrogenadas, con la aplicación del 51% del N total utilizado en regadío, y el 15% del N total aportado en secano. El viñedo es uno de los cultivos que más necesidades presentan, destacando también las elevadas aportaciones al olivar en secano y las hortalizas en regadío (P.E.A.G., 2008).

En Castilla-La Mancha, la agricultura consumió el 92% del total del agua consumida en la región durante el período comprendido entre 1999 y 2009 (I.N.E., 2009). Esta cifra es superior a la media nacional, situada en un 81% en el mismo período (M.A.R.M., 2010). Esto da una idea de la importancia que tiene una aplicación eficiente del agua en este sector.

La agricultura de regadío en la región consumió 1735 hm³ de agua en 1999 y 1805 hm³ en 2009, incrementándose tan sólo un 4% el consumo agrícola en este período (I.N.E., 2009). Este pequeño aumento unido al importante incremento de la superficie de regadío registrada en la región en 2009, da una idea de una mejora en la eficiencia del uso del agua que se ha venido desarrollando en los últimos años, basándose en una mejora de las técnicas de riego, en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos y elaboración de programas de riego, etc.

En 1999 en Castilla-La Mancha, el 74% del consumo agrícola de agua se hizo utilizando la técnica de aspersión, en el 22% el riego por gravedad, en el 2% el riego por goteo y finalmente otro 2% otras técnicas de riego (Figura 1-10a) (I.N.E., 2009). Sin embargo en 2009, el 57% del consumo agrícola de agua fue con el riego por aspersión, el 39% con riego por goteo y el 4% con riego por gravedad (Figura 1-10b) (I.N.E., 2009).

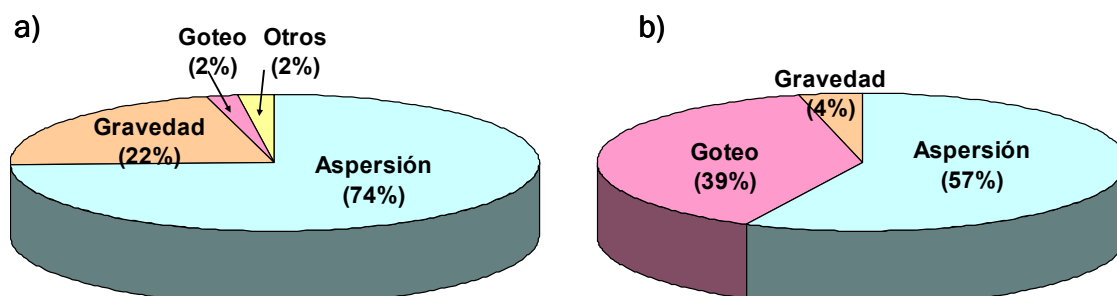


Figura 1-10. Consumo de agua por técnicas de riego en 1999 (a) y 2009 (b) en Castilla-La Mancha (I.N.E., 2009).

Comparando ambos años se ha observado una disminución en el consumo de agua de un 81% con el riego por gravedad y un 20% con el riego por aspersión, mientras que el consumo de agua con riego por goteo se ha incrementado 21 veces (I.N.E., 2009), siendo la técnica de riego más eficiente. Esto se ha debido principalmente a que la superficie regada con riego por goteo ha experimentado un aumento considerable incrementándose un 102% la superficie regada con esta modalidad desde el 1999 hasta el 2009, mientras que los sistemas que han sufrido una mayor disminución durante el mismo período son el riego por gravedad, con una disminución del 68% de la superficie regada con esta técnica, y el de aspersión con una reducción del 58% de la superficie regada, como ya se ha indicado anteriormente (I.N.E., 1999; E.S.Y.R.C.E., 2009).

Además de que el viñedo, la cebada y el melón sean los cultivos que más superficie se les dedica en la Mancha, también son los cultivos con mayor consumo de agua, a pesar de que las necesidades hídricas son mayores en otros cultivos, como la alfalfa, maíz o remolacha entre otros, a los que se dedica una menor superficie (Figura 1-11) (P.E.A.G., 2008).

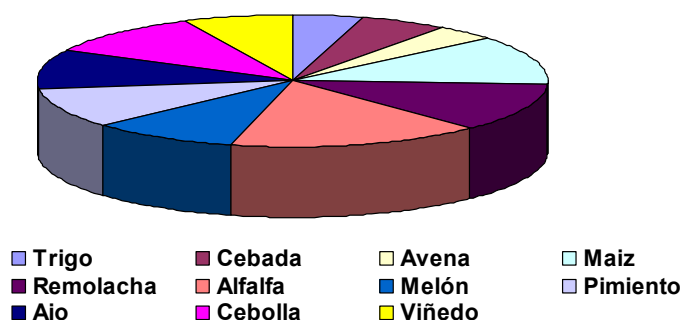


Figura 1-11. Necesidades hídricas teóricas ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de los cultivos de regadío de la comarca de La Mancha (P.E.A.G., 2008).

La rápida conversión en los últimos 30 años de grandes áreas en las tierras de regadío, junto con una falta de planificación y la legislación obsoleta que existía inicialmente, permitió que el volumen de agua extraída superara el volumen que podía ser repuesto de forma natural (Domínguez y de Juan, 2008). La mayor parte de la expansión del regadío se observó en la comarca de la Mancha, con agua subterránea (O.S.E., 2006). Todo ello condujo a que los principales acuíferos de la provincia, el acuífero Sistema 23 o acuífero de La Mancha Occidental (U.H. 04.04), uno de los acuíferos con mayor volumen en España, junto con el acuífero Sistema 24 o acuífero del Campo de Montiel (U.H. 04.06), con el que interacciona, fueran declarados sobreexplotados (Figura 1-12).

El Sistema acuífero 23 se localiza íntegramente en la cuenca del Guadiana, ocupando una superficie de unos 5210 km² y con 153000 ha de tierras en regadío (Domínguez y de Juan, 2008). Administrativamente se incluye un 80% en la provincia de Ciudad Real (3778,88 km²) y el resto se reparte entre Albacete (553,24 km²) y Cuenca (689,51 km²) (I.G.M.E., 1985b). El Sistema acuífero 24, con una superficie de 2610 km², de las cuales 2508 km² pertenecen a la cuenca del Guadiana y el resto 102 km² a la del Guadalquivir, distribuida por las provincias de Albacete (1394 km²) y Ciudad Real (1216 km², 18%) (A.E.U.A.S., 2011; I.G.M.E., 1985b). Este acuífero suministra agua a 7000 ha de tierras de regadío (Domínguez y de Juan, 2008).



Figura 1-12. Mapa de acuíferos legalmente declarados como sobreexplotados en Castilla-La Mancha (Fuente: JCCM, 2011).

Ambas Unidades se rigen actualmente por sendos Planes de Ordenación de Extracciones, fijándose anualmente sus respectivos regímenes de explotación anual.

La perspectiva de una mayor escasez de recursos hídricos, una mayor dependencia de la agricultura regional en las tierras de regadío, la sobreexplotación de los recursos

naturales y el aumento de la desertificación de la tierra han dado lugar a la creación de varias instituciones en Castilla-La Mancha, que tratan de resolver problemas colectivamente. En un esfuerzo por integrar la gestión de los recursos hídricos, los organismos públicos, centros de investigación, empresas privadas y asociaciones de regantes participan para llevar a cabo una gestión integral e integrada de los recursos hídricos. A través del Centro Regional de Estudios del Agua (C.R.E.A.) cuyo principal objetivo es alcanzar la sostenibilidad y obtener la máxima eficiencia de uso del agua en la región, con la que se trata de optimizar el uso de agua para la agricultura y mejora la competitividad de este sector para alcanzar un desarrollo sostenible. El Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (S.I.A.R.) es coordinado por C.R.E.A. de la Universidad de Castilla-La Mancha y dirigido por la Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha. C.R.E.A. junto con la labor desarrollada en el Centro Agrario El Chaparrillo, dependiente de la Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha, las zonas de regadío presentan diferentes niveles de asesoramiento. Además, es necesario destacar que los recursos hídricos en Castilla-La Mancha son gestionados por siete diferentes organismos públicos, que junto con las características de cada cuenca, plantea una alta variabilidad en la metodología de gestión (Domínguez y de Juan, 2008).

Otro de los problemas acuciantes en zonas de la agricultura de regadío, es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por nitratos, en las que se ha detectado un incremento de la concentración de nitratos que es elevada según los niveles establecidos en las Directivas del Consejo 75/440/CEE relativas a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable (modificada por la Directiva 79/869/CEE) y 80/778/CEE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, que establecen el límite máximo de nitratos permisible para considerar el agua como potable en 50 mg L^{-1} , aunque sería deseable no superar valores de 25 mg L^{-1} . Concentraciones elevadas de nitratos ($\geq 50 \text{ mg L}^{-1}$) en el agua potable puede ocasionar importantes alteraciones en la sangre de los humanos, manifestada en una falta de oxigenación en los tejidos y en la consecuente aparición de dificultades respiratorias y vértigos, e incluso pueden tener relación con el aumento del riesgo de padecer cáncer (López, 1994).

Con el fin de paliar este problema, la Comisión de la Unión Europea aprobó la Directiva 91/676/CEE, de 12 de Diciembre, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias, en la que se instó a las Comunidades Autónomas de los Estados miembros a la obligación de identificar las áreas cuyas masas de agua estuvieran afectadas por este tipo de contaminación o con riesgo de estarlo, y en la que se establecen los criterios para designar como zonas vulnerables aquellas superficies territoriales cuyo drenaje da lugar a esta contaminación.

Además, cada cuatro años como mínimo, se deben examinar, y si procede, modificarán o ampliarán las designaciones de las zonas vulnerables.

La integración de la citada Directiva en ordenamiento jurídico español se llevó a cabo por el Estado mediante Real Decreto 261/1996 (B.O.E. 11-3-96), denominándose como los Programas de Actuación sobre las zonas vulnerables.

En cumplimiento de esta legislación y a partir de los resultados obtenidos de los estudios elaborados por el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E., 1985), la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha declararon zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias a los acuíferos 23 y 24, Mancha Occidental y Campo de Montiel respectivamente en 1998 (Resolución del 07/08/98 publicado en el DOCM del 21 de Agosto de 1998). El uso inadecuado de los fertilizantes nitrogenados, principalmente por excesos en las cantidades aportadas, momentos y técnicas de aplicación; así como la escorrentía y filtración de líquidos procedentes de la actividad ganadera, son las principales causas de dicha contaminación.

La Mancha Occidental, un territorio aproximadamente coincidente con los límites del acuífero, cuenta con una superficie de 6953 km² que incluye íntegramente 32 términos municipales de las provincias de Ciudad Real, Cuenca y Albacete, con una población total de 251000 habitantes. Tiene una importante carga de N aplicado al suelo que se puede cifrar en 19500 t de N año⁻¹, de la que el 45% procede de la fertilización de cultivos de regadío y el resto de cultivos de secano y ganadería extensiva.

El Campo de Montiel abarca un territorio de 3192 km² incluyendo íntegramente 17 términos municipales con una población total de 28000 habitantes, en donde la carga de N aplicado al suelo es de unas 5300 t de N año⁻¹, de las que un 14% son debidas a la fertilización de 6300 ha de regadío y el resto a cultivos de secano y ganadería extensiva (D.O.C.M. N° 38 del 21 de Agosto de 1998).

El 42% de los puntos muestreados en las aguas subterráneas de la Mancha Occidental estuvieron por encima de 50 mg L⁻¹ y el 58% por encima de 25 mg L⁻¹. Sin embargo, en el Campo de Montiel, el 98% de los puntos muestreados presentaron una concentración superior a 50 mg L⁻¹ (D.O.C.M. N° 38 del 21 de Agosto de 1998).

El problema se agrava dado que, en ambos territorios, las aguas subterráneas son la fuente fundamental de abastecimiento a poblaciones, frecuentemente la única (D.O.C.M. N° 38 del 21 de Agosto de 1998). Por ello será necesario proceder a la potabilización de las aguas captadas, desde el simple proceso de filtración, al más complejo de ósmosis inversa (Gil Díaz, 2000).

Además en 2009 se designa otra nueva zona vulnerable en la provincia de Ciudad Real, la zona de Campo de Calatrava (Orden 21/05/2009, de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente) que comprende 21 términos municipales.

A partir de la primera designación de zonas vulnerables en Castilla-La Mancha, con la Mancha Occidental y el Campo de Montiel en 1998, la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente declaran vulnerables en 2003 la zona de la Mancha Oriental, la zona de Lillo-Quintanar-Ocaña-Consuegra-Villacañas, la zona de Alcarria-Guadalajara y la zona de Madrid-Talavera-Tiétar (Resolución de 10/02/2003). En 2010, se designan como nuevas zonas vulnerables la zona de Lezuza, que se integra en la zona vulnerable “Campo de Montiel”; Peñas de San Pedro y Caudete, que se integran en la zona vulnerable “Mancha Oriental” (Orden de 04/02/2010, de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente). El mapa de zonas vulnerables en Castilla-La Mancha declaradas actualmente se muestra en la Figura 1-13.

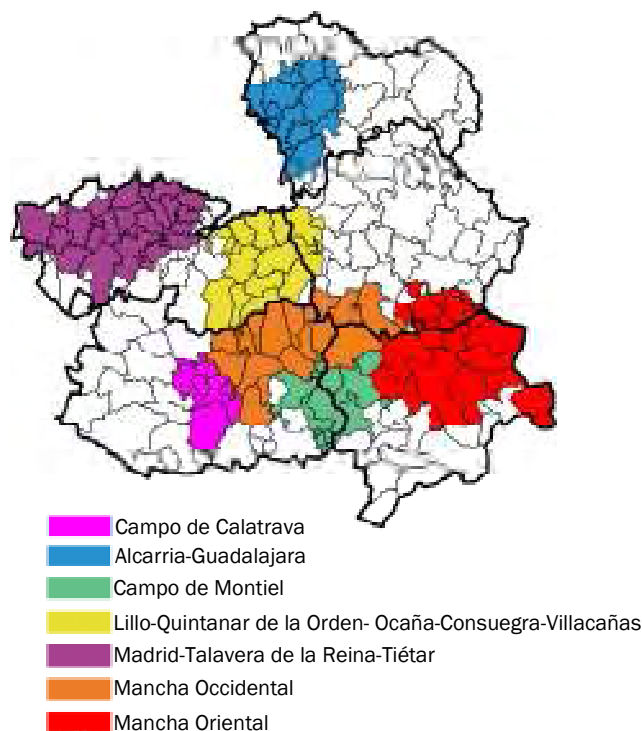


Figura 1-13. Zonas vulnerables a la contaminación de nitratos en Castilla-La Mancha declaradas actualmente (A.S.A.J.A. y Consejería de Medio Ambiente (2007), actualizado con la Orden 21/05/2009 y la Orden 04/02/2010).

Esto ha hecho que Castilla-La Mancha sea la región de España con más superficie declarada vulnerable a la contaminación por nitratos.

Ante esta perspectiva, se desarrolló el Programa de Actuación aplicable a las zonas vulnerables, con el objeto de prevenir la contaminación causada por los nitratos de origen agrario, donde se adoptan una serie de medidas de obligado cumplimiento que racionalicen el uso de la fertilización nitrogenada y del agua. Los Programas de Actuación

se publican en el DOCM N° 73 del 26 de Junio de 2001, DOCM N° 197 del 21 de Octubre de 2004 y en el DOCM N° 32 del 16 de Febrero de 2010. Se establece así una aportación máxima de N en función de la fuente del N, ya sea fertilizante mineral, estiércoles u otros tipos de fertilizantes nitrogenados; del cultivo y de la zona vulnerable. Para el melón se establece un máximo de fertilizantes nitrogenados de $135 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en la Mancha Occidental, $110 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el Campo de Montiel (DOCM N° 73 del 26 de Junio de 2001) y de $130 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en la Zona de Madrid-Talavera-Tiétar (DOCM N° 197 del 21 de Octubre de 2004). Pero considerándose el N que se puede aportar con el agua de riego, principalmente en forma de nitratos, y que en el acuífero 23 se ha llegado a detectar concentraciones de 400 mg L^{-1} (I.G.M.E., 1985), aunque la media es de 150 mg L^{-1} , y teniendo en cuenta la dosis permitida de fertilizante nitrogenado se puede llegar a una aplicación de más de $250 \text{ kg de N ha}^{-1}$, y estos datos no tienen en cuenta además el N disponible proporcionado por el propio suelo.

Ante esta situación, y con el convencimiento de desarrollar las herramientas necesarias para la optimización de los sistemas de producción dentro de una agricultura de regadío sostenible y compatible con el medio ambiente, es urgente la adopción de medidas que racionalicen el uso de la fertilización nitrogenada. Se pretende extender el cumplimiento de las Buenas Prácticas Agrarias y Conservación del Medio Ambiente que permitan la conservación del suelo, una utilización óptima de la energía, una utilización eficiente del agua, conservación de la biodiversidad, utilización racional de fertilizantes y de fitosanitarios, con las que se pretende reducir la contaminación de origen agrario, al mismo tiempo que se reducen los costes de producción, manteniendo los rendimientos y la calidad de los productos agrícolas, sin que se vean mermados los beneficios obtenidos por los agricultores.

CAPÍTULO 2

El cultivo de melón
fertirrigado como objeto de
estudio. Importancia
económica y científica.

Las hortalizas tienen cada día más presencia en Castilla-La Mancha y, en general, demandan elevadas cantidades de agua. De estas, el melón es el objeto del estudio ya que, como se ha mencionado en el capítulo anterior, es el segundo cultivo hortícola de Castilla-La Mancha, después de la cebolla, con el 21% de la superficie total destinada a los cultivos hortícolas en la región, de los que el 20% se cultiva en regadío y el 1% restante en secano (M.A.R.M., 2010). En Ciudad Real, el melón es el principal cultivo hortícola y representa el 51% de la superficie hortícola de la provincia, del cual el 100% se cultiva en regadío y al aire libre.

De entre los distintos tipos de melón, el “Piel de sapo” es el cultivo estrella y mayoritario que se cultiva en Castilla La Mancha. Además, este tipo de melón se ha incluido en el Registro de las Indicaciones Geográficas Protegidas como Melón de la Mancha con el nº CLM-009/03 (Reglamento (CEE) nº 2081/92, del Consejo, de 14 de julio de 1992, relativo a la protección de las indicaciones geográficas y de las denominaciones de origen de los productos agrícolas y alimenticios). De entre sus objetivos destacan mejorar la calidad del melón, efectuando el seguimiento del producto desde la fase de la producción, hasta su llegada al consumidor final, así como realizar actuaciones que tengan por objeto una mejor defensa del medio ambiente, como sería reducir el riesgo de contaminación de nitratos a través de la optimización de la fertilización nitrogenada sin que con ello se vean mermadas la producción y la calidad. La Indicación Geográfica Protegida sólo se aplica a melones “Piel de Sapo” (I.G.P., 2011).

El cultivo del melón se realiza principalmente entorno a la cuenca del Alto Guadiana, que abarca, entre otros, los principales acuíferos de la región, el acuífero Sistema 23 y acuífero Sistema 24.

En estas zonas, en la que se desarrolla una agricultura intensiva y que se caracteriza por unas condiciones climáticas semiáridas, la aplicación de riego y fertilizantes es necesaria para incrementar la producción de los cultivos. Ambos elementos deben aplicarse en cantidades óptimas, ya que un exceso de riego supone un lavado de los nitratos lo que contribuiría a la contaminación de las aguas subterráneas y un exceso de N, además de afectar a la producción y calidad de la fruta, causa graves problemas medioambientales.

Como se ha comentado en el capítulo anterior, en Castilla-La Mancha existe el Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) y junto con los trabajos desarrollados en años anteriores en el Centro Agrario El Chaparrillo sirven para que los agricultores consigan un manejo racional y eficiente del agua, con un apoyo científico-técnico. Esto ha hecho que la investigación reciente en melón se haya centrado principalmente en el riego,

determinando las necesidades de agua, la influencia del riego (Ribas et al., 1995; 2000; 2001 y 2003) y la mejora de uniformidad y de la eficiencia de distribución del agua por parte de los equipos de riego (Ortega et al., 2003). Sin embargo, la información disponible sobre la influencia de la fertilización nitrogenada es prácticamente nula en estas condiciones de cultivo, elaborándose criterios de fertilización subjetivos con dosis a menudo desproporcionadas (Rincón et al., 1997), lo que aumenta el riesgo de lixiviación de nitratos empeorando la situación ya agravada en los acuíferos de la zona. De hecho, en la Página Web del SIAR, además del asesoramiento personalizado para el regante, existe una aplicación online que permite a los agricultores la realización de un balance simplificado de fertilización mineral (NPK) de los cultivos más importantes de Castilla-La Mancha, en consideración de las normas legales de aplicación de la fertilización (Martínez et al., 2007). Con los resultados obtenidos en este estudio se pretende mejorar este asesoramiento a los agricultores.

Con todo ello, resulta necesario desarrollar estudios encaminados a optimizar la dosificación de la fertilización nitrogenada que permitan su inclusión en las Buenas Prácticas Agrícolas con las que se mejore la producción y calidad de la cosecha y se minimice el impacto medioambiental, dentro de una agricultura de regadío sostenible.

Al igual que en otros cultivos de cucurbitáceas (Tanemura et al., 2008), el melón presenta múltiples cosechas y a partir de la primera cosecha del fruto, el crecimiento de la parte vegetativa de la planta continúa junto con el desarrollo del fruto, siendo necesario aplicar N durante el período de cosecha. Por esta razón no sólo es importante conocer las necesidades de N durante todo el ciclo de cultivo, sino que también es necesario conocer la dinámica de absorción de N de acuerdo con la etapa vegetativa para alcanzar la máxima eficiencia del uso de N.

2.1. Importancia económica del melón.

2.1.1. Producción y comercio a nivel mundial.

Durante el período comprendido entre 1975 a 2009, la producción mundial de melón aumentó de 7596189 t a 27726563 t, lo que supuso un crecimiento del 265% (Figura 2-1). La superficie dedicada a su cultivo se incrementó un 141%, pasando de 534239 ha a 1288804 ha. El rendimiento también se incrementó un 51%, al pasar de 14,2 t ha⁻¹ a 21,5 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2009).

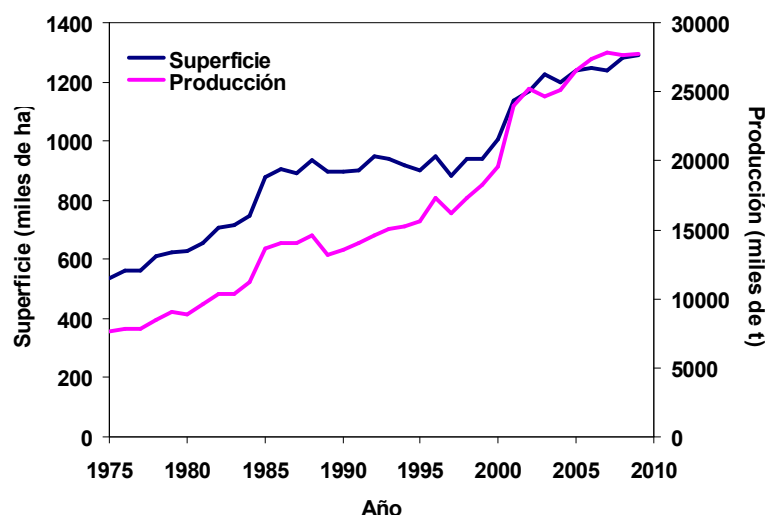


Figura 2-1. Evolución de la producción y la superficie de cultivo de melón a nivel mundial durante el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).

El mayor productor de melón del mundo es China, le siguen en importancia Turquía, Irán, Estados Unidos y España, que actualmente es el quinto productor a nivel mundial.

China obtuvo el 18% de la producción mundial de melón en 1975 y el 53% en 2009 (Figura 2-2), con el 17% y el 45% de la superficie destinada al melón a nivel mundial en cada año respectivamente (Figura 2-3). Turquía, ha pasado de producir el 18% de la producción mundial, con el 14% del área cultivada en 1975, a un 6%, con una superficie del 8% en 2009. Irán obtuvo un 4% de la producción mundial tanto en 1975 como en 2009, con una superficie del 6% en cada año. Estados Unidos en 1975 tuvo un 7% de la producción mundial, con una superficie cultivada del 7%, y en 2009 un 4%, con un 3% de la superficie. España obtuvo el 12% de la producción mundial, con una superficie del 13% en 1975, y un 4% con una superficie del 2% en 2009 (FAOSTAT, 2009).

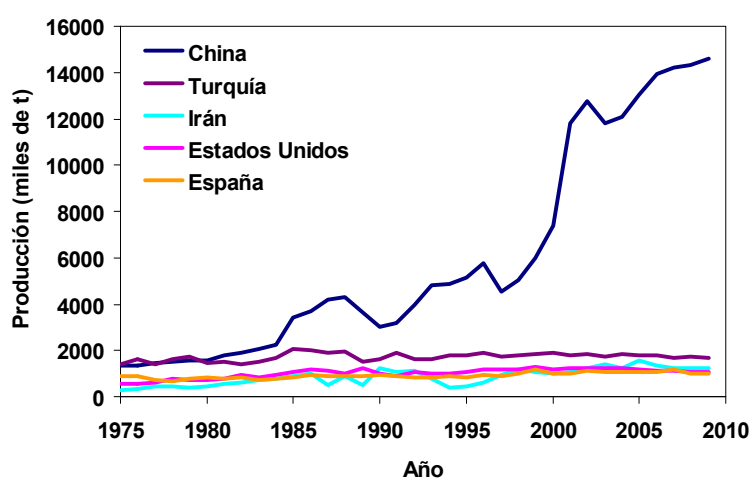


Figura 2-2. Evolución de la producción de melón de los cinco países de mayor producción a nivel mundial durante el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).

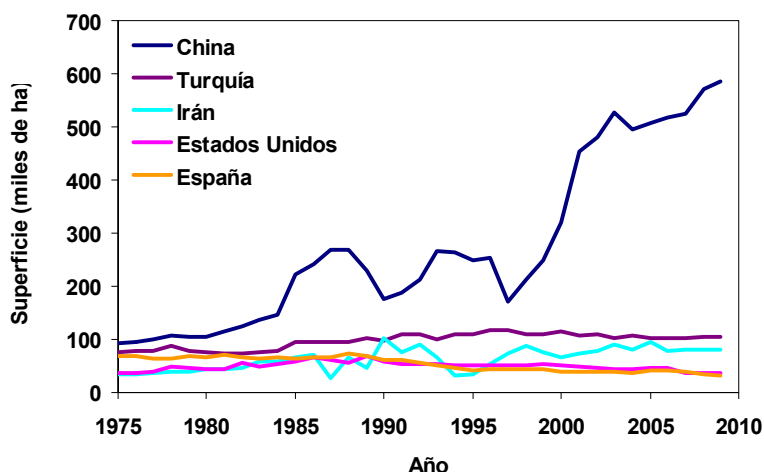


Figura 2-3. Evolución de la superficie de cultivo del melón en los cinco países con mayor producción a nivel mundial en el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).

El rendimiento de melón en China se incrementó un 73% al pasar de 14,4 t ha⁻¹ en 1975 a 25 t ha⁻¹ en 2009 (Figura 2-4). Turquía experimentó una reducción del rendimiento del 14% ya que en 1975 fue de 18,7 t ha⁻¹ y en 2009 de 16,0 t ha⁻¹. Irán incrementó el rendimiento de melón un 74% pasando de 8,8 t ha⁻¹ en 1975 a 15,4 t ha⁻¹ en 2009. Estados Unidos obtuvo 15,6 t ha⁻¹ en 1975 y 28,4 t ha⁻¹ en 2009, incrementando un 83%. España ha sido el país que mayor incremento en el rendimiento ha experimentado entre 1975 y 2009, con un aumento del 144%, al pasar de 13,1 t ha⁻¹ a 32,0 t ha⁻¹.

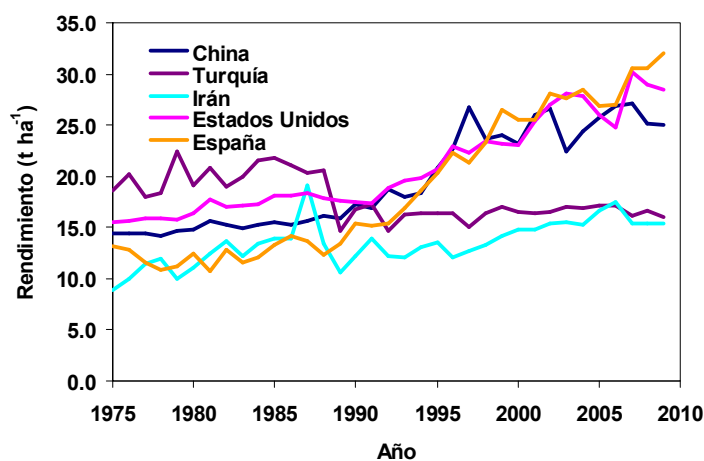


Figura 2-4. Evolución del rendimiento de melón en los cinco países con mayor producción a nivel mundial en el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).

El mayor exportador mundial de melón en 2009 fue Guatemala, le siguieron en importancia España, Honduras, Estados Unidos y Brasil (FAOSTAT, 2009) (Figura 2-5).

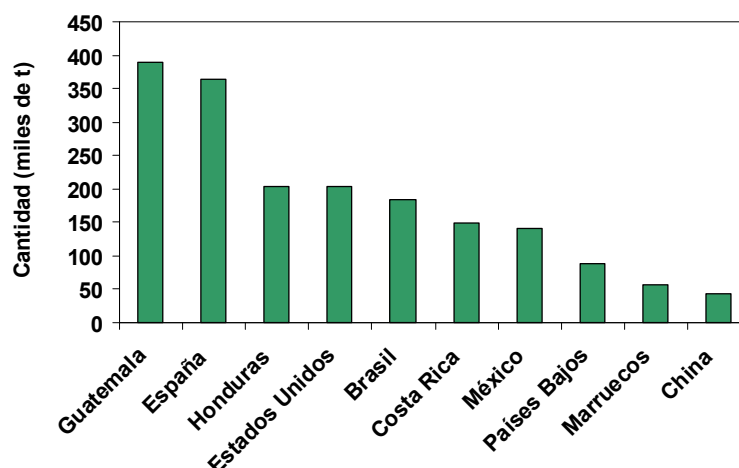


Figura 2-5. Diez países principales en exportación de melón en 2009 (FAOSTAT, 2009).

La evolución de la exportación de melón en España experimentó un importante incremento pasando de 63566 t en 1975 a 363180 t en 2009, con un incremento del 471% (Figura 2-6). El despegue en las exportaciones de melón en España se observó a partir de 1983 y los grandes incrementos se dieron desde 1993 hasta 1996. A partir de 1998 se observaron importantes variaciones interanuales de las exportaciones del melón, en ocasiones las disminuciones detectadas han coincidido con disminuciones en el rendimiento, aunque a partir de 2004 y hasta 2008 se están reduciendo las exportaciones, aún cuando el rendimiento se ha incrementado en los últimos años, debido a una disminución de la superficie cultivada, sin embargo en el 2009, las exportaciones han vuelto a incrementarse. La mayor parte de la producción exportada por España esta destinada a abastecer el mercado europeo, principalmente a Francia y Alemania (De Pablo, 2002).

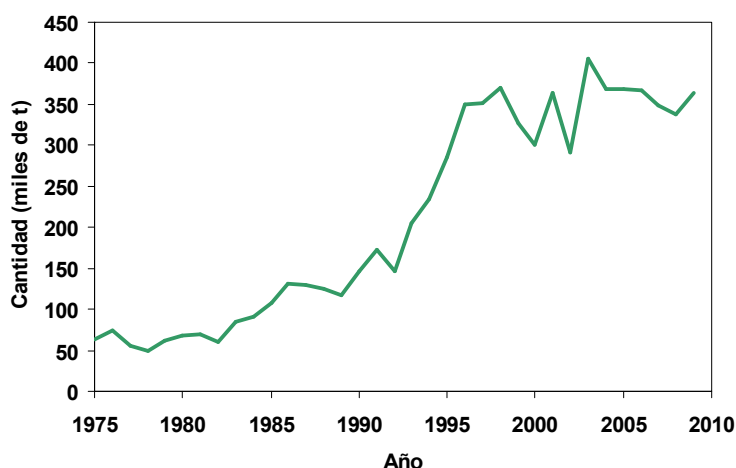


Figura 2-6. Evolución de la exportación de melón en España en el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).

Con respecto a las importaciones, el mayor importador mundial de melón en 2009 fue Estados Unidos, ocupando España el octavo puesto (FAOSTAT, 2009) (Figura 2-7). Nuestra principal fuente de suministro de melón es Brasil (MITYC, 2009).

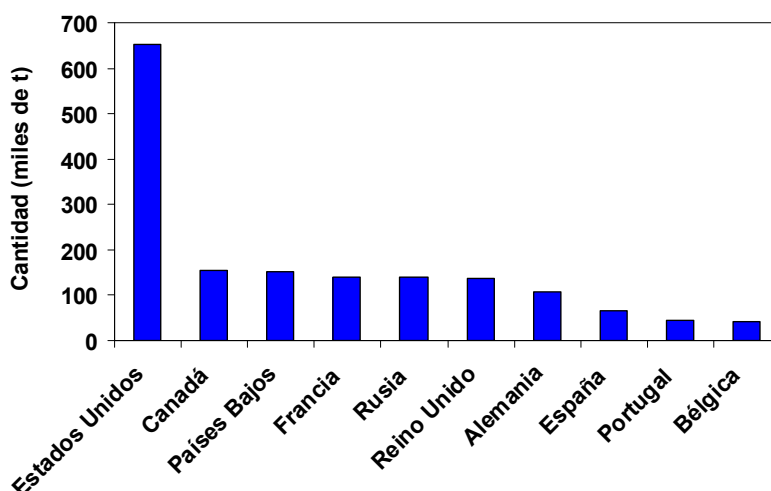


Figura 2-7. Diez países principales en importación de melón en 2009 (FAOSTAT, 2009).

Con respecto a la evolución de la importación de melón en España (Figura 2-8), entre 1975 y 1990, las importaciones fueron muy bajas e incluso nulas, pero a partir del último año, se produce un incremento de las importaciones alcanzando su máximo valor en 2008 (66989 t), mientras que en 2009 disminuyó un 3% (64731 t) (FAOSTAT, 2009), aunque la mayor parte del consumo de melón es cubierto por la producción nacional.

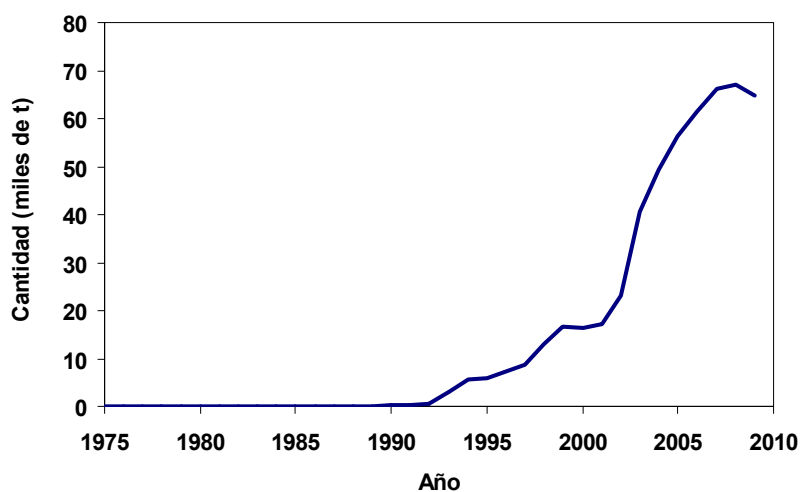


Figura 2-8. Evolución de la importación de melón en España en el período comprendido entre 1975 y 2009 (FAOSTAT, 2009).

2.1.2. Producción y comercio en España.

En España, de todas las hortalizas cultivadas en 2009, el tomate fue al que mayor superficie se le dedicó con 63838 ha, seguido en importancia por la lechuga con 32557 ha y el melón con 31327 ha, de las cuales el 7% se dedicaron al cultivo en secano y el 93% en regadío, siendo el 68% al aire libre y el 26% en invernadero (M.A.R.M., 2010) (Figura 2-9). La mayor producción obtenida en ese mismo año fue la del tomate con 4798053 t, seguida de la cebolla con 1256288 t y la del melón con 984786 t (Figura 2-10) de las

cuales el 1% se obtuvo en secano, el 68% al aire libre y el 31% en invernadero (M.A.R.M., 2010).

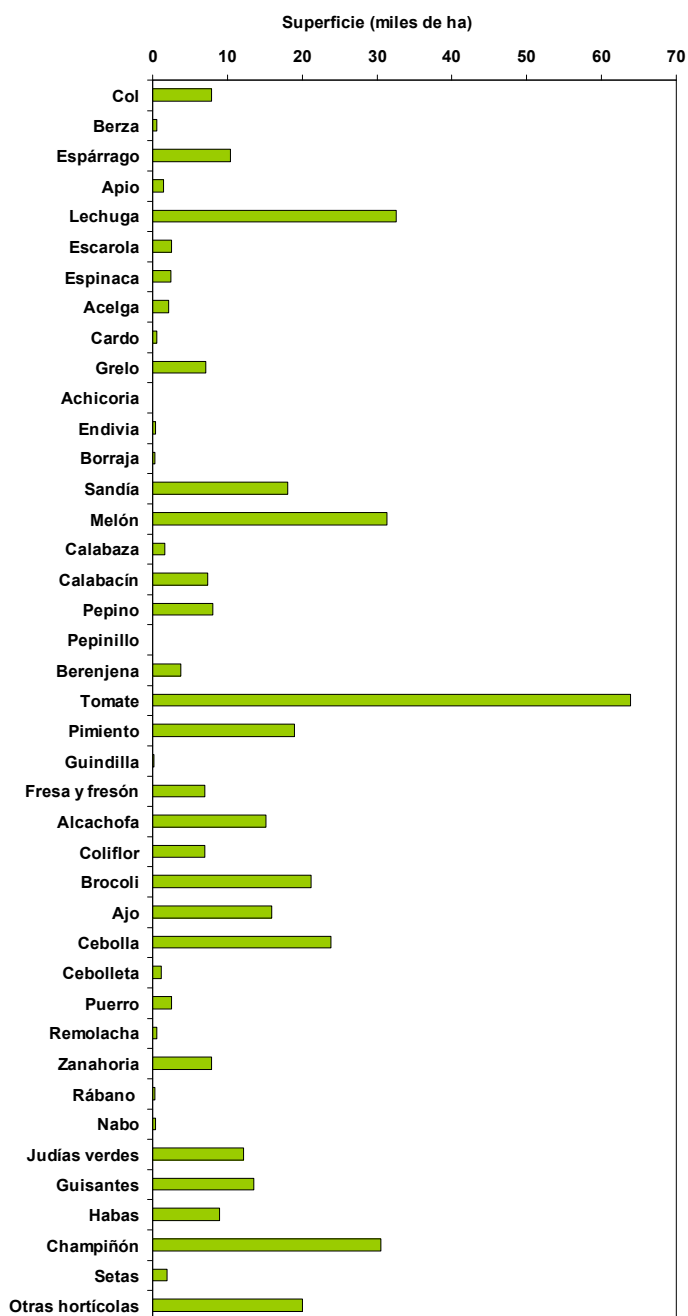


Figura 2-9. Superficie dedicada a cada hortaliza cultivada en España en 2009 (M.A.R.M., 2010).

2. El cultivo del melón fertirrigado como objetivo de estudio

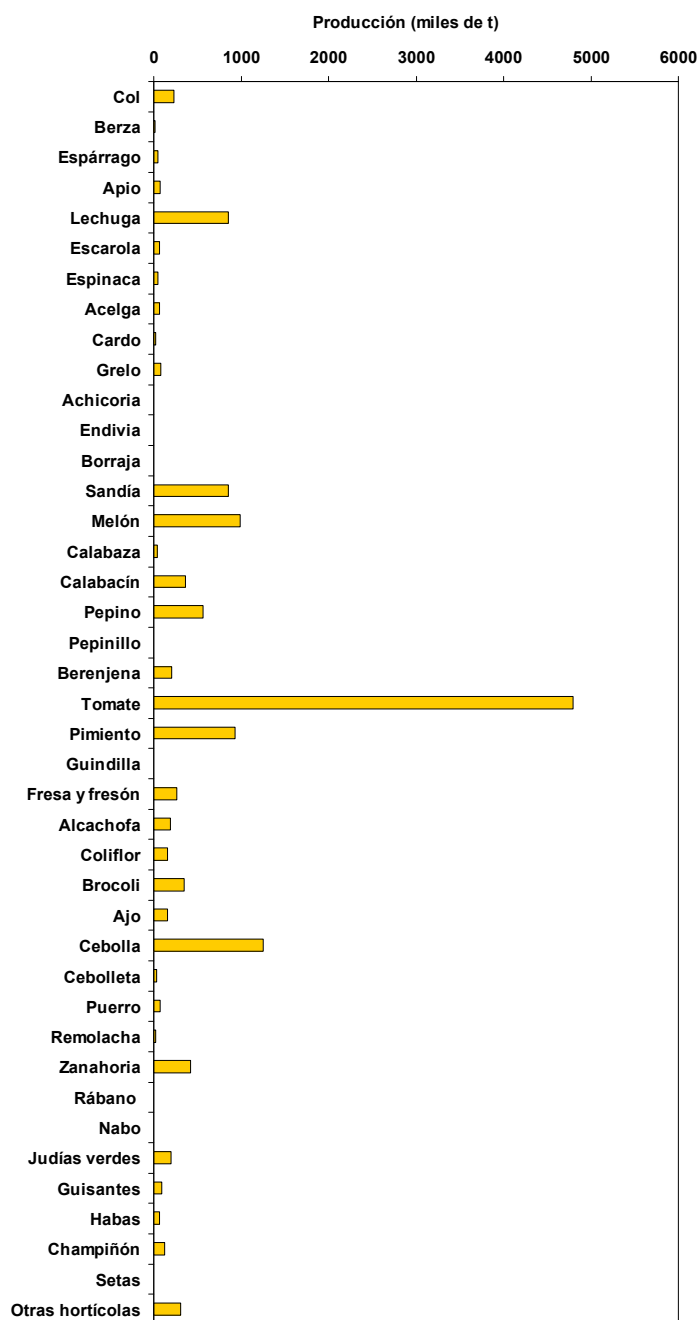


Figura 2-10. Producción de hortalizas cultivadas en España en 2009 (M.A.R.M., 2010).

Geográficamente, Castilla La Mancha fue la comunidad que mayor superficie dedicó al cultivo del melón con 10570 ha, que supusieron el 34% de la superficie nacional, seguida de Andalucía con un 28% y de Murcia con el 19% (M.A.R.M., 2010) (Figura 2-11). En Castilla La Mancha el 94% de la superficie destinada a este cultivo fue en regadío y al aire libre, y el 6% restante en secano (M.A.R.M., 2010).

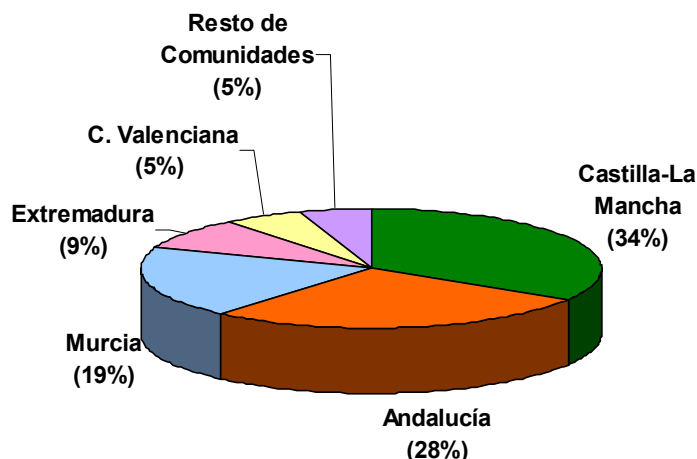


Figura 2-11. Superficie dedicada al cultivo de melón por comunidades autónomas en España en 2009 (M.A.R.M., 2010).

En cuanto a la producción de melón a nivel nacional, Castilla La Mancha fue la comunidad que mayor producción de melón presentó con 323699 t, que representaron el 33% de la producción nacional, seguida de Andalucía con el 28% y de Murcia con el 23% (M.A.R.M., 2010) (Figura 2-12). El 99% de la producción obtenida en Castilla La Mancha fue en regadío y al aire libre (M.A.R.M., 2010).

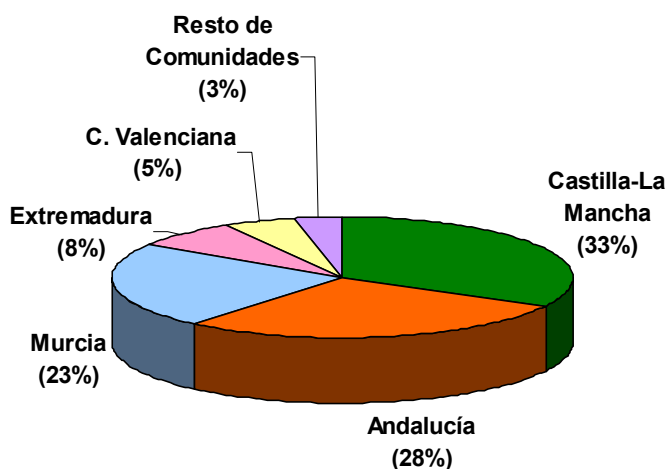


Figura 2-12. Producción de melón obtenida en 2009 por comunidades autónomas en España (M.A.R.M., 2010).

Por provincias, Ciudad Real fue la que mayor superficie destinó al cultivo de melón con 8492 ha, el 27% de la superficie nacional, seguida de Murcia con el 19% y Almería con el 14% (M.A.R.M., 2010) (Figura 2-13). En Ciudad Real el 100% de la superficie destinada a este cultivo fue en regadío y al aire libre ((M.A.R.M., 2010).

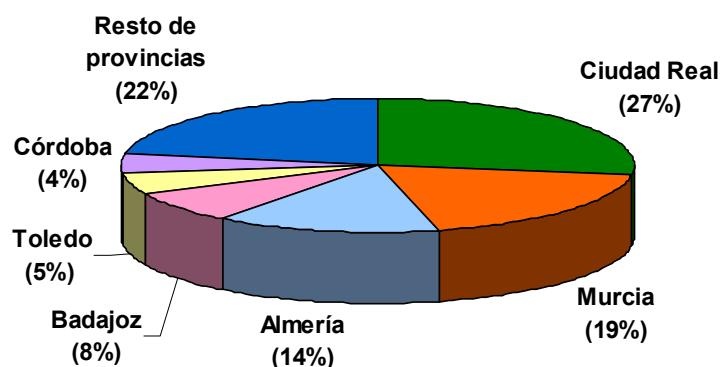


Figura 2-13. Superficie dedicada al cultivo de melón por provincias en España en 2009 (M.A.R.M., 2010).

Ciudad Real fue la provincia que mayor producción obtuvo a nivel nacional con 297220 t, el 30% de la producción nacional, seguida de Murcia con el 23% y de Almería con el 17% (M.A.R.M., 2010) (Figura 2-14).

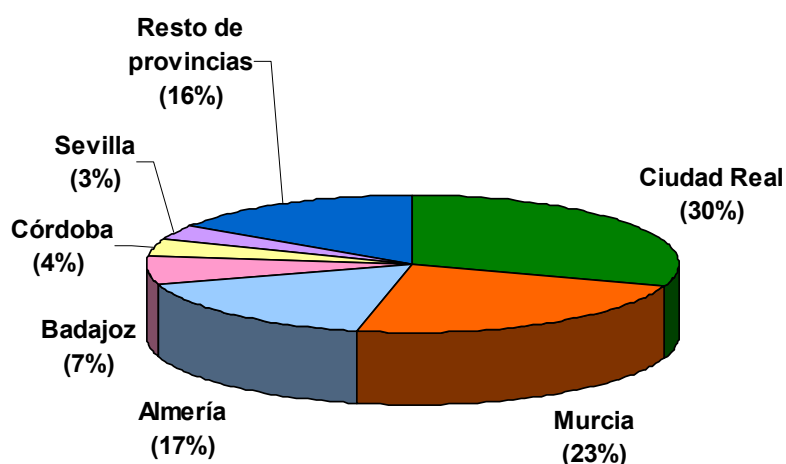


Figura 2-14. Producción de melón obtenida en 2009 por provincias en España (M.A.R.M., 2010).

En España, de todas las hortalizas exportadas en 2009, el melón fue el sexto producto más exportado con 363597 t, superándole en exportación el tomate, seguido de la lechuga, el pimiento, el pepino y la sandía (FEPEX, 2010).

El líder de las exportaciones españolas de melón es Murcia, con el 46% del total, seguida de Andalucía (28%), Comunidad Valenciana (18%), Castilla-La Mancha (3%), Cataluña (3%) y el resto de provincias con un 2% (Figura 2-15) (FEPEX, 2010).

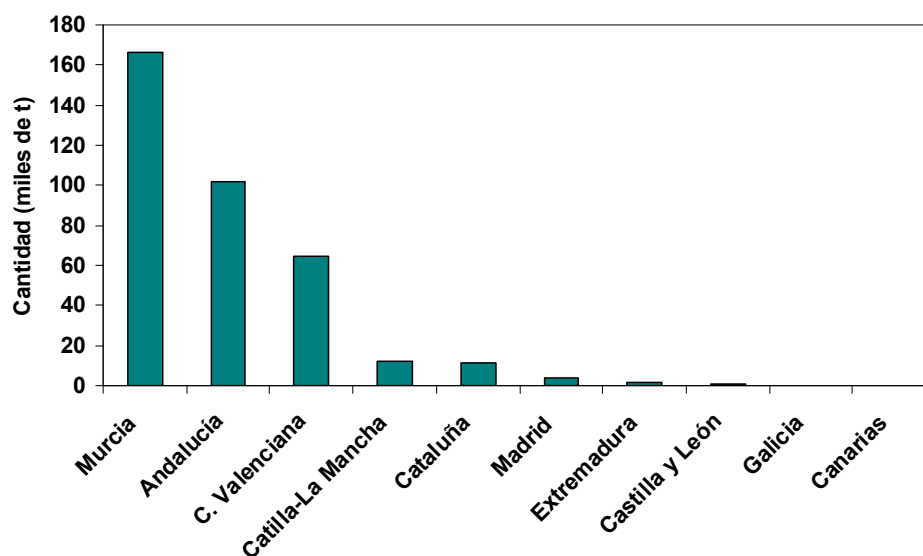


Figura 2-15. Principales autonomías españolas exportadoras de melón en 2009 (FEPEX, 2010).

Por provincias, es Murcia la que lidera las exportaciones de melón, seguida de Almería, Valencia, Alicante y Ciudad Real que es la quinta provincia con mayor cantidad de melón exportado (Figura 2-16) (FEPEX, 2010).

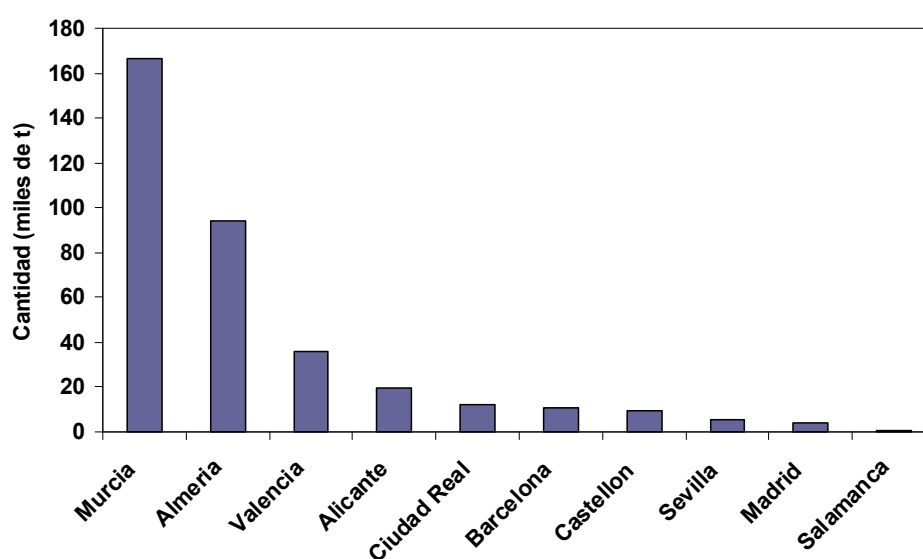


Figura 2-16. Diez principales provincias españolas exportadoras de melón en 2009 (FEPEX, 2010).

Con respecto a las hortalizas importadas por España en 2009, el melón ocupó el quinto lugar, con 64858 t, quedando por delante la patata, que es la más importada, seguida del tomate, la judía y la cebolla (FEPEX, 2010).

2.2. Situación científica: Antecedentes.

La revisión bibliográfica realizada, considerando el período comprendido desde 1935 hasta 2010, ha revelado que el 41% de los artículos publicados en revistas científicas con índice de impacto sobre la nutrición nitrogenada en el melón se han publicado durante la última década (Figura 2-17).

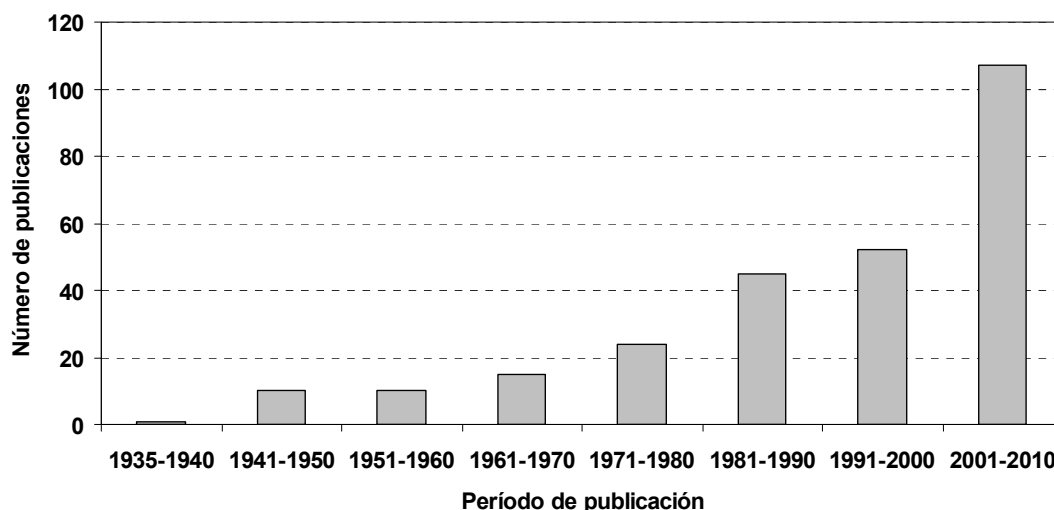


Figura 2-17. Artículos publicados en revistas con índice de impacto relacionados con la nutrición nitrogenada en melón desde 1935 hasta 2010 (Extraídos de la consulta realizada en la base de datos CAB DIRECT).

Demostrada la importancia del melón anteriormente no sólo a nivel nacional sino también a nivel internacional, la revisión bibliográfica examinada acerca de la influencia del N y de los requerimientos nutricionales de este elemento en este cultivo ha revelado numerosas contradicciones, interrogantes y deficiencias como veremos a continuación.

La mayoría de los trabajos revisados en la literatura se han realizado con melón de diferentes tipos como muskmelon (Wilcox, 1973; Prabhakar et al., 1985; Rao and Srinivas, 1990; Kirnak et al., 2005; entre otros autores) y cantalupo (Flocker et al., 1965; Suárez, 1991; Orsini et al., 2009; entre otros autores) pertenecientes a la variedad (var.) *cantalupensis*, con el 60% de los artículos revisados durante el período comprendido entre 1935 y 2010 (Figura 2-17).

El 9% de los trabajos consultados en la literatura pertenecen al melón var. *inodorus*, grupo al que pertenece el melón piel de sapo objeto de estudio de la presente tesis (Figura 2-17). Dentro de esta variedad, la mayoría de los trabajos consultados están realizados con cultivares de melón amarillo (Buzetti et al., 1993; Pinto et al., 1994; Faria et al., 2000; Coelho et al., 2001; entre otros autores) y en menor número con melón honeydew (Lazin and Simonds, 1982; Secer and Unal, 1990; Hernández et al., 1995; entre

otros autores) y con melón verde o español (Silva Júnior et al., 2006; Silva Júnior et al., 2007; Tomaz et al., 2008), al que pertenece el melón piel de sapo.

En menor cantidad la bibliografía consultada se ha dedicado al melón oriental perteneciente a la var. conomon (Hassan et al., 1984; Han et al., 1993; Anitha et al., 2003), melón snap de la var. momordica (Meena et al., 2005) y , por último, melón de bolsillo de la var. dudaim (El-Sheikh et al., 1970), cada uno de ellos con el 2%, 0.4% y 0.4% de los trabajos consultados (Figura 2-17). El resto de los trabajos revisados en la literatura no especifican la variedad de melón estudiada (Figura 2-17).

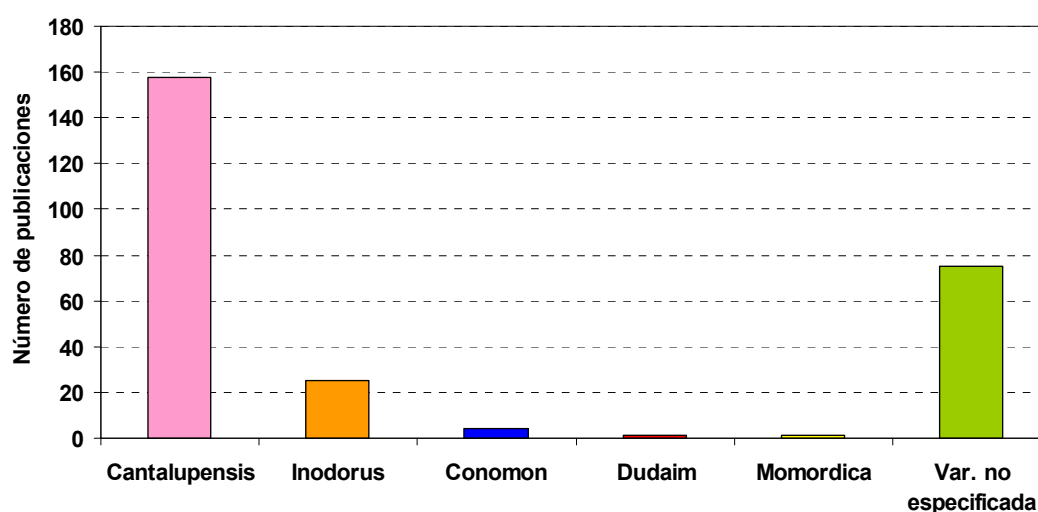


Figura 2-18. Artículos publicados en revistas con índice de impacto en función de la variedad de melón estudiada desde 1935 hasta 2010 (Extraídos de la consulta realizada en la base de datos CAB DIRECT).

Numerosos son los autores que afirman que las estrategias de manejo del N en un cultivo dado deberían ser específicas para un ambiente determinado ya que su efectividad varía según la variedad, el clima, el suelo, el agua de riego, el rendimiento y el manejo del cultivo.

Como se ha apuntado anteriormente, la mayoría de los trabajos encontrados en la literatura sobre el melón se han realizado con tipos diferentes al melón piel de sapo, así como diferentes son las recomendaciones de N a aplicar. Si se observa la Tabla 2-1, las recomendaciones de N varían en un amplio rango, desde 34 kg N ha⁻¹, en un estudio con melón Cantalupo (var. Cantalupensis) (Flocker et al., 1965), hasta 393 kg N ha⁻¹ con muskmelon (var. Cantalupensis) (Fontes et al., 2004).

Entre los distintos tipos de melón, existen diferentes características y exigencias nutricionales, así como una distinta arquitectura de planta, por lo que las prácticas de cultivo deben estar bien definidas para cada una de ellas. Sin embargo, para el melón piel

2. El cultivo del melón fertirrigado como objetivo de estudio

de sapo, con una creciente demanda en el mercado, no sólo a nivel nacional sino también internacional, son insuficientes.

Debido a esto, si nos centramos en los trabajos encontrados sobre el melón var. Inodorus, y principalmente en aquellos que se realizan en campo y al aire libre, dado que es la práctica habitual para el melón en la región, descartando así aquellos trabajos realizados en invernadero, se observa un rango de fertilización más estrecho, desde 70 kg N ha⁻¹ en un estudio con melón honeydew (Hernández et al., 1995) hasta 200 kg N ha⁻¹ en un estudio con melón amarillo (Silva et al., 2007a) (Tabla 2-1).

Tabla 2-1. Dosis de N aplicado recomendada por distintos autores en función de la variedad y el tipo de melón.

Autor	Variedad	Tipo	Dosis aplicada recomendada (Kg N ha ⁻¹)
Brantley and Warren, 1961	Cantalupensis	Muskmelon	75
Wilcox, 1973	Cantalupensis	Muskmelon	80-90
Prabhakar et al., 1985	Cantalupensis	Muskmelon	100
Bhella and Wilcox, 1989	Cantalupensis	Muskmelon	67
Rao and Srinivas, 1990	Cantalupensis	Muskmelon	100
Fontes et al., 2004	Cantalupensis	Muskmelon	393
Kirnak et al., 2005	Cantalupensis	Muskmelon	120
Coelho et al., 2003	Cantalupensis	Muskmelon	344
Mota and Amaro Filho, 2002	Cantalupensis	Muskmelon	100
Flocker et al., 1965	Cantalupensis	Cantalupo	34
Suárez, 1991	Cantalupensis	Cantalupo	100
Pérez-Zamora et al., 2004	Cantalupensis	Cantalupo	120 (210 N total)
Orsini et al., 2009	Cantalupensis	Cantalupo	80
Buzetti et al., 1993	Inodorus	melón amarillo	113
Pinto et al., 1994	Inodorus	melón amarillo	90
Faria et al., 2000	Inodorus	melón amarillo	80
Coelho et al., 2001	Inodorus	melón amarillo	120
Silva et al., 2007a	Inodorus	melón amarillo	200
Silva et al., 2007b	Inodorus	melón amarillo	150
Lazin and Simonds, 1982	Inodorus	honeydew	101
Hernández et al., 1995	Inodorus	honeydew	70
Da Silva Júnior et al., 2006	Inodorus	Melón verde o español	98
Da Silva Júnior et al., 2007	Inodorus	Melón verde o español	98
Tomaz et al., 2008	Inodorus	Melón verde o español	91
Hassan et al., 1984	Conomon	melón oriental	97
Anitha et al., 2003	Conomon	melón oriental	70
Meena et al., 2005	Momordica	melón snap	60

El melón piel de sapo se caracteriza por un peso medio entorno a 3-3,5 kg, con lo que la biomasa vegetativa de la planta es muy importante, concretamente la biomasa foliar debe tener un rápido crecimiento para producir así una gran cantidad de asimilados que irán principalmente a los frutos durante su crecimiento y desarrollo, también el que dicha biomasa foliar esté en cantidad suficiente como para cubrir los frutos y evitar problemas, como por ejemplo el asolamiento de los frutos, haciendo que estos pierdan su valor

comercial. El melón amarillo se le exige un peso de 2 kg por lo que la biomasa vegetativa en este tipo de melón no es tan importante como en el piel de sapo.

Centrándonos en los trabajos encontrados específicamente del melón piel de sapo, estos recomiendan dosis comprendidas entre 91 (Tomaz et al., 2008) y 98 kg N ha⁻¹ (Da Silva Júnior et al., 2006), aunque no son concluyentes.

Por ejemplo, Da Silva Júnior et al. (2006) estudiaron las curvas de extracción de nutrientes aplicando para ello 98 kg ha⁻¹ de N total (83 kg ha⁻¹ aplicados mediante fertirrigación, de los cuales el 70% fue aplicado en forma de urea). Observaron que a los 54 días después de la siembra (DDS) la planta acumuló la mayor cantidad de N y a los 69 DDS, como consecuencia de un ataque fitopatológico, se produjo una reducción en la acumulación de N, con lo que sus resultados no fueron concluyentes.

La cantidad y la cinética del N tomado por una planta son los factores más importantes para programar la fertilización nitrogenada y varían en función de la variedad, el clima, el suelo, el agua de riego, el rendimiento y el sistema de cultivo.

Da Silva Júnior et al. (2007) combinaron tres dosis de N (83 (N1), 119 (N2) y 156 (N3) kg ha⁻¹ de N) con otras tres dosis de potasio en un cultivo de melón piel de sapo. Obtuvieron una extracción de N por la planta muy similar en los tres tratamientos y las pérdidas de N en el sistema suelo-planta fueron mayores con el incremento del N aplicado, lo que indica que la dosis más adecuada fue 83 kg ha⁻¹ de N.

Tomaz et al. (2008) en su estudio de biomasa del melón piel de sapo en el que utilizaron cuatro dosis de N (0, 91, 140 y 184 kg ha⁻¹) observaron que dosis iguales o superiores a 91 kg ha⁻¹ tuvieron el mismo aumento en el índice de área foliar y en la biomasa seca de la parte aérea de la planta.

Estos experimentos no indican si con el agua de riego se aplicó N y si el suelo contenía dicho elemento en sus diferentes formas disponible para el cultivo. Ambos parámetros, N aplicado con el agua de riego y N disponible en el suelo, son fundamentales para hacer una recomendación correcta sobre la aplicación de este elemento.

Por todo esto, se puede afirmar que los trabajos sobre la fertilización nitrogenada en el melón piel de sapo son casi inexistentes, por lo que es necesario continuar con los estudios de fertilización nitrogenada en el melón piel de sapo.

Literatura más detallada se proporciona en los subsecuentes capítulos.

2.3. El cultivo de melón. Características.

El cultivo del melón (*Cucumis melo* L.) ha experimentado desde finales de la década de los sesenta un desarrollo extraordinario en todo el mundo, pasando de ser un producto de consumo minoritario, a otro de amplia aceptación, con un incremento continuado de la superficie cultivada, debido en gran medida a la mejora de las técnicas de producción y a las variedades seleccionadas (Zapata, 1989).

2.3.1. Origen, taxonomía y descripción del melón.

El origen del melón ha sido controvertido, ya que existen argumentos a favor de que fuera originario de Asia, mientras que otros lo situarían en África (Harlan et al., 1997; Trentini, 1998; Silberstein et al., 1999). Sin embargo, parece que los últimos estudios indican que su centro de origen es africano (Kirkbride, 1993), siendo el centro primario de diversificación Asia (Pitrat et al., 1999, Kerje et al., 2000; Kerje, 2003), considerándose España un importante centro de diversificación secundario (López-Sesé et al., 2003).

El melón fue descrito por primera vez por Linneo en *Species plantarum* (1753) y describió cinco especies de melones cultivados (Kirkbride, 1993; Kerje, 2003), desde entonces ha habido muchos estudios taxonómicos sobre el género.

Taxonómicamente, el melón se encuentra ubicado en el Reino *Plantae*, Subreino *Tracheobionta*, División *Magnoliophyta*, Clase *Magnoliopsida*, Subclase *Dilleniidae*, Superorden *Violanae*, Orden *Violales*, Familia *Cucurbitaceae*, Subfamilia *Cucurbitoideae*, Tribu *Melothrieae*, Subtribu *Cucumerinae*, Género *Cucumis*, Subgénero *Melo*, Sección *Melo*, Serie *Melo*, Especie *Cucumis melo* L. (USDA-ARS, 2010).

El melón (*Cucumis melo*, L.) pertenece a la familia de las Cucurbitáceas que comprende 119 géneros y 850 especies (Cucurbit, 2010), la mayoría de zonas cálidas, con una mayor presencia en las zonas tropicales y subtropicales (Kirkbride, 1993). El melón es una de las especies más variables dentro del género *Cucumis*, pues es altamente polimórfica y es en los frutos de las variedades cultivadas donde se encuentra el mayor grado de diversidad. Según Kirkbride (1993), la morfología de algunas características de determinados órganos de *Cucumis* es notablemente estable, pero otras características de los mismos órganos pueden ser muy variables. Además, apunta que algunos órganos tienen características más estables que otros, y las características que son estables en algunos taxones pueden ser muy variables en los demás. Dentro del género *Cucumis* se encuentran 34 especies (Cucurbit, 2010), donde se incluyen los dos principales cultivos de hortalizas comerciales, el melón y el pepino (Kirkbride, 1993).

Dado el elevado polimorfismo del melón, tanto en hojas y flores, como en el color, tamaño, forma u otras características del fruto (Kirkbride, 1993), ha llevado a los botánicos a proponer diferentes clasificaciones intraespecíficas a lo largo de los últimos 50 años (Whitaker and Davis, 1962; Munger and Robinson, 1991; Kirkbride, 1993; Robinson and Decker-Walters, 1997; Pitrat et al. 2000). Basándose en la variación vegetativa y del fruto, Naudin (1859) sentó las bases para dicha agrupación intraespecífica, cuyo intento por agrupar los tipos de melón se ha mantenido hasta la actualidad, con algunas pequeñas modificaciones realizadas por otros autores (Tabla 2-2).

Naudin (1859) subdividió al melón en diez grupos que más tarde fueron revisados por Whitaker and Davis (1962) reduciendo estos a seis y añadieron uno nuevo, Conomon (Tabla 2-2). Más tarde, Munger and Robinson (1991) dividieron el género en siete grupos o variedades botánicas y propusieron nombres trinomiales, con lo que clasificaron al melón en dos subespecies: *Cucumis melo* ssp *agrestis*, que incluye un grupo con melón salvaje, y *Cucumis melo* ssp *melo* que incluye los melones cultivados con los grupos: Flexuosus (melón serpiente), Conomon (melón oriental), Cantalupensis (cantalupo y muskmelon), Inodorus (honeydew y casaba, en el que destaca tendral, rochet y piel de sapo), Chito (melón mango) , Dudaim (melón de bolsillo) y Momordica (melón snap) (Tabla 2-2).

La clasificación sugerida por Robinson and Decker-Walters (1997) es la más utilizada en la literatura actual y divide a la especie *Cucumis melo* en seis variedades o grupos botánicos: Cantaloupensis, Inodorus, Conomon, Dudaim, Flexuosus y Momordica (Tabla 2-1)

Más recientemente, Pitrat et al. (2000) identificaron 16 grupos basándose en la literatura (Tabla 2-2), que denominaron variedades, sin embargo, esta clasificación taxonómica no es universalmente aceptada.

Tabla 2-2. Propuestas de clasificación taxonómica del melón (*Cucumis melo*) a partir de la clasificación de Naudin (1859).

Naudin (1859)	Whitaker and Davis (1962)	Munger and Robinson(1991)	Kirkbride (1993)	Robinson and Decker-Walters (1997)	Pitrat et al. (2000)
Agrestis		Agrestis	Agrestis	Agrestis	
Cantalupensis	Cantalupensis	Cantalupensis	Cantalupensis	Cantalupensis	Cantalupensis
Reticulatus	Reticulatus		Reticulatus		Reticulatus
Saccharinus			Saccharinus		
					Adana
					Chandalak
					Ameri
Inodorus	Inodorus	Inodorus	Inodorus	Inodorus	Inodorus
		Momordica		Momordica	Momordica
					Chate
Flexuosus	Flexuosus	Flexuosus	Flexuosus	Flexuosus	Flexuosus
Acidulus					Acidulus
Chito	Chito	Chito			Chito
Dudaim	Dudaim	Dudaim	Dudaim	Dudaim	Dudaim
Erythraeus					
	Conomon	Conomon	Conomon	Conomon	Conomon
					Makuwa
					Chinensis
					Tibish

El melón es una planta herbácea, anual, rastrera, o trepadora si se facilita un entutorado apropiado, con zarcillos sencillos de 20-30 cm de longitud que nacen en las axilas de las hojas, junto a los brotes en formación (Reche, 2007).

La planta desarrolla unas raíces abundantes y rastreras, con un crecimiento rápido entre los 30-40 cm del suelo, donde alcanzan su mayor densidad. Algunas veces superan el metro de profundidad (Zapata et al., 1989).

El tallo es herbáceo y suele ser vellos, pudiendo ser rastrero o trepador, ayudado por sus zarcillos (Zapata et al., 1989).

Las hojas, normalmente vellosas y ásperas, son de tamaño y forma muy variados: enteras, veniformes, pentagonales o lobuladas (3 a 7 lóbulos) (Zapata et al., 1989), alternas y con un pecíolo largo de 10-15 cm (Reche, 2007).



Figura 2-19. Planta de melón, detalle de hojas, pecíolo, tallo y flor femenina.

Puede presentar flores monoicas (masculinas y femeninas, separadas y en la misma planta), andromonoicas (masculinas y hermafroditas), ginomonoicas (mayoría de flores femeninas pero también hermafroditas) y hermafroditas (todas las flores hermafroditas). La mayor parte de las variedades cultivadas pertenecen al grupo de las andromonoicas (Maroto, 1989). Las flores masculinas son las que primero aparecen en los nudos del tallo y nunca en los nudos de ramificaciones secundarias o terciarias donde aparecen las flores femeninas o hermafroditas, ambos tipos de flor tienen corola amarilla. La planta produce muchas más flores masculinas que femeninas o hermafroditas, y la proporción depende especialmente de las condiciones climáticas, sobretodo de la luz y la temperatura (Zapata et al., 1989). La polinización es entomófila, pudiendo ser fecundadas

con el polen de la misma flor (autofecundación), con el polen de las flores de la misma planta (autopolinización) o con el polen de otras plantas (fecundación cruzada). Las flores femeninas no fecundadas se desprenden del tallo a los pocos días (Zapata et al., 1989).

El fruto es una baya grande con placenta carnosa y epicarpio quebradizo, con rasgos muy diversos dependiendo de la variedad cultivada (Reche, 2007). El interior del fruto está formado por la pulpa y la cavidad placentaria donde se encuentran las semillas. La forma, tamaño y color de piel y de pulpa es variable dependiendo del tipo de melón. La madurez se alcanza aproximadamente a los 45 días de haber sido fecundada la flor, dependiendo entre otros de la variedad y las condiciones climáticas (Zapata et al., 1989).



Figura 2-20. Planta de melón: Detalle de fruto cuajado.

La forma del fruto puede ser redondeada, alargada, elíptica, ovoide. La corteza puede tener color verde, amarillo, anaranjado, blanco, y a su vez ésta puede ser lisa, escriturada o reticulada. Además el color de la pulpa varía entre blanquecino, verdoso, anaranjado, rojizo o combinación de los distintos colores (Baixauli et al., 2008).

A nivel nacional el tipo más conocido es el melón Verde o Español, perteneciente al grupo *Inodorus*, caracterizados por tener frutos de forma elíptica ligeramente ovalada, de piel verde medio a oscuro, a veces con manchas y carne color blanco-crema-verde. Dentro de este tipo de melón se pueden establecer tres grupos: Piel de Sapo, Rochet y Tendral Negro (Llanos, 1998; Baixauli et al., 2008), de entre los cuales el tipo Piel de Sapo es cultivado en más de la mitad del total de la superficie de melón cultivada en España.

El melón piel de sapo se caracteriza por poseer frutos uniformes en cuanto a calidad y producción, con forma elipsoidal u ovoide; la corteza es fina, de color verde y con manchas oscuras uniformemente distribuidas, en ocasiones con piel rugosa y cierto grado

de escriturado; el color de la pulpa es blanca o cremosa, compacta, crujiente, muy dulce y poco olorosa.

2.3.2. Composición nutricional del melón.

El melón contiene una altísima cantidad de agua (90-95%) y una cantidad de azúcar (6%) inferior a la de otras frutas; hecho que unido a que apenas contiene grasa, hace del melón una de las frutas con menor contenido calórico (Ávila et al., 2007).

Aporta una cantidad apreciable de diversas vitaminas y minerales. Concretamente, 100 gramos de melón sin corteza, proporcionan la mitad de la dosis diaria recomendada de vitamina C, y junto a la naranja es una de las frutas con mayor contenido en ácido fólico. También es de destacar el alto contenido de esta fruta en provitamina A (principalmente beta-caroteno). Los beta-carotenos, además de transformarse en vitamina A en nuestro organismo, parecen ejercer un papel importante en la prevención frente a diversas enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas y degeneración macular senil, dada su capacidad antioxidante y moduladora de la respuesta inmunitaria (Ávila et al., 2007).

En cuanto a los minerales, cabe destacar su riqueza en potasio, aunque también contiene cantidades apreciables de fósforo, hierro y magnesio (Ávila et al., 2007).

La principal utilización del melón es como fruta fresca. Además se puede utilizar como producto procesado en la elaboración de jugos, néctares, dulces, confituras y mermeladas, e incluso licor. La pulpa puede tener un uso medicinal ya que se le atribuyen propiedades diuréticas y es rica en vitaminas B y C por lo que son beneficiosos para la piel y el sistema nervioso. También son utilizados en cosmética (FAO, 2010).

2.3.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de melón.

La calidad de los vegetales está influenciada por una gran cantidad de factores precosecha y otros factores combinados como la genética y componentes ambientales (Beverly et al., 1993).

Aunque en el cultivo en campo, la mayoría de los factores ambientales son difícilmente modulables, se ha comprobado que tienen una gran influencia en la calidad y valor nutricional de numerosos productos agrarios (Romojaro et al., 2007). Los factores climáticos de forma conjunta son fundamentales para el adecuado funcionamiento del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de ellos incide sobre el resto.

2.3.3.1. Clima.

La planta de melón es de climas cálidos y no excesivamente húmedos, de forma que en regiones húmedas y con escasa insolación, su desarrollo se ve afectado negativamente, apareciendo alteraciones en la maduración y calidad de los frutos (Elías y Castellví, 2001).

2.3.3.2. Temperatura.

El melón es una especie sensible a las heladas (Rahman et al., 2006). La temperatura es una de las variables medioambientales que más influye en la germinación de las semillas (Kurtar, 2010), en el crecimiento vegetativo (Baker and Reddy, 2001), en la floración y polinización (Maestro and Álvarez, 1988) y en la maduración de los frutos (Aggelis et al., 1997).

La temperatura afecta a la capacidad de germinación, la tasa de germinación y la frecuencia de germinación (Kocabas et al. (1999). La temperatura mínima para que germinen las semillas es de 12°C, la óptima está entre 24-27°C y la máxima es de 45°C, aunque estos valores pueden variar dependiendo del cultivar, tamaño y peso de la semilla (Kurtar, 2010).

Después de la germinación y emergencia de la planta, la temperatura mínima es de 10°C en la que la tasa de aparición de hojas es cero, una temperatura óptima de 34°C en la que la velocidad de aparición de hojas es máxima, y una temperatura máxima de 45°C a la que la tasa de aparición de hojas es cero (Baker and Reddy, 2001).

Sin embargo, la fisiología reproductiva es mucho más sensible a la temperatura que el crecimiento vegetativo. La temperatura puede afectar a la fructificación por su efecto en el número de flores, el tamaño del ovario, el número de óvulos y la tasa de crecimiento del tubo polínico (Sedgley and Buttrose, 1978; Maestro and Álvarez, 1988).

Fisiológicamente, la expresión del sexo está influenciada por factores genéticos, ambientales y hormonales (Byers et al., 1972; Yin and Quinn, 1995) y puede ser modificada por la duración del día y la temperatura (Byers et al., 1972). Generalmente, días cortos y con temperaturas frescas favorecen la aparición de flores femeninas, mientras que días largos y elevadas temperaturas favorecen la aparición de flores masculinas (Byers et al., 1972; Sawhney and Shukla, 1994).

La temperatura mínima para la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico es de 10°C, la temperatura óptima es de 30°C y la máxima de 48°C (Matlob and Nelly, 1973). Aunque estas temperaturas dependen de la variedad cultivada, suele ocurrir que en aquellas variedades en las que la temperatura óptima es más alta, mayor es el

porcentaje de germinación del polen (Kakani et al., 2005). En muskmelon se ha determinado que tanto la germinación como el crecimiento del tubo polínico fue mejor con una temperatura de 30°C, aunque una temperatura más elevada (40°C) el tubo polínico creció más rápido en el ovario pero la germinación del polen fue irregular (Maestro and Álvarez, 1988).

Temperaturas elevadas favorecen la producción de etileno, el cual es el responsable de la caída de flores (van Doorn and Stead, 1997) y provoca el aborto de frutos recién cuajados (Pádua et al., 2003).

Altas temperaturas del aire y humedad relativa baja, especialmente elevadas temperaturas por la noche, puede reducir la viabilidad del polen y del cuajado de frutos (Hodges et al., 1992).

La temperatura puede afectar el tiempo de maduración de los frutos (Aggelis et al., 1997). Un clima más cálido puede acortar el tiempo de desarrollo del fruto a expensas de la acumulación del azúcar (Llewellyn, 2005). La temperatura óptima de maduración de los frutos es aproximadamente de entre 25 y 30°C (Serrano Cermeño, 1979). Si la maduración se acompaña de temperaturas frescas y escasa luminosidad puede provocar frutos sin sabor y faltos en dulzura, ya que la fotosíntesis en tales condiciones es baja, se acumulan pocos hidratos de carbono y la cosecha es de baja calidad y de escaso contenido en azúcar (Elías y Castellví, 2001).

El tamaño del fruto de melón es también dependiente de la temperatura durante su desarrollo. El tamaño está definido por el número de células en el pericarpio, y depende de factores genéticos pero también está afectado por las condiciones ambientales, especialmente la temperatura (Higashi et al., 1999).

Todo esto en relación con la temperatura del aire, pero la temperatura del suelo también influye, siendo unos cultivares más sensibles que otros (Dunlap, 2003). Debido a esto, se deben seleccionar los cultivares más apropiados para un lugar específico y su cultivo debe realizarse en un momento específico dentro de su período de crecimiento (Llewellyn, 2005; Ventura and Mendlinger, 1999).

Stoltzfus et al. (1998) estudiaron la respuesta de crecimiento del melón a la temperatura de la zona de la raíz y observaron que la temperatura óptima de crecimiento estaba entre 35 a 36°C.

2.3.3.3. Humedad.

En condiciones de cultivo, la temperatura, la intensidad luminosa y la humedad relativa están frecuentemente correlacionadas. Si uno de estos factores es menor que el valor óptimo, puede provocar un escaso crecimiento de planta (Blankendaal et al., 1972).

Al inicio del desarrollo de la planta, la humedad relativa debe ser de entre 65-75%, en la floración debe estar entre 60-70% y en la fructificación entre 55-65%. Una humedad relativa superior al 75% favorece el desarrollo de enfermedades (Sen et al., 1999), principalmente las producidas por hongos y bacterias. Sin embargo, determinadas plagas como la de la araña roja se ven favorecidas por elevada temperatura y escasa humedad relativa.

De forma general, en la literatura se ha mencionado que unos cultivares son más sensibles a la humedad atmosférica que otros (Ford and Thorne, 1973). En general, una mayor humedad incrementa determinados procesos fisiológicos como la conductancia estomática, la tasa de fotosíntesis y la transpiración (Thompson and Olszyk, 1988). Se ha observado que el melón cantalupo es afectado significativamente por la alta humedad, ya que el crecimiento vegetativo de la planta y el número de flores aumentan. Sin embargo, no se pudo determinar su efecto sobre el rendimiento porque sólo se obtuvo un fruto por planta (Thompson and Olszyk, 1988). Una elevada humedad favorece la expansión de la hoja, la tasa de crecimiento relativo y el crecimiento del fruto (Singh, 2010).

En general, los estomas de las plantas están más abiertos cuando crecen bajo condiciones de alta humedad. Además, con baja humedad, una mayor cantidad de agua se pierde por las hojas vía transpiración ya que hay un mayor diferencial de presión de vapor de agua entre la hoja y el aire.

También se ha observado que la humedad relativa es uno de los factores que afectan a la calidad del fruto, en concreto a su textura, junto a otros factores como la humedad del suelo disponible, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura (Sams, 1999). Los desequilibrios de la humedad ambiental o del riego (exceso de agua o estrés hídrico) en las fases previas a la maduración final pueden provocar el rajado del fruto. Así mismo, la humedad relativa elevada puede provocar la aparición de manchas en la corteza de algunos melones (Ponce, 2010).

La humedad relativa también tiene un efecto importante en la acumulación de calcio (Ca) en el fruto debido a que su translocación se realiza con el flujo de masa en la transpiración. Los factores que reducen la evapotranspiración por los órganos de la planta reducirán la acumulación de Ca. El Ca es un elemento fundamental en los tejidos de sostén, ya que afecta a la elongación celular y, en caso de una deficiencia prolongada,

puede producir una reducción del crecimiento pudiendo incluso originar necrosis foliares, Además, este elemento también afecta a la calidad y las cualidades organolépticas, sobretudo a la firmeza y a la maduración. Así, una mayor ratio hoja/fruto, o las hojas jóvenes en las proximidades del fruto, hacen que el agua fluya más hacia las hojas, y menos hacia el fruto. Una mayor humedad relativa alrededor del fruto que alrededor de las hojas también reducirá el movimiento de agua y de Ca hacia el fruto. En contraste, una mayor humedad relativa alrededor de la planta completa reducirá la evapotranspiración de la hoja y producirá un incremento de la acumulación de Ca en el fruto (Hofman, 1998).

La planta de melón es exigente en cuanto a la humedad del suelo en el período de crecimiento, de formación y de maduración de los frutos (Zapata et al., 1989). El rendimiento del cultivo depende, en gran parte, de la disponibilidad de agua en el suelo, aunque el exceso de humedad dificulta la germinación y puede provocar la asfixia radicular (Maroto, 2008). También el exceso de humedad en el suelo durante el período de maduración ocasiona frutos sin sabor y poco dulces (Wells and Nugent, 1980; Fabeiro et al., 2002; Ribas et al., 2003; Sensoy et al., 2007), afecta negativamente a la producción debido a un incremento del rajado de los frutos maduros (Pew and Gardner, 1983) e incrementa la vitrescencia de estos (Wacquant, 1989). Un déficit de riego puede reducir tamaño del fruto y el crecimiento de la planta (Ribas et al., 2001). Esta necesidad de agua está ligada al clima del área donde se cultiva (Zapata et al., 1989).

2.3.3.4. Luminosidad.

La luminosidad es otro factor importante, especialmente durante los períodos de crecimiento inicial y floración, influyendo, no sólo en el crecimiento de la planta, sino en la inducción floral, fecundación de las flores, desarrollo del fruto y ritmo de absorción de elementos nutritivos.

Según Ismail y Yusof (1996), la producción de materia seca en el melón fue directamente proporcional al nivel de radiación recibida por las plantas; la conductancia estomática y la tasa fotosintética fueron más elevadas cuando las plantas fueron cultivadas con el nivel de radiación más elevado, $11,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Además, estas plantas presentaron el mayor peso de fruta fresca y contenido de sólidos solubles totales, frente a aquellas que fueron cultivadas con un nivel bajo de radiación ($3,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

La absorción de agua y de determinados nutrientes como el N y K se incrementan en respuesta al aumento de la radiación solar. Las máximas tasas de absorción han sido observadas durante la parte más luminosa del día (Adams, 1980; Masuda et al., 1990; Mankin and Fynn, 1996).

La deficiencia de luz producirá una disminución del número de frutos en la cosecha. Además, el desarrollo de los tejidos del ovario de la flor está estrechamente influenciado por las horas de iluminación. En un ensayo con cucurbitáceas (Sedgley and Buttrose, 1978), el incremento de la duración del día de 14 a 24 h a 25°C con una intensidad de luz de 32 klx aumentó el número de flores, la longitud y diámetro del ovario y el número de óvulos por ovario, pero la expresión del sexo y la tasa de crecimiento del tubo polínico no se vieron afectados. La reducción de la duración del día de 14 a 8 h a 25°C y con una intensidad de luz de 32 klx y la reducción de luz de 32 a 8 klx a 25°C y 14 h produjeron un incremento en el porcentaje de óvulos inmaduros

Según Zapata et al. (1989), el melón necesita un mínimo de 15 horas de luz al día, aumentando la calidad y producción si la iluminación es de más horas, y es que los rayos solares estimulan la producción de frutos dulces, sabrosos y firmes (Giacconi y Escaff, 1995).

2.3.3.5. Suelo.

El melón se cultiva en varios tipos de suelo, ya que no es muy exigente. Sin embargo, se obtienen mejores resultados cuando éste es profundo, mullido, bien aireado, bien drenado, consistente y no muy ácido, tolerando suelos ligeramente calcáreos (Zapata et al., 1989).

El melón sí es exigente en cuanto a la capacidad de retención de agua por parte del suelo, ya que los encharcamientos producen podredumbres en los frutos, por lo que es necesario que el suelo tenga un buen drenaje (Zapata et al., 1989). De esta forma, en aquellas zonas donde las precipitaciones son relativamente altas y el clima más frío, generalmente se cultiva en suelos de textura franco-arenosa, bien aireados y con un buen drenaje (Kimble, 1996), debido a que los suelos arcillosos retienen más agua, incrementándose así el potencial para la actividad de los patógenos de las plantas (Bett-Garber et al., 2005). En aquellas zonas donde las precipitaciones son más escasas se cultiva en suelos franco-arcillosos, por su mayor capacidad de retener agua, lo cual favorece una prolongación del período de cosecha (Hartz, 1997).

Además, se prefieren los suelos ricos en materia orgánica y con valores de pH comprendidos entre 6 y 7 (Zapata et al., 1989; Borrada, 2004). Esta especie tiene una moderada tolerancia a la salinidad (Maas and Hoffman, 1977; Pardossi et al., 2006), tanto del extracto del suelo, como del agua de riego. Sin embargo, su crecimiento no está exento de problemas y a menudo se producen pérdidas en el rendimiento cuando ciertos umbrales de salinidad son alcanzados (Seilsepour, 2008). Estos umbrales pueden variar según el cultivar y la etapa de crecimiento de la planta (Seilsepour, 2008).

La tolerancia moderada a la sal en determinados estadíos específicos del crecimiento puede ser una ventaja (Tanji, 1990). Por ejemplo, Shanon and Francois (1978) y Mizrahi and Parternak (1985) (citados por Tanji (1990)), demostraron que la aplicación de moderada salinidad durante el desarrollo del fruto puede cambiar la distribución de fotosintatos y mejorar los sólidos solubles en el melón. La pequeña disminución del rendimiento, que pueda resultar como consecuencia de la salinidad, se ve compensada con una mejor calidad del fruto (Tanji, 1990).

La textura del suelo también puede afectar a la calidad de los frutos. Por ejemplo, los frutos del tipo Cantaloupe cultivado en suelos de textura franco-arenosa fueron menos aromáticos y con menor dulzor que los crecidos en suelos mucho más arcillosos (Bett-Garber et al., 2005).

El melón también es muy sensible a la baja disponibilidad en el suelo de algunos micronutrientes y macronutrientes.

2.3.4. Técnicas de cultivo.

2.3.4.1. Marco de plantación

En la literatura existen numerosos trabajos acerca del efecto que tiene el marco y la densidad de plantación del melón en el rendimiento y en la calidad (Mendlinger, 1994; Pereira et al., 2003; García et al., 2006; Ban et al., 2006; Rodríguez et al., 2007; entre otros autores).

A partir de los trabajos consultados en la literatura, el efecto que tiene el marco y la densidad de plantación varía en función de la variedad de melón y dentro de cada una, del tipo y también del cultivar. Ban et al. (2006) observaron que diferentes cultivares del tipo cantalupo responden de forma diferente a la densidad de plantación, utilizando una distancia entre líneas de 1,5 m y entre plantas de 0,6, 0,9, 1,2 y 1,5 m. Mendlinger (1994), utilizando densidades de plantación de 2 a 8 plantas m^{-2} en melón tipo galia (muskmelon), observó un incremento del número de frutos por m^2 pero con una reducción en el peso medio del fruto, que no se vio reflejado en un aumento de la producción. Sin embargo, Rodríguez et al. (2007), utilizando el mismo tipo de melón, observaron un incremento lineal de la producción comercial con el incremento de la densidad de plantación de 1,7 a 4,1 plantas m^{-2} , a pesar de no observaron efecto significativo tanto en el número de frutos m^2 y en su peso medio. La densidad óptima de plantación puede variar dependiendo de la arquitectura de la planta (Knavel, 1988).

Los resultados encontrados en la bibliografía muestran tanto el incremento de la producción conforme aumenta la densidad de plantación hasta que alcanzan un número óptimo de plantas a partir del cual, la producción disminuye por el efecto de la competencia. Kultur et al. (2001) encontraron un incremento en el número de frutos con respecto al incremento en la separación de siembra de plantas desde 0,35 a 0,7 m y 2,1 m entre líneas, asociado a una menor competencia. Otros autores afirmaron que con un incremento en la densidad de plantas, se producen más frutos pero de menor tamaño (Mendlinger, 1994; Maynard and Scott, 1998; Nelson, 2002; Silva et al., 2003; Pereira et al., 2003).

El melón en alta densidad produce un gran número de frutos por área, pero con una reducción de tamaño, peso y número de frutos por planta (Dias et al, 2000), este hecho es atribuido principalmente a la competencia inter e intraplanta (Janick, 1968).

La densidad de plantación también puede afectar a la concentración de los sólidos solubles totales. La calidad del melón cultivado a alta densidad puede reducirse debido a una disminución de los sólidos solubles totales (Mendlinger, 1994). Entre las posibles causas de esta disminución de los sólidos solubles totales está la disminución del área foliar por planta y también el número de hojas y de frutos por planta, ya que las hojas son la principal fuente de asimilados para los frutos. En este caso, las elevadas densidades reducen el área foliar por planta y la proporción del número de hojas/frutos, causando una disminución en el desarrollo y translocación de fotoasimilados (Grangeiro et al., 1999). No obstante, algunos autores no han detectado un efecto significativo de la densidad de plantación en la cantidad de sólidos solubles totales (Silva et al., 2003; Rodriguez et al., 2007).

De la misma forma que el rendimiento se ve afectado por el marco y la densidad de plantación, también afecta a los parámetros relacionados con la producción de biomasa. Ban et al. (2006) observaron un efecto positivo en el número de hojas y ramas laterales al incrementarse la densidad de plantación de 0,6 a 1,5 m en melón cantalupo. Rodriguez et al. (2007) no observaron un efecto de la densidad de plantación de 1,7 a 4,1 plantas m⁻² en el número de hojas por planta, sin embargo, la longitud de los internudos se incrementó cuando la densidad de plantación fue la mayor.

El marco de plantación recomendado varía en función de la variedad cultivada y si el cultivo es tutorado o no. Así, si el cultivo es tutorado, se recomiendan densidades desde 1,25-1,5 plantas m⁻² hasta 2 plantas m⁻², mientras que si el cultivo no se tutora, permitiéndose su crecimiento rastrero, dependiendo de la variedad cultivada, se recomiendan marcos de plantación de 0,75 y 1 planta m⁻², aunque en algunos cultivares del tipo piel de sapo puede reducirse a 0,25 plantas m⁻² (Cabello et al., 2004).

En un ensayo realizado al aire libre con el cultivar Sancho, un melón tipo piel de sapo, en el que se utilizaron diferentes densidades de plantación de 0,25 a 0,88 plantas m⁻²; la mayor producción comercial se obtuvo con una densidad 0,25 plantas m⁻² (el incremento de densidad de 0,25 a 0,88 plantas m⁻² supuso una reducción de la producción de un 25%) (Cabello et al., 2004).

Cuando la distancia entre plantas es grande y se controlan las malas hierbas, su resistencia a la sequía aumenta, por eso se cultivan extensivamente en climas mediterráneos y semiáridos (Elías y Castellví, 2001).

2.3.4.2. Riego.

En el cultivo de melón se ha extendido el riego por goteo, que es el método de riego al que mejor se adapta. La planta es muy sensible a los encharcamientos principalmente debido a lluvias fuertes o excesivos riegos que desplazan el aire que contiene el suelo y, por tanto, el desarrollo de los pelos radiculares se reduce drásticamente debido a la carencia de oxígeno en el suelo (Navarro, 2008). Por todo ello, han quedado en desuso las técnicas de riego tradicionales anteriormente utilizadas, como el riego a pie. También el riego por aspersión da lugar a problemas fitosanitarios y de pérdida de calidad de los frutos (Ortega et al., 1999).

Numerosos son los trabajos que demuestran la eficiencia de este tipo de riego en el melón al incrementar su productividad frente a otros tipos de riego (Shmueli and Goldberg, 1974; Bogle and Hartz, 1986; Warriner and Henderson, 1989; Leskovar et al., 2001). Actualmente el 100% de la superficie cultivada bajo riego al aire libre utiliza el riego por goteo y la fertirrigación como técnica de cultivo, quedando en situación marginal las técnicas tradicionales de cultivo con riego superficial.

El riego por goteo se caracteriza por ser riegos de alta frecuencia, es decir, que se aplican en pequeñas cantidades de agua, pero en intervalos cortos de tiempo; además la superficie mojada del suelo suele ser pequeña. Estas características hacen que se modifiquen las relaciones suelo-planta-atmósfera que influyen en desarrollo de la raíz, se disminuye la evaporación directa del suelo, se modifican las condiciones de salinidad, etc... (Solorzano, 2008). La alta frecuencia de aplicación del agua implica unas importantes consecuencias sobre su aprovechamiento, ya que al estar siempre el suelo a capacidad de campo, las plantas absorben el agua con mucha facilidad (Fuentes, 1996).

Una de las ventajas de este tipo de riego es la posibilidad de utilización de agua salina, dado que con un ligero exceso de agua, superior a las necesidades del cultivo, se mantiene baja y uniforme la presión osmótica del suelo. De este modo pueden lavarse por

lixiviación las sales acumuladas, llamándose a la cantidad de agua aplicada en exceso, fracción de lixiviación. El aumento de sales en el suelo dificulta la absorción de agua por parte de las raíces, sobre todo en condiciones de calor y sequedad, y puede conducir a niveles de concentración de iones que resulten tóxicos para las plantas (Baudoin et al., 2002), además limitaría el crecimiento de la planta debido a una disminución en la actividad fotosintética (Chartzoulakis, 1994; Nakamura et al., 2004). La fracción de lixiviación en el agua de riego depende de la concentración de sal y de la tolerancia del cultivo. El melón es moderadamente sensible a la salinidad (100% de la pérdida del cultivo con una conductividad eléctrica (C.E.) $>16 \text{ dS m}^{-1}$ (Ayers and Westcott, 1985).

Este hecho es importante dado que, en el futuro, la agricultura de regadío se enfrentará al reto de utilizar menos agua y, en muchos casos, de menor calidad (Oster, 1994). Esta pérdida de calidad del agua se caracterizará por un aumento en los niveles de N, P y K, salinidad y sodicidad debido a la adición directa de sales en el agua de riego y la evapoconcentración que se produce cuando se utiliza el agua. El uso de aguas de mala calidad requerirá de tres cambios con respecto a las prácticas de riego tradicionales: (1) la selección adecuada de los cultivos tolerantes a la sal, (2) mejoras en la gestión del agua y, en algunos casos, la adopción de tecnologías avanzadas de riego y (3) el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo con una adecuada permeabilidad para satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos y la lixiviación (Oster, 1994).

Es conocido que con esta técnica de riego, aplicada en zonas áridas, caracterizadas por suelo salino, con agua de riego salina y elevada tasa de evapotranspiración, se acortan los períodos de crecimiento, produce cultivos más tempranos, aumenta el rendimiento de los cultivos, y hace posible que crezcan los cultivos, los cuales estarían normalmente dañados por la elevada salinidad si se utilizarán técnicas de riego tradicionales (Goldberg and Shmueli, 1970).

El riego por goteo requiere para su eficaz aplicación una serie de directrices técnicas y agronómicas, que se concretan en las características técnicas de la instalación, en la estimación de las necesidades hídricas del cultivo, la programación de las dosis y de los intervalos de riego y en un adecuado manejo del mismo (Rincón, 2002).

En cuanto a las características técnicas de la instalación, Rincón (2002) recomienda utilizar materiales de calidad certificada y humedecer entre un 50 y 60% de la superficie del suelo, mantener un solape de 10 a 15% entre bulbos húmedos, evitándose franjas de humedad discontinuas que limiten el desarrollo radicular, y una distancia entre los goteros tal que evite el encharcamiento, no recomendando descargas por gotero de más de 2 L h^{-1} . Estas recomendaciones pueden variar en función de factores como la textura y la permeabilidad del suelo.

Las necesidades hídricas del cultivo es el parámetro más importante para conseguir el uso eficiente del agua de riego y depende fundamentalmente de diferentes factores como el clima, las características propias del cultivo, las condiciones del suelo, las prácticas culturales y el sistema de riego utilizado (Faci et al., 1997). Las necesidades de riego del cultivo se calcula como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva, la cual suele ser nula a efectos prácticos en riego por goteo y para los ciclos de cultivo al aire libre, por lo que las necesidades hídricas suelen coincidir con la ET_c (Rincón, 1997). La ET_c se calcula como el producto del coeficiente de cultivo (K_c) y la evapotranspiración de referencia (ET_o) (Doorenbos and Pruitt, 1977).

El coeficiente de cultivo (K_c) para el melón, descrito por Ribas et al. (1995), está formado por cuatro fases (Figura 2-21). En la primera fase, denominada fase inicial, toma un valor constante de 0,3 (Ribas et al., 2000) y comprende la implantación del cultivo. La segunda fase, llamada fase de desarrollo, es una recta ascendente y representa el período en el que el cultivo tiene un rápido crecimiento. La tercera fase, fase de mediados del período, tiene un coeficiente de cultivo con valor constante y máximo de 0,95, y manteniéndose durante todo el tiempo en el que las plantas poseen una elevada biomasa foliar. En el caso del melón, esta fase comienza en los últimos días de engorde de los frutos y se extiende hasta que se producen las primeras pérdidas de superficie foliar, momento en el que se inicia la última fase, denominada fase de final del período, que toma una forma de recta descendente hasta alcanzar un valor de 0,60.

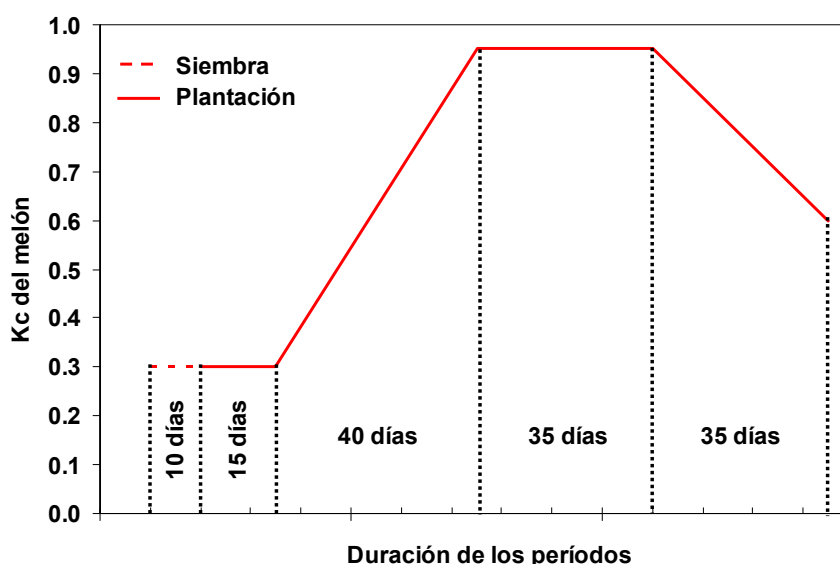


Figura 2-21. Coeficiente de cultivo del melón en riego por goteo (Ribas et al. (1995) y Ribas et al. (2000)).

La evapotranspiración de referencia (ET_o) está definida como el consumo de una pradera de referencia que se encuentra bien regada, con una altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo (Allen et al., 2002). La ET_o se puede

calcular a partir de los datos meteorológicos, utilizando para ello el método de FAO Penman-Monteith (Allen et al., 2002), el cual requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento.

La dosis práctica de riego se define como la cantidad de agua que debe aportarse en cada riego para satisfacer las necesidades totales de agua del cultivo en el intervalo entre riegos (Rincón, 2002). Además de las necesidades hídricas, que se han descrito anteriormente, otras cantidades adicionales de agua deben ser añadidas para compensar las pérdidas por percolación, no controlables, fuera del alcance radicular, las debidas a imperativos técnicos por falta de uniformidad y las agronómicas debidas a la salinidad del agua de riego (Rincón, 1997).

Por todo ello, el ajuste de la dosis de riego, según las características del suelo y la profundidad de las raíces, es fundamental para conseguir un manejo adecuado del agua, ya que dicha dosis es función de las necesidades totales de agua del cultivo y de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, por lo que debe tenerse en cuenta el intervalo entre riegos, en función del tipo de suelo, y el tiempo de los mismos (Rincón, 1997). Dosis deficitarias producen déficit hídrico (Kozlowski, 1968) y dosis excedentarias producen pérdidas de agua y nutrientes fuera del alcance radicular (Fares and Alva, 2000).

Finalmente, los riegos se deben realizar con una determinada secuencia y de una forma determinada, distinguiéndose el riego de plantación, el riego de agarre, el forzado del sistema radicular de las plantas y los riegos de programación regular (Rincón, 2002).

El riego de plantación debe ser abundante, con un consumo de agua de unos 20-30 mm. Para que las plantas se establezcan definitivamente, se procede posteriormente al riego de agarre. Se consumen entre 10 y 15 mm de agua, dependiendo del tipo de suelo y de su humedad. Ambos riegos deben fraccionarse en dos o más dosis seguidas. El forzado del sistema radicular se consigue manteniendo la humedad del suelo a un nivel medio a bajo durante 15 a 20 días. Esto fuerza a la planta a extender su sistema radicular para tratar de obtener más agua. Si el sistema radicular de la planta no es fuerte, seguramente se producirán problemas de absorción de agua y nutrientes en fases vegetativas críticas. Pasado este período de forzado radicular, se inicia la programación diaria de riego, ajustándose las cantidades de acuerdo con las necesidades de la planta (Rincón, 2002).

La reciente investigación en el cultivo de melón en esta área ha sido realizada para satisfacer las necesidades de los agricultores, tratando de dar respuestas a sus preocupaciones con respecto al suministro de agua, sistemas de riego, etc... (Ribas et al., 1995) y la homogeneidad y eficiencia de la distribución del agua (Ortega et al., 2003).

El estrés hídrico aumenta el porcentaje de frutos rajados (Zapata et al. 1989) y afecta negativamente al crecimiento foliar (Hegde, 1988), con lo que se reduce la capacidad fotosintética de la planta afectando negativamente a la cosecha (Ribas et al., 2001). Mientras que un exceso de riego provoca un efecto negativo en la producción comercial, principalmente debido a un mayor número de frutos rajados (Pew and Gardner, 1983) y también afecta a la calidad, al disminuir el contenido de sólidos solubles totales (Ribas et al. 2001).

Estudios realizados con melón piel de sapo en esta área, han demostrado que la máxima producción se obtiene con dotaciones hídricas del 100% de la ETc, sin apreciarse diferencias significativas con respecto al tratamiento excedentario, mientras que los riegos más deficitarios produjeron una importante disminución del rendimiento debido a la reducción significativa tanto del número de frutos como del peso de los mismos (Ribas et al., 2000; 2001).

Además de afectar al rendimiento del melón, el riego también afecta a su calidad. Ribas et al. (2003) observaron que un déficit hídrico redujo significativamente el tamaño del fruto y el grosor de la pulpa, sin embargo, el contenido de azúcares aumentó, concluyendo que hay que garantizar una dosis de riego próxima a las necesidades del cultivo (100% ETc), con el fin de conseguir el mayor porcentaje de frutos grandes que contengan cantidades aceptables de azúcar.

2.3.4.3. Fertirrigación

Una de las técnicas más innovadoras de los últimos años con respecto a una aplicación del abonado “a la carta”, según las necesidades del cultivo, es la fertirrigación, técnica que actualmente se emplea en el cultivo del melón. Ésta es una técnica con la que se suministran los nutrientes disueltos junto con el agua de riego. Su objetivo principal es aprovechar el flujo de agua de los sistemas de riego para el transporte de nutrientes que se disuelven en estos (Domínguez, 1992; Domínguez y de Juan, 2008) y que son requeridos por los cultivos a la zona de desarrollo de las raíces, por lo tanto el uso del agua se optimiza, al igual que la aplicación de nutrientes y el gasto de la energía, y los contaminantes se reducen (Domínguez y de Juan, 2008). Aunque para aplicar los nutrientes directamente a la zona radicular es necesario conocer las curvas de absorción de nutrientes en función del tiempo en condiciones de producción óptima, tiene grandes ventajas ya que permite controlar la concentración en la solución del suelo y la dosificación según la demanda de la planta (Bar-Yosef, 1986). El melón es un cultivo de crecimiento indeterminado, en el que es necesario aplicar N durante todo el período de cosecha, y es necesario conocer no sólo el requerimiento total de N sino también su dinámica de

absorción, de acuerdo con la fenología de la planta y las técnicas de cultivo en orden a alcanzar la máxima eficiencia de uso. En la literatura no existen apenas trabajos sobre fertilización nitrogenada del melón piel de sapo cultivado al aire libre.

El N es el elemento más frecuentemente aplicado vía agua de riego, por la influencia que desempeña en el crecimiento y desarrollo de los vegetales (Pinto et al., 1994). Una de las formas del N, el nitrato, posee alta movilidad en el suelo, lo que conlleva que exista un alto potencial de pérdida por lixiviación (Sánchez, 2000) si es que no se lleva a cabo un correcto manejo del riego y de la fertilización nitrogenada. Por tanto, para prevenir o minimizar este riesgo, las cantidades de agua y N a aplicar deben ser determinadas para optimizarlas y atender a los requerimientos del cultivo (Hadas et al., 1999), además se recomienda una aplicación fraccionada en mayor proporción que los demás fertilizantes (Malavolta, 1976).

La fertirrigación es una técnica de gran importancia en los cultivos regados con riego por goteo. También se utiliza, en menor medida, en otros sistemas de riego, como la aspersión y en los de pivote. La principal diferencia entre estos sistemas es que en los sistemas de riego por goteo no se moja toda la zona, mientras que en los de riego por aspersión sí (Domínguez y de Juan, 2008).

La fertirrigación ha experimentado un desarrollo potencial paralelo a los sistemas de riego localizado, aunque lamentablemente las normativas de aplicación de fertilizantes por dicho sistema van notablemente más retrasadas que las alternativas de riego. Paradójicamente en muchos casos se están aplicando los fertilizantes con las ideas tradicionales y con los sistemas de riego más avanzados (Cadahía, 2005), como es el caso del melón, como se ha comentado anteriormente.

Uno de los aspectos importantes a considerar en la fertirrigación es la calidad del agua de riego.

La fertirrigación es una técnica que puede proporcionar a los agricultores numerosas ventajas de entre las que destacan una economía de la mano de obra, la posibilidad de aplicar el producto en cualquier fase del ciclo del cultivo, fácil instalación y control, mayor eficiencia en la utilización de nutrientes y facilidad de aplicación de micronutrientes (Costa et al., 1986). La fertirrigación también posibilita una mejor distribución en el volumen del suelo ocupado por el sistema radicular (Li et al., 2006). Además, una coincidencia del momento de aplicación del agua y del fertilizante posibilita el aumentar la eficiencia de ambos (Shani, 1981).



Figura 2-22. Detalle de la inyección del fertilizante en el sistema de riego.

Se ha comprobado su eficacia al aumentar la productividad, mejorar la calidad de los frutos y el uso más eficiente de los nutrientes (Costa et al., 1986, Kafkafi, 2005).

No existen estadísticas concretas con respecto a la superficie fertirrigada en España, pero se puede tener una aproximación en base a la superficie de riego por goteo (Ruano, 2007). Según Domínguez y de Juan (2008), el uso de fertirrigación en Castilla-La Mancha comenzó alrededor de 1985, y se aplicó principalmente a través de sistemas de riego por aspersión. Inicialmente, el número de agricultores que aplicaron esta técnica fue bajo, debido principalmente a la falta de formación y a la falta de técnicos especializados para el asesoramiento sobre esta técnica. Sin embargo, en la última década este número se ha incrementado, debido al desarrollo de la investigación, principalmente con respecto al riego, a la difusión que se está desarrollando en la región y al aumento de la superficie de cultivos arbóreos y extensos cultivos hortícolas, que utilizan sistemas de riego por goteo (Domínguez y de Juan, 2008).

2.3.4.3. Acolchado plástico.

El acolchado plástico se coloca en la línea de cultivo, generalmente cubre una banda igual o mayor a 1 m de ancho (Robinson y Decker-Walters, 1997).

Los acolchados plásticos del suelo se aplican para favorecer el desarrollo del cultivo ya que mejoran la absorción de nutrientes, el uso de agua y el control de malezas (Cantamutto et al., 2003).



Figura 2-23. Detalle del acolchado plástico para un campo de melón.

La utilización del acolchado plástico reduce o suprime la evaporación proveniente del suelo (Lovelli et al., 2005), que junto con la transpiración de las plantas constituye el volumen total de agua perdida por evapotranspiración. Además evita la acumulación de sales en la superficie del suelo, al reducirse la conductividad del terreno, pudiéndose utilizar agua con niveles de salinidad moderados para riego localizado (Baudoin et al., 2002).

En el melón, el acolchado plástico incrementa el rendimiento (Orozco-Santos, 1995; Ibarra et al., 2001), la precocidad (Gabriel et al., 1994; Cantamutto et al., 1995) y la calidad del fruto (Ibarra et al., 2001), posiblemente debido a un aumento de la temperatura alrededor de la raíz de la planta (Bonanno and Lamont, 1987; Salman et al., 1991) y en el suelo (Yard, 1992; Jenni et al., 1996) que favorece un incremento en la producción de biomasa seca (Ibarra et al., 2001) y la absorción de macronutrientes (Cornillon y Obeid, 1993; Hanada, 1991) en función de una mayor disponibilidad de solutos (Mungia et al., 1998; Hanada, 1991).

Además se ha comprobado que el acolchado plástico en melón reduce la población de insectos, como áfidos y mosca blanca, y también reduce la incidencia de virus (Ramírez, 1994; Orozco-Santos et al., 1995), así como favorece el control de malezas (Cantamutto et al., 2003).



Figura 2-24. Detalle del acolchado plástico con planta de melón transplantada.

A pesar de estos beneficiosos efectos del acolchado plástico, presenta determinados problemas, como es la contaminación ambiental. Por ello, la investigación científica se está centrando en reducir la zona cubierta por el acolchado para ahorrar plásticos, con lo que se reducirían los costes y consecuentemente también se reduciría la contaminación (Cantamutto et al., 2003), así como en el empleo de nuevos materiales para las cubiertas que sean fácilmente biodegradables (Incalcaterra et al., 2004; Vetrano et al., 2008; Filippi et al., 2011).

CAPÍTULO 3

Objetivos.

Ha quedado patente la importancia del melón piel de sapo y el grave problema de la contaminación por nitratos detectada, así como que la información disponible sobre la fertilización nitrogenada en este tipo de melón es casi inexistente, proponiéndose unos criterios de fertilización subjetivos sin ningún carácter científico y a menudo con dosis desproporcionadas.

Ante esta situación, y con el convencimiento de desarrollar las herramientas necesarias para la optimización de los sistemas de producción dentro de una agricultura de regadío sostenible y compatible con el medio ambiente, es urgente la adopción de medidas que racionalicen el uso de la fertilización nitrogenada en el melón piel de sapo.

Para ello las interrogaciones que surgen y que son necesarias contestar con el objetivo final de poder incluir recomendaciones en el código de las Buenas Prácticas Agrícolas son las siguientes:

- 1) ¿Cómo afecta la dosis de N al desarrollo vegetativo del cultivo de melón?
- 2) ¿Cuánto N absorbe el cultivo y con qué cinética?
- 3) ¿Cómo afecta la dosis de N a la producción y la calidad del melón?
- 4) ¿Qué información proporcionan los distintos índices de eficiencia del uso del N y qué relación existe entre ellos?
- 5) ¿Influye la cantidad de N aportado por fertirrigación en la mineralización del N del suelo?
- 6) ¿Cómo influye la dosis de N en la pérdida por lixiviación de nitratos en un cultivo de melón fertirrigado?
- 7) ¿Cómo se puede realizar un estudio integrado de aspectos agronómicos y medioambientales del cultivo de melón fertirrigado?

Cada una de las preguntas planteadas debe ser contestada adecuadamente para poder realizar una fertilización nitrogenada óptima que disminuya los costes del cultivo y la contaminación de los acuíferos sin disminuir el rendimiento y la calidad de los frutos. Por tanto, los objetivos de esta tesis son:

- 1) Cuantificar la producción de biomasa, según los distintos órganos aéreos y su distribución en función de la fertilización nitrogenada.
- 2) Caracterizar la cinética de absorción y acumulación de N en función del abonado nitrogenado y de la disponibilidad de N en suelo.

- 3) Evaluar los efectos de distintas dosis de fertilizante nitrogenado en el rendimiento y en la calidad del fruto.
- 4) Utilizar distintos índices de eficiencia de uso del N por parte del cultivo del melón piel de sapo cultivado al aire libre para maximizar la producción y minimizar las pérdidas de N.
- 5) Cuantificar la influencia de distintos manejos de la fertilización nitrogenada en la mineralización del N orgánico del suelo utilizando balances de N.
- 6) Optimizar la fertirrigación de un cultivo de melón considerando aspectos agronómicos y medioambientales mediante la utilización de diferentes tipos de índices.

CAPÍTULO 4

El experimento de campo:

Características y diseño

experimental.

Varios de los métodos que se van a describir a continuación han sido utilizados repetidamente en el trabajo experimental presentado en esta tesis. Para evitar una descripción reiterada de estos métodos, se describen únicamente con detalle en este capítulo.

En este capítulo se recoge entre otros las características generales del lugar donde se realizaron los ensayos de melón durante los tres años de duración del presente trabajo, las características del lugar del experimento, del suelo y de las climáticas de la zona. A continuación se tratan el sistema de riego y las características del agua de riego utilizada, el diseño experimental, los tratamientos nitrogenados y el análisis estadístico realizado.

La experimentación en campo, se ha realizado en la Finca “La Entresierra” perteneciente a la Delegación de Agricultura y Medio Ambiente de Castilla La Mancha en Ciudad Real. Todos los análisis de los diferentes tipos de muestras se han realizado en el Departamento de Química y Análisis Agrícola de la Universidad Politécnica de Madrid.

4.1. Lugar del experimento

Los ensayos se realizaron en la finca experimental “La Entresierra” perteneciente a la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha en Ciudad Real, situada en la zona regable de “El Vicario”, a unos 3 km de Ciudad Real, cuyas coordenadas geográficas son: 3 ° 56 'W, 39 ° 0' N, y con 640 m de altitud. Dichos ensayos se realizaron durante el período de mayo a septiembre de 2005, 2006 y 2007.

Todos los experimentos se llevaron a cabo en tres parcelas independientes y contiguas en donde se cultivó el melón durante los tres años sucesivos que permitieron la rotación del cultivo (Figura 4-1). En los tres años previos al experimento, en cada una de las parcelas, se cultivó cereal, el cual no recibió ni riego ni enmiendas orgánicas ni fertilizantes, con el fin de agotar el N contenido en el suelo de años anteriores.

4.2. Características geológicas e hidrogeológicas de la zona

La Entresierra presenta un paisaje plano y débilmente accidentado dado que se encuentra en una pequeña depresión de fondo plano, cercana al límite de unos pequeños relieves que no exceden los 714 m (Varela y Castaño, 1995).

Desde el punto de vista geológico, las parcelas se encuentran dentro de la zona más septentrional del sector volcánico del Campo de Calatrava, concretamente en el

tránsito de la zona occidental de la Llanura Manchega y el dominio hercínico de los Montes de Toledo (Varela y Castaño, 1995).



Figura 4-1. Fotografía aérea de la finca experimental “La Entresierra” (Fuente: Google maps). En rojo delimitación de la finca “La Entresierra” y en fucsia delimitación de las parcelas donde se realizaron los ensayos.

Según el Mapa Geológico Nacional, la finca "La Entresierra" se sitúa en un sector de calizas, margas y calizas arenosas con intercalaciones de rocas volcánicas del Plioceno, que rellenan todas las cuencas y subcuencas situadas entre los relieves cuarcíticos de la zona. Estos materiales pliocenos han sido expuestos por la erosión ya que en las proximidades de la finca se encuentra aún la superficie erosiva con costras laminares características de la Llanura Manchega (Varela y Castaño, 1995).

Hidrogeológicamente, la zona pertenece a la Unidad Hidrogeológica de Ciudad Real, en la que los principales acuíferos son los formados por materiales volcánicos hidromagmáticos y los carbonatados. Los materiales carbonatados son fundamentalmente las calizas pliocenas que son semejantes a las que constituyen la Unidad Hidrogeológica de La Mancha Occidental. Sin embargo, en esta zona presentan un menor desarrollo, tanto en superficie como en profundidad, y cierto grado de aislamiento, no formando un acuífero homogéneo ni continuo por la presencia de los materiales paleozoicos. La finca “La Entresierra” se encuentra dentro de este acuífero carbonatado, en un sector relativamente aislado del resto del sistema por materiales paleozoicos (Varela y Castaño, 1995).

La profundidad del agua subterránea es de aproximadamente unos 20 m.

4.3. El suelo de la parcela.

El suelo fue clasificado como Alfisol Xeralf Petrocalcic Palexeralfs (Soil Survey Staff, 1999), con muy poca variabilidad vertical y con una profundidad entre 0,60 y 0,70 m, a partir de donde hay un horizonte petrocálcico discontinuo y fragmentado donde se acumula carbonato cálcico fuertemente cementado (Figura 4-2). El suelo es muy permeable por encima del horizonte petrocálcico y las grietas presentes en este horizonte proporcionan una mayor permeabilidad vertical a nivel local.

Este suelo fue descrito con los siguientes horizontes genéticos: Ap (0-0,3 m), Bck (0,3-0,6 m), Ckm (0,6-1,0 m), Cck (1,0 a >1,5 m) (Figura 4-2).

El contenido volumétrico de agua para los primeros 0,3 m de profundidad de suelo fue de 22,8% a capacidad de campo (potencial matricial del suelo de -0,03 MPa) y de 12,1% en el punto de marchitez (potencial mátrico del suelo de -1,5 MPa) y de 0,3 a 0,7 m de profundidad del suelo fue de 43,0 y 21,1% respectivamente.



Figura 4-2. Fotografía el perfil del suelo donde se realizaron los experimentos.

Las características del suelo correspondientes a cada año del experimento se proporcionan en la Tabla 4-1. Se trata de un suelo de una textura franco-arenosa, poco profundo, ligeramente básico (pH 7,9), medio en materia orgánica (22 g kg⁻¹) y rico en potasio (342-399 mg kg⁻¹).

Tabla 4-1. Propiedades físico-químicas del suelo experimental en 2005, 2006, y 2007.

Propiedades	2005	2006	2007
pH	7,9	7,9	7,9
CE ^a (mS cm ⁻¹)	0,2	0,2	0,2
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	22,6	22,1	22,2
P disponible (mg kg ⁻¹)	19,4	16,4	17,9
K disponible (mg kg ⁻¹)	398,9	347,0	342,5
Ca disponible (mg kg ⁻¹)	2302,1	1811,8	2016,9
Mg disponible (mg kg ⁻¹)	815,1	728,9	759,0
N (Kjeldahl) (g kg ⁻¹)	1,2	1,0	1,1

^a CE es la conductividad eléctrica.

La materia orgánica fue determinada usando el método descrito por Hesse (1971), el fósforo por el método Olsen (Olsen et al., 1954), potasio por fotometría de llama (Pratt, 1965), calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción (MAPA, 1994) y el N Kjeldahl por el método descrito por Bremer (1996).

4.4. El clima

La zona se caracteriza por un clima mediterráneo continental. Su característica principal es la existencia de una estación seca bien definida y una fuerte fluctuación diaria de las temperaturas. Los datos climáticos de los tres años en los que se realizaron los experimentos y un resumen histórico de los cuatro años anteriores al comienzo de los mismos, se recogen en la Tabla 4-2. La climatología se caracteriza por pocas precipitaciones y altas temperaturas estivales. La temperatura promedio durante el verano está alrededor de los 25°C, las máximas temperaturas se registran en julio y agosto. La precipitación media durante el cultivo del melón (de mayo a septiembre) está normalmente entre 20 y 50 mm y hay meses en los cuales no llueve. El verano es la estación más seca que representa sólo el 10% de la precipitación anual, y el resto de la precipitación se centra de Octubre a Abril. La evapotranspiración de referencia acumulada (ET_o) está entre 800 y 900 mm durante mayo a septiembre.

Debido a las escasas precipitaciones durante los meses de la crecimiento del melón y a las altas tasas de evapotranspiración, el riego es necesario, pero dada la alta salinidad del agua de riego, fue necesario aplicar una mayor cantidad de agua que las necesidades del cultivo, con el fin de lavar la acumulación de sales en el suelo y que no afectará al cultivo, por lo que se produjo drenaje.

Tabla 4-2. Datos climáticos mensuales y durante el período del experimento del área experimental en 2005, 2006, y 2007.

Parámetros climáticos	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
2000-2004 (Medias)					
Temperatura mínima del aire (°C)	7,1	12,8	12,9	13,8	11,0
Temperatura máxima del aire (°C)	22,0	32,5	31,6	32,9	28,7
Temperatura media (°C)	14,7	23,3	23,0	23,9	19,9
Precipitación (mm)	24,5	5,3	0,7	5,7	14,2
Humedad relativa (%)	61,1	43,1	32,6	38,0	47,6
Velocidad del viento (m s ⁻¹)	1,5	1,7	1,7	1,8	1,6
Ciclo de cultivo (2005)					
Temperatura mínima del aire (°C)	9,3	14,5	15,3	14,5	10,7
Temperatura máxima del aire (°C)	25,6	32,6	34,6	33,9	27,8
Temperatura media (°C)	17,9	23,9	25,7	24,7	19,6
Precipitación (mm)	5,3	10,2	-	-	1,6
Humedad relativa (%)	45,3	41,5	34,9	41,2	44,6
Velocidad del viento (m s ⁻¹)	1,9	1,9	1,8	1,7	1,9
Ciclo de cultivo (2006)					
Temperatura mínima del aire, °C	11,2	14,2	17,7	16,2	13,1
Temperatura máxima del aire, °C	27,0	32,1	36,4	34,2	29,7
Temperatura media, °C	19,1	23,2	27,07	25,2	21,4
Precipitación, mm	60,6	23,4	-	12,2	28,5
Humedad relativa, %	53,6	33,7	26,5	32,3	37,6
Velocidad del viento, m s ⁻¹	1,8	1,9	1,7	2,0	1,7
Ciclo de cultivo (2007)					
Temperatura mínima del aire, °C	8,2	11,7	14,8	15,4	13,7
Temperatura máxima del aire, °C	23,0	28,8	34,7	34,3	28,9
Temperatura media, °C	15,6	20,3	24,7	24,8	21,3
Precipitación, mm	92,2	20,0	1,2	3,3	64,2
Humedad relativa, %	68,7	53,7	43,7	47,7	62,63
Velocidad del viento, m s ⁻¹	1,8	1,7	1,7	1,9	1,5

4.5. El riego.

El riego fue por goteo y consistió en una línea de polietileno con emisores de 2 L h⁻¹ cada 0,5 m por cada fila del cultivo (Figura 4-3). Todas las parcelas recibieron 30 mm de agua para mejorar el establecimiento del cultivo (riego de implantación). La programación de riego se realizó desde los 12 hasta los 104 días después del trasplante (DAT) en 2005, desde 15 hasta 105 DAT en 2006, y de 23 a 100 DAT en 2007, con riegos diarios del 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc).



Figura 4-3. Detalle del sistema de riego por goteo y de la colocación del acolchado plástico transparente.

La ET_c se calculó diariamente como $ET_c = K_c \times ET_o$ (método de la FAO; Doorenbos y Pruitt, 1977); donde la K_c es el coeficiente de cultivo, determinado en estudios anteriores en la misma zona para el melón (Ribas et al, 1995), y la ET_o es la evapotranspiración de referencia, calculada por el método Penman-Monteith de la FAO (Allen et al., 2002) usando datos diarios de una estación meteorológica situada en la finca experimental y próxima a los campos de ensayo.

La cantidad bruta de agua a aplicar se calculó como el cociente entre la ET_c y la eficiencia del sistema, estimada en 0,81 (Rincón and Giménez, 1989). La precipitación efectiva fue despreciable durante el ciclo de cultivo en los tres años de ensayo por lo que no se tuvo en cuenta. El riego bruto aplicado fue de 574 mm en el primer año, 522 mm en el segundo y 458 mm en el tercero.

La procedencia del agua de riego varió en los tres años de ensayo. Así, en el año 2005, el agua utilizada fue superficial, del embalse del Vicario próximo a la finca, con el fin de utilizar un agua pobre en nitratos. En 2006, el agua utilizada fue procedente de sondeo, con las características propias de aguas subterráneas de la zona, por lo que sólo con el agua de riego se aplicaron 93 kg de N ha⁻¹ (Figura 4-4). En 2007, se construyó una balsa cerca de las parcelas experimentales, donde se acumuló agua superficial, de un depósito distinto del de 2005, con bajo contenido en nitratos.



Figura 4-4. Detalle de la alberca situada en la finca experimental “La Entresierra”.

La composición química del agua de riego se midió semanalmente y los datos medios anuales obtenidos se recogen en la Tabla 4-3

Tabla 4-3. Propiedades físico-químicas del agua de riego utilizada en el experimento en 2005, 2006, y 2007.

Propiedades	2005	2006	2007
pH	7,9	7,9	8,2
CE (mS cm ⁻¹)	2,0	2,5	0,3
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	5,6	80,6	10,9
NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	0,1	0,1	0,1
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	790,7	1376,5	56,1
K ⁺ (mg L ⁻¹)	1,4	3,6	2,5
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	16,5	176,0	10,9
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	163,3	138,0	17,5
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	193,1	323,3	34,8
Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	240,1	185,8	44,5

4.6. Diseño experimental y tratamientos.

En este experimento se ha utilizado el melón tipo "Piel de sapo" (*Cucumis melo* L., var. inodorus, cv. Sancho) Este tipo de melón es el más cultivado en España y en Castilla-La Mancha. Las semillas de melón fueron germinadas en invernadero, en abril de los tres años, hasta que brotaron dos o tres hojas verdaderas. Posteriormente, fueron trasplantadas al campo experimental y al aire libre, el 26 de mayo de 2005, el 24 de mayo de 2006 y el 28 de mayo de 2007, con acolchado plástico transparente y con una densidad de 4444 plantas ha⁻¹ (1,5 x 1,5 m) (Figura 4-5).



Figura 4-5. Detalle de planta de melón transplantada en acolchado plástico transparente.

El diseño experimental del ensayo fue en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos de N en 2005 y 2007 y tres en 2006 (Figura 4-6).

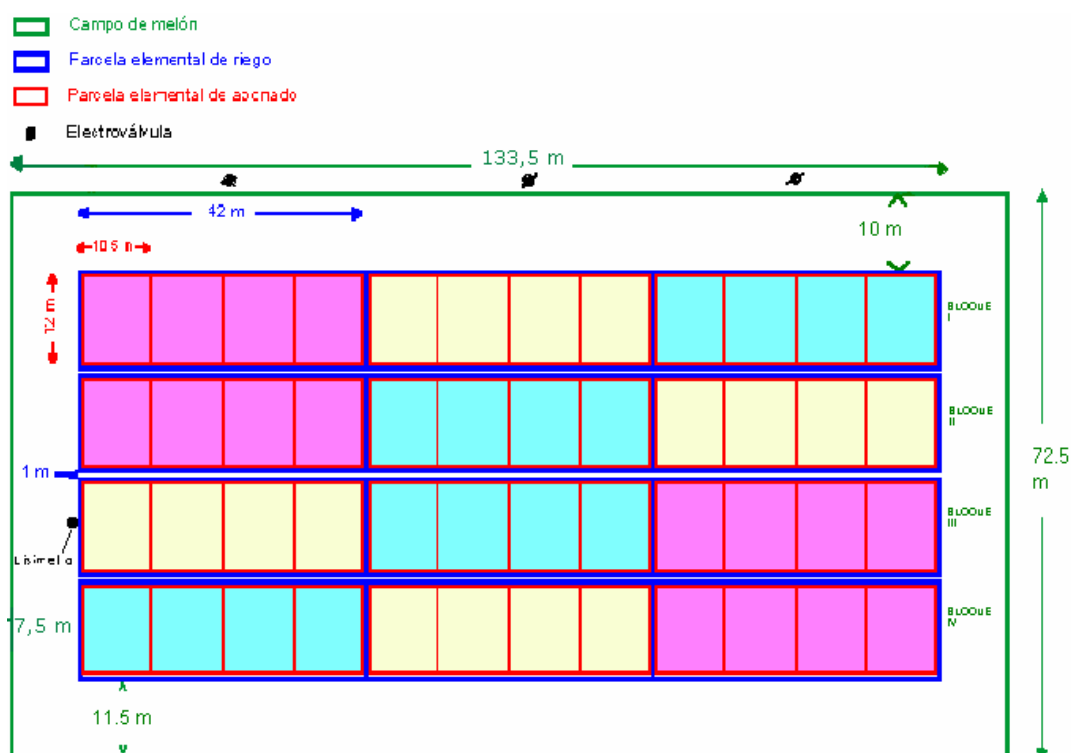


Figura 4-6. Esquema del campo experimental del melón.

Cada parcela elemental de abonado tuvo una superficie de 126 m², constaron de siete filas de plantación con ocho plantas cada fila, a un marco de plantación de 1,5 x 1,5 m (4444 plantas ha⁻¹) (Figura 4-7). De las siete filas, la primera y la última así como la primera y última planta de cada fila, sirvieron de borde de separación entre parcelas. De las cinco filas restantes, se tomaron plantas a lo largo del ciclo de cultivo para su control de crecimiento y realización de los respectivos análisis químicos, de forma que cada planta tomada para este fin estuvo rodeada en el momento del muestreo por plantas en cada una

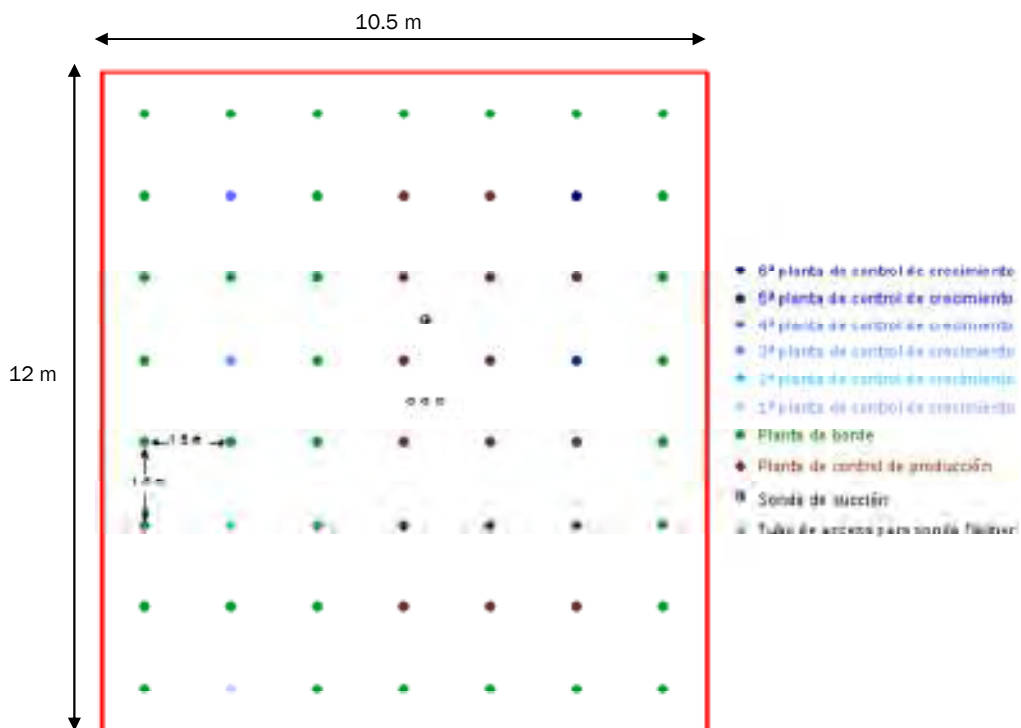


Figura 4-7. Detalle de la subparcela elemental de abonado nitrogenado.

En el centro de cada parcela elemental de abonado, entre dos plantas consecutivas, se instalaron tres tubos de acceso de la sonda Diviner, con el que se midió semanalmente el contenido volumétrico de agua, el cual fue utilizado en un balance hídrico con el que se calculó el drenaje. Entre las dos plantas consecutivas siguientes se instaló una sonda de succión para extraer la solución del suelo semanal donde se determinó la concentración de nitratos (Figura 4-8).



Figura 4-8. Detalle de tubos acceso sonda Diviner y sonda de succión.

4. El experimento de campo: Características y diseño

Los tratamientos consistieron en aplicar diferentes dosis de N utilizando la técnica de la fertirrigación. Se consideró la cantidad total de N aplicado en cada tratamiento como la suma del N aplicado con el fertilizante y el N contenido en el agua de riego. El N disponible fue la suma del N aplicado más el N mineral del suelo al inicio del cultivo (Tabla 4-4). El N mineral del suelo fue determinado en muestras tomadas a intervalos de 0,20 m. La concentración de nitratos en el extracto obtenido del suelo se midió utilizando el electrodo selectivo de iones, mientras que el amonio se determinó utilizando técnicas espectrométricas.

Tabla 4-4. Nitrógeno aplicado con el fertilizante, N aplicado con el agua de riego y N disponible en 2005, 2006, y 2007.

Tratamiento de N	N fertilizante (N _f) (kg ha ⁻¹)	N aplicado		N en suelo al inicio de cultivo (kg ha ⁻¹)	N disponible (N _{av}) (kg ha ⁻¹)
		N en agua (N _w) (kg ha ⁻¹)	N aplicado (N _{ap}) (kg ha ⁻¹)		
2005					
N ₃₀	0	30	30	92	122
N ₈₅	55	30	85	91	176
N ₁₁₂	82	30	112	88	200
N ₁₃₉	109	30	139	80	219
2006					
N ₉₃	0	93	93	63	156
N ₂₄₃	150	93	243	71	314
N ₃₉₃	300	93	393	68	461
2007					
N ₁₁	0	11	11	36	47
N ₆₁	50	11	61	30	91
N ₉₅	84	11	95	29	124
N ₁₄₈	137	11	148	40	188

El fertilizante nitrogenado utilizado fue nitrato amónico (34,5% N) durante 10 semanas del ciclo de cultivo en los tres años de estudio (desde los 19 hasta los 84 DAT en 2005, desde 16 hasta 86 DAT en 2006 y de 25 a 86 DAT en 2007), utilizando una cuba calibrada situada en un extremo del campo (Figura 4-9).



Figura 4-9. Detalle del sistema de fertilización nitrogenada utilizado en el experimento del melón.

En dicha cuba se preparó una solución con nitrato amónico y agua, que se inyectó en el sistema de riego mediante una bomba dosificadora con la que inyectaba la cantidad de solución fertilizante correspondiente a cada tratamiento (Figura 4-10).

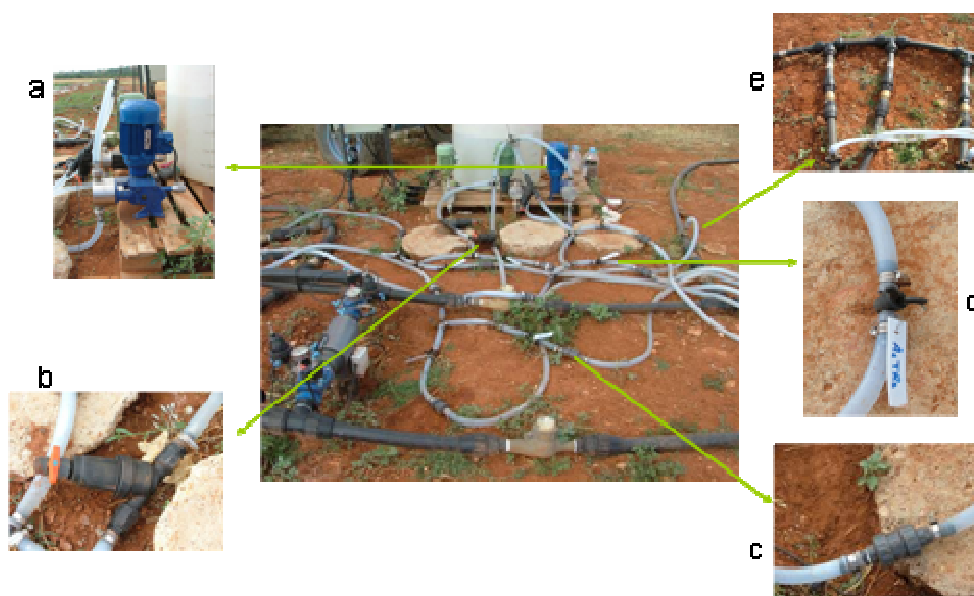


Figura 4-10. Detalle del sistema de fertilización nitrogenada constituido por: a) bomba dosificadora, b) filtro, c) válvula de retención, d) llave de paso y e) conexión a la tubería secundaria que conduce la solución fertilizante nitrogenada a la tubería de polietileno que conduce el riego a cada parcela.

Todos los tratamientos recibieron además, 120 kg de P_2O_5 ha⁻¹, en forma de ácido fosfórico, que se aplicó mediante fertirrigación, desde la tercera semana después del transplante hasta la última semana de agosto en los tres años. No fue necesaria la aplicación de potasio debido al alto contenido de este elemento en el suelo (Tabla 4.1).

De forma complementaria se llevó a cabo durante el período de crecimiento un programa de control de enfermedades y de plagas de acuerdo con la práctica habitual de gestión.

4.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en los experimentos fueron analizados estadísticamente, cada año por separado, usando el test de ANOVA. En el caso de obtener diferencias significativas, se utilizó el Test Tukey. Las regresiones lineales y cuadráticas se representaron usando el software de análisis estadístico SPSS. Las ecuaciones potenciales y exponenciales se representaron utilizando el Excel del Windows 2003.

CAPÍTULO 5

Growth dynamics and yield
of melon as influenced by
nitrogen fertilizer.

5.1. ABSTRACT

Nitrogen is an important nutrient for melon production. It is necessary with a sufficient amount to maintain an appropriate balance between growth and yield. Melon vegetative organs must develop sufficiently to intercept light and accumulate water and nutrients but it is also important to obtain a large reproductive-vegetative dry weight ratio to maximize the fruit yield. We evaluated the influence of different N amounts on the growth, production of dry matter and fruit yield (FY). The dry matter production of leaves and stems increased as the N amount increased. The dry matter of the whole plant was affected similarly, while the fruit dry matter decreased as the N applied was increased above 112, 93 and 95 kg ha⁻¹, in 2005, 2006 and 2007, respectively. The maximum Leaf Area Index (LAI), 3.1, was obtained at 393 kg ha⁻¹ of N applied. The lowest N supply reduced the fruit yield by 21%, while the highest increased the vegetative growth, LAI and Leaf Area Duration (LAD), but reduced yield by 24% relative to the N₉₃ treatment. Excessive applications of N increase vegetative growth at the expense of reproductive growth. For this melon type, rates about 90-100 kg ha⁻¹ of N applied are sufficient for adequate plant growth, development and maximum production. To obtain fruit yield close to the maximum, the leaf N concentration at the end of the crop cycle should be higher than 19.5 g kg⁻¹.

5.2. INTRODUCTION

The yield of melon is determined by the biomass accumulation of fruits, and therefore the dry matter distribution among plant organs plays a very important role in crop productivity and profitability (Peil and Galvez, 2005). To obtain a high yield and good quality, it is essential that the leaf biomass has a fast growth and produces a large quantity of assimilates, which will go mainly to fruits during their growth and development (Hubbard et al., 1990; Bartolo and Schweissing, 1998), and N is a dominant nutrient in growth, productivity and longevity (Huett, 1996).

Melon crop production in dry climates is particularly sensitive to deficiencies in soil moisture and N (Panagiotopoulos, 2001; Silva et al., 2007b; Cabello et al., 2009). The uptake of N and its accumulation in the parts of melon plants over the growing season have been studied by researchers for some cultivar groups of melon such as *Reticulatus* (Purqueiro et al., 2003; Kirnak et al., 2005), *Cantalupensis* (Pérez- Zamora and Cigales-Rivero, 2001; Fagan et al., 2006), and the results are different and sometimes contradictory. In most cases, these researchers show experiments located in greenhouses and in greenhouse hydroponics (Fukutoku et al., 2000; Fogaça et al., 2008). These authors

information about the dynamics of N uptake but, in most cases, the optimum application rates were not determined. Therefore, new approaches are necessary to optimize the N fertilization of this important type of melon: 'Piel de Sapo' (inodorus group) grown under field conditions and with plastic mulch. Its growth dynamics is different from types of melon already studied and also, the N optimization in relation to growth and yield. In fact, large amounts of N are used by growers (sometimes higher than 250 kg ha⁻¹) contributing to the increase of the contamination of groundwater by nitrates (Castellanos et al., 2010 b).

We evaluated the effect of different rates of N fertilizer on the growth and production of dry matter, and the effects of rates of N fertilizer and leaf N concentration on fruit yield in order to determine the optimum N amount and leaf N concentration of a melon 'Piel de Sapo' type crop.

5.3. MATERIAL AND METHODS

5.3.1 Plant sampling and analysis

During the growing season, at 15, 34, 53, 70 and 91 days after transplanting (DAT) in 2005, at 20, 41, 62 and 83 DAT in 2006 and at 22, 36, 50, 64, 78 and 92 DAT in 2007, four plants of each treatment were sampled at random from the rows of each plot. Selected plants were always surrounded by border plants. Leaves (blades and petioles), stems and fruits (when present) were separated and weighed to obtain fresh weight and the total leaf area was measured with a leaf area meter (LI-3100C, LI-COR, Lincoln, NE). The dry weights of leaves, stems and fruits were determined after drying at 80°C for 48 h, to constant weight.

The leaf area index (LAI) was calculated by dividing the total leaf area by the ground area available for one plant (2.25 m²). From the LAI values over the crop cycle, the leaf area duration (LAD) across the harvest interval (t-1 to t) was calculated using the equation:

$$LAD_t = LAD_{t-1} + \frac{(LAI_t + LAI_{t-1}) * n}{2}$$

where: LAD_t is LAD calculated at the time of harvest (t), LAD_{t-1} is LAD calculated at the time of the previous harvest (t-1), LAI_t is LAI calculated at the time of harvest (t), LAI_{t-1} is LAI calculated at the time of the previous harvest (t-1), n is the period of time (days) between two successive harvests [(t-1)-t].

At the end of the cycle, sub-samples of the leaf dry matter were finely ground and the total N concentration was measured by the Kjeldahl method (AOAC, 1990).

5.3.2. Yield, quality and nitrogen production functions

The harvests were carried out weekly and started at 68, 63 and 66 DAT in 2005, 2006 and 2007, respectively, when fruits were fully mature. At each harvest, melon fruits were weighed individually and the total yield per hectare was calculated. For each harvest, four representative marketable fruits from each replication were analysed for fruit quality parameters. Flesh firmness was measured at four zones of the cut equatorial surface using a Penefel (Agro-Technologie, Tarascon, France), with an 8 mm diameter tip measuring the force necessary to penetrate into the flesh. Flesh ratio (FR) was calculated using the formula: $2 \times \text{flesh thickness} \times \text{width}^{-1}$. From the liquid extract obtained by liquefying the mesocarp of each fruit, the total soluble solids (TSS) content was determined by a handheld Atago refractometer. Nitrogen production functions were obtained by relating the relative yield (yield/maximum yield) to the total N applied and the leaf N concentration.

5.4. RESULTS AND DISCUSSION

5.4.1. Dry matter accumulation

In 2005, the amount of N applied had a clear effect on the dry matter accumulation in the leaves, stem and fruit, and, therefore, in the total aerial plant (Figure 5-1). Leaf dry matter of N₁₃₉ treatment increased ($p \leq 0.05$), by 66%, by N compared with the N₃₀, at 53 DAT, coinciding with the first setting of fruits, and these differences increased as the crop developed (Figure 5-1a).

The biomass accumulation in the stem, fruit and whole plant followed the same tendency, although the highest differences were obtained at the end of the cycle (Figure 5-1b, c and d). In 2005 two growth patterns were observed. On the one hand, the dry biomass of the stem and leaves increased continuously as the N amount rose; on the other hand, the fruit biomass increased up to the N₈₅ treatment, but higher N application had no influence.

At the end of the growing season, the N₈₅, N₁₁₂ and N₁₃₉ treatments had increased the total aerial dry matter, relative to the N₃₀ treatment, by 40, 59 and 61%, respectively.

In 2006, N had no effect ($p \leq 0.05$) on the dry weights of the plant parts (Figure 5-2). However, a tendency for the biomass to increase the vegetative parts: leaf ($p \leq 0.08$) and stem ($p \leq 0.09$), was observed in the treatments with more N (Figure 5-2a and b), while the fruit showed ($p \leq 0.06$) the opposite tendency (Figure 5-2c). As a result of this inverse response, a similar accumulation of the total biomass in the three treatments over the entire crop cycle was obtained (Figure 5-2d). This could be due to the fact that the N uptake

in the N₉₃ treatment was close to the threshold value of N uptake by melon crop (180 kg ha⁻¹, in our case) (Castellanos et al., 2010 b).

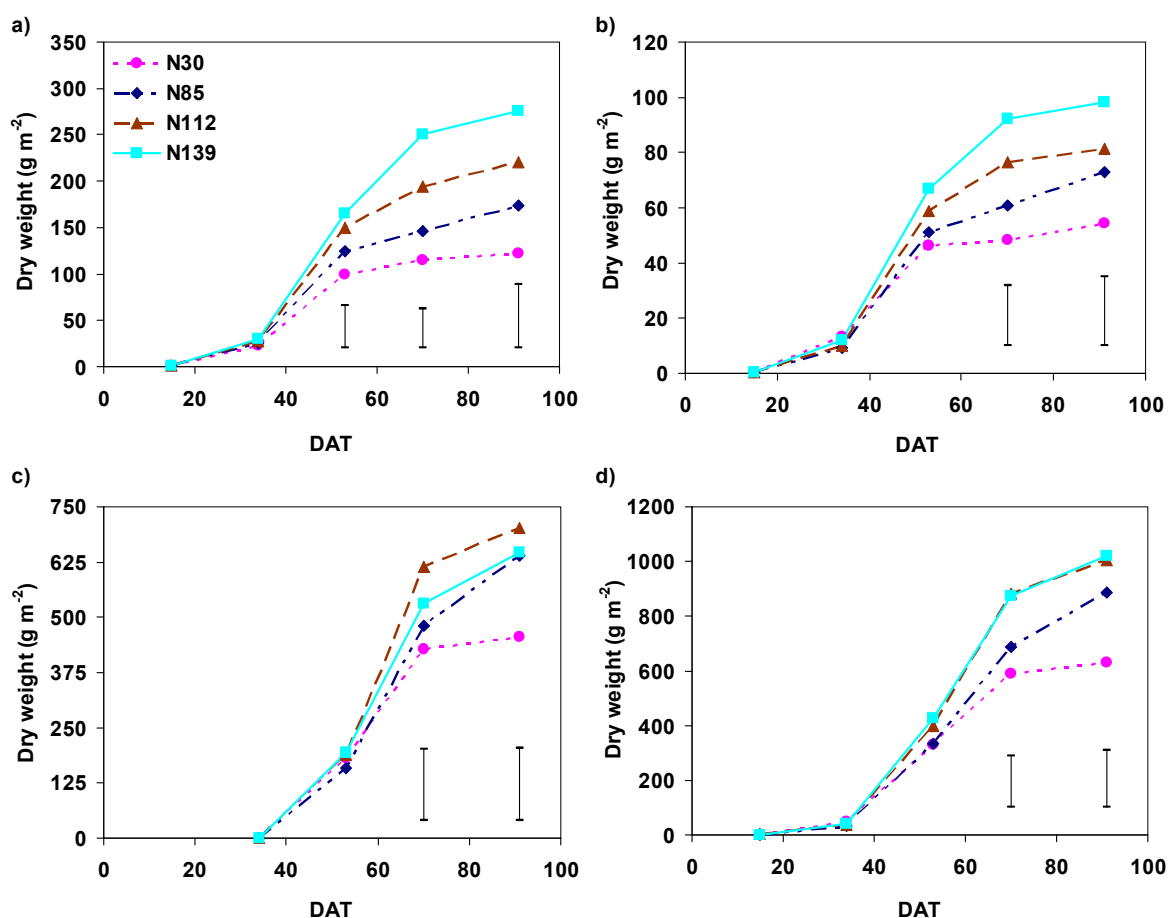


Figure 5-1. Dry matter production of leaf (a), stem (b), fruit (c) and total aerial plant (d) during the growing season in 2005. Each data point is the mean of four replicates. The bars represent the least significant difference ($p \leq 0.05$).

In 2007, the amount of N influenced ($p \leq 0.05$) from 50 DAT leaf and stem dry weights and from 64 DAT the whole plant (Figure 5-3a, b and d). The lowest values of dry matter production were always for the N₁₁ treatment. Again, two growth responses were observed: the biomass of the vegetative part increased as the N amount increased, while the fruit biomass increased up to a maximum of 430 g m⁻² (N₉₅ treatment). The total aerial biomass had a response ($p \leq 0.05$) to N application: the N₁₄₈ treatment increased the total dry matter by 34% compared with the N₁₁ treatment.

Dry matter maximum values were higher than those found in the literature. Kirnak et al. (2005) obtained 157.4 g m⁻² for aerial dry biomass (without fruit) and Da Silva et al. (2006) 165.75 g m⁻² for total aerial dry biomass, with similar N amounts in relation to ours, 120 and 98 kg ha⁻¹, respectively. These variations could be due to the different cultivar used and different edaphoclimatic conditions. The cultivar chosen in our case (Sancho) has a high vegetative and productive capacity and requires a low planting density because

competition for water and nutrients in dense plants stands decreases growth and yield (Cabello, et al., 2004).

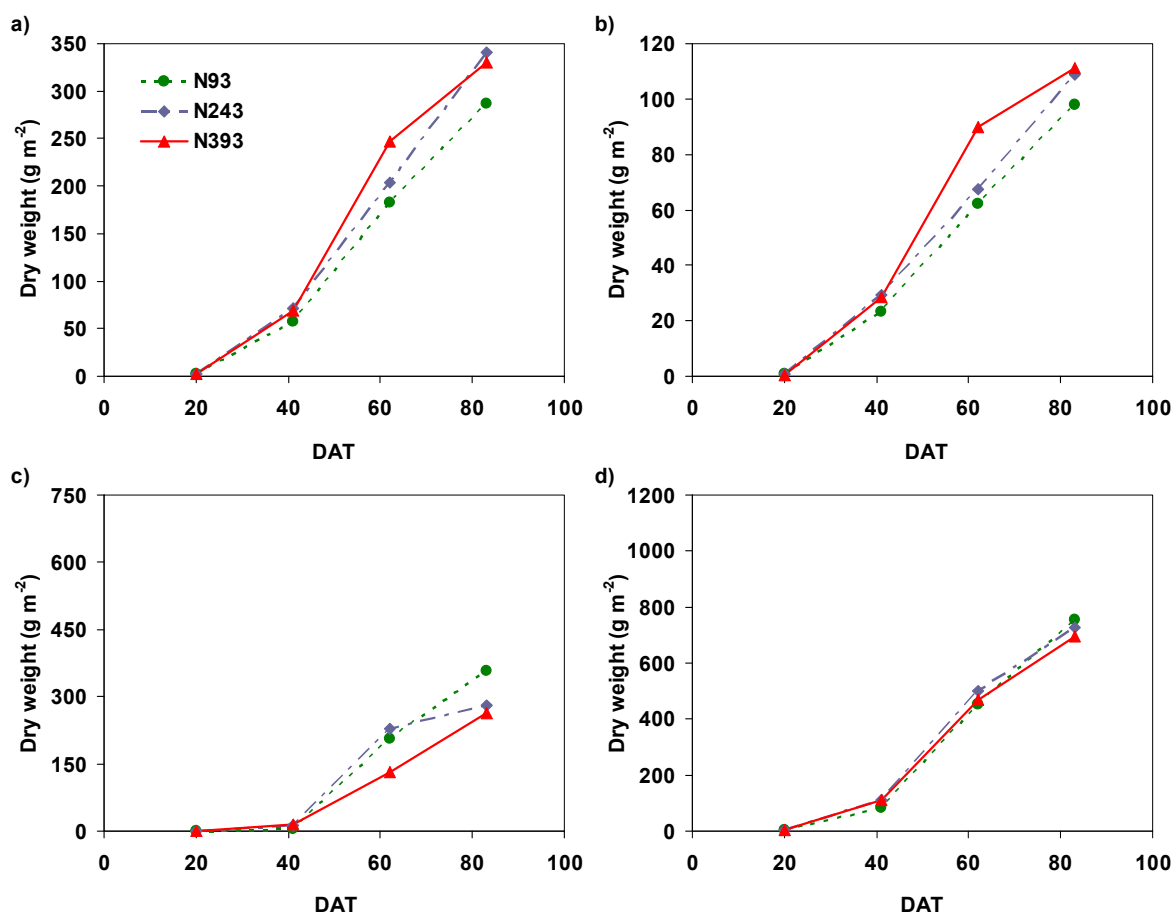


Figure 5-2. Dry matter production of leaf (a), stem (b), fruit (c) and total aerial plant (d) during the growing season in 2006. Each data point is the mean of four replicates. The bars represent the least significant difference ($p \leq 0.05$).

Taking into account the fruit biomass in the three years, the optimum N supply was about 90 kg ha⁻¹. Rates above this amount produce excessive vegetative growth, with no effect or with a negative effect on the fruit growth. The different growth behaviours with regard to N, observed in the vegetative (leaf and stem) and reproductive parts (fruit) is in agreement with Kirnak et al. (2005) for melon. This is due to the fact that heavy N applications can stimulate the vegetative growth at the expense of fruit yield (Mills and Jones, 1979; Hartz and Hochmuth, 1996).

Unlike the fruit biomass, the accumulated biomass of both leaf and stem in 2005 was lower than in 2006 and 2007. This reduction was produced as a result of a slowdown in leaf growth, as the fruit required photoassimilates. In similar species, such as cucumber, the translocation of photoassimilates to the fruit can exceed 50% of the total (Verkleij and Hofman-Eijer, 1988). The fact that this effect occurred in our study is also supported by the event that in 2005, when the highest yield was obtained, the vegetative growth was slower,

especially when the fruit biomass was greater. This effect was more pronounced at lower N rates. On the other hand, the fruit developed later in 2006 and 2007 than in 2005. This could be due to a fruit-set delay because, in the last two years of the trial, the temperature dropped during the female flowering (in the middle of June) and, according to Maestro and Alvarez (1988), a good pollination requires a temperature higher than 18°C, the optimum for the Piel de Sapo melon being about 30°C.

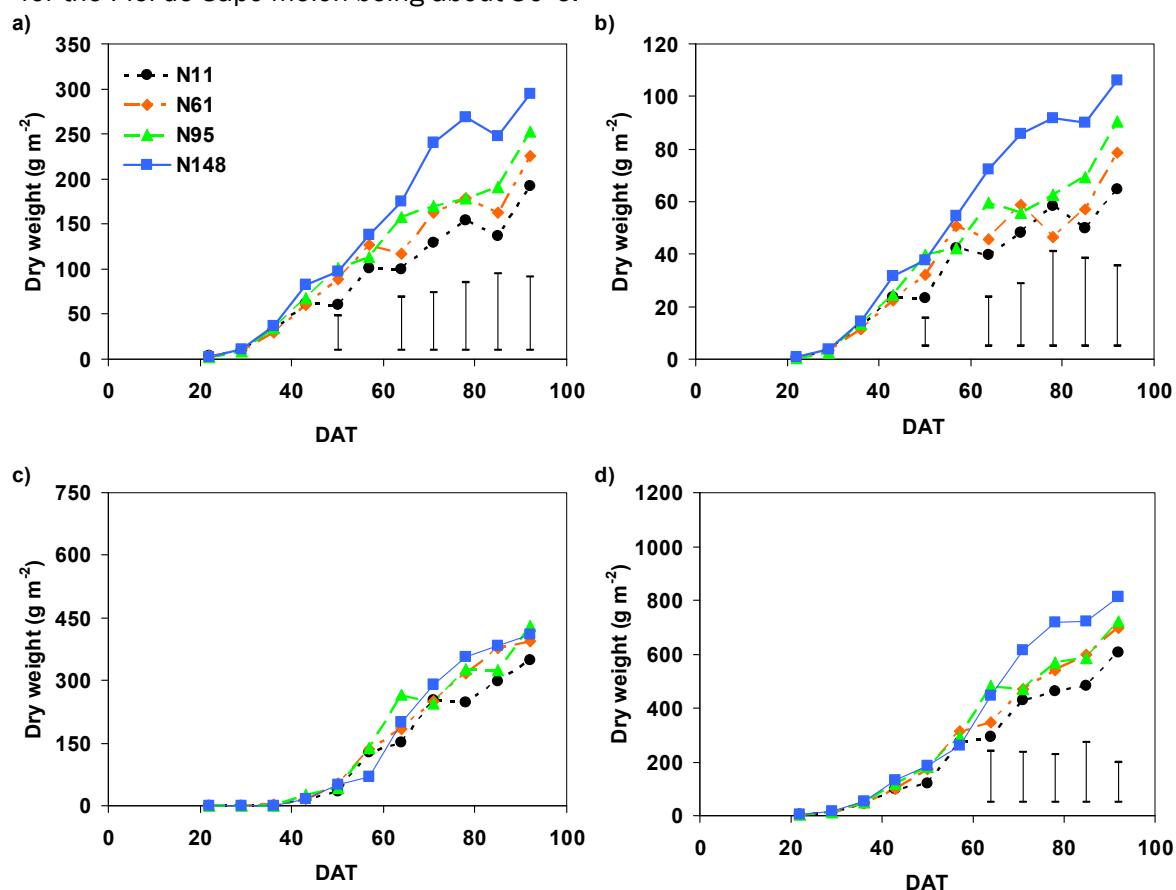


Figure 5-3. Dry matter production of leaf (a), stem (b), fruit (c) and total aerial plant (d) during the growing season in 2007. Each data point is the mean of four replicates. The bars represent the least significant difference ($p \leq 0.05$).

5.4.2. Dry matter distribution.

At the beginning of the crop cycle, the leaf was the organ which contributed most to the total biomass in all three years, representing more than 80% (Figure 5-4). The stem made a stable contribution to the whole plant, both over the cycle and between years (Figure 5-4). Fruit growth started nearly in the middle of the cycle, with a fast development. This produced a fast increase in its contribution to the total biomass. The values depended on the year, ranging between 69.8% in 2005 and 41.3% in 2006 (Figure 5-4). In these years, the fruit proportion decreased with N applications higher than 90-100 kg ha⁻¹. This suggests that higher N amounts are allocated especially to the vegetative growth rather than fruit yield.

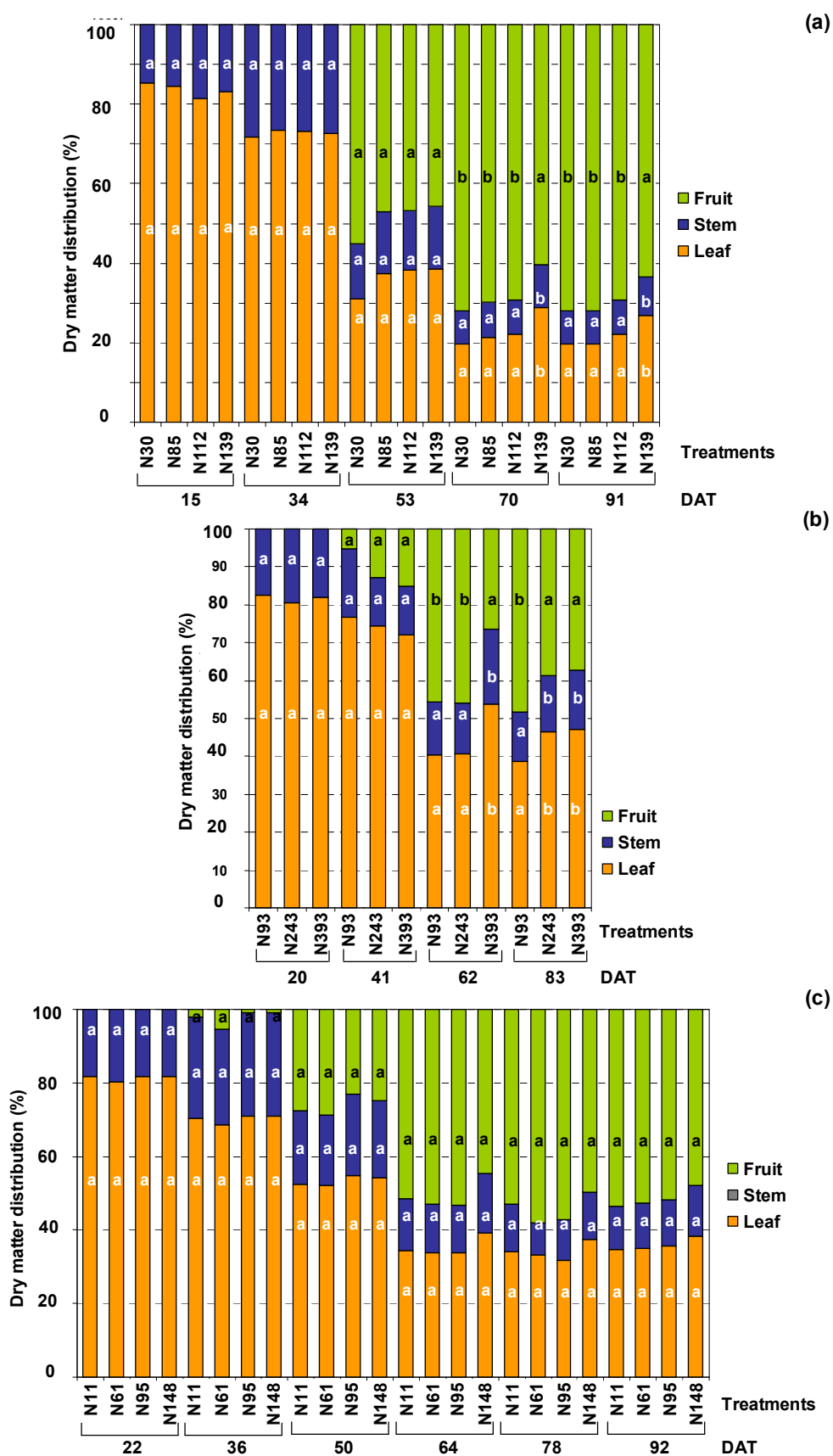


Figure 5-4. Dry matter distribution in leaf, stem and fruit during the growing season in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).

The year-to-year variation of the leaf dry matter contribution to the total aerial biomass could be due to the differences in yield among the three years, and thus in the competition for assimilates between leaves (sources) and fruits (sinks). Fagan et al. (2006) stated that high fruit load affects leaf biomass negatively and Valantin et al. (1998) reported that the fruit number is the factor determining the allocation of resources between vegetative and reproductive organs; fruits constitute large sinks, which grow at the expense of leaf formation.

5.4.3 LAI and LAD

In 2005, except for the N₃₀ treatment, a continuous increase in LAI up to the end of the cycle was observed (Figure 5-5a); this was affected ($p \leq 0.05$) by the N rates from 70 DAT. The maximum LAI value of 3.6 was obtained with N₁₃₉, increasing by 157% compared to N₃₀. In 2006, the highest LAI values occurred at 62 DAT (Figure 5-5b). On this date, LAI was affected ($p \leq 0.06$) by the N amount, increasing by 23% (N₂₄₃) and 39% (N₃₉₃) compared to N₉₃. In 2007, the maximum LAI (2.2) was reached in the N₁₄₈ treatment at 78 DAT and this was 47% higher than the control value (N₁₁). At the end of the cycle, the LAI values decreased and, as in the previous year, the reduction was more marked with the higher N amounts (Figure 5-5c).

The decrease observed from 62 DAT in 2006 and from 64-78 DAT in 2007 was due to an infection by *Sphaerotheca fuliginea*. Both the LAI values and their evolution in the last two years are in agreement with the results obtained by Ribas et al. (2000) by Pinyonet-Piel de sapo melon and, as in our case, LAI was very sensitive to factors limiting the growth and production. De Pinheiro Henriques and Marcelis (2000) found a strong decrease in dry matter production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with decreasing rate of N supply, which was accompanied by an important decline in LAI.

In 2005, LAD was also affected ($p \leq 0.05$) by the N treatments from 70 DAT, increasing with the N supply (Figure 5-5). At the end of the cycle, the LAD value for the N₁₃₉ treatment was 60 days longer than for N₃₀. In 2006, N affected LAD at 83 DAT and the highest value (160 d) was obtained at 393 kg N ha⁻¹ (Figure 5-5b). In 2007, LAD values were lower than in previous years and N had an influence from 78 DAT (Figure 5-5c). At the end of the cycle, the values were 62 and 92 days in N₁₁ and N₁₄₈ treatments, respectively.

Given that N influenced LAI in 2005 and 2007, LAD was also affected. In 2006, over the entire crop cycle, LAD values were similar in the two treatments with the highest N amounts because, although at 64 DAT, LAI was slightly lower in treatment N₂₄₃ than in N₃₉₃; this difference was compensated later. On the other hand, at 83 DAT, LAD was lower

($p \leq 0.05$) in the N₉₃ treatment than in the other two, because LAI was also lower during the growing cycle.

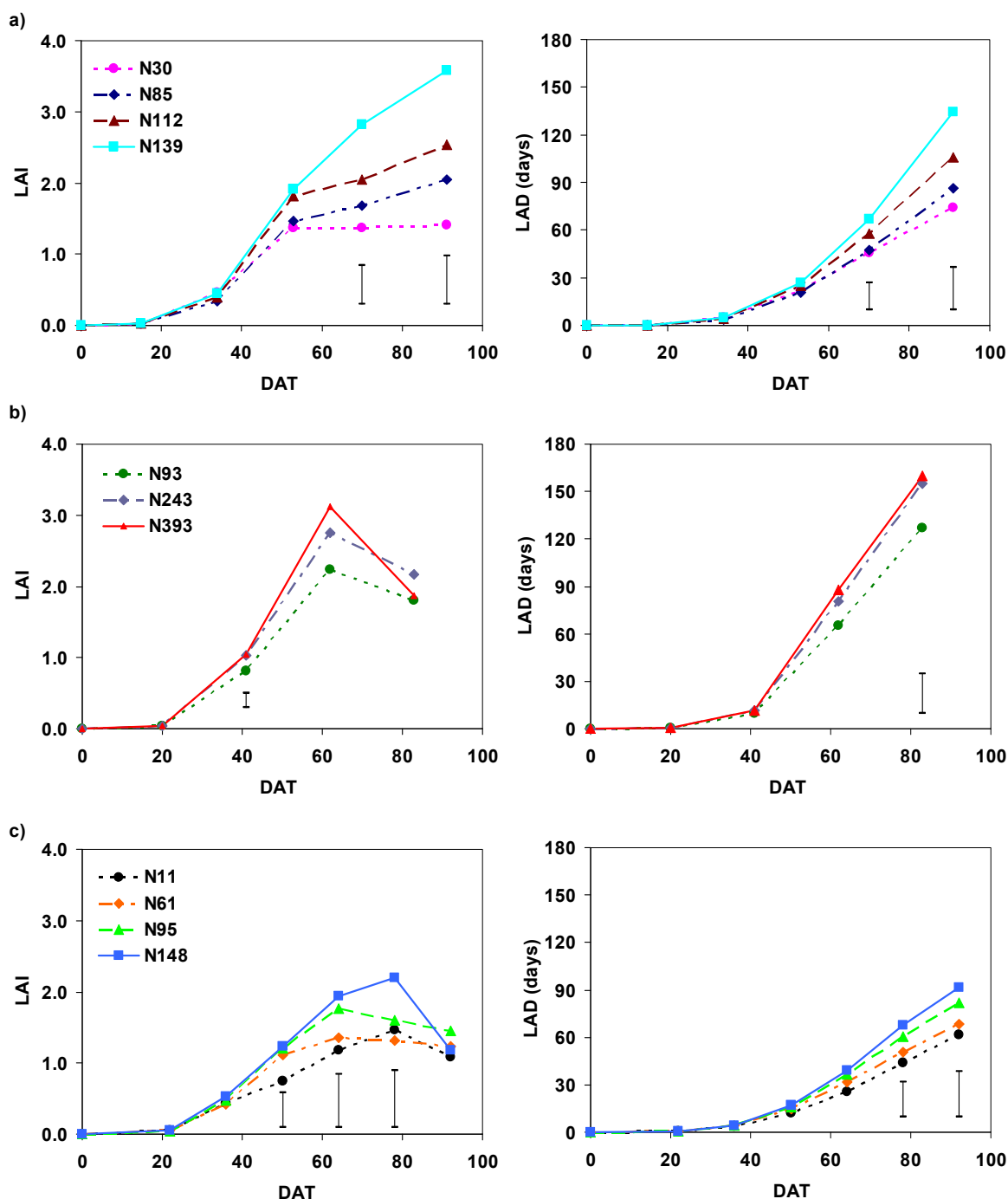


Figure 5-5. Leaf Area Index (LAI) and Leaf Area Duration (LAD) during the growing season in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c). Each data point is the mean of four replicates. The bars represent the least significant difference ($p \leq 0.05$).

Two linear regressions were found by relating the fruit yield to LAD, the first one with a positive slope was obtained taking into account the yield values which were increasing as LAD values increased until the maximum yield was reached: $y = 0.2977x + 13.8547$; $R^2 = 0.94$; $STD = 1.096$; $p \leq 0.001$, and the second straight line with a negative slope was determined taking into account the maximum yield and the decreasing LAD values:

$y = -0.19x + 65.12$; $R^2 = 0.76$; $STD = 2.754$; $p \leq 0.05$. The breaking point between the two regressions was obtained with LAD values of 104 d and fruit yields of 44.82 t ha^{-1} . These results suggest that it is necessary to keep a balance between vegetative and reproductive growth to obtain high fruit yield. With LAD values higher than 104 days, the vegetative growth was higher but the fruit yield was negatively affected.

5.4.4. Yield and nitrogen production functions

Nitrogen affected the fruit yield in all three years (Table 5-1). In 2005, the highest yield was obtained with 112 kg ha^{-1} of N, decreasing by 22% in relation to the N_{30} treatment. In 2006, the highest yield was obtained with 93 kg ha^{-1} of N, decreasing by 23% at the maximum amount of N applied. In 2007, the fruit yield rose by 25% and 30% when the N rate increased from 11 to 95 and 148 kg ha^{-1} , respectively.

Table 5-1. Fruit yield of melon grown at different N rates in 2005, 2006 and 2007.

Treatment	Fruit Yield (t ha^{-1})	Flesh Firmness (kg)	Flesh Ratio	° Brix
2005				
N_{30}	40.6 a	2.19 a	0.65 b	11.64 a
N_{85}	49.4 ab	2.28 a	0.64 b	11.54 a
N_{112}	52.0 b	2.19 a	0.64 b	11.26 a
N_{139}	45.5 ab	2.25 a	0.59 a	11.19 a
2006				
N_{93}	41.8 b	2.48 a	0.54 c	10.73 a
N_{243}	38.3 b	2.57 a	0.51 b	11.41 a
N_{393}	32.4 a	2.58 a	0.49 a	10.97 a
2007				
N_{11}	34.5 a	2.01 a	0.75 b	10.55 a
N_{61}	39.2 ab	1.89 a	0.71 ab	10.28 a
N_{95}	43.1 bc	1.92 a	0.68 a	10.57 a
N_{148}	44.9 c	1.90 a	0.69 a	10.97 a

Values followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$.

An increasing N supply produces an increase in the fruit yield up to a maximum value, but, if the supply continues increasing, the production is affected in a negative way. However, other authors did not obtain significant reductions with rates of 160 kg ha^{-1} of N (Pérez-Zamora and Cigales-Rivero, 2001), 300 mg L^{-1} of N (Purqueiro et al., 2003) or 120 kg ha^{-1} of N (Kırnak et al., 2005). Hochmuth and Cordasco (2000) recommend 168 kg ha^{-1} of N.

The relationship between relative yield and N applied taking into account the three years was highly significant (Figure 5-6): a second-order polynomial curve (1) was fitted which showed a maximum relative yield at 194 kg ha⁻¹ of N. Above this amount, N had a negative effect on yield. According to the equation, 95% of the maximum yield could be obtained with N amounts between 114 and 273 kg ha⁻¹.

Two linear regressions were obtained as a result of dividing the yield response to N applied into two intervals (0-111 and 111-393 kg N ha⁻¹). In this way, the coefficients of determination (R^2) and the standard errors were improved, although the regression showing the decrease of yield versus N applied did not have improved in significance. The first straight line (2) has a positive slope, greater than that of the second, and shows the increase in relative yield as N fertilizer increases from 11 to 111 kg ha⁻¹. The second straight line (3) has a negative slope and shows the decrease of yield as N supply continues increasing up to 393 kg ha⁻¹. In this case, yields higher than 95% of the maximum could be obtained with N amounts between 93 and 155 kg ha⁻¹.

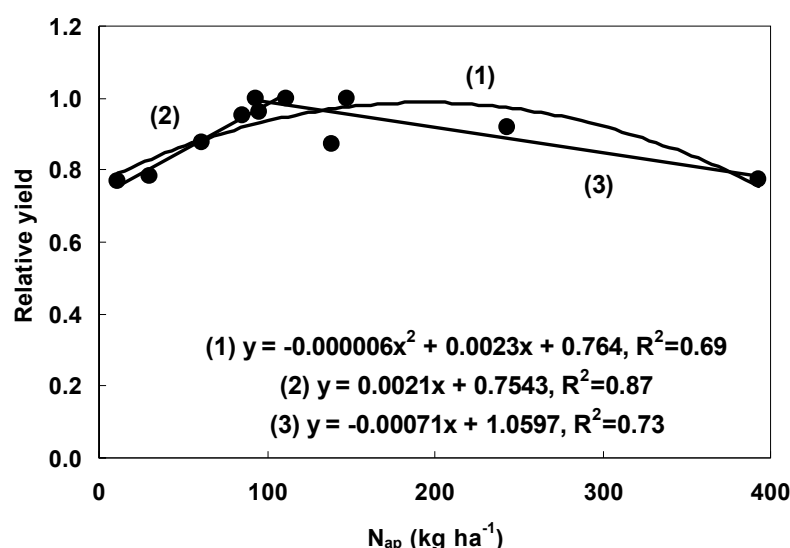


Figure 5-6. Relationships between relative yield (Fruit yield/maximum fruit yield) and N applied in 2005, 2006 and 2007. Each data point is the mean of four replicates.

Different functions were obtained to relate yield to the amount of fertilizer applied. Unlike Kirnak et al. (2005), who obtained a good second-degree function, in our case, the fruit yield shows a different behaviour when the optimum N amount has not been reached and when this amount has been exceeded. In these cases, the use of symmetrical functions, such as a second-degree polynomial, usually show a worse adjustment and also the behaviour of the crop is less explained than when two different functions are obtained. For this reason, it was better to divide the yield response into two phases to obtain two first-degree equations. So, this model has better statistics and predicts better the maximum yield value (the point of intersection of two straight lines), obtained with 111 kg ha⁻¹, since

the maximum yields in the three years were produced between 93 and 148 kg ha⁻¹. This amount was 43% lower than that obtained with the quadratic model, and 34% lower than 168 kg ha⁻¹ recommend by Hochmuth and Cordasco (2000).

The function relating the relative yield to leaf N concentration (Figure 5-7) was adjusted to a second-degree polynomial. The maximum yield is obtained with a leaf N concentration of 22.2 g kg⁻¹ and 90% of the maximum yield would be expected with leaf N concentrations of 19.5 g kg⁻¹ and 25.0 g kg⁻¹. Lower concentrations than 19.5 g kg⁻¹ and higher concentrations than 25.0 g kg⁻¹ would produce a larger decrease of yield. The curvilinear relationship between relative yield and leaf N concentration was significant and showed low R² (0.63).

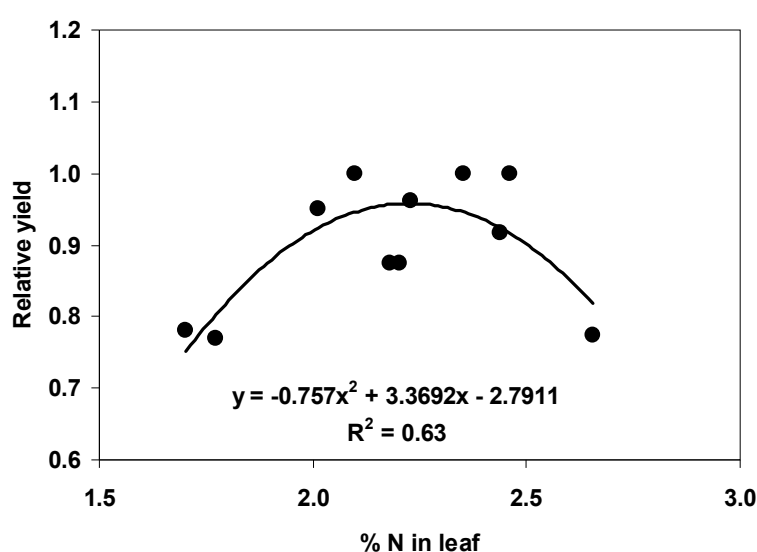


Figure 5-7. Relationships between relative yield (Fruit yield/maximum fruit yield) and leaf N concentration in 2005, 2006 and 2007. Each data point is the mean of four replicates.

The optimum N concentrations are lower than those obtained by Kirnak et al. (2005) in galia melon, who obtained less fruit yield than we obtained. In accordance to our results, Marr and Lamont (1992) obtained mean values of leaf N concentration of 20.0 g kg⁻¹. The lowest leaf N concentration coincides with the fruit growth because this one is a large sink of nutrients (Goreta et al., 2005).

In the three years, flesh ratio increased gradually ($p \leq 0.05$) with decreasing N application, ranging between 0.65 (N₃₀) and 0.59 (N₁₃₉) in 2005, 0.54 (N₉₃) and 0.49 (N₃₉₃) in 2006, and 0.75 (N₁₁) and 0.68 (N₉₅) (Table 5-1). These findings show that excess N reduces the fruit quality, increasing the central cavity and decreasing the edible part. The N amount did not affect flesh firmness (Table 5-1). On the contrary, Silva et al. (2007b) observed a decrease in the flesh firmness with increasing N rates in yellow melon.

Total soluble solids were not affected by the N treatments (Table 5-1) in accordance to the results obtained by Rodriguez et al. (2005) for Galia melon and Silva et al. (2007b) for yellow melon. Kirnak et al. (2005) also reported that N application generally had little or no effect on soluble solids.

5.5. CONCLUSIONS

The melon crop shows two patterns of growth as a response to the applied N. The vegetative part increases gradually as N supply increases. Conversely, the relative fruit yield increases up to a maximum after which it decreases. The maximum yield and the highest proportion of fruit biomass in relation to that of the whole plant would be obtained with a N supply of the order of 90-100 kg ha⁻¹. The optimum leaf N concentration at the end of the growing season, with respect to obtaining the maximum fruit yield, is close to 22.2 g kg⁻¹.

CAPÍTULO 6

Nitrogen uptake dynamics,

partitioning, yield and

nitrogen returned as

influenced by nitrogen

fertilization.

6.1. ABSTRACT

The need to reduce N fertilizer pollution is strengthening the importance of improving the utilization efficiency of N applied by crops. This requires knowing the dynamics of N uptake and how it is affected by fertilization management. We investigate the influence of different N rates on the dynamics of N uptake, N use efficiency (NUE), crop N balance and fruit yield. Both N concentration and N uptake increased in the different parts of the plant as the N rate increased. Leaf had the highest N concentration declining by 40-50% from 34-41 DAT while a fast N uptake was observed from 30-35 DAT to 70-80 DAT coinciding with the fruit development. At the beginning of the crop cycle, the leaf was the organ which contributed most to the total N. Later, its contribution decreased and that the fruit enhanced exceeding or being on the same level as the leaf. In the three years, NUE declined with increasing N rate. With N supplies close to 90-100 kg ha⁻¹, fruits removed approximately 60 kg N ha⁻¹, and the amount of N returned in the crop residue was about 80 kg N ha⁻¹ which serves to replenish the organic nutrient pool in the soil and may be used by the following crops via mineralization.

6.2. INTRODUCTION

Formation of each yield component depends strongly on the N supplied at each crucial stage throughout the life cycle of the plant (Zhang et al., 2007). Like in other cucurbit crops (Tanemura et al., 2008), in melon at the first fruit harvest stage, the growth of the vegetative part of the plant continues, together with the fruit development, being necessary to apply N during the period of the harvests. For this reason not only is important to know the total N requirements but also it is necessary to know the dynamics of N uptake according to the vegetative stage to reach the maximum N use efficiency.

On the other hand, the introduction of nutrient management legislation in the area of melon crop, central and southern Spain, and the increase in fertilizer costs is making growers to reduce N application. They usually apply greater N amounts than the crop requirements, in the belief that the potential yield is guaranteed in different climatic conditions. Also, they do not know the N amount that returns to the soil by means of vegetables remains from the previous crop (Lemaire et al., 2008).

Excess N can have a negative impact, so much from the economic point of view, since it can reduce the production and fruit quality (Pérez-Zamora et al., 2004; Wang et al., 2007; Cabello et al., 2009), as from the environmental point of view, since it is a very mobile element in the soil and can cause groundwater contamination (Gastal and Lemaire,

2002). To minimize the loss of N by leaching, the amount of fertilizer application should be optimized in accordance with the N absorption by the crop in timing as well in rate. Optimal N rates of melon vary depending on the type of melon, location, climate, soil characteristics and crop management. Crops differ substantially in the amount of N returned in the crop residue for use by subsequent crops, since N supplied will depend on the amount of crop residue and on the N concentration in the residue. It is known that the N removed from the field is produced with the fruit yield, the rest of N uptake remains accumulated in the vegetative part of the plant and in the unripe fruits which have not been harvested. Nitrogen uptake by the crop depends on both the amount of N concentration in each part of the plant and the biomass production. The difference between N uptake by fruit yield and N uptake by the rest of the plant indicates the N amount that can return to the soil.

The objectives of this study were to determine the effects of N supply on the dynamics of N uptake and N partitioning in the aerial part and to evaluate its influence on yield, quantifying in every case the N exported with the fruit yield out of the field and the N returned to the soil that may be used by the next crops.

6.3. MATERIAL AND METHODS

6.3.1 Nitrogen uptake in plant

Four plants per treatment were harvested in each plot at 15, 34, 53, 70 and 91 DAT in 2005, at 20, 41, 62 and 83 DAT in 2006 and at 22, 36, 50, 64 78 and 92 DAT in 2007. Sampling was performed so as to avoid border effects. Leaves, stems and fruits were separated and weighed to obtain the fresh weight. The dry weights of the different aboveground plant organs were determined following oven drying at 80 °C to constant weight and the dry weight of the melon plant was the sum of the different plant parts. Subsamples of the oven-dried were ground to a fine powder to determine the N content, using the Kjeldahl method (AOAC, 1990). The N uptake in every organ was obtained as the product of N concentration and dry biomass. The N uptake of the melon plant was determined as the sum of the N uptakes of every above-ground organ of the plant.

6.3.2 Fruit yield and quality

The harvests started at 68, 63 and 66 DAT in 2005, 2006 and 2007, respectively, with a total of seven harvests in every year. Each melon was weighed in each harvest to determine mean fruit weight (FW). Fruits numbers per square meter (FN) and total fruit yield per ha were obtained. Fruit size homogeneity, expressed as standard error of fruit weight (SD) was calculated. Nitrogen use efficiency (NUE) was determined by dividing fruit

yield (FY) by the total N uptake. In each harvest, four representative fruits from each replication were taken to determine flesh firmness (FF), flesh ratio (FR), skin ratio (SR) and total soluble solids content (TSS). The FF was measured at four zones of the cut equatorial surface using a Penefel (Agro-Technologie, Tarascon, France) with a 0.5 cm² punch to measure the force necessary to penetrate into the flesh. The flesh and skin ratios were calculated using the formulae: $2 \times \text{flesh thickness} \times \text{width}^{-1}$ and $2 \times \text{skin thickness} \times \text{width}^{-1}$, respectively. The TSS was determined by a hand-held Atago refractometer and expressed as °Brix.

6.3.3. Nitrogen uptake in the fruit yield

Weekly from 68 to 110 DAT in 2005; weekly, from 63 to 106 DAT, in 2006 and from 66 to 108 DAT in 2007, fruit samples were taken from each replication and the dry weight and N content was determined in order to know the N extraction by the melon yield in the same way as it was described in the section 6.3.1.

6.4. RESULTS AND DISCUSSION

6.3.1. Nitrogen concentration in the aerial plant parts

The N applied amount had a clear effect ($p \leq 0.05$) on N concentration in leaf, stem and fruit (Figure 6-1). Treatments with more N rate showed the highest values from an early stage of the vegetative cycle. This behavior has also been found by others authors in the melon crop, as Panagiotopoulos (2001) and Kirnak et al. (2005). In contrast, in our trials, even though some N treatments were higher, the leaf N concentration was lower especially than that obtained by Kirnak et al. (2005) at the end of the crop period in cv. Polidor (7.65% with 120 kg N ha⁻¹).

The leaf was the organ with the highest N concentration. From 34, 41 and 36 DAT in 2005, 2006 and 2007, respectively, a decrease between 40 and 50%, depending on the treatment and year, was observed.

The stem had a light increase at the beginning of the crop development in 2005 (Figure 6-1b) reaching the maximum value at 34 DAT. In the next two years, the highest values were in the first sampling, at 20-22 DAT. Later, in the three years, the values decreased by 37 and 57%, depending on the treatment, until about 56 DAT, and remained with hardly changes until the end of the cycle in 2006 and 2007 (Figure 6-1e, h). On the contrary, in 2005, the N concentration increased lightly, especially in the treatments with more N amount (Figure 6-1b).

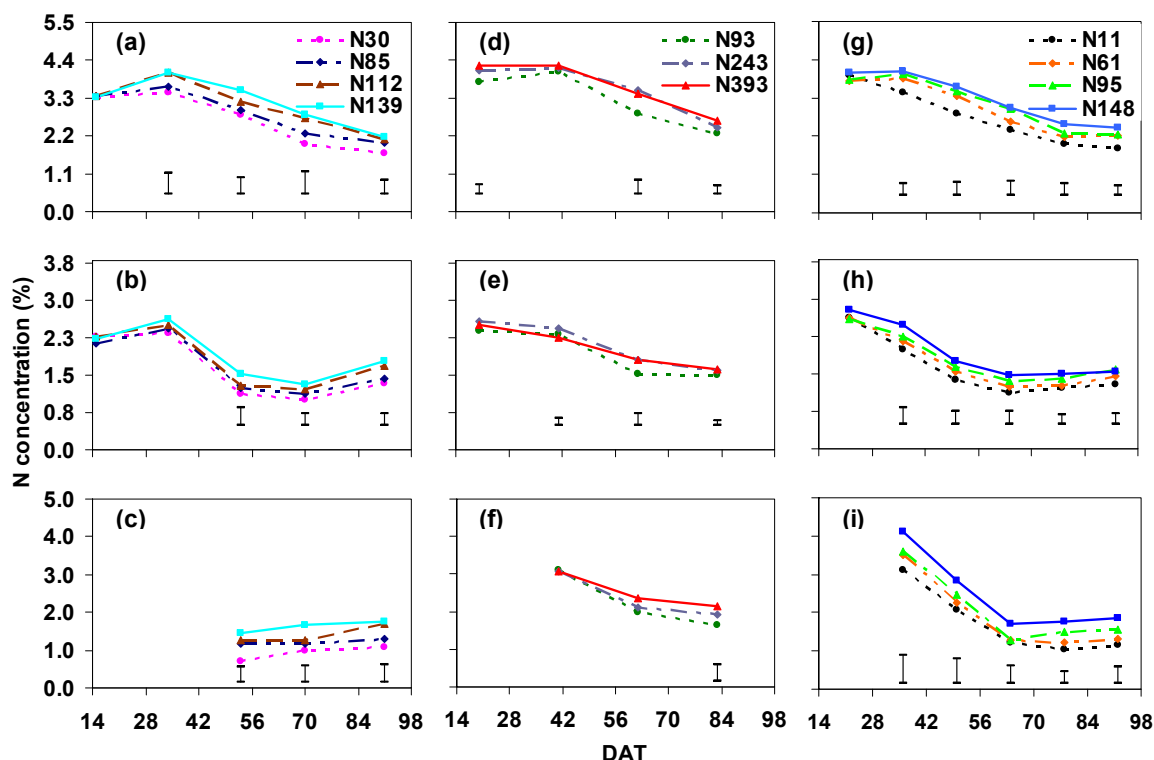


Figure 6-1. Nitrogen applied effect on the concentration of the different melon plant parts: leaf (a, d and g), stem (b, e and h) and fruit (c, f and i) in 2005 (a, b and c), 2006 (d, e and f) and 2007(g, h and i).

The fruit N concentration increased lightly during the crop development in the first year (Figure 6-1c). However, in 2006 and 2007, fruit N concentration decreased greatly until about 60-65 DAT as a result of fruit growth (Figure 6-1f, i). Later, in the three years, N concentration remained without important variations because fruits had lower growth and therefore the dilution effect decreased.

Different authors (Greenwood et al., 1990; Lemaire and Gastal, 1997) have stated that plant N concentration decreases as a result of an increase of dry matter in several crops and this effect was named “law of progressive decline” by Le Bot et al. (1998). At the beginning of the crop development, the values rose or remained more or less stable in leaf and stem, because all plants were moved from alveolus, which had limited N availability, to soil, where there was more N, and also, because during the first stages of the plant development, the growth rate was lower and therefore the reduction effect was also smaller. Later, with the fast increase of plant biomass, N concentration decreased according to the “law of progressive decline” and due to N translocation to the fruits, which set between 25-30 DAT. Fukutoku et al. (2000) showed that after setting fruits, the organs of the plant and specially the leaves function as a source of N for fruits.

6.3.2. Nitrogen uptake

The N applied had significant effect ($p \leq 0.05$) on the N uptake by the different plants parts and by the whole plant in 2005 and 2007 (Figure 6-2a, b, c, d, i, j, k, l). This effect started to show from about 50 DAT, when the majority of fruits had already set and the first set fruits were in the second half of the development period.

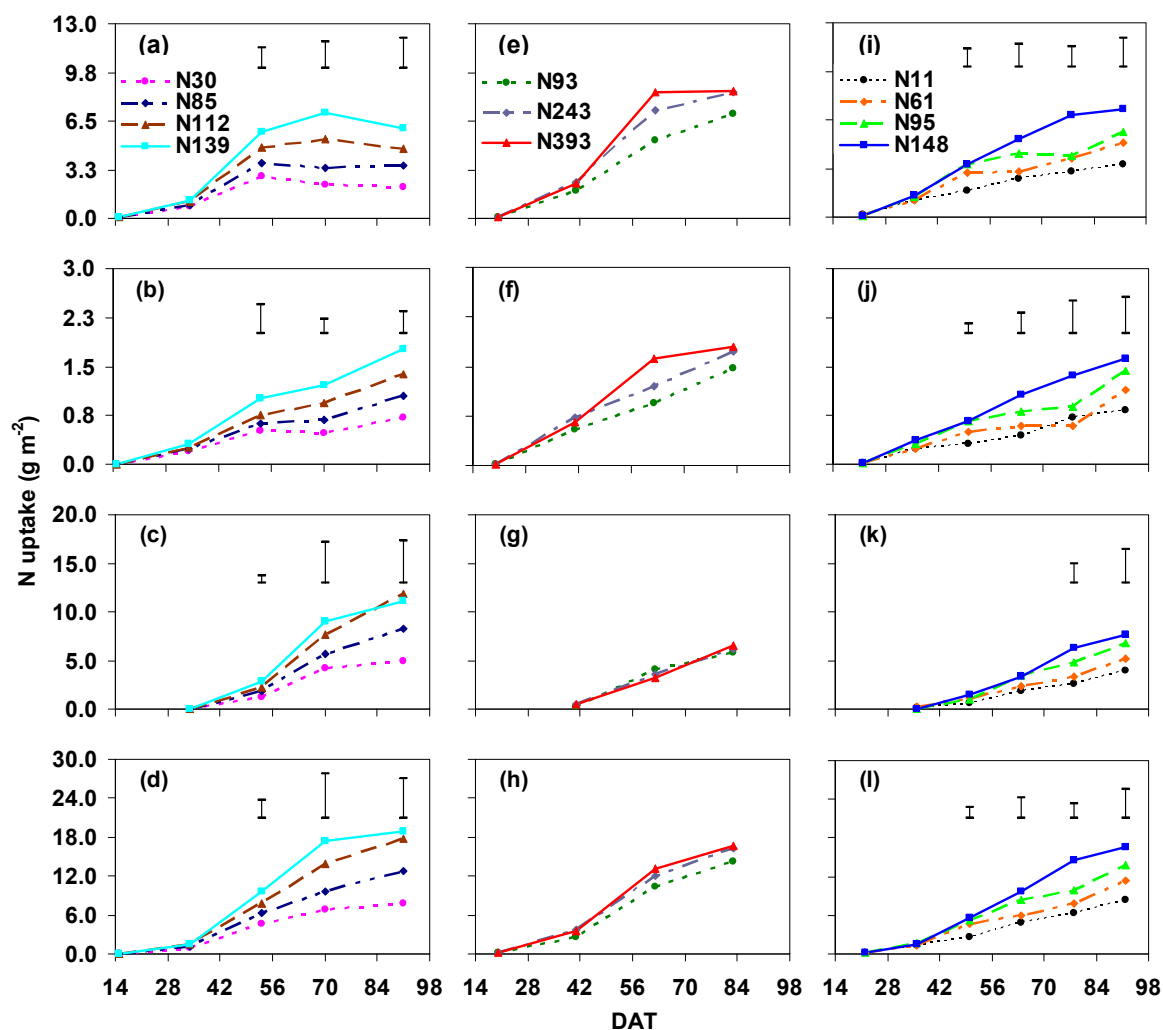


Figure 6-2. Nitrogen applied effect on N uptake (g m^{-2}) of the different melon plant parts: leaf (a, e and i), stem (b, f and j), fruit (c, g and k) and on melon total plant (d, h and l) in 2005 (a, b, c and d), 2006 (e, f, g and h) and 2007 (i, j, k and l).

In 2006, no significant differences were observed; although in leaf, stem and whole plant, the N absorption showed a tendency to increase as the N amount enhanced. In the leaf, the N uptake increased continuously in most treatments in 2006 and 2007. This increase was moderate in the first stages of the crop development. From 34-41 DAT, the N absorption increased and later, in all treatments and years, the values slowed down, and in some cases (all treatments in 2005 and N_{393} in 2006) they became stable or decreased. The leaf extraction in N_{93} treatment was similar to the highest values in N_{139} and N_{148}

treatments (close to 7 g m^{-2}). The N uptake by the rest of the organs and the whole plant had a continuous increase as the vegetative cycle progressed. The total extraction in N_{93} (14.27 g m^{-2}) was similar to that obtained in N_{95} (13.84 g m^{-2}) and slightly higher than in N_{85} (12.79 g m^{-2}). In the three years, the higher values were obtained in the more fertilized treatments (18.87 g m^{-2} in N_{139} , 16.75 g m^{-2} in N_{393} and 16.50 g m^{-2} in N_{148}).

In the three years, by 95 and 98% of plant N was absorbed after setting of the first fruits (22-26 DAT). These values were higher than 70% obtained by Fukutoku et al. (2000) and it may be due to different patterns of growth and fruiting between the two melon types. A period from 30-55 to 70-80 DAT with a higher N absorption rate was observed, coinciding with the development of most fruits. This period was much larger than that indicated by Da Silva et al. (2006), which was from 43 to 54 days after emergence, and the crop cycle only lasted 69 days. Rincón et al. (1996) obtained the highest N absorption rate at 65-105 DAT. The N absorption in melon and the length of the period where this absorption is high, depends not only on the variety but also it is influenced by weather conditions (Pardossi et al., 2004), so it is very important to determine the absorption dynamics for each melon type and crop area to establish an appropriate fertilization schedule.

Table 6-1 summarizes the linear regressions, coefficients of correlation and significance among the N applied and N uptake. In the three years, the N applied was positively correlated with total N uptake by the plant organs and by whole plant. These correlations were highly significant, except for N uptake by leaf in 2006, which was significant at $p \leq 0.05$.

The amount of N applied had a clear effect on N uptake due to increase both the biomass and N concentration in the organs of the plant. Halitligil et al. (2002) and Kirnak et al. (2005) obtained the same results in melon types different from 'piel de sapo'. Fukutoku et al. (2000) stated that the fruit functions as a large sink and accumulates a substantial amount of the N (50%) which is derived mainly from the leaves.

Except for fruit biomass in 2006, the biomass of different plant parts and total aerial plant increased with the N applied and therefore, the increase of N uptake was as a result of increasing both the biomass and N concentration. In 2006, N requirements were covered in N_{93} treatment, which had the highest yield, the other two (N_{243} and N_{393}) were surplus treatments and produced more vegetative and less reproductive biomass. Therefore, in this case, the correlation between the N applied and fruit N uptake was positive and only due to the N concentration increase. The total plant N uptake was higher than that obtained by Halitligil et al. (2002) and than that showed by Da Silva et al. (2006) at 58 DAT in 'piel de sapo' melon type (3.4 g m^{-2} with doses of 98 kg N ha^{-1}). However, the values were similar to those obtained by Rincón et al. (1996) in the same melon type grown

in greenhouse (17.6 g m⁻² at 105 DAT), although with N rates above 200 kg ha⁻¹ and with different extraction dynamics.

Table 6-1. Pearson's correlation coefficients (r) and linear relationships (when $r \geq 0.5$) between N uptake by leaf (leaf N_{up}), stem (stem N_{up}), fruit (fruit N_{up}), total aerial plant (total plant N_{up}) and N applied (N_{ap}) in 2005, 2006 and 2007.

Dependent Variable	Independent variable	r	Equation
Leaf N _{up} (g m ⁻²)	N _{ap} (2005)	0.88**	y = 0.0356 x + 0.803
Stem N _{up} (g m ⁻²)		0.92**	y = 0.0094 x + 0.366
Fruit N _{up} (g m ⁻²)		0.71**	y = 0.0632 x + 3.237
Total plant N _{up} (g m ⁻²)		0.87**	y = 0.1081 x + 4.413
Leaf N _{up} (g m ⁻²)	N _{ap} (2006)	0.70*	y = 0.0048 x + 6.791
Stem N _{up} (g m ⁻²)		0.77**	y = 0.0011 x + 1.402
Fruit N _{up} (g m ⁻²)		0.81**	y = 0.0023 x + 5.579
Total plant N _{up} (g m ⁻²)		0.76**	y = 0.0083 x + 13.77
Leaf N _{up} (g m ⁻²)	N _{ap} (2007)	0.87**	y = 0.0264 x + 3.274
Stem N _{up} (g m ⁻²)		0.80**	y = 0.0060 x + 0.790
Fruit N _{up} (g m ⁻²)		0.74**	y = 0.0277 x + 3.714
Total plant N _{up} (g m ⁻²)		0.88**	y = 0.6010 x + 7.777

* Significant at the level 0.05, ** Significant at the level 0.01.

6.3.3. Nitrogen distribution

No effect of the N rate on the accumulated N percentage in leaf, stem and fruit in relation to the total plant was detected at any sampling date in the three years (Figure 6-3a, b and c), although in 2005 and 2006, the fruit percentage had a tendency to decrease in the treatments with more N amount. This is due to the fact that high N applications can stimulate the vegetative growth at the expense of reproductive growth (Mills and Jones, 1979; Hartz and Hochmuth, 1996).

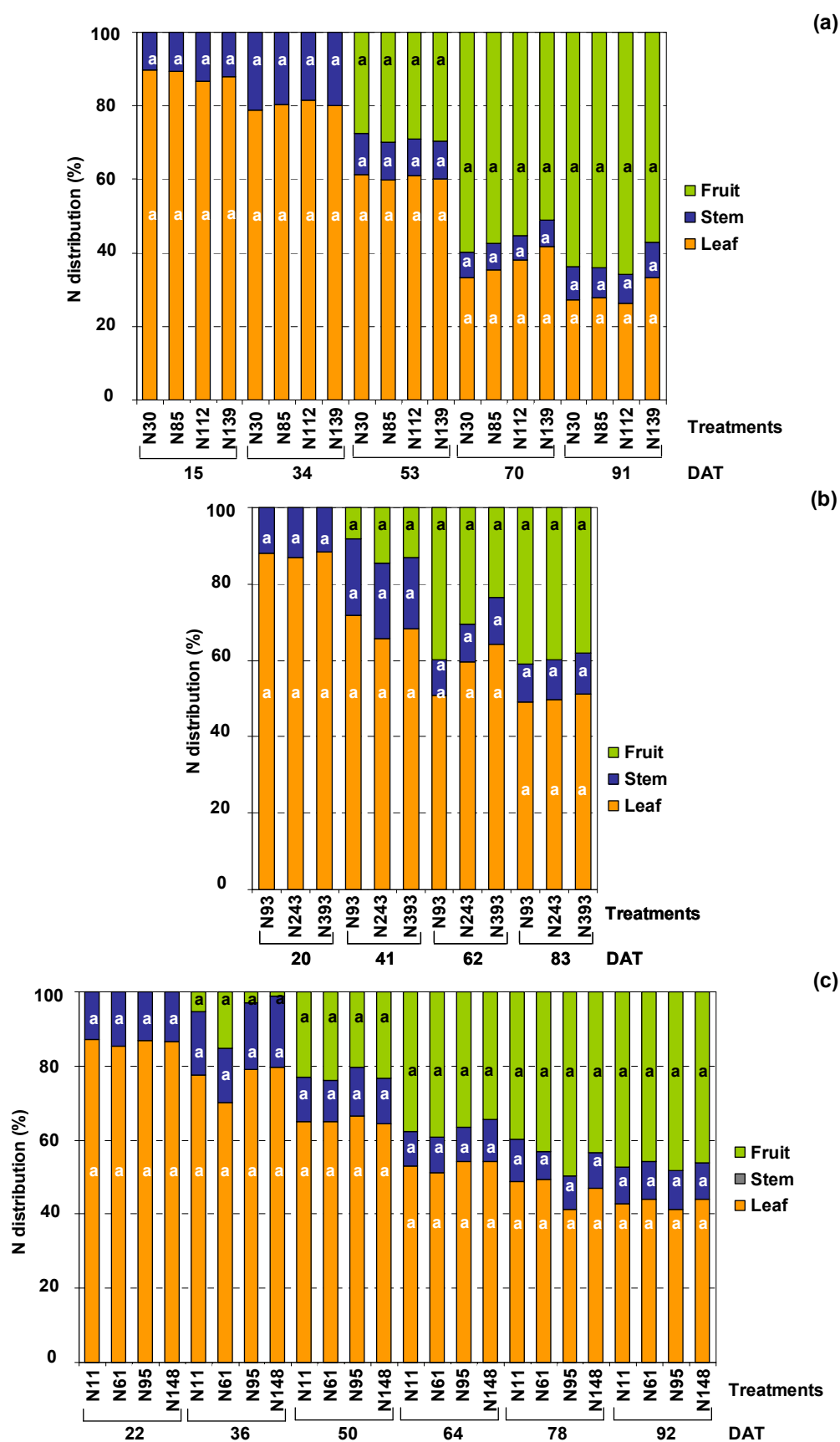


Figure 6-3. Nitrogen distribution in leaf, stem and fruit during the growing season in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).

At the beginning of the crop growth, the leaf was the organ which contributed most to the total N extraction. These values decreased with the advancement of plant age, ranging between 83% at 15 DAT and 28% at 91 DAT in 2005, and 88% at 20 DAT and 50% at 83 DAT in 2006. The stem contribution was more or less stable over the crop development with an average of 9% in 2005 and 11% in 2006 and 2007, except at 34, 41 and 36 DAT in 2005, 2006 and 2007, respectively, where the contribution was higher. In 2005, from 70 DAT, the fruit was the organ which contributed most to the total N in the whole plant with an average of 63% at the end of the cycle. In 2006, its final contribution (40%) was lower than the leaf, while in 2007 was slightly higher (47%).

It is widely accepted that the fruit N percentage in relation to the total plant is higher than that the leaf in different crops like tomato (Scholberg et al., 2000) or melon (Fukutoku et al., 2000; Zotarelli et al., 2008). However, Tanemura et al. (2008) obtained in cucumber a similar final contribution of the two organs (43% in fruits and 41% in leaves). In our case, the fruit contribution was higher than the leaf in the first year, it was slightly lower in 2006 and it was similar in 2007 indicating that the relative N distribution is influenced by the different edaphoclimatic conditions.

6.3.4. Fruit yield and quality

Table 6-2 shows the coefficients of correlation (r) and the linear equations (when r is higher than 0.5) of fruit yield and its components, quality parameters and NUE in relation to the N applied and N uptake by fruits and by the whole plant in the three years.

In 2005 and 2007, FY was positively correlated with the N applied although in the first year the coefficient of correlation was lower (0.53). In 2006, this correlation was negative and highly significant. It is known that increasing N application rate, fruit yield increases until reaching an optimum value. If the N amount continues increasing, fruit yield decreases, like in tomato (Wang et al., 2007), or melon (Pérez-Zamora et al., 2004; Kirnak et al., 2005). Goreta et al. (2005) obtained the same response in only one of the two studied watermelon varieties. In zucchini squash, Zotarelli et al. (2008) obtained yield response increasing the N dose from 82 to 145 kg N ha⁻¹, but there was none above 145 kg N ha⁻¹, and Panagiotopoulos et al. (2001) did not obtain effect with 80-240 mg N L⁻¹ supplies.

The FY with regard to the fruit N uptake, in the three years the correlations were highly significant with coefficients ranging between 0.71 (2007) and -0.94 (2006). The FY was also correlated with N uptake in the whole plant, the coefficients were 0.67 (2005), -0.87 (2006) and 0.84 (2007), and in all cases they were highly significant. The positive correlations obtained among fruit N uptake and total yield in 2005 and 2007, were

because of the fact that both are directly proportional to the fruit biomass, and also the N concentration in this organ varied in the same direction that the biomass. In 2006, the correlation was negative as a result of increasing N absorption in both the fruit and total plant as the N applied increased, while the values of yield decreased.

In 2006, the fruit number m^{-2} was correlated with the N applied and with the N uptake by both fruit and total plant, and in 2007, this parameter showed correlation with the N applied and with the N uptake by the whole plant.

In the three years, the fruit weight showed high correlation with both the N applied and N uptake, while the fruit homogeneity was not correlated in any year. The fruit weight as well as contributing to the yield, it is considered one of the main quality parameter and it is very sensitive to any factor causing stress on the plant (Maynard and Clark, 1989). In our conditions and with melon cv. Sancho, this parameter was more sensitive to N deficit than the fruit number, likely as a result of a minimum N difference between treatments at the beginning of the crop cycle at early fruit setting. In 2005 and 2007, the fruit weight enhanced as the N applied and N uptake increased, while in 2006, the response was contrary as a result of N excess.

The NUE showed a strong negative correlation, highly significant, with both the N applied and N uptake, in the three years. NUE improved when the N uptake decreased, in accordance with the findings of Zotarelli et al. (2008).

In 2006, significant correlations were found for flesh and skin ratios. In the first case, the flesh ratio was negatively correlated ($p \leq 0.01$) with the N applied and with the N uptake. On the contrary, the skin ratio showed positive correlation ($p \leq 0.01$) with both variables. In 2007, only the flesh ratio was negatively correlated ($p \leq 0.05$) with the N applied. TSS were not correlated in any year.

These results suggest that the fruit quality was affected adversely by N excess, resulting in fruits with a large seed cavity and therefore with small edible part and higher skin thickness. The N applied and N uptake by the fruit and total plant were not correlated with the flesh firmness or TSS in agreement with Ferrante et al. (2008). Rodriguez et al. (2005) found no changes in the sugar content of Galia melon with increasing N fertilizer from 80 to 240 $mg\ L^{-1}$ and Kirnak et al. (2005) stated that N application generally has little or no effect on soluble solids content. Contrary results were found in tomato by Wang et al. (2007) who observed lower flesh firmness values with increasing N application and Faria et al. (2000) obtained a significant increase of TSS when N increased from 0 to 80 $kg\ N\ ha^{-1}$.

Table 6-2. Pearson's correlation coefficients (r) and linear relationships (when $r \geq 0.5$) of fruit yield (FY), fruit number m^{-2} (FN m^{-2}), fruit weight (FW); fruit weight standard error (SD), nitrogen use efficiency (NUE), flesh firmness (FF), flesh ratio (FR), skin ratio (SR) and total soluble solids (TSS) versus N applied (N_{ap}), N uptake by the fruit (N_{up}) and N uptake by aerial part of the plant ($TP N_{up}$) in 2005, 2006 and 2007.

Dependent Variable	Independent Variable	2005		2006		2007	
		r	Equation	r	Equation	r	Equation
FY (t ha^{-1}) FN m^{-2} FW (kg) SD NUE (t kg^{-1})	N_{ap} (kg ha^{-1})	0.53*	$y = 0.0626x + 41.14$	-0.86**	$y = -0.0314x + 45.11$	0.88**	$y = 0.0775x + 34.33$
		-0.015	---	-0.78**	$y = -0.0008x + 1.263$	0.57*	$y = 0.0009x + 1.184$
		0.91**	$y = 0.0021x + 3.225$	-0.75*	$y = -0.0006x + 3.609$	0.87**	$y = 0.0038x + 2.782$
		0.13	---	0.45	---	-0.24	---
		-0.94**	$y = -0.0027x + 0.610$	-0.85**	$y = -0.0003x + 0.323$	-0.73**	$y = -0.0010x + 0.423$
FF (N) FR SR TSS (° Brix)	N_{up} (g m^{-2})	0.16	---	0.45	---	-0.31	---
		-0.47	---	-0.76**	$y = -0.0002x + 0.567$	-0.54*	$y = -0.0005x + 0.746$
		-0.15	---	-0.80**	$y = -0.0006x + 0.092$	0.28	---
		-0.26	---	0.17	---	0.46	---
		0.74**	$y = 0.9931x + 37.91$	-0.94**	$y = -11.799x + 109.9$	0.71**	$y = 1.6825x + 30.51$
FY (t ha^{-1}) FN m^{-2} FW (kg) SD NUE (t kg^{-1})	Fruit N_{up} (g m^{-2})	0.19	---	-0.83**	$y = -0.2845x + 2.825$	0.41	---
		0.86**	$y = 0.0229x + 3.214$	-0.75**	$y = -0.2575x + 5.050$	0.74**	$y = 0.0869x + 2.572$
		-0.05	---	0.50	---	0.01	---
		-0.83**	$y = -0.0267x + 0.606$	-0.96**	$y = -0.1344x + 1.067$	-0.90**	$y = -0.0343x + 0.544$
		0.07	---	0.43	---	-0.10	---
FF (N) FR SR TSS (° Brix)	$TP N_{up}$ (g m^{-2})	0.07	---	-0.85**	$y = -0.0703x + 0.954$	-0.38	---
		0.00	---	0.91**	$y = 0.0250x - 0.046$	0.03	---
		0.24	---	0.09	---	0.36	---
		0.67**	$y = 0.6366x + 37.76$	-0.87**	$y = -2.8674x + 82.73$	0.84**	$y = 1.0760x + 26.97$
		0.09	---	-0.78**	$y = -0.0703x + 2.186$	0.53*	$y = 0.0124x + 1.100$
FY (t ha^{-1}) FN m^{-2} FW (kg) SD NUE (t kg^{-1})	$TP N_{up}$ (g m^{-2})	0.94**	$y = 0.0179x + 3.165$	-0.86**	$y = -0.0782x + 4.702$	0.83**	$y = 0.053x + 2.419$
		-0.08	---	0.47	---	-0.09	---
		-0.94**	$y = -0.0215x + 0.672$	-0.96**	$y = -0.0353x + 0.798$	-0.94**	$y = -0.0196x + 0.587$
		0.11	---	0.49	---	-0.26	---
		-0.14	---	-0.76**	$y = -0.0164x + 0.782$	-0.45	---
FF (N) FR SR TSS (° Brix)	$TP N_{up}$ (g m^{-2})	-0.06	---	0.95**	$y = 0.0069x - 0.0010$	0.11	---
		0.08	---	0.21	---	0.45	---

* Significant at the 0.05 level, ** significant at the 0.01 level.

6.3.5. Nitrogen balance in ripe fruits

The N concentration in ripe fruits increased significantly as the N applied increased in the three years and at each harvest (Figure 6-4). The values did not have much variation until 96, 77 and 80 DAT in 2005, 2006 and 2007, respectively. Later, with the advancement of the harvest period, the N concentration increased markedly by 43% in N₁₃₉, 81% in N₃₀, 50% in N₉₃ and 73% in N₃₉₃, and between 55 and 62% in N₁₁ and N₁₄₈ treatments, likely as a result of fewer fruits number at the end of the cycle and also, to the smaller growth.

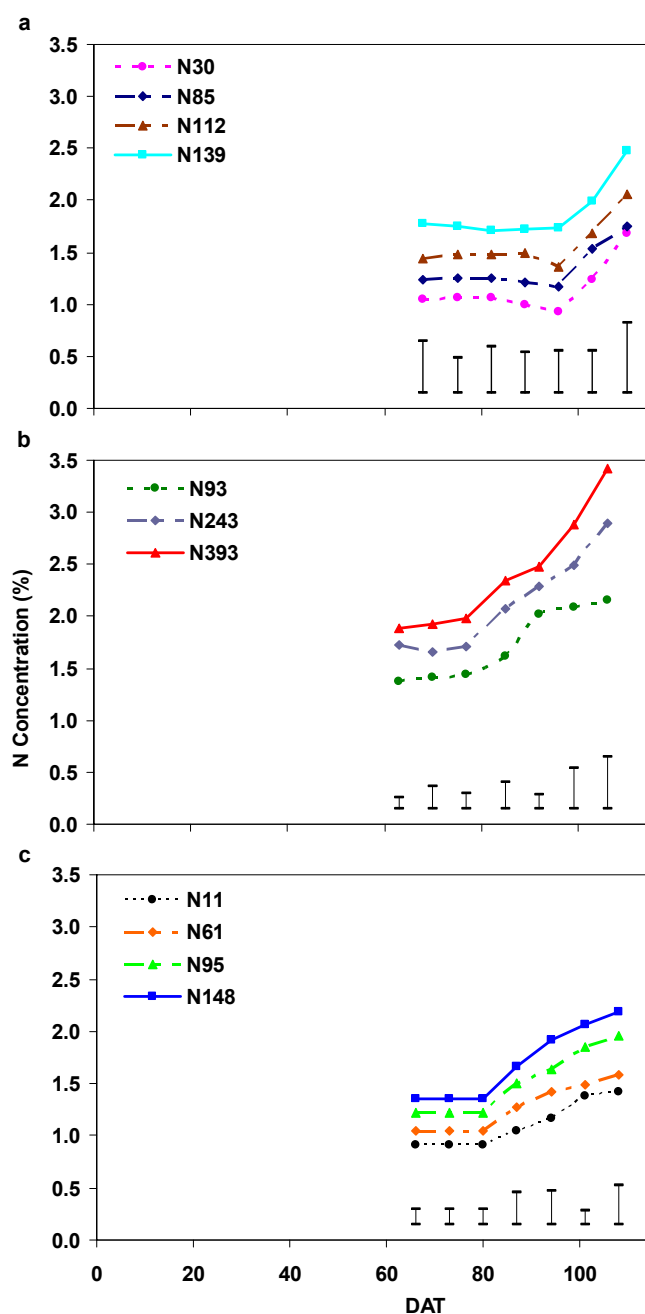


Figure 6-4. Nitrogen applied effect on the N concentration of the ripe fruit in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).

In 2005 and 2007, the N treatments affected significantly the N accumulation in ripe fruits. The values increased with increasing N rate (Figure 6-5a, c). In 2006, the N accumulated in N₉₃ treatment was lower than the other two treatments, although the differences were not significant (Figure 6-5b). The N accumulation was always higher in the first harvests and with the advancement of vegetative cycle there was a slowdown, reaching values between 46.8 and 80.8 kg N ha⁻¹ in N₃₀ and N₁₁₂, 59.4 and 68.9 kg N ha⁻¹ in N₉₃ and N₃₉₃ and 34.2 y 72.3 kg N ha⁻¹ in N₁₁ and N₁₄₈ treatments.

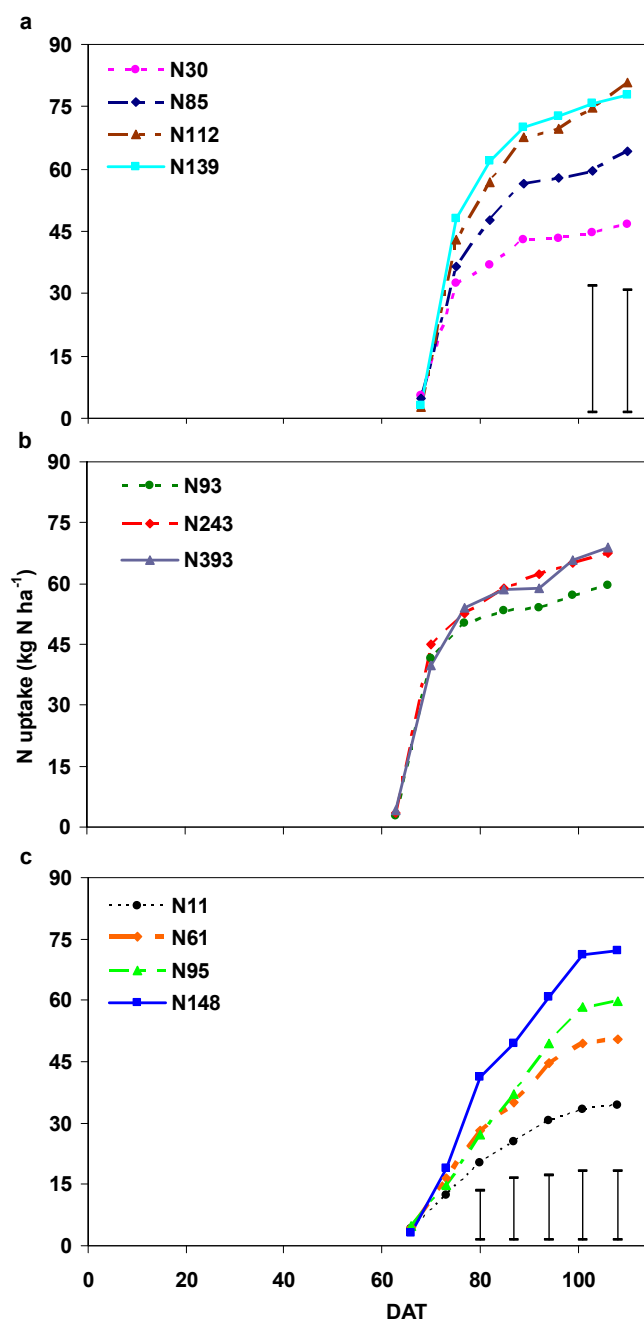


Figure 6.5. Nitrogen applied effect on the accumulated N uptake of the ripe fruit in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).

The N accumulation, especially in the first harvests, was determined by the biomass amount, because the concentration remained very similar during the first three or four harvests. Later, the N uptake increased slightly, even though N concentration in ripe fruit increased, because the value of fruit biomass at the end of the harvest period was very low.

In 2005 and 2007, the N amount had significant effect on N absorbed both by plants and total yield, and also on the amount of N returned in the crop residue (Table 6-3). In the three years, the highest amounts of N removed from the crop by melon fruit ranged between 68.9 and 80.8 kg ha⁻¹ in N₃₉₃ and N₁₁₂ treatments, respectively.

Table 6-3. Crop N balance in each treatment in 2005, 2006 and 2007.

Treatment	N uptake (kg ha ⁻¹)		N returned (kg ha ⁻¹)
	Total plant	Fruit yield	
2005			
N ₃₀	77.3 a	46.8 a	30.6 a
N ₈₅	127.9 ab	64.2 ab	63.7 ab
N ₁₁₂	178.4 bc	80.8 b	97.7 bc
N ₁₃₉	188.6 c	77.9 b	110.8 c
2006			
N ₉₃	142.7 a	59.4 a	83.3 a
N ₂₄₃	163.1 a	67.6 a	95.5 a
N ₃₉₃	167.5 a	68.9 a	98.6 a
2007			
N ₁₁	82.6 a	34.2 a	48.4 a
N ₆₁	113.3 ab	50.5 ab	62.8 ab
N ₉₅	138.1 bc	59.6 bc	78.4 bc
N ₁₄₈	165.0 c	72.3 c	92.7 c

Within each column and year, means followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$.

As a result of the yield removal, there was N export which matches up with the N amount in ripe fruits. In our conditions and with melon cv. Sancho, the maximum N exports were about 70-75 kg ha⁻¹ in all years. However, the highest yields were reached with N extractions of 64.2 kg ha⁻¹ in 2005, 59.4 kg ha⁻¹ in 2006 and 59.6 kg ha⁻¹ in 2007. Above these amounts, luxury consumption was produced and therefore, there was an over-fertilization.

6.5. CONCLUSIONS

The N application rate increased both the N concentration and N accumulation in the different parts of the melon plant, but the influence on N uptake by leaf and by the

other plant parts was similar. A fast N absorption occurred from 30-35 DAT to 70-80 DAT, coinciding with the fruit development. At the beginning of the vegetative cycle, the leaf is the organ which more contributed to the total N uptake. With the advancement of plant age, this contribution decreased while that the fruit increased, exceeding the leaf contribution in some cases. Yield enhanced with increasing N supply up to 90-100 kg N ha⁻¹, above this amount a yield decrease is produced. The N increase both applied and uptake produced larger fruits, but when the N amount was excessive, the flesh ratio decreased and hollow fruits with higher skin thickness were obtained. Nitrogen supplies close to 90-100 kg N ha⁻¹ removed approximately 60 kg N ha⁻¹ from the system, returning to the soil about 80 kg N ha⁻¹ with crop residue which may be available via mineralization for the subsequent crops.

CAPÍTULO 7

Efficiency indexes for melon

crop optimization.

7.1. ABSTRACT

The present study reviews the most-common N efficiency indexes with a view to maximizing yield and minimizing N loss, for melon grown in a zone where the water supply has a high nitrate content due to environmental degradation. The N use efficiency (NUE) values of the study were those relating the fruit yield (FY) and the dry weight (DW) with N applied (N_{ap}), N available (N_{av}), and N uptake (N_{up}) - which were denominated NUE_1 , NUE_2 , NUE_3 , NUE_4 , and NUE_5 , respectively. The results showed a clear relationship between crop N_{up} and both FY and DW. Of the potential yield, 95% could be obtained with a N application of 93 kg ha^{-1} . The maximum FY was observed with a N_{up} of 155 kg ha^{-1} . The NUE, when related to N_{ap} and N_{av} , showed an exponential trend and when related to N_{up} a linear trend, delimiting a range within which the optimum value of N occurs.

7.2. INTRODUCTION

The responses of crops to N, which, particularly in the forms of NO_3^- and NH_4^+ , is essential to plant growth, have been discussed extensively in the literature (Cartagena et al., 1995; Lam et al., 1996; Diez et al., 2006; Paolo and Rinaldi, 2008). However, for melon the information is very scanty. Panagiotopoulos (2001) and Kirnak et al. (2005) studied the relationships between N, growth, and productivity for melon types other than Piel de sapo and their results were not coincident. Therefore, new approaches are necessary in order to optimize the N fertilization of this important crop, cultivated predominantly in field conditions.

Since N fertilization is correlated closely with crop yields, farmers tend to use large amounts in order to maximize quality and quantity and, so, commercial fertilizers constitute a major production cost (Good et al., 2004). This overdose of N clashes with one of the key aims of today's agriculture: sustainability. Best management practice (BMP) is particularly necessary on fertirrigated farmland in zones vulnerable to NO_3^- pollution, where semi-arid conditions prevail during the growing season and where the irrigation water has a high NO_3^- content (Castellanos et al., 2006). In addition, if the irrigation water has a high salt content, it necessitates the use of large volumes of water, primarily applied via drip systems, to wash-out the so-called "leach fraction" or salt deposited in the soil, resulting in NO_3^- leaching (Castellanos et al., 2007). As in other regions (Moreno et al., 1996; Eilers et al., 2007), good water and fertilization management is a high priority.

Excess N can have a negative impact, from the economic point of view, since it can diminish the production and quality of the fruit, from the environmental point of view, since

it is a very-mobile element in the soil and can contaminate groundwater, and from the point of view of health, because nitrate can accumulate in the pulp of the fruit and because groundwaters are the fundamental source of supply to human populations (and frequently the only one). From the standpoint of net profit, the cost of fertilizer is much less than the cost of low yields, meaning that the water supply is the farmer's first priority and primary constraint. Recent research on melon irrigation in central Spain has focused on farmers' needs, seeking solutions for irrigation systems (Ribas et al., 1995) and uniform and efficient water distribution (Ortega et al., 2003). From an environmental perspective, however, this approach must be expanded to take account of environmental pollution in the form of NO_3^- that accumulates in the groundwater due to the use of more fertilizer than is needed by the melon crop (Bawatharani, 2004; Flores et al., 2005; Oenema et al., 2005). At the same time, the significant amount of N remaining in the soil after harvest increases salinity around the roots (Poch et al., 2005), reducing the osmotic, hydraulic, and leaf turgidity potentials and thereby limiting photosynthesis-driven development (Chartzoulakis, 1994; Nakamura et al., 2004). Scant information has been forthcoming on the effect of N fertilizer on melon crop development, and even the recommended application is an overdose.

The present study aims to determine the effect of different levels of N fertilization on a number of common efficiency and usage indexes, in terms of both fruit yield and biomass. The results are interpreted on the basis of the relationships among the variables used to calculate the indexes, to provide insight into how they are affected by N fertilization, soil mineral N and N uptake.

7.3. EFFICIENCY INDEXES

Evaluating the melon crop response to N fertilization where crop evapotranspiration is fully restituted (100% ETc) by irrigation may help to define the optimum conditions for maximizing profit while reducing groundwater pollution.

A review of the literature showed that the index used most commonly to study the effects of N on yield and biomass is nutrient use efficiency. This has been discussed fully by Ankumah et al. (2003), van Eerd (2007), Battilani et al. (2008), and Zotarelli et al. (2009), among others.

Since N is one the most expensive nutrients to supply, one of the objectives of crop improvement programs is to measure and maximize N use efficiency (NUE) (Good et al., 2004). While the literature contains several definitions and methods for evaluating this index, it is essentially the ratio between crop output and nutrient inputs. Initially, output may be based either on fruit yield (FY), representing the economic value of the crop

(considered as ripe fruit), or biomass, in terms of dry weight (DW) for instance, that includes the vegetative parts (leaves, stem) along with all the fruits (mature and immature), representative of the physiological development of the crop. Moreover, several of these definitions address the efficiency with which N is extracted from the soil and therefore depend on the crop, the harvest output, and the specific physiological processes on which the researcher decides to focus. Hence, nutrient input can be measured in terms of the N applied (N_{ap}), the N available to the crop (N_{av}), or its N uptake (N_{up}). The following indexes were calculated from this series of possible combinations:

$$NUE_1 = \frac{FY}{N_{ap}}; NUE_2 = \frac{FY}{N_{av}}; NUtE = \frac{FY}{N_{up}} \quad (1)$$

where NUtE is N utilization efficiency (Moll et al., 1982). When output is expressed as DW:

$$NUE_3 = \frac{DW}{N_{ap}}; NUE_4 = \frac{DW}{N_{av}}; NUE_5 = \frac{DW}{N_{up}} \quad (2)$$

7.4. MATERIAL AND METHODS

7.4.1. Fruit yield (FY) and marketable fruit yield (MFY)

Melons were harvested when there was a significant amount of ripe fruit in the field: from 1 Aug. to 12 Sept. in 2005, with a total of seven harvests; from 26 July to 7 Sept. in 2006, with seven harvests; and from 2 Aug. to 13 Sept. 2007, with seven harvests. For every date and in every plot, the number of fruits per plant and their weights were determined. The total fruit yield (FY) was obtained and classified as marketable (MFY) and unmarketable (<1 kg, rotten, or visually marred). Nitrogen production functions were obtained by relating the relative yield (FY/maximum yield, obtained in each of the years) to the total N applied and the N uptake. Melon yield potential was defined as the maximum yield of a crop cultivar grown in an environment to which it is adapted, with nutrients and water being non-limiting, and pests and diseases effectively controlled (Evans, 1993).

7.4.2. Dry weight (DW)

Four plants per treatment were harvested in each plot 91 DAT in 2005, 83 DAT in 2006, and 92 DAT in 2007. Sampling was performed so as to avoid border effects.

Leaves, stems, and fruits (ripe and unripe) were separated and weighed to obtain the fresh weight. The dry weights of each part were determined following oven-drying at 80°C to constant weight. The dry weight of the melon plant (DW) was determined as the sum of the dry weights of the above-ground plant organs.

7.4.2. Nitrogen uptake

Sub-samples of the oven-dried, above-ground plant organs (blades, petioles, stems, and fruits) were ground to a fine powder to determine the N content, using the Kjeldahl method (Association of Official Analytical Chemists, 1990). The N uptake in every organ was obtained as the product of N concentration and biomass. The N uptake of the melon plant (N_{up}) was determined as the sum of the N uptakes of every above-ground organ of the plant.

7.5. RESULTS AND DISCUSSION

7.5.1. Crop biomass parameters

Considering all N treatments, the average FY ranged from 32.4 to 52.0 t ha⁻¹, while MFY exhibited a narrower range, from 32.0 to 44.9 t ha⁻¹; the highest yield corresponded to the treatment N₁₁₂ and the lowest to N₃₉₃ (Figure 7-1). The greatest differences in both parameters were found in 2005, with a significant deviation from the diagonal, due to the damage caused by hail that fell immediately before the harvest period that year.

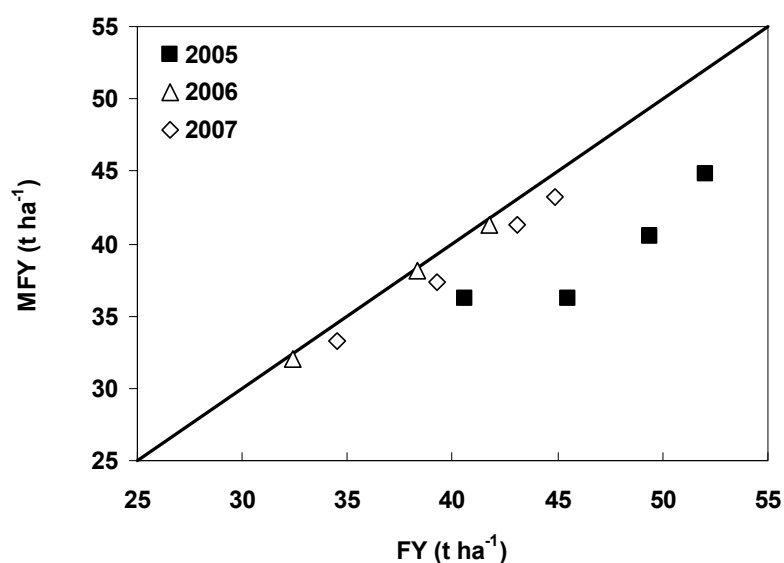


Figure 7-1. Fruit yield (FY) versus marketable fruit yield (MFY) in 2005, 2006, and 2007.

7.5.2. Nitrogen parameters

The total irrigation applied was 574 mm in 2005, 522 mm in 2006, and 458 mm in 2007. The results of the chemical analysis of the irrigation water show that the average NO₃⁻ concentration varied widely from year to year, due to different sources of water being

used for irrigation: surface water was used in 2005 and 2007 and groundwater in 2006, as indicated previously. The average NH_4^+ concentration also was much lower.

The N parameters and methodology described were used to determine N_{ap} , N_s initial, N_{av} , and N_{up} . In the three years studied, N_{ap} ranged from 11 to 393 kg ha^{-1} and N_{av} from 47.4 to 460.5 kg ha^{-1} . This upward shift was due primarily to N_s initial which decreased each year of the study (88 kg ha^{-1} in 2005, 67 kg ha^{-1} in 2006 and 34 kg ha^{-1} in 2007). To better understand the relationship between the two parameters in the melon crop in this area, N_{av} was plotted against N_{up} (Figure 7-2a). The resulting sigmoidal curve ($R^2=0.79$) indicates that while N was taken up quickly in the middle range of values, uptake flattened when a ceiling was reached. The figure clearly shows that, above a certain threshold value for N_{av} (approximately 300 kg ha^{-1}), N_{up} remains constant at a maximum of 180 kg ha^{-1} . This generalized logistic function was adjusted according to the following expression:

$$N_{up} = \frac{H}{\left(1 + T \times e^{(-b \times (N_{av} - M))}\right)^{1/T}} \quad (3)$$

where H is the upper asymptote, T depends on the value of N_{up} when N_{av} is null, b is the uptake rate, and M is the N_{av} of the maximum N uptake rate. This type of equation has been used widely for crop N content with time (Fink and Feller, 1998). Assuming that the lower asymptote was null and that M was 90 kg ha^{-1} , based on the optimum N_{ap} value, we plotted the curve in Figure 7-2, according to:

$$N_{up} = \frac{180}{\left(1 + 0.05 \times e^{(-0.016 \times (N_{av} - 90))}\right)^{1/0.05}} \quad (4)$$

To verify this relationship between N_{up} and N_{av} , the ratio of N_{up} to N_{av} was calculated and plotted against N_{av} (Figure 7-2b). The values do not fit a normal distribution and the maximum values were found between 125 and 150 kg ha^{-1} .

Ferrante et al. (2008) found a linear relationship between the N applied to melon (in their case, N_f values were 0, 55, 110, and 165 kg ha^{-1}) and the N content in the fruit (1.32, 1.47, 1.64 and 1.87 %). Even assuming that there was no N in the irrigation water, using N_f instead of N_{av} in these studies disregards N_s initial entirely; moreover, these authors used much lower fertilization levels.

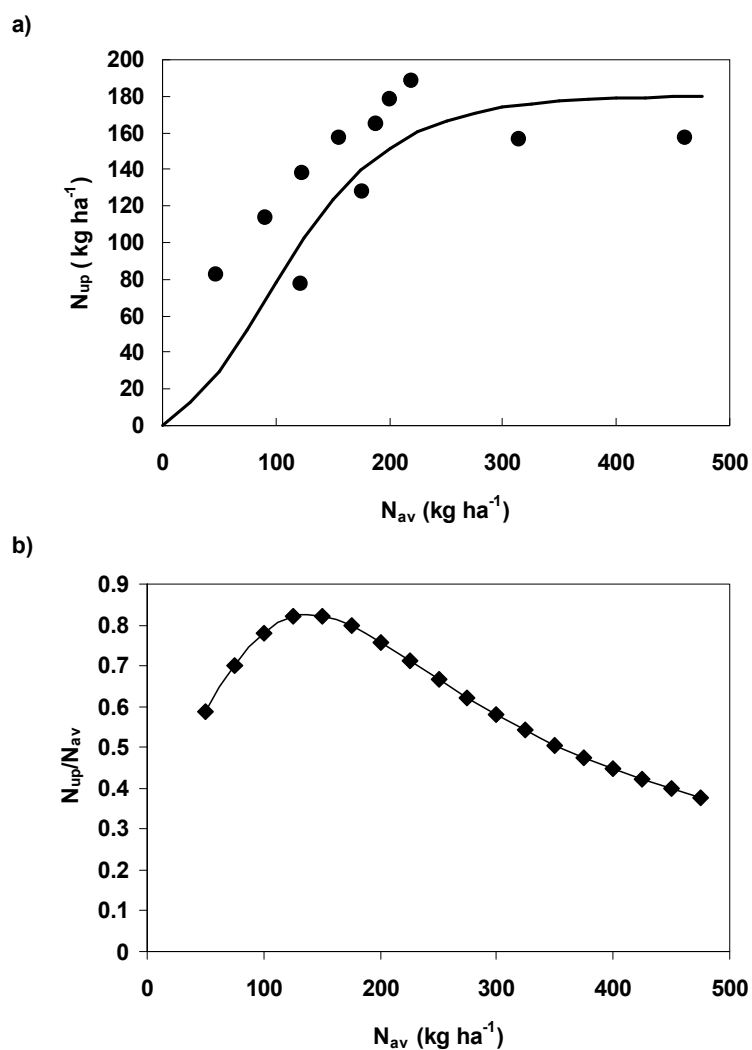


Figure 7-2. Melon N uptake (N_{up}) versus N available to the crop (N_{av}) in 2005, 2006, and 2007. The N_{up} was determined as the sum of the N uptake in every above-ground organ of the plant, including the fruits, and N_{av} was calculated as the N applied (N_{ap}) plus the mineral N in the soil before transplanting the melon plants (N_s initial). The continuous line corresponds to a general logistic function ($R^2=0.79$).

In the relationship between relative yield and N_{ap} , taking into account the three years of data (Figure 7-3), two linear regressions were obtained as a result of dividing the FY response to N_{ap} into two intervals (0-111 and 111-393 kg ha⁻¹). The first straight line (1) is upward, with a slope greater than that of the second, and shows the increase in relative yield as N_{ap} increases from 11 to 111 kg ha⁻¹. The second straight line (2) is downward and shows the decrease of yield as N_{ap} continues increasing up to 393 kg ha⁻¹. Yields higher than 95% of the maximum could be obtained with N_{ap} between 93 and 155 kg ha⁻¹.

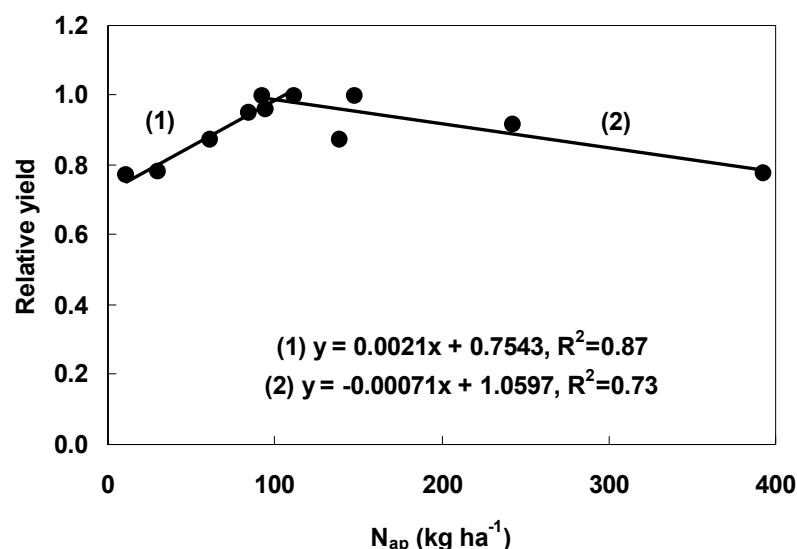


Figure 7-3. Relative fruit yield versus N applied (N_{ap}) in 2005, 2006, and 2007. Relative fruit yield was calculated as the ratio between fruit yield (FY) and maximum fruit yield. N_{ap} includes N in the irrigation water (N_w) plus N fertilizer (N_f). The segmented regression corresponds to the data in the three years.

The two crop parameters FY and DW differed in their behavior in relation to N_{up} (Figures 7-4 and 7-5). The maximum FY was obtained with 155 kg ha^{-1} of N_{up} ($R^2=0.82$) (Figure 7-4). This may be interpreted as being the optimal range for maximum yield, after which the value declines. Crops such as melon, with multiple harvest dates, entail additional problems for optimization of the fertilizer dosage, because nutrients frequently interact to affect ripening or maturity dates as well as total yield (Eidman et al., 1963). As noted above for FY and MFY, the crop was harvested in accordance with local practice. However, higher doses of N may delay fruit ripening beyond the end of the season determined by the weather conditions, ultimately lowering the FY. The final DW increased linearly with increasing N_{up} ($R^2=0.59$) (Figure 7-5).

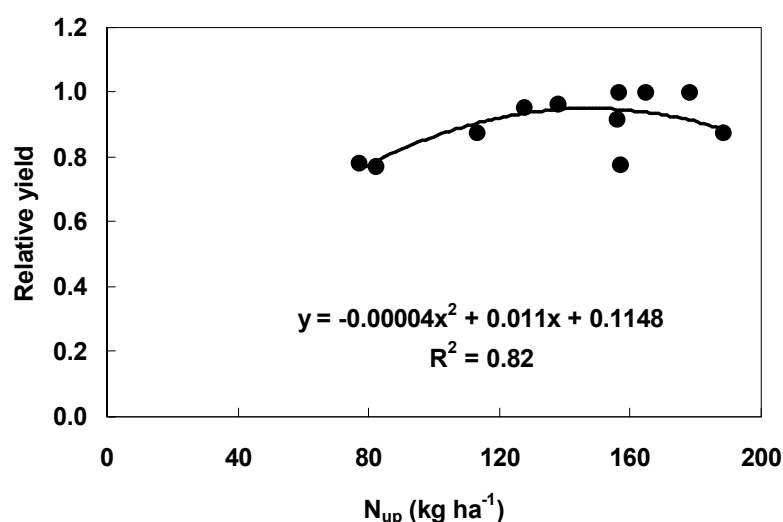


Figure 7-4. Relative fruit yield versus N uptake (N_{up}) in 2005, 2006, and 2007. The second-order polynomial curve corresponds to the data in the three years.

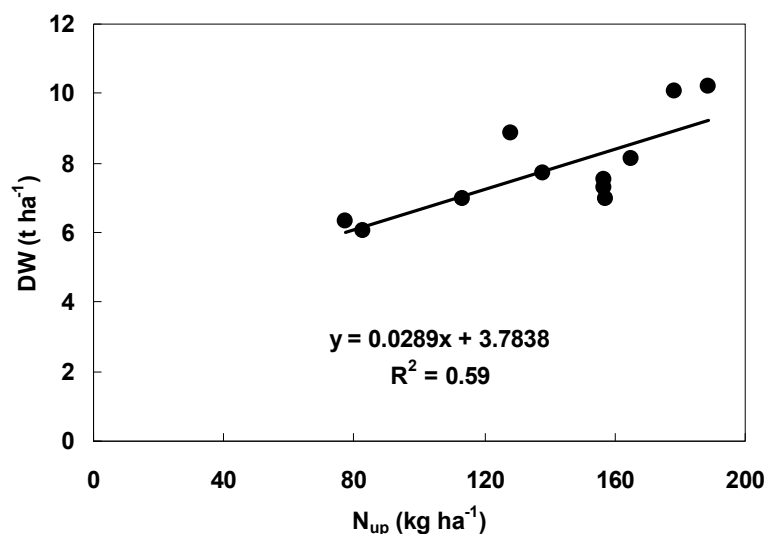


Figure 7-5. Dry weight (DW) versus N uptake (N_{up}) in 2005, 2006, and 2007. Dry weight (DW) was determined as the sum of the dry weight in every above-ground organ of the plant, including the fruits. The linear adjustment corresponds to the data in the three years.

It is known that as the N rate increases, fruit yield increases to reach an optimum value, but if the N rate continues to increase it will result in decreased yield (Pinto et al., 1997; Purqueiro et al., 2003; Pérez-Zamora et al., 2004).

Kirnak et al. (2005) studied the effect of irrigation and N rate on the growth and yield of muskmelon (*Cucumis melo* L., cv. Polidor) in semi-arid regions. Increasing the N level consistently and significantly increased yield when irrigation was adequate and increasing N applications resulted in significant increases in biomass production by plants grown under well-watered conditions.

7.5.3. Efficiency indexes

All the efficiency indexes related to the FY are shown in Figure 7-6. Focusing on the indexes based on FY (NUE₁, NUE₂, and NUtE), the N doses for which NUE₁ and NUE₂ exhibited the highest and lowest values were N₁₁ and N₃₉₃, respectively, whereas for NUtE these doses were N₃₀ and N₃₉₃. Comparing the relationships between these indexes and the N parameter used to calculate them (N_{ap} for NUE₁, N_{av} for NUE₂, and N_{up} for NUtE), a clear distinction can be drawn between NUE₁ and NUE₂, which follow a power law, and NUtE, that can be fitted to a linear regression. This highlights the sigmoidal curve for the relationship between N_{ap} and N_{av}, which differs substantially from the N_{av} versus N_{up} graph, since the first depends primarily on N_s initial and translates into the same pattern when the respective indexes are plotted against N, as in Figure 7.6a, and plant N_{up} is regulated by both crop growth rate potential and N availability in soil (Figure 7-6b) (Lemaire et al., 2008). NUE₁ and NUE₂ exhibit an exponential trend and NUtE a linear trend. The linear regression

of NUE_1 cuts the NUE_2 curve in two points. Between both points a range is delimited where one finds the optimum quantity of N.

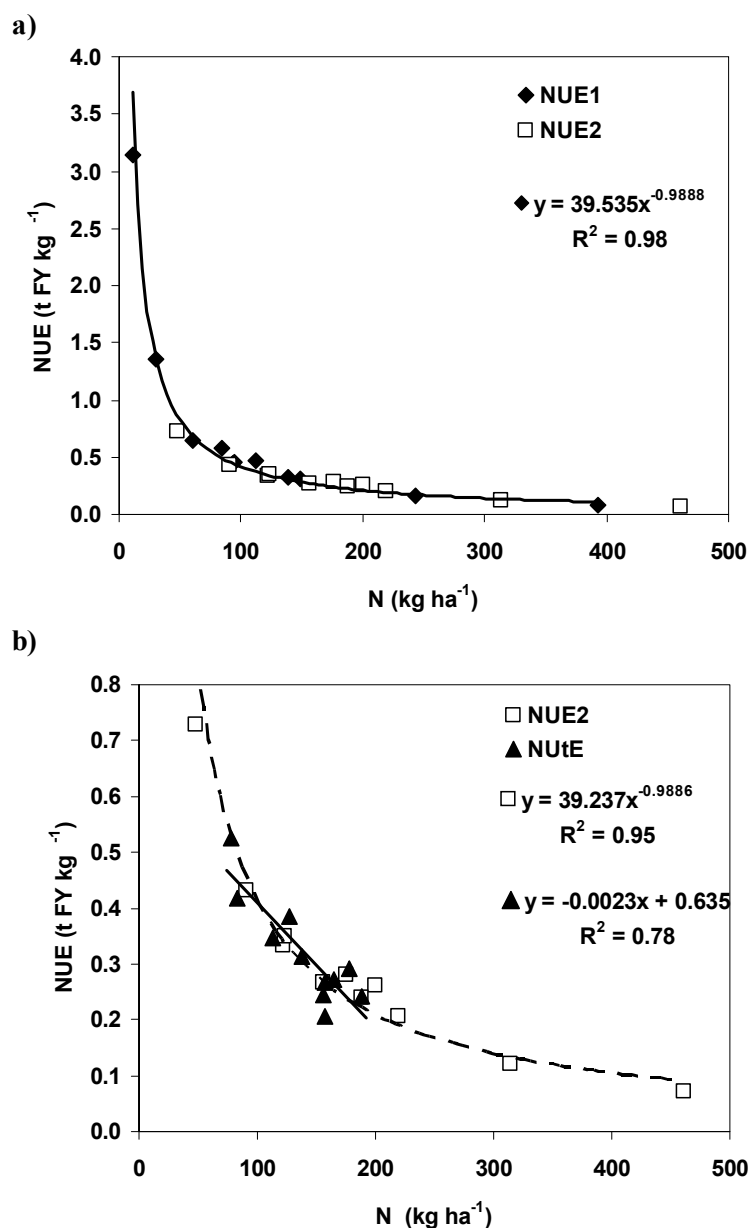


Figure 7-6. Nitrogen use efficiency indexes based on fruit yield (FY) versus N: a) N applied (NUE_1 versus N_{ap}) and N available (NUE_2 versus N_{av}); b) N available (NUE_2 versus N_{av}) and N uptake ($NUtE$ versus N_{up}). The continuous lines correspond to a power law or linear adjustment to the data in the three years.

All the efficiency indexes related to the DW are shown in Figure 7-7. The N doses for which the DW indexes NUE_3 and NUE_4 exhibited their highest and lowest values were the same - N_{11} and N_{393} , respectively – and for NUE_5 they were N_{30} and N_{393} , respectively. Moreover, the relationships between these indexes and their respective N parameters were analogous to the findings for the FY indexes. There was a trend for all indexes of N use efficiency to decline with increasing N rate. NUE_3 and NUE_4 had an exponential trend and

NUE₅ a linear trend. The linear regression of NUE₅ cuts the NUE₄ curve, delimiting a range within which lies the optimum quantity of N. This range is wider than the one delimited by the plot of NUE against FY, due to the fact that DW is considered to be the totality of the plant - including ripe and unripe fruits - whereas FY comprises only the ripe fruits.

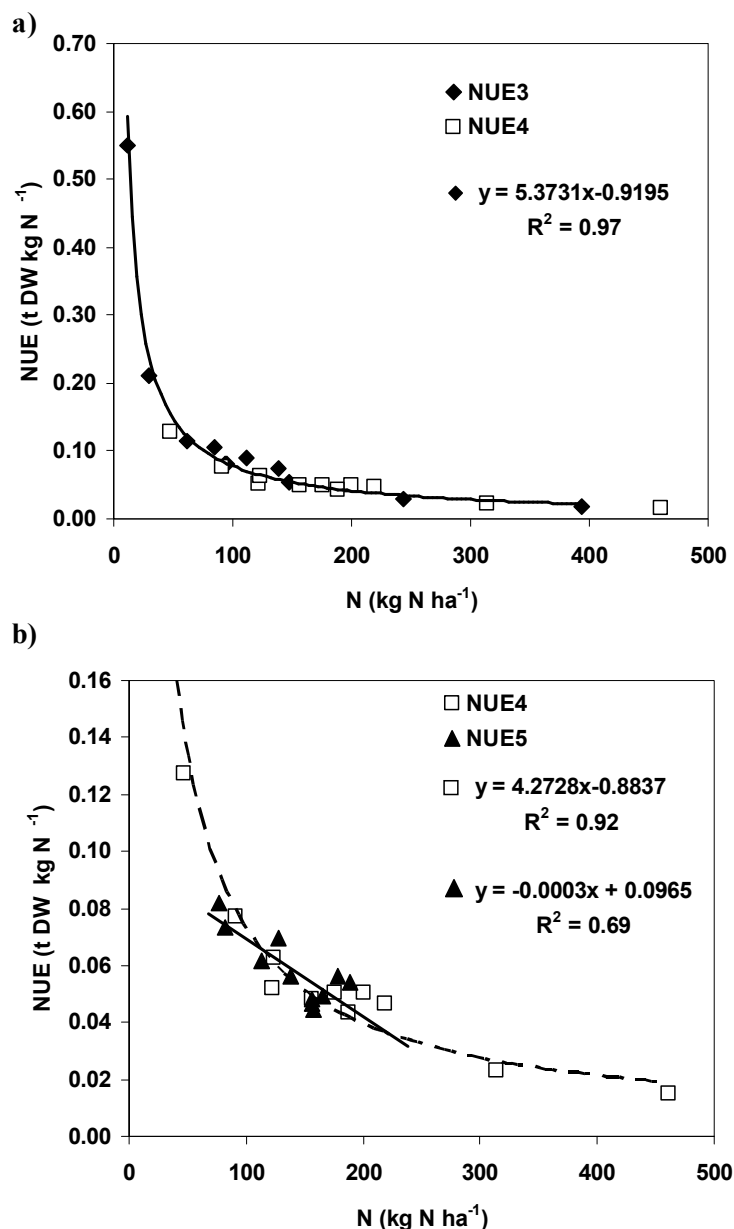


Figure 7-7. Nitrogen use efficiency indexes based on dry weight (DW) versus N: a) N applied (NUE₃ versus N_{ap}) and N available (NUE₄ versus N_{av}); b) N available (NUE₄ versus N_{av}) and N uptake (NUE₅ versus N_{up}). The continuous lines correspond to a power law or linear adjustment to the data in the three years.

7.6. CONCLUSIONS

Productivity and the efficiency of resource use are crucial to sustainable agriculture, particularly in resource-intensive crops such as melon. In this study, we aimed to compare

melon fruit yield (FY) and biomass (DW), as well as N use efficiency (NUE), at different doses of N fertilizer.

For this three-year field experiment, conducted in central Spain, where melon was irrigated at a rate of 100% of crop evapotranspiration and fertilized with eleven different doses of N, there was wide yearly fluctuation in FY with respect to N_{ap} and, especially, N_r due to the roles of N_s and N_{up} dynamics in crop development, in addition to significant differences in the N content of the water. In the absence of water constraints, the N_{ap} - N_{up} curve reflects the facility with which N was extracted from the soil. Significant variations in yield can be observed when the harvest date is altered because of the soil or weather conditions, making it necessary to adapt the data to field-specific conditions.

These experimental results show that yields above 95% of the yield potential could be obtained with a N application of 93 kg ha⁻¹. The maximum N uptake was 155 kg ha⁻¹. The maximum FY was obtained with 155 kg ha⁻¹ of N_{up} . The indexes of N use efficiency generally decreased with increasing N rate and presented two different behaviors: NUE related to N_{ap} and N_{av} showed an exponential trend and NUE related to N_{up} a linear trend, delimiting a range within which one finds the optimum N.

CAPÍTULO 8

Nitrogen fertirrigation: an
integrated agronomic and
environmental study.

8.1. ABSTRACT

Proper management of the N applied to crops is necessary in order to enhance yield, improve water use efficiency (WUE) and reduce the pollutions risks with the least economic, environmental and health costs. Some environmental indexes have been proposed, to determine the groundwater pollution risks associated with common agricultural practices. These indexes are related to variation in the nitrate concentration of drinking water (Impact Index (II)) and groundwater (Environmental Impact Index (EII)). Also, Management Efficiency (ME) was calculated, which is related to the amount of fruit produced per gram of N leaching (N_l). To determine the optimum dose of N, it was also necessary to know the N mineralization (NM). Our results show that 160 kg ha^{-1} of available N produced the maximum yield, enhanced WUE and gave an NM of 85 kg ha^{-1} , while the impact indexes did not exceed the fixed maximum allowable limits and ME was adequate. The proposed indexes proved to be an effective tool for determining the risk of nitrate contamination and confirmed that the optimum dose of N corresponded to the maximum yield with minimal loss of N_l .

8.2. INTRODUCTION

Best management practices (BMP) are needed for much of the cropped, irrigated and fertirrigated land in Spain, to avoid contamination of fresh water and groundwater.

A higher fertilization rate than the crop needs creates a scenario where nitrate leaching to the aquifer and its resulting contaminating are highly probable (Bawatharani et al., 2004; Oonema et al., 2005; Zalidis et al., 2002) and are accompanied by an increased soil concentration of nitrate (Poch et al., 2005). This situation is particularly likely to arise in this area, since soil depth is not more than 0.60 m and semi-arid conditions prevail during the crop season. Good water and fertilizer management is imperative, as in other areas (Brown et al., 2005; Eilers et al., 2007; Moreno et al., 1996).

This aspect is highly important in the periods between crops, during which precipitation leaches soil nitrate. This has two negative effects: nitrate is lost for the next crop and nitrate concentration increases in the aquifers (Cartagena et al., 1995; Casey et al., 2002). These aquifers are the main sources of water supply to the human population and nitrate contamination can cause health problems (Niaz et al., 2004). The objective of BMP is a rational N fertilization that minimizes the environmental impact and maximizes yield (Bilbao et al., 2004; Derby et al., 2005).

The nitrate leaching is strongly related to soil water content, soil texture and

available nitrate concentration (He et al., 2011). Excessive doses of N and/or water applied to fertirrigated crops involve a substantial risk of aquifer contamination by nitrate; knowledge of N cycling and availability within the soil could assist in avoiding this excess. Strategies are being sought that increase water use in cropping systems and reduce drainage (D). Estimation of the N mineralized from soil organic matter is essential to determine the amount necessary to optimize crop yield and minimize the environmental impact of excess N.

The aim of this work was to study N management in fertirrigation, considering two fundamental aspects – agronomic and environmental - that condition the optimum fertilizer dose. This requires an integrated optimization of all aspects. From an agronomic or productivity standpoint, we require maximum yield with minimum water and fertilizer consumption. The environmental aspect refers to minimum loss of leachate and maximum utilization of soil N, which implies mobilization of the different N species in it. The results of this study will provide a guideline to growers and agencies regarding optimum water and N fertilizer management for fertirrigated crop systems.

8.3. EFFICIENCIES AND INDEXES APPLIED.

The optimum N dose can be calculated from the indexes and efficiencies shown in this work - these can be classified into four groups: water use efficiencies (WUE, IRRWUE, DWUE and DIRRWUE), environmental impact indexes (II, EII and ME), soil N mobilization (NM and NMI) and N use ($N_{up}E$) (Figure 8-1).

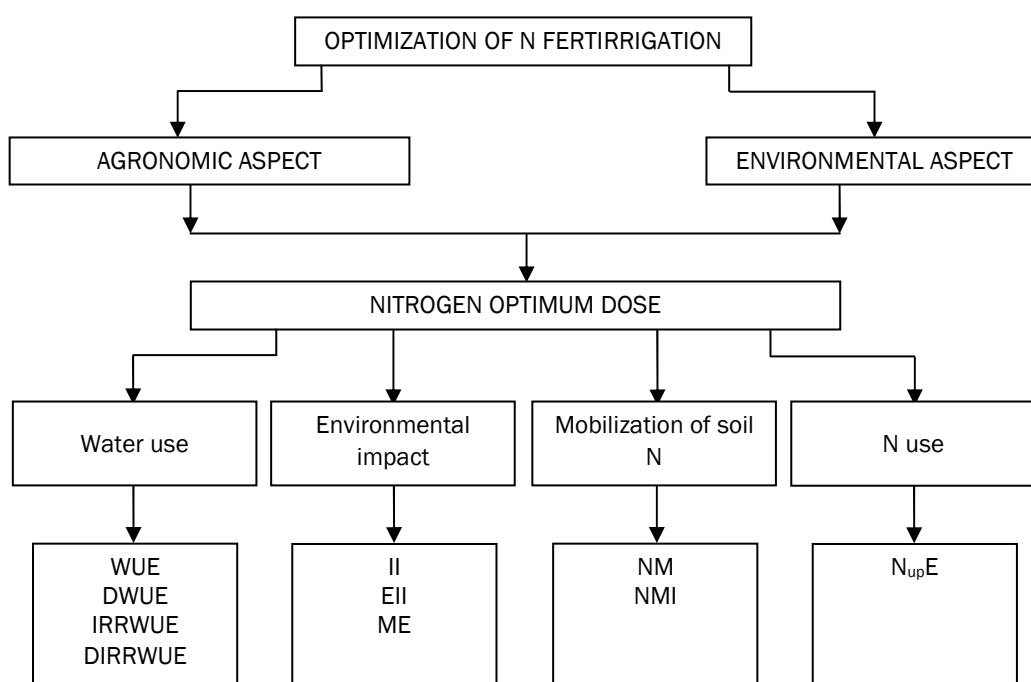


Figure 8-1. Chart describing the optimization of N fertirrigation, in agronomic and environmental terms.

The water use efficiency (WUE) is the ratio between the yield and the water used to get this yield. Normally, the highest yield is achieved with a complete restitution of crop evapotranspiration (ET_c), although WUE decreases with an increase in irrigation. In this work we will refer to fruit yield (FY) and dry weight (DW). To estimate the water spent in the crop season, ET_c is used, as estimated to evaluate the irrigation. Based on this estimation, the calculated efficiencies are:

$$WUE = \frac{FY}{ET_c}; DWUE = \frac{DW}{ET_c} \quad (1)$$

The irrigation system affects the homogeneity and the amount of water that finally is available to the crop. IRRWUE decreases with an increase in irrigation water (Irr). Based on this, the calculated efficiencies are:

$$IRRWUE = \frac{FY}{Irr}; DIRRWUE = \frac{DW}{Irr} \quad (2)$$

In some cases, IRRWUE is also calculated as the ratio of yield increase to irrigation plus precipitation (P). In this study, P was negligible. In addition, the high salt content of the irrigation water necessitates the use of large volumes of water to wash out the leach fraction.

The shortage of water resources of good quality is becoming an important issue in the arid and semi-arid zones. It is very important not to alter too much, without good reason, the irrigation water quality. Irrigation return flows with water of poor quality are a pollution source for the surface water and the groundwater (Beltrán, 1999).

Many areas in Spain have groundwater nitrate concentrations much higher than the European limit established by the Drinking Water Directive (DWD). This problem is aggravated because groundwater is one of the main sources of drinking water, besides being used for irrigation; about 30% of the population is supplied by groundwater (Miner-Mohtma, 1994). Consequently, it is necessary to protect the groundwater against nitrate pollution, the consequence of agricultural practices. In a study in Western Europe, the nitrate in the annual groundwater recharge showed rather-high mean concentrations for sandy soils with arable crops, intensively-managed and grazed grassland and field crops of vegetables, which could exceed the limit established by the DWD (Strebel et al., 1989).

The intensive use of N in agricultural systems has negatively on environmental quality, because higher crop fertilization requirements result in nitrate leaching into aquifers, as well as increasing its presence in the soil, resulting in a time of intercropping nitrate washing with P. Correct N management, to reduce the pollution risk, may lead to higher production with the minimum economic and environmental cost. With this purpose,

several environmental indexes were defined based on the N leaching arising from the agricultural practices. These indexes must be defined in nitrate concentration terms, according to the contamination directives.

The first index considered, the Impact Index (II), was designed to show whether the leached nitrate exceeded the maximum nitrate concentration considered by the DWD, which establishes a maximum allowable level of 50 mg L⁻¹. It is expressed as the ratio between the concentration of nitrate in the leachate (Nitrate_{leachate}) and the threshold concentration of the DWD:

$$II = \frac{\text{Nitrate}_{\text{leachate}}}{50} \quad (3)$$

The second index shows how agricultural practices affect the quality of the groundwater, being named the Environmental Impact Index (EII):

$$EII = \frac{\text{Nitrate}_{\text{leachate}}}{\text{Nitrate}_g} \quad (4)$$

where Nitrate_g is the nitrate concentration in groundwater. In a greenhouse study, the ratio N_{leachate}/N_{groundwater} was measured and depended, among other factors, on the amount of N excess. It helps establish the basic parameters of irrigation and fertilizer application required to minimize the groundwater pollution (Muhammetoglu et al., 2005).

As far as we know, there has not been any attempt in a field study to consider both the yield and environmental aspects in a unique index. Therefore, we have tried to do so with the Management Efficiency (ME), defined as:

$$ME = \frac{FY}{N_l} \quad (5)$$

where FY is the fruit yield and N_l is the amount of N leaching.

To determine the N application that maximizes yield and minimizes nitrate leaching, knowledge of the N available (N_{av}) is necessary. Besides the available soil N and the N applied (N_{ap}), this also requires knowledge of the N mineralized following the application. Methods to estimate the amount of N mineralized from soil organic matter are needed for accurate fertilizer recommendations which avoid excessive applications and the risks of nitrate pollution. The N mineralized in the soil may be an important source of N for crop nutrition. In this study, the N Mineralization (NM) was calculated from the N balance:

$$NM = N_{up} + N_l + N_{s \text{ final}} + N_g - N_{ap} - N_{s \text{ initial}} \quad (6)$$

where N_{up} is the N uptake by the plant, N_{s final} is the N in the soil at the end of the crop, N_g is the N loss by denitrification (this parameter was considered negligible in our

experimental conditions (Sánchez et al., 2008)), N_{ap} is the N applied (the sum of the N in the irrigation water (N_w) and in the N fertilizer (N_f)) and N_s initial is the mineral N in the soil before transplanting the melon plants. The sum of N_{ap} and N_s initial is the N available (N_{av}), so that equation (6) becomes:

$$NM = N_{up} + N_l + N_{s\text{ final}} - N_{av} \quad (7)$$

To reflect the variation of NM as a function of N_{av} , a ratio between the two parameters was defined, namely the N Mineralization Index (NMI):

$$NMI = \frac{NM}{N_{av}} \quad (8)$$

In the balance, if N_{av} and NM are considered as N sources, and N_{up} as the only N sink, the difference between the sources and sink could give an idea of the excess N, of which a part will be leached (N_l) while the rest will remain in the soil (N_s final). So, it will be useful to know the amount of available ($N_{av} + NM$) that is taken up by the melon crop. This is called the N uptake efficiency ($N_{up}E$), defined as:

$$N_{up}E = \frac{N_{up}}{N_{av} + NM} \quad (9)$$

8.4. MATERIAL AND METHODS

8.4.1. Drainage and water balance

To estimate drainage (D), measurements were taken at different distances from the drip line. Three tubes were installed in the centre of every plot and between two consecutives plants to measure the volumetric soil water content (θ_v) on a weekly basis, in a straight line at 12.5, 37.5 and 62.5 cm from the drip line, with a probe (Diviner 2000) based on FDR (Frequency Domain Resonance). The D for each treatment was calculated according to the water balance approach $D = Irr + P - ETc - Rf \pm \Delta\theta_v$ (Doorenbos and Pruitt, 1977), where Irr the irrigation water supplied during the growth period, P the effective rainfall during the growth period, ETc evapotranspiration, Rf runoff, and $\Delta\theta_v$ the variation in the volumetric soil water content. Both runoff flow and effective rainfall were assumed to be negligible.

8.4.2. Nitrogen leaching.

A ceramic cup was installed at 0.60 m depth and 32.5 cm from the irrigation line for each plot, to obtain weekly samples of the soil solution, simultaneously with the FDR measurements. The nitrate concentration in the soil solution was measured with an ion-

selective electrode. The N_l to below 0.60 m was calculated as the product of nitrate concentration and D. The concentration of Nitrate_{leachate} was calculated by dividing the amount of N_l by the total estimated D volume.

8.5. RESULTS AND DISCUSSION

8.5.1. Crop production

The N_{av} had a clear effect on FY and DW (Figures 8-2a and 8-2b). Considering all years, the highest yield was obtained with $181 \text{ kg ha}^{-1} N_{av}$; if the amount of N was increased above this, the yield was reduced. However, yields above 95% of the maximum yield could be obtained with N_{av} amounts between 160 and 225 kg ha^{-1} .

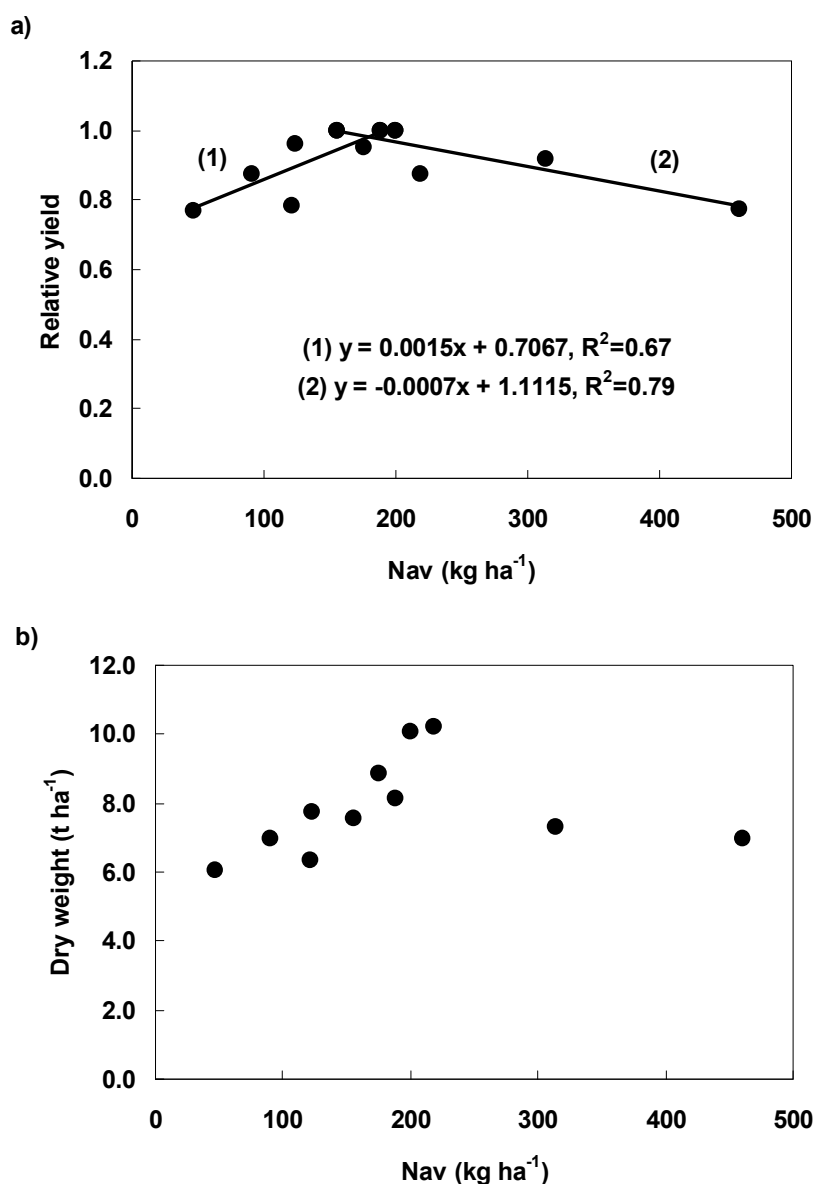


Figure 8-2. Relative fruit yield versus N available (N_{av}) in 2005, 2006 and 2007 (a) and dry weight (DW) versus N_{av} in 2005, 2006 and 2007 (b).

It is known that as the N rate increases so fruit yield increases to reach its optimum value, but if the N rate continues to increase then the yield decreases (Kirnak et al., 2005; Purqueiro et al., 2003). In the literature, the optimum N rate changes as a function of melon variety, climate, soil and other factors, although, while there are several studies in different types of melon, none exist for “piel de sapo”.

The DW ranged between 6.0 and 10.2 t ha⁻¹: increasing the amount of N_{av} resulted in an increase of DW, except in 2006 - when no significant effect of N was found (Castellanos et al., 2010a). Nitrogen stimulates vegetative growth, while too much N can inhibit flowering and fruit production (Draggan, 2009; Mills and Jones, 1979).

8.5.2. Water parameters.

The ET_c was 472.8 mm in 2005, 419.5 mm in 2006 and 356.9 mm in 2007. The I_{rr}, considering the initial watering, was 604.2, 552.9 and 488.1 mm in 2005, 2006 and 2007, respectively. Throughout the irrigation period, I_{rr} was much greater than ET_c; this meant that there was a continuous D.

The D showed a similar pattern in all three tubes: significant differences were not observed, which demonstrates the homogeneity of the moisture within the bulb. This could be due to the shallow soil (meaning that the water was distributed uniformly), its texture and the implementation of daily irrigation, resulting in constantly-moist soil. In a drainage study in tomato using drip irrigation and plastic mulch, was observed a similar pattern in the six tubes placed at different distances from the drip line and in a soil with 1 m of depth. (Vázquez et al., 2006),

Considering all years, the D ranged from 62.8 mm to 97.9 mm, a loss of 16% and 18%, respectively (Figures 8-3a, b and c). In 2005, significant differences were found in the cumulative D: the D was higher in the two treatments with lower doses of N, while for the other two treatments with higher doses it was lower. This could be due to an increase in N producing a rise in DW, so that water consumption was higher and therefore D was reduced. This relationship between D and N dose was not observed in the other years, because in 2005 the differences in DW among treatments were higher.

In a study of crop rotation with corn and soybean, significant differences in D due to N treatments, which ranged between 57 and 202 kg ha⁻¹, were not found (Jaynes et al., 2001). In a study with maize, D was lower in subplot where a high N-fertilization rate was applied, than in subplot of the lower rate (Moreno et al., 1996).

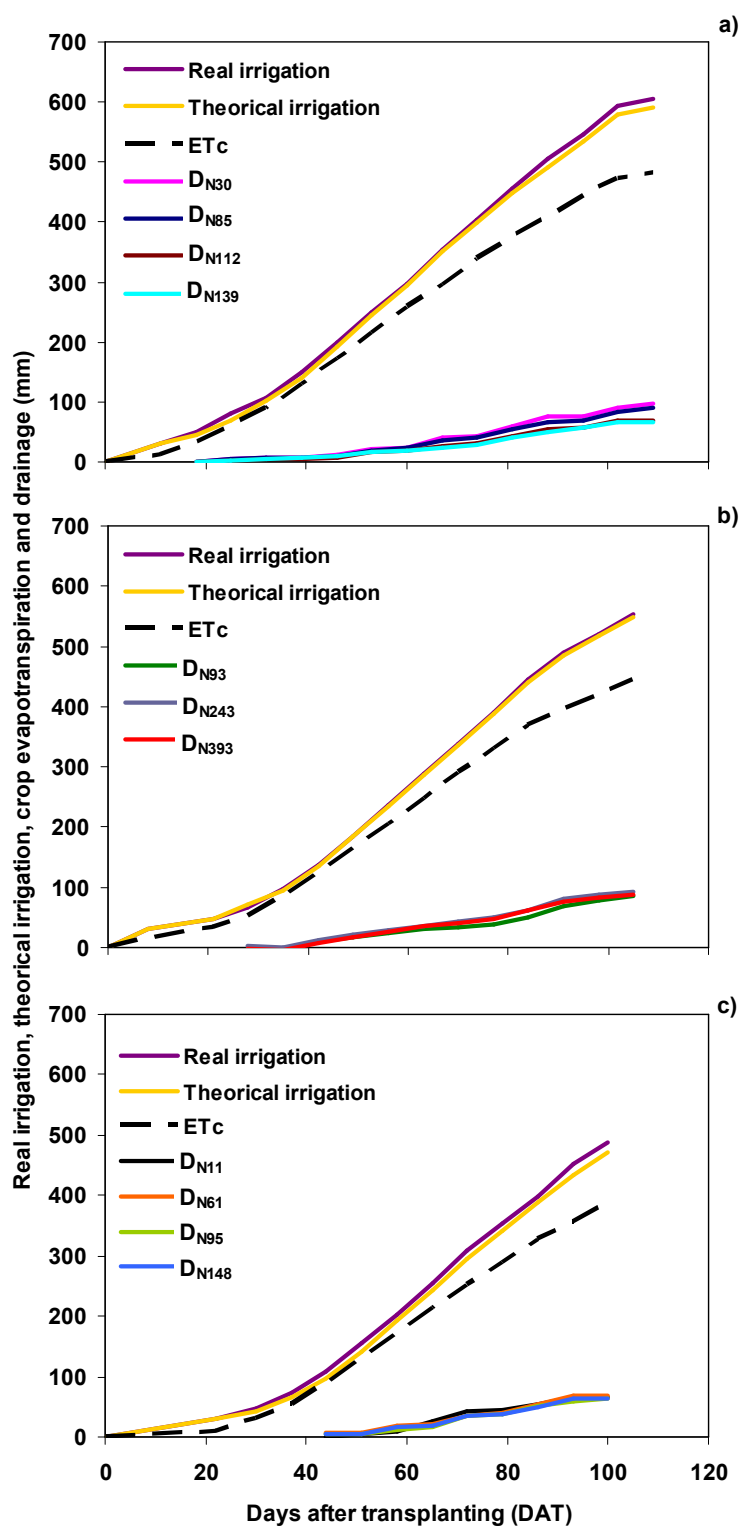


Figure 8-3. Cumulative crop evapotranspiration (ETc), theoretical irrigation, real irrigation and drainage of each N treatment in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).

8.5.3. Water use efficiencies

The N availability affected significantly the indexes related with the water use (Table 8-1). The highest values of WUE and IRRWUE were observed in treatments with greater FY.

In 2005, the highest WUE and IRRWUE were obtained with 200 kg ha⁻¹ of N_{av} (N₁₁₂), decreasing by 22% and 13% when the availabilities were 122 and 219 kg N ha⁻¹ (N₃₀ and N₁₃₉), respectively. In 2006, the highest WUE and IRRWUE were achieved with 156 kg N ha⁻¹ of N_{av} (N₉₃), decreasing by 23% with 461 kg N ha⁻¹ of N_{av} (N₃₉₃). In 2007, N availabilities of 124 and 188 kg ha⁻¹ (N₉₅ and N₁₄₈) increased by 25% and 30%, respectively, the efficiency obtained at 47 kg ha⁻¹ of N_{av} (N₁₁).

The highest efficiency was obtained with a N_{av} of 181 kg ha⁻¹ and if this amount of N was increased, the efficiency was reduced. However, efficiencies above 95% of the maximum value could be obtained at 160 kg ha⁻¹.

Table 8-1. Water use efficiency, based on fruit yield (FY) and dry weight (DW) with respect to ET_c and I_{rr}, in the melon crop in 2005, 2006 and 2007.

Treatment	WUE (kg m ⁻³)	IRRWUE (kg m ⁻³)	DWUE (kg m ⁻³)	DIRRWUE (kg m ⁻³)
2005				
N ₃₀	8.6 a	6.7 a	1.3 a	1.0 a
N ₈₅	10.4 ab	8.2 ab	1.9 b	1.5 b
N ₁₁₂	11.0 b	8.6 b	2.2 b	1.7 b
N ₁₃₉	9.6 ab	7.5 ab	2.1 b	1.7 b
2006				
N ₉₃	10.0 b	7.6 b	1.8 a	1.4 a
N ₂₄₃	9.1 b	6.9 b	1.7 a	1.3 a
N ₃₉₃	7.7 a	5.9 a	1.7 a	1.3 a
2007				
N ₁₁	9.7 a	7.1 a	1.7 a	1.2 a
N ₆₁	11.0 ab	8.0 ab	2.0 ab	1.4 ab
N ₉₅	12.1 bc	8.8 bc	2.2 b	1.6 b
N ₁₄₈	12.6 c	9.2 c	2.3 b	1.7 b

The WUE increased to its optimum value with a N_{ap} of 90 kg ha⁻¹, at which the melon FY was maximal (Cabello et al., 2009). In another study with melon, an improvement in WUE was obtained by increasing the N level to 120 kg ha⁻¹ of N_{av}, due to increased yield (Kırnak et al., 2005). Low N supply will not only result in lower yield but will also reduce WUE (Brück et al., 2001). High N levels can reduce yield due to excess water use in the pre-anthesis period, leaving insufficient water post-anthesis (van Herwaarden et al., 1998).

The highest values of DWUE and DIRRWUE were in the treatments which gave the greatest DW. In 2005, both efficiencies were improved by 40, 59 and 61% with 176, 200 and 219 kg N ha⁻¹ of N_{av} (N₈₅, N₁₁₂ and N₁₃₉), respectively, compared to 122 kg N ha⁻¹ of N_{av} (N₃₀). In 2006, N had no effect on the efficiencies. In 2007, the efficiencies obtained with

47 kg N ha⁻¹ of N_{av} (N₁₁) were increased by 34% at 188 kg N ha⁻¹ of N_{av} (N₁₄₈). A close relationship between WUE and DW in tomato crop was observed (Claussen, 2002).

8.5.4. Environmental indexes.

If all three years of data are considered, the relationship between II and N_{av} showed a highly-significant, linear regression ($R^2=0.92$) (Figure 8-4). Treatments giving Nitrate_{leachate} in excess of 50 mg L⁻¹ will have an II > 1 and will be located above the horizontal dotted line, while those treatments in which Nitrate_{leachate} is below this threshold will have an II < 1 and will lie below the horizontal line.

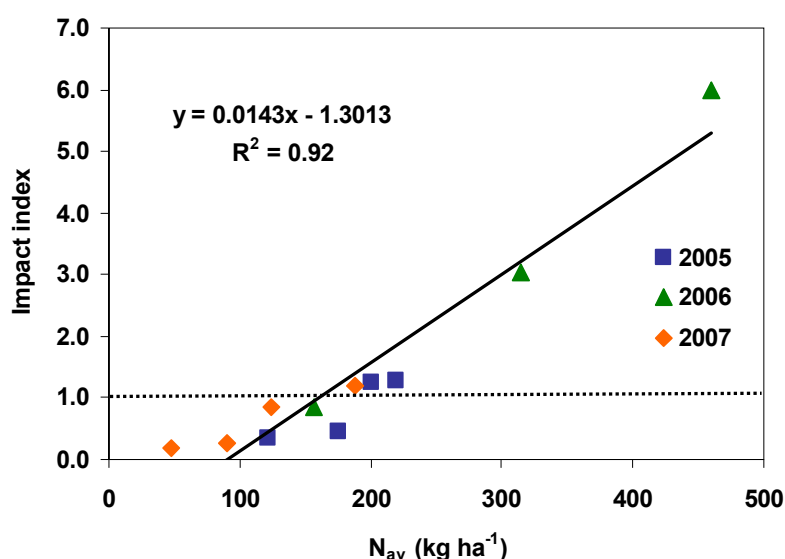


Figure 8-4. Impact Index (II) versus N available (N_{av}). Discontinuous lines correspond to the maximum limit, when the concentration of the NO₃⁻ leaching is 50 mg L⁻¹ - equal to the maximum concentration established for drinking water.

The treatments which gave leached nitrate concentrations exceeding 50 mg L⁻¹ were of 200 and 219 kg ha⁻¹ of N_{av} (N₁₁₂ and N₁₃₉) in 2005, 314 and 461 kg ha⁻¹ of N_{av} (N₂₄₃ and N₃₉₃) in 2006 and 188 kg ha⁻¹ of N_{av} (N₁₄₈) in 2007. The other treatments gave concentrations which were beneath the maximum allowable value. For the optimal dose of 160 kg ha⁻¹ N_{av}, II was 0.99. This approach is an effective tool for determining whether agricultural practices pose a risk to the use of groundwater as drinking water. It is desirable not to exceed the maximum allowable nitrate concentration.

The EII showed a highly-significant, linear regression in relation to N_{av} ($R^2=0.89$) (Figure 8-5). All treatments with leached nitrate concentrations exceeding the nitrate concentration of the groundwater have an EII value greater than 1 and will be located above the horizontal dotted line, located at an EII of 1, while those treatments in which the concentration of leached nitrate was less than that of the groundwater have a management impact index below 1 and will lie below the horizontal line.

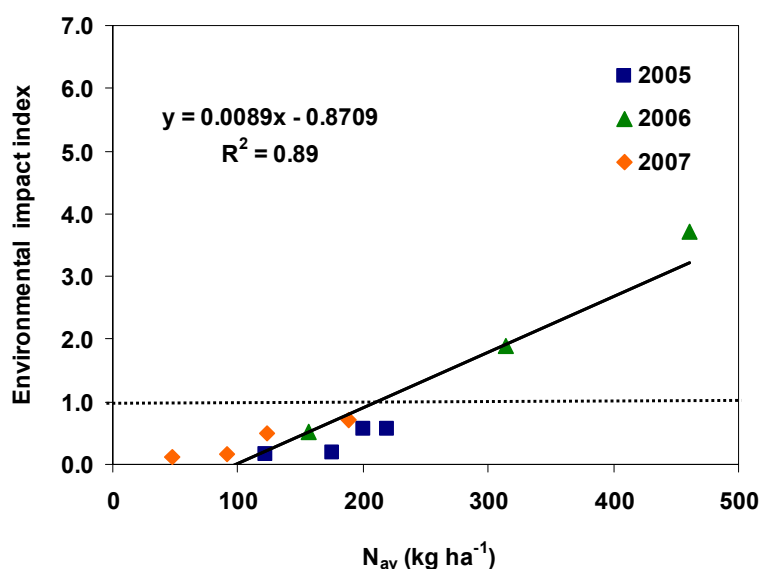


Figure 8-5. Environmental impact index (EII) versus N available (N_{av}). Continuous lines show when the concentration of the NO_3^- leaching is equal to the concentration of NO_3^- in the groundwater.

The only treatments that showed an EII greater than 1 were 314 and 461 kg ha^{-1} of N_{av} (N_{243} and N_{393}), because in our study conditions the high concentration of nitrate in the groundwater means that it is already contaminated.

The EII approach is a practical tool for quantifying the risk of groundwater contamination due to N application.

The ME represents the amount of fruit produced per gram of N_i . The results show that if N_{av} was increased, ME was reduced - so the amount of N_i was higher and FY declined (Figure 8-6). For the optimal dose of 160 kg ha^{-1} of N_{av} , ME was 7.4 kg FY g N_i^{-1} .

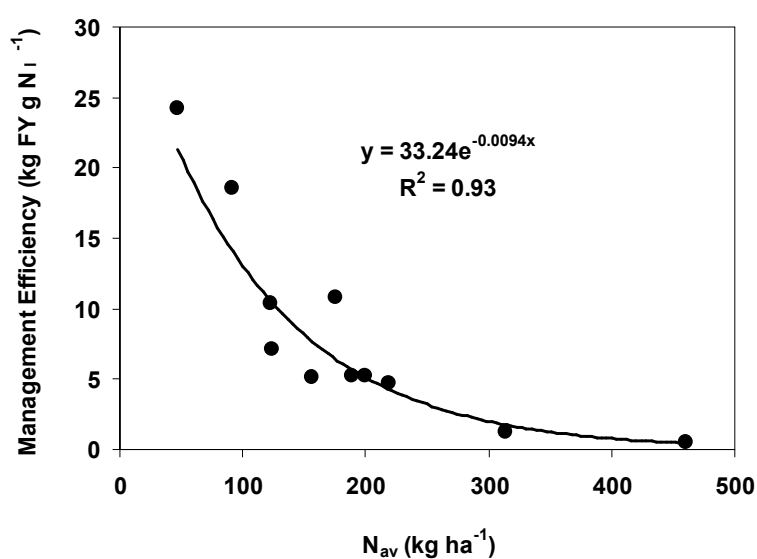


Figure 8-6. Management Efficiency (ME) versus N available (N_{av}).

8.5.5. Nitrogen Mineralization

To calculate the NM, it was necessary to consider all the parameters needed for the N balance of the equation (7). The N_{up} rose with increasing addition of N, except among the treatments in 2006 where there were no significant differences (Table 8-2).

Table 8-2. Nitrogen uptake (N_{up}), N leaching (N_l), soil mineral N to the end of the crop cycle (N_s final), N Mineralization (NM), N Mineralization daily (NM daily) and N uptake efficiency (N_{upE}) in 2005, 2006 and 2007.

Treatment	N_{up} (kg ha ⁻¹)	N_l (kg ha ⁻¹)	N_s final (kg ha ⁻¹)	NM (kg ha ⁻¹)	NM daily (kg ha ⁻¹ day ⁻¹)	N_{upE} (%)
2005						
N ₃₀	77.3 a	3.9 a	128.3	87.4 c	0.8 c	36.8 a
N ₈₅	127.9 ab	4.6 a	124.1	80.9 bc	0.7 bc	49.8 b
N ₁₁₂	178.4 bc	9.9 b	91.6	79.9 b	0.7 b	63.4 c
N ₁₃₉	188.6 c	9.6 b	87.9	67.0 a	0.6 a	65.4 c
2006						
N ₉₃	142.7 a	8.1 a	59.7	54.5 c	0.5 c	67.5 b
N ₂₄₃	163.1 a	31.3 b	167.9	48.2 b	0.5 b	45.5 a
N ₃₉₃	167.5 a	59.6 c	259.7	26.3 a	0.2 a	39.1 a
2007						
N ₁₁	82.6 a	1.5 a	87.9	124.6 c	1.2 c	48.3 a
N ₆₁	113.3 ab	2.1 a	104.1	128.7 bc	1.2 bc	52.3 ab
N ₉₅	138.1 bc	7.0 b	97.6	119.0 b	1.1 b	56.3 bc
N ₁₄₈	165.0 c	8.6 b	104.8	90.2 a	0.8 c	59.3 c

The N_l increased exponentially with the amount of N_{av} (Figure 8-7) ($R^2=0.90$). The greatest loss of N_l occurred with treatment 461 kg ha⁻¹ of N_{av} (N₃₉₃) (59.6 kg ha⁻¹) and the smallest with 47 kg ha⁻¹ of N_{av} (N₁₁) (1.5 kg ha⁻¹) (Table 8-2). The use of a greater amount of N results in a higher possibility of nitrate formation in the soil and subsequent leaching to aquifers increases (Kundu and Mandal, 2009). In a study, it was found that animal manure was, and still is, the prevalent source of nitrate in the aquifers, compared to inorganic fertilizers (Wassenaar et al., 2006); in our experiment, organic fertilizer was not used, but with the rising cost of inorganic fertilizer, organic fertilizer use is increasing.

The N_s final was higher than the N_{av} at the beginning of the crop cycle in treatments 122, 47 and 91 kg ha⁻¹ of N_{av} (N₃₀, N₁₁ and N₆₁), which means that N mineralization in these treatments was more evident and higher than for the other treatments (Table 8-2). In the other treatments, the value of this parameter was lower than that of N_{av} .

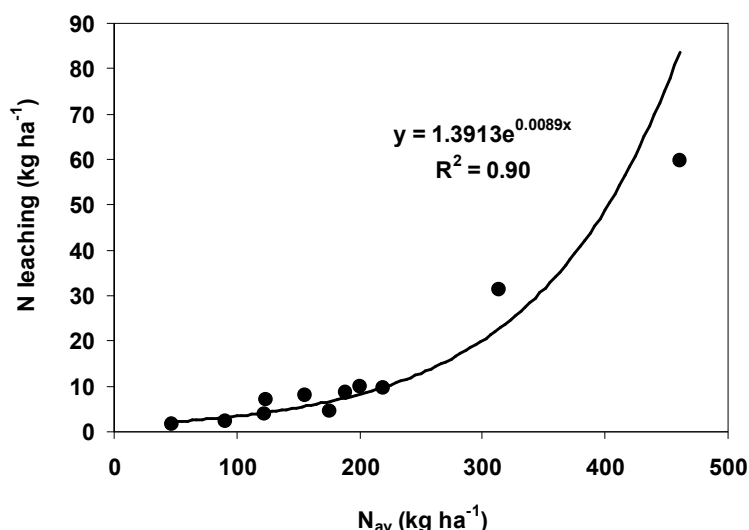


Figure 8-7. Nitrogen leaching (N_l) versus N available (N_{av}).

The NM ranged between 26.3 (N₃₉₃) and 128.7 (N₆₁) kg ha⁻¹ (Table 8-2). A relationship between NM and N_{av} was obtained (Figure 8-8): with higher N_{av}, NM was decreased exponentially ($R^2=0.85$). For the optimal dose of 160 kg ha⁻¹ of N_{av}, NM was 85 kg ha⁻¹. Similar results were found in the literature, regarding a detectable effect of fertilizer N on readily-mineralizable N in the plough layer (Bremer and Kuikman, 1997; Silgram and Chambers, 2002). A sufficient amount of fertilizer N stimulated formation of the biologically-active pools of N (biomass N and active N) in soils under no-tillage treatments, but the excessive use of fertilizer N tended to suppress these pools (McCarty and Meisinger, 1997). There are indications that some microorganisms have a “luxury uptake” of N when it is present in sufficient amounts, thereby delaying N mineralization (Fog, 1988).

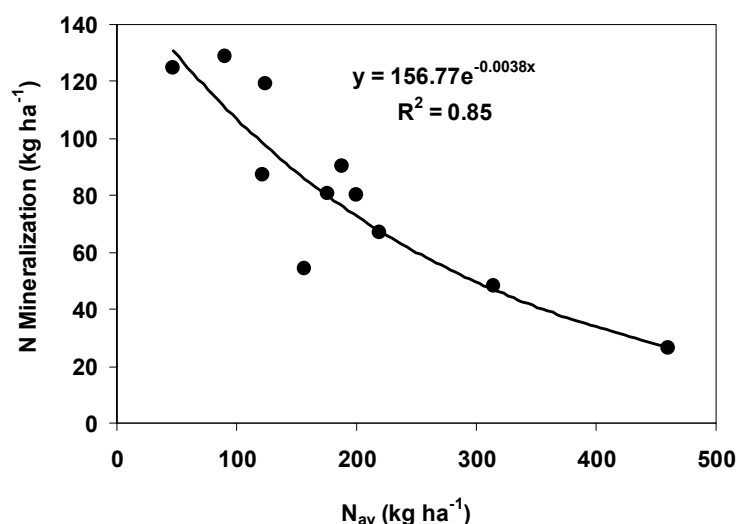


Figure 8-8. Nitrogen Mineralization (NM) versus N available (N_{av}) in 2005, 2006 and 2007.

The NM daily was calculated considering the NM and the number of days elapsed (Table 8-2). The NM daily ranged between 0.2 kg ha⁻¹ day⁻¹, for N₃₉₃, and 1.2 kg ha⁻¹ day⁻¹, for both N₁₁ and N₆₁.

In more-intensive agricultural systems, fertilizer inputs make up a significant component of the N balance. This means that limiting the nutrients applied to farmland should improve local water quality, sooner or later. Fertilizer application is becoming more precise (location, timing, amount) as farmers account better for other sources of nitrate in the soil and tailor applications to specific crop needs. This should decrease the amount of excess nitrate in the soil that is available for leaching to surface or groundwater (Burt et al., 2010). Nitrate leaching occurs when there is an accumulation of nitrate in the soil profile, either in excess of crop needs or between crops, which coincides with or is followed by a period of high D (Di and Cameron, 2002). The N mineralization is important in the N balance: knowledge of this parameter permits a better match between the N available and crop needs, thus reducing nitrate leaching (Dinnes et al., 2002).

If all three years of data are considered, the relationship between the N Mineralization Index (NMI) and N_{av} is highly significant, fitting an exponential regression ($R^2=0.95$) (Figure 8-9). This means that as N_{av} increased, the NM decreased exponentially.

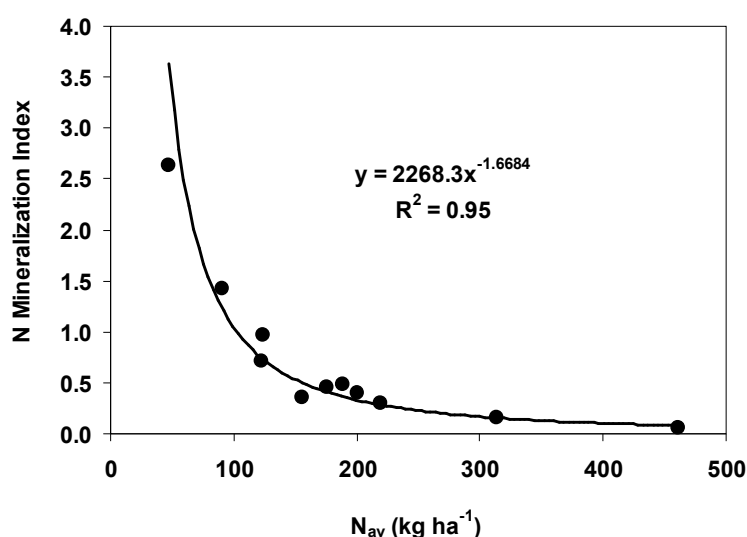


Figure 8-9. Nitrogen Mineralization Index (NMI) versus N available (N_{av}).

8.5.6. N uptake efficiency

Increasing N availability (N_{av}+NM) increased N_{up}E from 36.8 (N₃₀) to 65.4% (N₁₃₉) in 2005 and from 48.3 (N₁₁) to 59.3% (N₁₄₈) in 2007; but, in 2006, the opposite occurred - the efficiency decreased with increasing N (Table 8-2). This is because the N was taken up quickly until N_{av} was approximately 300 kg ha⁻¹; above this amount, the N_{up} remained constant at a maximum of 180 kg ha⁻¹ (Castellanos et al., 2010b).

8.5.7. Relationship between environmental indexes and efficiencies.

There are relationships among the environmental indexes and efficiencies determined in this study. In Table 8-3, the matrix correlation coefficients obtained are shown, as well as their significances. The strongest correlations were obtained for ME and WUE with FY (IRRWUE and WUE), followed by WUE with DW (DWUE and DIRRWUE), $N_{up}E$ and Relative FY, then NM and the environmental indexes (II and EII); finally, NMI showed the weakest correlations. Based on this, several variables were selected to try to capture the maximum information with the minimum number of efficiencies and indexes. The following variables were selected, avoiding high correlations: crop yield (Relative FY), water use (IRRWUE), N use ($N_{up}E$) and contamination (II, ME). Although different treatments were compared in an integrated way, a radial representation was achieved (Figure 8-10).

The IRRWUE, $N_{up}E$ and ME values have previously been normalised, to minimize the influence of variation range in their representation. In the case of II, based on the existing Directive, any value greater than 1 has been awarded a value of 0, since this agricultural practice poses a risk of pollution. In the remaining cases, to arrange the index so that “more is better”, it is shown as $II' = 1 - II$.

Different treatments were compared in each year. In 2005 (Figure 8-10a), N_{112} and N_{139} had the highest pollution risk, differing in their IRRWUE. However, N_{85} was the most-efficient treatment, with the lowest pollution risk. In 2006 (Figure 8-10b), N_{93} was the most efficient, with the exception of II' , although Nitrate_{leached} did not exceed 50 mg L⁻¹. With an excessive N availability, N_{243} and N_{393} not only caused contamination of the drainage water, but had lower yields and IRRWUE. This was due to a combination of two factors: firstly, the water used was groundwater (used by farmers in the area), with a high concentration of nitrate, and secondly, the high overdose of N_{ap} .

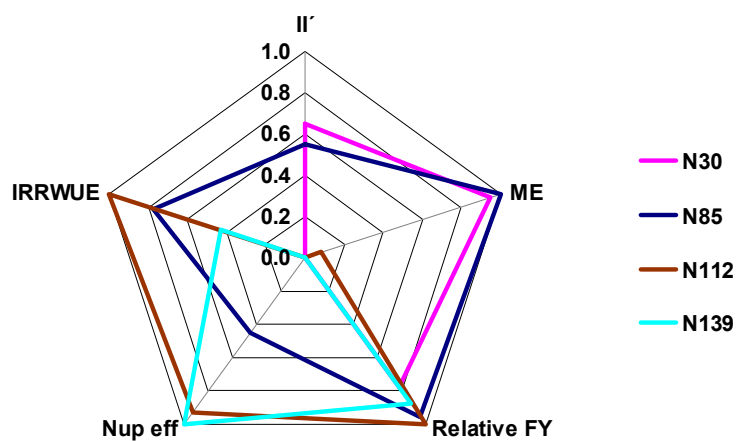
In 2007 (Figure 8-10c), two different behaviours were observed: low N doses (N_{11} and N_{61}) gave a good environmental performance and less-productive efficiency, whereas higher N doses (N_{95} and N_{148}) gave good IRRWUE, $N_{up}E$ and Relative FY but a higher environmental risk.

Table 8-3. Matrix of correlation: Impact Index (II), N Mineralization Index (NMI), N Mineralization Index (NMI), Environmental Impact Index (EII), Management Efficiency (ME), Irrigation Water Use Efficiency in relation to FY (IRRWUE) and in relation to DW (DIRRWUE), Water Use Efficiency in relation to FY (WUE) and in relation to DW (DWUE), N Uptake Efficiency (N_{up}E) and Relative FY.

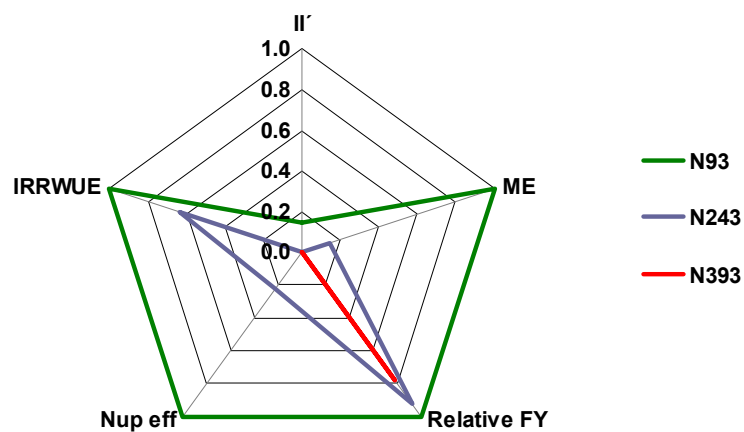
	II	NM	NMI	EII	ME	IRRWUE	WUE	DWUE	DIRRWUE	N _{up} E	Relative FY
II	1.00										
NM	-0.76**	1.00									
NMI	-0.52	0.80**	1.00								
EII	1.00***	-0.74**	-0.49	1.00							
ME	0.99***	-0.73**	-0.46	0.99***	1.00						
IRRWUE	-0.57	0.52	0.05	-0.58	-0.64*	1.00					
WUE	-0.54	0.60	0.16	-0.54	-0.60*	0.98***	1.00				
DWUE	-0.16	0.23	-0.13	-0.19	-0.27	0.81**	0.80**	1.00			
DIRRWUE	-0.15	0.12	-0.24	-0.19	-0.26	0.77**	0.72*	0.98***	1.00		
N _{up} E	-0.44	0.14	-0.09	-0.48	-0.53	0.68**	0.62*	0.74**	0.77**	1.00	
Relative FY	-0.26	-0.02	-0.40	-0.27	-0.34	0.79**	0.72*	0.69*	0.70*	0.75**	1.00

Significant coefficients: at 95% confidence (p<0.05), with an asterisk (*); at 99% (p<0.01), with two asterisks (**); and at 99.9% (p<0.001), with three asterisks (***).

a)



b)



c)

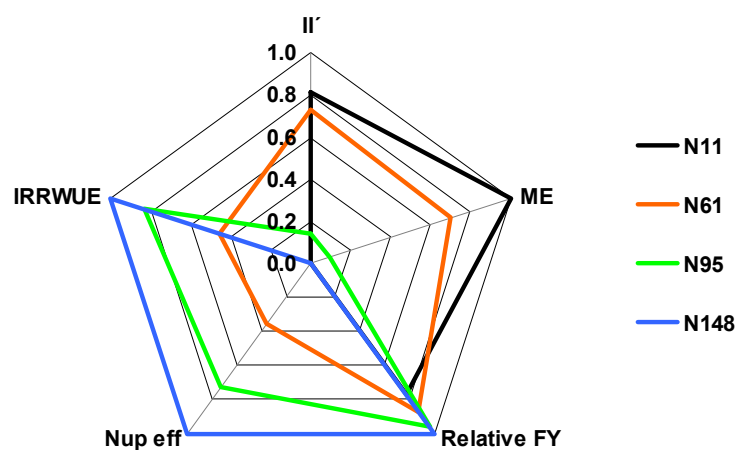


Figure 8-10. Radial representation of IRRWUE, $N_{up}E$ and ME (previously normalized) and II' , calculated as $II' = 1 - II$, in 2005 (a), 2006 (b) and 2007 (c).

8.6. CONCLUSIONS

Our results showed that the highest yields were obtained with a dose of about 160 kg ha⁻¹ of N_{av}, being at the same time the maximum WUE. Doses higher than this had negative effects on yield and on WUE; in addition this overdose increased exponentially the loss of nitrate leaching. This effect was observed with the ME, which represents the kg of fruit produced per g of N_i.

The N_{av} negatively affected the mineralization of N. For optimal dose of 160 kg ha⁻¹ of N_{av}, N mineralization was 85 kg ha⁻¹.

The proposed environmental indexes proved to be effective for determining the risk of nitrate contamination according to the N applied, and should be promoted in future BMP to reduce nitrate contamination in aquifers through optimized management of inorganic N fertilizer.

The methodology employed in this study allowed us to evaluate the optimum fertirrigation management, by integrating the agronomic and environmental aspects. Given the complexity of the system, we have simplified the number of indexes and efficiencies needed to establish the framework of N management and its economic and environmental consequences.

CAPÍTULO 9

Discusión general.

En capítulos anteriores, los resultados fueron discutidos individualmente y en éste se presentan y discuten los resultados más relevantes en función de los objetivos planteados al inicio de esta memoria.

9.1. Efecto del N en la dinámica de crecimiento del cultivo de melón.

9.1.1. Influencia en la acumulación de biomasa.

El diferente comportamiento de crecimiento, con respecto al N, observado en la parte vegetativa (hoja y tallo) y en la parte reproductiva (frutos) están en concordancia con los resultados obtenidos por Kirnak et al. (2005) en melón.

Es conocido que el N estimula el crecimiento de la planta. Sin embargo, el uso de cantidades excesivas de N estimula la acumulación de biomasa de los órganos vegetativos, pudiendo inhibir la floración, el cuajado y el desarrollo de los frutos, y por tanto afectando negativamente a la acumulación de biomasa de estos (Mills and Jones, 1979; Hartz and Hochmuth, 1996; Kirnak et al., 2005; Dragan, 2009). Mientras que un déficit de fertilización nitrogenada puede causar un retraso temporal en el desarrollo del cultivo, una reducción en el crecimiento, en la producción de biomasa y en el rendimiento (Fernández et al., 1996). En el presente estudio, teniendo en cuenta la producción de biomasa de fruto en los tres años de experimentación, los resultados muestran que la dosis óptima de N fue obtenida con dosis de 90 kg ha⁻¹ de N aplicado (N_{ap}) o de 160 kg ha⁻¹ de N disponible (N_{av}). Dosis superiores a las indicadas como óptimas producirían una excesiva producción de biomasa vegetativa, con ningún efecto o con un efecto negativo en la producción de biomasa de fruto.

Los valores máximos de biomasa obtenidos en nuestros experimentos han sido superiores a los encontrados en la literatura utilizando similares cantidades de N (Kirnak et al., 2005; Da Silva Júnior et al., 2006). Estas variaciones pudieron ser debidas principalmente a la diferente variedad utilizada y a las diferentes condiciones edafoclimáticas. El cultivar utilizado en el presente estudio tiene una capacidad vegetativa y productiva elevada, requiriendo de una densidad de plantación baja debido a que se produce un aumento de la competencia por el agua y los nutrientes en plantas cuando hay una elevada densidad de plantación, por lo que disminuye el crecimiento y la producción (Cabello et al., 2004).

La biomasa seca de hoja y tallo en 2005 fue más baja que la obtenida en estos mismos órganos en 2006 y 2007, al contrario que lo que ocurrió con la biomasa de fruto.

Esto estuvo en concordancia con los resultados obtenidos por Valantin et al. (1998) en melón cantaloupe, para el cual la biomasa vegetativa disminuye cuando la producción de fruto se incrementa. Esta reducción de biomasa fue producida como consecuencia de un retraso en el crecimiento de la hoja, dado que el fruto requiere de una gran cantidad de fotoasimilados sintetizados en la hoja. En otras especies similares como el pepino, la traslocación de fotoasimilados hacia el fruto puede exceder del 50% del total (Verkleij and Hofman-Eijer, 1988). Este efecto se produjo en el ensayo y es apoyado por el hecho de que en 2005, cuando obtuvo la máxima producción, el crecimiento vegetativo fue más lento, especialmente cuando la biomasa de fruto fue mayor, y el efecto fue más pronunciado en los tratamientos con menor cantidad de N.

Por otra parte, también se encontró un desarrollo de fruto más retrasado en 2006 y 2007 que en 2005. Este efecto pudo ser debido a que en estos dos últimos años la temperatura fue más baja durante la floración femenina (mediados de junio) y, según Maestro y Álvarez (1988), una correcta polinización requiere temperaturas superiores a 18°C, siendo la óptima para el cultivar piel de sapo de aproximadamente 30°C.

9.1.2. Influencia en la distribución de biomasa.

La distribución de la materia seca en los distintos órganos de la planta del melón es bastante similar a la encontrada en la literatura (Belfort et al., 1986; Rincón et al., 1996). Prata (1999), Lima (2001) y Duarte (2002) también observaron una mayor contribución del fruto a la biomasa total. Sin embargo, Da Silva Júnior et al. (2006), en su estudio con melón piel de sapo, observaron que la parte vegetativa fue la que más contribuyó con un 58%.

Las diferencias encontradas con respecto a la contribución de la hoja en la biomasa en los tres años de ensayo pudieron ser debidas a las diferencias halladas en producción. En el melón, una mayor carga de frutos puede estar perjudicando al aumento de biomasa de las hojas, debido a la competición de fotoasimilados entre los órganos “fuente”, representados por las hojas, y los órganos “sumidero”, representado por los frutos (Fagan et al., 2006). Tanto es así que Valantin et al. (1998) afirman que la carga de frutos es el principal determinante en la distribución de asimilados entre los órganos vegetativos y los reproductivos, reduciéndose así la acumulación de biomasa de los órganos vegetativos para favorecer la de los reproductivos.

La significativa influencia del N en la distribución de la biomasa surgió debido a que en cada parte de la planta (vegetativa y reproductiva) tiene una respuesta diferente al incrementar el suministro del N. De Pinheiro and Marcelis (2000) encontraron una relación

directa entre la cantidad de N y el porcentaje de materia seca de la hoja y sugirió la existencia de una única relación entre el N y la distribución de la materia seca.

En los dos primeros años de estudio, la proporción de fruto disminuyó con aplicaciones de N superiores a la dosis de 90 kg ha⁻¹ de N_{ap} o de 160 kg ha⁻¹ de N_{av}. Esto sugirió que una mayor cantidad de N es destinada especialmente para incrementar el crecimiento vegetativo en lugar de producir fruto.

9.1.3. Influencia en el índice área foliar y en la duración del área foliar.

La determinación del índice de área foliar es importante para el análisis de crecimiento de las plantas (Kvet and Marshall, 1971). Este índice es afectado por el riego y el nitrógeno, además de por la presencia de plagas y técnicas de manejo de cultivo, como densidad de plantación y fecha de plantación (Hegde, 1988; Pospisil et al., 2000; De Grazia, 2006).

Algunos autores han afirmado que los efectos del N en el crecimiento de la planta podrían ser el resultado de los efectos sobre la tasa fotosintética y/o sobre el área de la hoja (Novoa and Loomis, 1981; Grindlay, 1997). Sin embargo, otros autores afirman que el principal efecto del N en el crecimiento se debe a su efecto en el área de la hoja, resultando la tasa de fotosíntesis de importancia secundaria (Lambers et al, 1981; Waring et al, 1985; McDonald et al, 1986).

En el Capítulo 5, se mostró un efecto positivo del N en el índice del área foliar (LAI), de forma que al incrementarse la cantidad de N, el LAI también aumentó. En la literatura, un valor bajo de LAI está normalmente asociado con una disminución de N (Freijsen and Veen, 1990; McDonald, 1990; Grindlay, 1997; Pinheiro and Marcelis, 2000; Kirnak et al., 2005).

En 2005, excepto en el tratamiento que recibió la menor cantidad de N (N₃₀), se observó un continuo incremento del LAI hasta el final del cultivo. Sin embargo, en 2006 el máximo LAI ocurrió a los 62 días después de la plantación (DAT), y en 2007, se obtuvo a los 64 y 78 DAT, a partir de dichas fechas el índice disminuyó hasta el final del ciclo. Esta reducción observada en 2006 y 2007 se debió a una infección por oidio (*Sphaerotheca fuliginea*). Los valores de LAI y su evolución en los dos últimos años son similares a los obtenidos por Ribas et al. (2000) con melón tipo piel de sapo en la misma zona, y al igual que en el presente estudio, el LAI fue muy sensible a los factores limitantes del crecimiento y de la producción. De Pinheiro and Marcelis (2000) encontraron una gran disminución en la producción de biomasa de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con la disminución de la dosis de N, y además estuvo acompañada por una importante disminución del LAI.

Dado que el N significativamente influenció el LAI en 2005 y en 2007, el índice de área foliar (LAD) también estuvo afectado. En 2006, los valores del LAD fueron similares en los dos tratamientos que recibieron las mayores cantidades de N (N_{243} y N_{393}), aunque a los 64 DAT el LAI fue más bajo en el tratamiento N_{243} que en N_{393} , las diferencias no fueron significativas y más tarde tendieron a ser compensadas. Por otra parte, el LAD fue significativamente menor en N_{93} que en los otros dos tratamientos a los 83 DAT porque el LAI permaneció por debajo de los valores de los otros tratamientos durante el ciclo. Por esta razón, las diferencias del LAD incrementaron de forma continua alcanzándose diferencias significativas.

Si comparamos los tratamientos N_{93} (2006) y N_{85} (2005); en 2006, el LAD a los 83 DAT fue un 46% más elevado que en 2005 a los 91 DAT. Este incremento se debió, a pesar de que el máximo LAI fue en 2005 con respecto a 2006, en el segundo año, el crecimiento de la hoja fue más rápido y el cultivo mantuvo una mayor área foliar durante más tiempo.

La dosis óptima de N debe producir una biomasa suficiente para alcanzar la máxima producción.

También se determinó una relación entre la producción de biomasa de planta y el N absorbido por la misma, la cual resultó lineal y positiva. Resultados similares fueron determinados por Kirnak et al. (2005), en su estudio con muskmelon, observando un incremento significativo de la biomasa con el incremento de la dosis de N.

9.2. Efecto del N en la dinámica de absorción y en la extracción del N

9.2.1. Influencia en la concentración de N en la planta del melón.

Al aumentar la cantidad de N se incrementó la concentración de este elemento en las diferentes partes de la planta. Este efecto también ha sido determinado en melón por autores como Panagiotopoulos (2001), Kirnak et al (2005) y Xu et al. (2007), entre otros. En contraste con los resultados obtenidos, y aunque algunos de los tratamientos aplicados fueron más altos, la concentración de N fue más baja, especialmente comparada con la que obtuvieron Kirnak et al. (2005) al final del período de cultivo con muskmelon (7.65% con 120 kg ha⁻¹ de N).

En muchos estudios se ha observado una disminución en la concentración de N en la planta como consecuencia del rápido crecimiento, siendo atribuida al llamado efecto de dilución por crecimiento (Greenwood et al., 1990; Lemaire et al., 1992; Vos et al., 1996; Lemaire and Gastal, 1997), incluso en el melón (Misle, 2003; Fukoku et al., 2000). A este comportamiento se le conoce como la “ley de progresiva disminución” (Le Bot et al., 1998).

Al inicio del desarrollo del cultivo, las concentraciones de N en hoja y tallo se incrementaron o permanecieron más o menos estables, ya que las plantas fueron transplantadas de las bandejas de alvéolos, donde el N disponible era limitante, al suelo donde había una mayor cantidad de N, y, también, porque durante los primeros estados de desarrollo de la planta, la tasa de crecimiento fue más baja, y por tanto el efecto de reducción fue menor. Más tarde, con el rápido incremento de la biomasa, la concentración de N en la hoja disminuyó, de acuerdo con la “ley de progresiva disminución” y debido también a la translocación de este elemento hacia los frutos, que comenzaron a desarrollarse entre los 25-30 DDT.

Fukutoku et al. (2000) demostraron que las concentraciones de N en hoja y tallo disminuyen después de que los frutos comiencen a crecer, debido a que estos órganos, especialmente las hojas, funcionan como fuente de N para los frutos.

9.2.2. Influencia en la absorción del N.

En los tres años de ensayo, entre el 95 y 98% del N de la planta fue absorbido después del cuajado de los primeros frutos ocurrido a los 22-26 DDT. Estos valores fueron más elevados que el 70% obtenido por Fukutoku et al. (2000), debido a los diferentes patrones de crecimiento y producción dado que en su estudio utilizó otro tipo diferente al piel de sapo.

La mayor tasa de absorción de N se observó en el período comprendido entre 30-55 y 70-80 DDT coincidiendo con el desarrollo de la mayoría de los frutos. Este período fue mucho más largo que el indicado por Da Silva Júnior et al. (2006), en melón tipo piel de sapo, que fue de 43 a 54 días después de la nascencia, y el ciclo de cultivo tuvo una duración tan sólo 69 días. Sin embargo, Rincón et al. (1996) obtuvo la mayor velocidad de absorción entre los 65 y 105 DAT.

Pardossi et al. (2004) afirmaron que tanto la absorción de N por el melón como el momento del período en el que la absorción es máxima dependen no sólo de la variedad sino también de las condiciones climáticas, por lo que es muy importante determinar la dinámica de absorción para cada tipo de melón y zona del cultivo con el fin de establecer una programación de fertilización apropiada.

Novoa y Loomis (1981) afirmaron que la demanda de N está determinada por la tasa de crecimiento y la cantidad de N de los tejidos. En el presente estudio, los tratamientos de N tuvieron un pronunciado efecto en el N absorbido en los diferentes órganos de la planta y en la planta total, debido al incremento tanto de la biomasa como de la concentración de N, excepto en la biomasa de fruto en los tratamientos con mayores aplicaciones de N en los que el incremento del N absorbido se debió únicamente al

aumento de la concentración de N. Halitligil et al. (2002) y Kirnak et al. (2005) obtuvieron resultados similares en melones de diferentes tipos al del piel de sapo. Fukutoku et al. (2000) afirmaron que el fruto funciona como un gran sumidero y acumula una sustancial cantidad de N (50%), el cual, deriva principalmente de las hojas.

9.2.3. Influencia en la distribución del N.

La contribución de cada órgano al total de N extraído por la planta no estuvo influenciada significativamente por la aplicación de N, aunque en 2005 y 2006 el porcentaje de fruto tuvo una tendencia a disminuir en los tratamientos que recibieron las mayores dosis de N. Esto es debido al hecho de que aplicaciones excesivas de N estimulan el crecimiento vegetativo a expensas de la producción (Mills et al, 1979; Hartz et al., 1996).

Es ampliamente aceptado que el porcentaje de N con el que contribuye el fruto a la extracción total de la planta, al final del ciclo de cultivo, es mayor que el porcentaje con el que contribuye la hoja en diferentes cultivos como tomate (Scholberg et al., 2000) o melón (Fukutoku et al., 2000; Zotarelli et al., 2008). Sin embargo, en pepino, Tanemura et al. (2008) obtuvieron similares contribuciones al final del período en los órganos (43% en frutos y 41% en hojas). En nuestro caso, la contribución al N por el fruto fue mayor que el obtenido en las hojas en 2005, ligeramente menor en 2006, y similar en 2007, indicando que la distribución relativa del N está influenciada por las condiciones edafoclimáticas. Estos resultados fueron similares a los observados por Rincón et al. (1996), en un estudio con melón, en el que el 61% del N total extraído por la planta fue acumulado en el fruto.

9.3. Efecto del N en el rendimiento del melón.

Es conocido que al incrementar la cantidad de N, la producción aumenta hasta alcanzar un valor máximo, y si la cantidad de N continúa incrementándose, la producción es afectada de forma negativa (Splittstoesser et al., 1995; Pinto et al., 1997; Purqueiro et al., 2003; Pérez Zamora et al., 2004). Sin embargo, en la literatura, la cantidad de N recomendada varía según la variedad de melón, clima, suelo y otros factores. Por ejemplo, existen autores que no han obtenido reducciones significativas con 160 kg ha⁻¹ (Pérez-Zamora and Cigales-Rivero, 2001), 300 mg L⁻¹ (Purqueiro et al., 2003) o 120 kg ha⁻¹ (Kirnak et al., 2005). Hochmuth and Cordasco (2000) recomendaron 168 kg ha⁻¹ de N.

Considerando cada año por separado, en nuestro caso, las producciones máximas se obtuvieron con 112 kg ha⁻¹ de N_{ap} en 2005, no existiendo diferencias significativas con la dosis de 85 kg ha⁻¹; y en 2006 con 93 kg ha⁻¹ de N_{ap}. En 2007, la máxima producción fue obtenida con 148 y 95 kg ha⁻¹ de N_{ap}, sin diferencias significativas entre ambos

tratamientos. Estos resultados sugieren que la máxima producción para el melón piel de sapo en nuestras condiciones es obtenida con suministro de N cercano a 90-100 kg ha⁻¹ de N_{ap}. Estos resultados están en concordancia con lo observado, las correlaciones obtenidas fueron positivas en 2005 y 2007 y negativa en 2006. Goreta et al. (2005) obtuvieron similar respuesta en sólo una de las dos variedades de sandía estudiadas. En calabacín, Zotarelli et al. (2008) obtuvieron una respuesta de la producción cuando incrementaron la dosis de N de 82 a 145 kg ha⁻¹ de N, pero no hubo ninguna por encima de los 145 kg ha⁻¹, y Van Eerd and O'Reilly (2009) encontraron un mínimo incremento de la producción de pepino por unidad de N aplicado comparado con el tratamiento control no fertilizado.

Si tenemos en cuenta los resultados de producción de los tres años al mismo tiempo, se obtuvieron diferentes funciones para relacionar el rendimiento con el N_{ap} y el N_{av}. Al contrario que Kirnak et al. (2005), quien obtuvo una correlación de segundo grado, en el presente estudio, la producción mostró un comportamiento diferente cuando la cantidad óptima de N no fue alcanzada y cuando dicha cantidad fue excedida. En estos casos, el uso de funciones simétricas, como polinómicas de segundo grado, normalmente muestran un peor ajuste y también el comportamiento del cultivo es menos explicado que cuando dos funciones diferentes se obtienen, también conocida como regresión segmentada. Por esta razón, fue mejor dividir la respuesta de la producción en dos fases para obtener dos ecuaciones de primer grado. Así que, este modelo tiene mejor estadística y predice mejor el valor del rendimiento máximo (el punto de intersección de las dos líneas rectas o punto de quiebra de la regresión segmentada), obtenido con 111 kg ha⁻¹ de N_{ap} y 181 kg ha⁻¹ de N_{av}, aunque producciones superiores al 95% de la producción máxima se pueden obtener con 93 kg ha⁻¹ de N_{ap} y 160 kg ha⁻¹ de N_{av}. Esta cantidad de N_{ap} fue un 43% menor que la obtenida con el modelo cuadrático, y un 34% menor que los 168 kg ha⁻¹ recomendada por Hochmuth and Cordasco (2000).

9.3.1. Relación entre la concentración de N en hoja y el rendimiento.

La concentración óptima de N fue más baja que las obtenidas por otros autores como Kirnak et al. (2005), quienes además obtuvieron una menor producción de muskmelon en comparación con nuestros resultados. Marr y Lamont (1992) obtuvieron valores medios de concentración de N en hoja de 20.0 g kg⁻¹, en concordancia con nuestros resultados. La menor concentración de N en hoja coincide con el crecimiento de frutos que son un gran sumidero de nutrientes (Goreta et al., 2005). Este mismo comportamiento fue observado en nuestro ensayo y fue atribuido a una dilución del N durante el crecimiento de hojas y la remobilización del N de las hojas al fruto que tiene una mayor demanda por el N.

9.3.2. Relación entre el N absorbido y el rendimiento.

Las correlaciones positivas obtenidas entre el N absorbido por el fruto y la producción en 2005 y 2007 fueron debidas a que ambos son directamente proporcionales a la biomasa de fruto, y también porque la concentración de N en este órgano varió de la misma forma como la biomasa. En 2006, la correlación fue negativa como resultado de un incremento del N absorbido tanto por el fruto como por la planta completa con el aumento de la dosis de N, mientras que los valores de producción disminuyeron.

Consecuencia de estos resultados y considerando los tres años de estudio, la relación obtenida entre la producción relativa y el N absorbido por la planta (N_{up}), se ajustó a una ecuación polinómica de segundo grado que permitió determinar que la máxima producción relativa se obtuvo con un 155 kg ha^{-1} de N_{up} . Este valor de N_{up} puede ser interpretado como el valor óptimo de N_{up} y representa la cantidad mínima de N a la que debe tener acceso el cultivo para obtener la máxima producción, y a partir del cual la producción disminuye. Los cultivos como el melón, que presentan múltiples cosechas a lo largo del ciclo de cultivo, implican problemas adicionales para optimizar la dosis fertilizante, ya que los nutrientes frecuentemente interaccionan pudiendo afectar a la maduración o a las fechas de madurez de los frutos como a la producción total (Eidman et al., 1963). Dasberg et al. (1983) han señalado que, en algunas especies, elevadas dosis de N pueden retrasar la madurez de los frutos, y Delgado et al. (2004) afirman que puede causar un sustancial retraso en la acumulación de azúcares durante el período de madurez perjudicando negativamente a la calidad de la cosecha. En nuestro ensayo, no se ha observado el efecto negativo en el contenido de azúcar en el fruto.

9.4. Efecto del N en la concentración y absorción del N en cosecha.

En general, en las primeras cosechas, la concentración de N en los frutos de cosecha permanecieron sin variación hasta los 77-96 DAT, dependiendo del año, y después incrementaron hasta el final del ciclo, principalmente debido a un menor número de frutos al final del ciclo y a una ralentización del crecimiento.

La acumulación de N, especialmente en las primeras cosechas, fue determinada por la cantidad de biomasa, dado que la concentración de N permaneció muy similar durante las primeras tres o cuatro semanas. Más tarde, el N absorbido incrementó ligeramente, aunque la concentración de N registró un importante incremento, debido a que el valor de biomasa al final del período de cosecha fue muy pequeño.

9.5. Balance del N extraído.

En el Capítulo 6, de la cantidad de N extraída por el cultivo se determinó la cantidad de N que es acumulada en el fruto cosechado y que por tanto, sale del sistema. El resto del N extraído que permanece en la parte vegetativa de la planta y en los frutos no comerciales, y por tanto, que no son cosechados, este N se recicla en el sistema al retornar al suelo.

En nuestras condiciones y con melón cv. Sancho, las máximas exportaciones de N fueron de alrededor de 70-75 kg ha⁻¹ de N en los tres años. Sin embargo, las mayores producciones fueron alcanzadas con absorciones de N de 64.2 kg ha⁻¹ en 2005, 59.4 kg ha⁻¹ en 2006 y 59.6 kg ha⁻¹ en 2007. Por encima de estas cantidades se dio un consumo de lujo y una sobrefertilización.

9.6. Efecto del N en la calidad del melón.

El peso medio del fruto es considerado como uno de los principales parámetros cualitativos o de calidad y es muy sensible a cualquier factor que cause estrés a la planta (Maynard and Clark, 1989). En nuestras condiciones y con el melón cv. Sancho, el peso medio de fruto fue más sensible al déficit de N que el número de frutos por m², probablemente como resultado de una diferencia mínima de N entre los distintos tratamientos al principio del ciclo de cultivo, momento en el que se produjo el cuajado de los frutos. En 2005 y 2007, el peso de fruto se incrementó conforme la aplicación y la absorción de N aumentaron, mientras que en 2006, ocurrió lo contrario como resultado de un exceso de N.

Splittstoesser et al. (1995) afirmaron que moderadas dosis de N incrementan el número de frutos y, en consecuencia, se incrementa la producción, mientras que con excesivas dosis ambos disminuyen en concordancia con nuestros resultados.

Se ha observado un efecto similar del N en el peso medio de fruto al encontrado en el presente estudio, sin embargo las dosis en las que se obtiene el mayor peso medio del fruto varían. Coelho et al. (2003), obtuvieron un aumento del peso medio del melón cantaloupe al aumentar la dosis de N de 0 a 300 kg ha⁻¹, manteniéndose aunque la dosis se incrementó hasta 450 kg ha⁻¹. Faria et al. (2000) obtuvieron el incremento del peso de melón cv. El Dorado con el aumento de la dosis de 0 a 180 kg ha⁻¹, sin observar diferencias significativas con 130 kg ha⁻¹. Faria et al. (2003), con el híbrido AF682, obtuvieron el mayor peso con las dosis de 80 y 180 kg ha⁻¹ de N, respecto con la dosis de 30 kg ha⁻¹. En cambio, Kirnak et al. (2005), con muskmelon cv. Polidor, obtuvieron un mayor peso de fruto al aumentar la dosis de N de 0 a 120 kg N ha⁻¹.

Con respecto a los parámetros de calidad estudiados, los resultados obtenidos demuestran como la calidad del fruto puede verse afectada negativamente por un exceso de N, resultando frutos con una mayor cavidad central y, por tanto, con una menor parte comestible y mayor corteza.

Al igual que lo observado en este estudio, Coelho et al. (2003) observaron un incremento de la cavidad interna del fruto al incrementarse la dosis de N de 0 a 450 kg ha⁻¹.

Al igual que la falta de respuesta al N de la firmeza de la pulpa o de los sólidos solubles totales, es coherente con lo encontrado por distintos autores como Coelho et al. (2003), Rodríguez et al. (2005), Kirnak et al. (2005), Ferrante et al. (2008), entre otros. Aunque Silva et al (2007) y Wang et al. (2007) observaron una disminución de la firmeza de la pulpa con el incremento de la dosis de N. Rodríguez et al. (2005) no observaron cambios en el contenido de azúcar en el melón Galia con el incremento del fertilizante nitrogenado de 80 a 240 mg L⁻¹ y Kirnak et al. (2005) afirmaron que la aplicación de N generalmente tiene poco o ningún efecto en el contenido de sólidos solubles, con aplicaciones de hasta 120 kg ha⁻¹. Por el contrario, Faria et al. (2000) obtuvieron un incremento significativo de los sólidos solubles totales cuando el N se incrementó de 0 a 80 kg N ha⁻¹ en melón amarillo.

9.7. Índices de eficiencia de uso del N.

La evolución del índice de eficiencia calculado en función de la producción respecto al N_{ap} (NUE₁) fue muy parecida a la evolución del índice respecto al N_{av} (NUE₂) siguiendo una curva potencial, ya que ambos parámetros están íntimamente relacionados, mientras que el índice de eficiencia respecto al N_{up} (NUE₃) se ajustó una regresión lineal. Las diferencias encontradas entre los ajustes de NUE₁ y NUE₂ (potenciales), respecto al NUE₃ (lineal) fueron debidas a que el N_{av} depende principalmente del N en suelo, mientras que el N_{up} está regulado tanto por la tasa de crecimiento como por el N disponible en suelo (Lemaire et al., 2008). La regresión lineal del NUE₃ cortó la curva NUE₂ en dos puntos, entre los cuales se acota una zona en la que se encuentra la dosis óptima de N.

Las relaciones encontradas entre NUE₃, NUE₄ y NUE₅ y los respectivos parámetros de N para calcularlas (N_{ap} para el NUE₃, N_{av} para el NUE₄ y N_{up} para el NUE₅) fueron análogas a los resultados encontrados para NUE₁, NUE₂ y NUE₃ respectivamente. Los NUE₃ y NUE₄ presentaron una relación potencial, mientras que el NUE₅ una regresión lineal. Del mismo modo, la regresión lineal obtenida con el cálculo del NUE₅ cortó la curva de NUE₄, delimitando un rango dentro del cual se encuentra la dosis óptima de N. Este rango es más ancho que el delimitado en la gráfica de NUE frente a la cosecha, debido a que la biomasa

seca representa la totalidad de la planta, incluyendo tanto la parte vegetativa de la planta (hoja y tallo) como los frutos maduros e inmaduros, mientras que la producción sólo incluye los frutos maduros.

9.8. Eficiencia de uso del agua.

De forma general, se puede afirmar que los índices de eficiencia de uso de agua (WUE y IRRWUE) se incrementan con el aumento de la dosis de N hasta que alcanzan un valor máximo que coincide con la dosis óptima de N (90 kg ha^{-1} de N_{ap} o 160 kg ha^{-1} de N_{av}) y a partir de la cual, si continua incrementándose la cantidad de N dichas eficiencias se reducen. Cabello et al. (2009) determinaron que el WUE se incrementó hasta alcanzar su valor óptimo con una aplicación de N entorno a 90 kg ha^{-1} , dosis en la que la producción fue máxima.

Kirnak et al. (2005), en un estudio con muskmelon, observaron un incremento del WUE con el incremento de la dosis de N de 0 a 120 kg ha^{-1} , coincidiendo que el tratamiento que recibió 120 kg ha^{-1} obtuvo la máxima WUE y la máxima producción. Similares resultados fueron reportados por Brück et al. (2001) quienes afirmaron que un déficit de N suministrado no sólo produce una reducción de la producción sino que también reduce el WUE, mientras que van Herwaarden et al. (1998) afirmaron que un exceso de N puede reducir la producción debido a un exceso de uso de agua en el período de la pre-antesis, dejando una cantidad de agua insuficiente para el período de la post-antesis, con lo que se reducen las eficiencias de uso de agua.

De forma similar a lo observado en el presente estudio, Claussen (2002), en un estudio con tomate al que aplicó diferentes concentraciones de soluciones con nitrato o amonio como única fuente de N o una mezcla de ambos, calculó WUE en función de la biomasa y observó que dicha eficiencia fue ligeramente afectada por la solución que sólo contenía nitrato ($2.9\text{-}3.4 \text{ g DW (kg H}_2\text{O)}^{-1}$), mientras que la solución con amonio disminuyó el WUE de 2.4 a $1.3 \text{ g DW (kg H}_2\text{O)}^{-1}$ en la más baja y más elevada concentración respectivamente.

9.9. Lixiviación de nitratos.

La homogeneidad de la humedad dentro del bulbo húmedo de los tres tubos de cada subparcela fue debida a que es un suelo poco profundo, su textura y la aplicación diaria de riego, de forma que facilitaron una distribución uniforme del agua. Vázquez et al. (2006), en un estudio de drenaje en un cultivo de tomate regado por goteo, observaron un

patrón similar del drenaje en los seis tubos colocados a diferentes distancias de la línea de riego en un suelo de una profundidad de 1 m.

Las diferencias de drenaje observadas en 2005 pudieron deberse a que un incremento de N produce una mayor cantidad de biomasa, con lo que el consumo de agua fue mayor y por tanto el D se redujo. Kirnak et al. (2005), en un estudio con muskmelon, observaron que el uso de agua se incrementó con el aumento de la dosis de N de 0 a 120 kg N ha⁻¹, obteniendo valores comprendidos de entre 138 a 160 cm respectivamente y además relacionó el uso del agua con la producción obteniendo una regresión lineal positiva. Este efecto del N sobre el D tan sólo fue observado en 2005 pudiendo ser debido a que en ese año las diferencias de producción de biomasa entre tratamientos fueron más elevadas que en los otros dos años de estudio.

En la literatura, existen ensayos en los que no se encontró una relación entre N y D, como Jaynes et al. (2001) en un estudio de rotación de cultivos con maíz y judía; mientras que Moreno et al. (1996), en un estudio con maíz, encontraron que el D fue más bajo en las parcelas donde se aplicaron cantidades elevadas de N (510 kg N ha⁻¹ y año) con respecto al obtenido en parcelas en las que se aplicó una menor cantidad de N (170 kg N ha⁻¹ y año), debido a que en las parcelas con elevada aplicación de N, la absorción de agua fue mayor dado que el LAI fue mayor.

El uso de una mayor cantidad de N da como resultado una mayor posibilidad de formación de nitratos en el suelo, con lo que el lixiviado de estos al acuífero se incrementa (Kundu and Mandal, 2009). En un estudio realizado por Wassenaar et al. (2006) observaron que el N procedente de un fertilizante orgánico, como fue un residuo animal, fue la fuente principal de nitrato en los acuíferos, comparándolo con los fertilizantes inorgánicos, en nuestro estudio, fertilizantes orgánicos no fueron aplicados, aunque debido al creciente coste del fertilizante inorgánico, el uso de fertilizantes orgánicos se está incrementando con lo que se podría agravar la situación.

Hasta donde sabemos, no ha habido ningún intento de considerar tanto aspectos económicos como medioambientales en un único índice. Para ello, se determinó una eficiencia denominada eficiencia de manejo del N (ME) que relaciona la producción con la cantidad de N lixiviado. Los resultados mostraron que si se incrementa la cantidad de N, la ME se reduce, lo que significa que con aplicaciones de N por encima de la dosis óptima cuanto mayor fue la cantidad de N lixiviado, menor fue la producción. Para la dosis óptima de 160 kg ha⁻¹ de N_{av} (90 kg ha⁻¹ de N_{ap}), ME fue de 7.4 kg FY g N_r⁻¹.

9.10. Mineralización del N en el suelo.

El N mineral en suelo al final del período de cultivo (N_s final) fue mayor que el N_{av} en los tratamientos N_{11} , N_{61} y N_{30} , que recibieron una dosis deficitaria de N al inicio de cultivo, lo que indica que en dichos tratamientos, la mineralización de N fue más evidente y mayor que el resto de tratamientos en los que el N_s final del cultivo fue menor que el N_{av} (Table 8-2).

Los resultados obtenidos del cálculo del N mineralizado mostraron que este descende de manera exponencial cuanto mayor es la cantidad de N_{av} . Esto significa que, además de todos los efectos negativos que produce el exceso de N, se suma también este otro que evita que el N, que potencialmente puede proporcionar el suelo a través del proceso de la mineralización, se inhiba.

En el presente estudio, se determinó que para la dosis óptima de 160 kg ha^{-1} de N_{av} , el N mineralizado en el suelo fue de 85 kg ha^{-1} . Resultados similares han sido encontrados por otros autores (Bremer and Kuikman, 1997; Silgram and Chambers, 2002), observándose un efecto del N fertilizante sobre el N mineralizable en la capa arable del suelo, dado que se ha observado una estrecha relación entre el N disponible y la biomasa microbiana del suelo (Jenkinson and Lad, 1981; Houot and Chaussod, 1995). Según McCarty and Meisinger (1997) una cantidad suficiente de N estimula la formación de pools de actividad biológica de N, pero un uso excesivo de N tiende a suprimirlos; incluso Fog (1988) afirmó que existen indicios de que algunos microorganismos pueden tener un consumo de lujo de N, retrasando la mineralización de N.

9.11. Índices medioambientales.

Se han propuesto dos índices medioambientales. El primero de ellos, denominado Índice de Impacto, fue designado para determinar si la concentración de nitratos en el lixiviado de un cultivo de melón fertirrigado excede de 50 mg L^{-1} que es la máxima concentración permisible para considerar un agua como potable establecida por la Directiva de Agua Potable. El segundo índice, denominado Índice de Impacto Medioambiental, fue establecido para determinar si la concentración de nitratos en el lixiviado de un cultivo de melón fertirrigado excede o no de la concentración de nitratos que posee el agua del acuífero, con el fin de determinar si se está contribuyendo a la contaminación de dicho acuífero.

Los resultados obtenidos en el cálculo del índice de impacto (II) concuerdan con la dosis óptima obtenida en el presente estudio, fijada en 90 kg ha^{-1} de N_{ap} o 160 kg ha^{-1} de N_{av} , en donde el valor de II fue de 0.99, lo que indica que aumentar esta cantidad no

favorece medioambientalmente y, sin embargo, se obtienen producciones del 95% de la máxima producción.

Todo ello demuestra que este índice es una herramienta efectiva para determinar si las prácticas agrícolas con respecto a la aplicación de N son utilizadas correctamente, con lo que se estaría aplicando la dosis óptima, o por el contrario, son realizadas incorrectamente, aplicándose un exceso de N, lo cual representaría un riesgo del uso del agua subterránea como agua potable.

Los valores del índice de impacto medioambiental (EII) superiores a 1 fueron obtenidos en los tratamientos N₂₄₃ y N₃₉₃ en 2006, el resto de tratamientos presentaron valores inferiores a 1. Esto fue debido a que, en el presente estudio, la elevada concentración de nitratos en el agua subterránea indicó que el acuífero ya se encontraba contaminado, detectándose concentraciones comprendidas entre 81 y 113 mg L⁻¹ de nitratos.

Este índice también nos permitió considerarlo como una práctica herramienta para cuantificar el riesgo de contaminación del agua subterránea debido a la práctica agrícola seguida para la aplicación de N.

CAPÍTULO 10

Conclusiones generales.

De los resultados obtenidos en el presente trabajo se pueden extraer las siguientes conclusiones.

i) El cultivo de melón piel de sapo muestra dos patrones de crecimiento como respuesta a las dosis de N utilizadas. Por una parte, la biomasa vegetativa de la planta de melón, representada por hoja y tallo, se incrementa gradualmente con el aumento del suministro de N. Por otro lado, la biomasa de fruto aumenta hasta alcanzar un máximo que corresponde con la dosis óptima de N, a partir de la cual se produjo una tendencia a la disminución. La máxima producción y la mayor proporción de biomasa de fruto con respecto al de la planta entera se obtienen con 90 kg ha⁻¹ de N aplicado, que corresponde con 160 kg N ha⁻¹ de N total disponible para el cultivo.

ii) El aumento de la cantidad de N incrementa tanto la concentración de N como su acumulación en los diferentes órganos de la planta del melón.

La mayor velocidad de absorción de N ocurrió de entre los 30-35 a 70-80 días después del trasplante, coincidiendo con el desarrollo del fruto.

Al principio del ciclo vegetativo, la hoja fue el órgano que más contribuyó al total del N absorbido por la planta. Con el avance del ciclo, esta contribución disminuyó mientras que la del fruto se incrementa, excediendo a la contribución de la hoja.

Como consecuencia de la cosecha de los frutos maduros se produjo una exportación de N fuera del sistema. Para la aplicación de N de entre 90-100 kg N ha⁻¹, se extraen aproximadamente 60 kg N ha⁻¹ del sistema, pudiendo retornar al sistema alrededor de 80 kg N ha⁻¹ con el residuo del cultivo que podrá estar disponible para subsecuentes cultivos vía mineralización.

La óptima concentración de N en la hoja al final del período de cultivo, con respecto a obtener la máxima producción de fruto, está cerca de 22.2 g kg⁻¹ de N (2.22 %).

iii) El N tiene una clara influencia en el rendimiento del melón, sus componentes, el grosor de la corteza y el índice de carne. La producción de melón aumenta, consecuencia del incremento del peso medio de fruto y del número de frutos por m², al aumentar el N hasta alcanzar un rendimiento superior al 95 % de la cosecha máxima cuando el N aplicado es de 90 kg N ha⁻¹ o el N disponible es de 160 kg ha⁻¹. Cuando este N excede de la cantidad óptima, se produce una reducción de la producción, el peso de medio de fruto,

el número de frutos m^2 y la calidad de fruto al incrementarse el grosor de corteza y disminuir el de carne.

iv) La información suministrada por los índices de eficiencia de uso de N (NUE) basados en el rendimiento o los basados en la producción de biomasa proporcionan análoga información, disminuyendo con el incremento de la cantidad de N. Sin embargo, se han observado dos comportamientos diferentes. Por una parte, los NUE relacionados con el N aplicado y el N disponible muestran una tendencia potencial, mientras que los NUE relacionados con el N absorbido muestran una tendencia lineal, delimitando la intersección de ambas un rango dentro del cual se encuentra la cantidad óptima de N.

v) La cantidad de N mineralizado del suelo durante el período de cultivo se vio afectada por el N disponible que existe en el mismo. Los resultados obtenidos del N mineralizado a partir de los balances de N mostraron que este descende de manera exponencial cuanto mayor es la cantidad de N disponible que se aporta al suelo. Para la dosis óptima de 160 kg ha^{-1} de N disponible, la mineralización de N fue de 85 kg ha^{-1} .

vi) Al aumentar la dosis de N se incrementó la eficiencia de uso de agua (WUE) hasta que alcanzó un valor máximo que coincidió con la dosis óptima de N, establecida en 90 kg ha^{-1} de N aplicado o 160 kg N ha^{-1} de N disponible. Esta eficiencia se vio afectada negativamente cuando la dosis de N superó dicha dosis óptima, además esta sobredosis incrementó exponencialmente la pérdida de nitratos por lixiviación, lo cual se vio reflejado en la eficiencia de manejo, definida como la cantidad de fruto producido por cada gramo de N lixiviado.

vii) Los índices medioambientales propuestos, Índice de Impacto e Índice de Impacto Medioambiental, resultaron ser una efectiva herramienta para determinar el riesgo de contaminación por nitratos en función de la dosis de N y deben ser promovidos en las futuras Buenas Prácticas Agrícolas para reducir la contaminación de nitratos en los acuíferos a través de un manejo óptimo de los fertilizantes inorgánicos.

viii) La metodología empleada en este estudio ha permitido evaluar el manejo de la fertirrigación, mediante la integración de aspectos agronómicos o productivos y medioambientales. Dada la complejidad del sistema, se ha simplificado el número de índices y eficiencias necesarias para establecer el marco de manejo de N y sus consecuencias.

CAPÍTULO 11

Bibliografía.

- Abreu, T.A. de, A.F.L. Olitta, D.A.B. Marchetti. 1978. Comparison between furrow and drip irrigation of melon in the Sao Francisco region. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 13(3):35-45.
- Adams, P. 1980. Nutrient uptake by cucumbers from recirculating solutions. *Acta Horticulturae*, 98:119-126.
- Aggelis, A., I. John, Z. Karvouni, D. Grierson. 1997. Characterization of two cDNA clones for mRNAs expressed during ripening of melon (*Cucumis melo* L.) fruits. *Plant Molecular Biology*, 33:313-322.
- A.E.U.A.S. 2011 (Asociación Española de Usuarios de Aguas Subterráneas). Disponible en <http://www.aeuas.org/>; verificado 5 Abril 2011.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 2002. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56. 3rd Edition, 300 pages, Rome, Italy.
- A.N.F.F.E. 2011 (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes). Disponible en: <http://www.anffe.com/evolucion.html>; verificado 10 Febrero 2011.
- Anitha, S., M.L. Jyothi, M.C.N. Kutty, L.B. Fair. 2003. Evaluation of various organic manures as components in the integrated nutrient management of oriental pickling melon (*Cucumis melo* var. *conomon*)
- Ankumah, R.O., V. Khan, K. Mwamba, K. Kpombrekou-A. 2003. The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 100:201-207.
- A.S.A.J.A. y Consejería de Medio Ambiente. 2007. Programa de actuación aplicable a las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. A.S.A.J.A. y Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural (Eds).
- Association of Official Analytical Chemists. [AOAC] 1990. Official Methods of Analysis, K. Helrich Ed. AOAC Arlington VA.
- Ávila, J.M., B. Beltrán, C. Cuadrado, S. del Pozo, M.V. Rodríguez, E. Ruiz, O. Moreiras, G. Varela-Moreiras. 2007. La Alimentación en España: Características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta. 632 p. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Fundación Española de la Nutrición (FEN) (Eds.), Madrid, España.
- Ayers, R.S., D.W. Westcott. 1985. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, FAO (Ed.), Rome, Italy.
- Baixauli, C., A. Giner, J.M. Aguilar, A. Núñez. 2008. Comparativa de nuevas variedades de melon del tipo piel de sapo. *Horticultura Internacional*, 61:44-47.

- Baker, J.T., V.R. Reddy. 2001. Temperature effects on phonological development and yield of muskmelon. *Annals of Botany*, 87:605-613.
- Ban, D., S. Goleta, J. Borošic. 2006. Plant spacing and cultivar affect melon growth and yield components. *Scientia Horticulturae*, 109(3):238-243.
- Bar-Yosef, B. 1986. Fertirrigation as a technique to optimize crop yield with special referente to vegetables. *Proceedings of the Third International Conference of Irrigation*. 87-97 p. Tel Aviv, Israel.
- Bartolo, M.E., F.C. Shweissing. 1998. Yield and quality response of muskmelon to simulated storm damage. *HortScience*, 33:34-35.
- Battilani, A., F.L. Plauborg, S. Hansen, F. Dolezal, W. Mazurczyk, J. Bizik, J. Coutinho. 2008. Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of fertigated potatoes. *Acta Horticulturae*, 792:61-67.
- Baudoin, W., M. Grafiadellis, R. Jimenez, G. La Malfa, P.F. Martínez-Garcia, O.A.A. Monteir, A. Nisen, H. Verlodt, O. De Villele, V. Zabeltitz, J.C. Garnaud. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. En: *Estudios FAO: Producción y protección vegetal*. No. 90. Roma, Italia. 338 p. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/005/S8630S/S8630S00.HTM>.
- Bawatharani, T., M.I.M. Mowjood, N.D.K. Dayawansa, D. Kumaragamage. 2004. Nitrate leaching as a function of fertilization and irrigation practices in sandy regosols. *Tropical Agricultural Research*, 16:172-180.
- Belfort, C.C., H.P. Haag, T. Matsumoto, Q.A.C. Carmello, .C. Santos. 1986. Nutrição miniral de hortaliças. LXX. Acumulação de metéria seca e recrutamento de macronutriente pelo melão (*Cucumis melo* L. cv. Valenciano Amarelo CAC) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo, em Presidente Venceslau, SP. *Anais de ESALQ, Piracicaba*, 43:159-218.
- Beltrán, J.M. 1999. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. *Agricultural Water Management*, 40:183-194.
- Bett-Garber, K.L., O. Lamikanra, G.E. Lester, D.A. Ingram, M. A. Watson. 2005. Influence of soil type and storage conditions on sensory qualities of fresh-cut cantaloupe (*Cumumis melo*). *Journal or the Science of Food and Agriculture*, 85:825-830.
- Beverly, R.B., J.G. Latimer, D.A. Smittle. 1993. Preharvest physiological and cultural effects on postharvest quality. In: Shewfelt, R.L. and Prussia, S.E. (Ed.). *Postharvest handling: A systems approach*. New York, Academic Press, 73-98.
- Bhella, H.S. 1985. Response of muskmelon to within-row plant spacing. *Indiana Academy of Science*, 94:99-100.

- Bhella, H.S., Wilcox, G.E. 1989. Lime and nitrogen influence soil acidity nutritional status, vegetative growth, and yield of muckmelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, 114(2):606-610.
- Bilbao, M., J.J. Martínez, A. Delgado. 2004. Evaluation of soil nitrate as a predictor of nitrogen requirement for sugar beet grown in a Mediterranean climate. *Agronomy Journal*, 96:18-25.
- Blankendaal, M., R.H. Hodgson, D.G. Davis, R.A. Hoerauf, R.H. Shimabukuro. 1972. Growing plants without soil for experimental use. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Miscellaneous Publication No.1251, 17 pp.
- Board, N. 2004. Cultivation of tropical, subtropical vegetables, spices, medicinal, and aromatic plants. National Institute of Industrial Research, 652 p., Delhi (India).
- Bogle, C.R., T.K. Hartz. 1986. Comparison of drip and furrow irrigation for muskmelon production. *HortScience*, 21:242-244.
- Bonnano, A.R., W.J. Lamont Jr. 1987. Effect of polyethylene mulches, irrigation method, and row covers on soil and air temperature and yield of muskmelon. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 112:735-738.
- Brantley, B.B., G.F. Warren. 1961. Effects of nitrogen nutrition on flowering fruiting and quality in the muskmelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, 77(1):424-431.
- Bremer, J.M. 1996. Nitrogen - Total. p. 1085-1121. In: D.L. Sparks (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*. SSSA Book Series 5; SSSA and ASA, Madison, WI. USA.
- Bremer, E., P. Kuikman. 1997. Influence of competition for nitrogen in soil on net mineralization of nitrogen. *Plant and Soil*, 190:119-126.
- Brown, L., D. Scholefield, E.C. Jewkes, D.R. Lockyer, A. del Prado. 2005. NGAUGE: A decision support system to optimize N fertilization of British grassland for economic and environmental goals. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109:20-39.
- Brück, H., I. Lugert, W. Zhou, B. Sattelmacher. 2001. Why is physiological water-use efficiency lower under low nitrogen supply?. p. 400-401. In: *Food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research*. W.J. Horst et al. (Eds.), Dordrecht, Kluwer.
- Burt, T.P., N.J.K. Howden, F. Worrall, M.J. Whelan, M. Bierozza. 2010. Nitrate in United Kingdom Rivers: Policy and its outcomes since 1970. *Environmental Science and Technology*, DOI: 10.1021/es101395s.
- Buzetti, S., F.B.T. Hernandez, M.A. Suzuki. 1993. Effect of nitrogen and potassium fertilization on water use efficiency and quality of melon fruits. *Scientia Agricola*, 50(3):419-426.

- Byers, R.E., L.R. Baker H.M. Sell, R.C. Herner, D.R. Dilley. 1972. Ethylene: A natural regulator of sex expression of *Cucumis melo* L. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 69:717-720.
- Cabello, M.J., F. Ribas, M.T. Castellanos, N. Figueiró. 2004. Effect of plant density on melon yield and quality. p. 61-62. In: S.E. Jacobsen, C.R. Jensen, J.R. Porter (Eds.). *Proceedings of the VIII ESA Congress*. Copenhagen (Denmark).
- Cabello, M.J., M.T. Castellanos, F. Romojaro, C. Martínez, F. Ribas, 2009. Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. *Agricultural Water Management* 96:866-874.
- Cadahía, C. 2005. *Fertirrigación: Cultivos Hortícolas, frutales y ornamentales*. 3ª ed. 681 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Cantamutto, M., M. Ayastuy, V. Elisei. 1995. Incremento del rendimiento y precocidad en el cultivo de melón mediante transplante y acolchado plástico. *Horticultura Argentina*, 14(37):8-11.
- Cantamutto, M., M. Ayastuy, I. Kroeger. 2003. Reducción del area cubierta por acolchado plástico en cultivo de melón. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 3(4):51-60.
- Cartagena, M.C., A. Vallejo, J.A. Díez, A. Bustos, R. Caballero, R. Román. 1995. Effect of type of fertilizer and source of irrigation water on N use in a corn crop. *Field Crops Research*, 44:33-39.
- Casey, F.X.M., N. Derby, R.E. Knighton, D.D. Steele, E.C. Stegman. 2002. Initiation of irrigation effects on temporal nitrate leaching. *Vadose Zone Journal*, 1:300-309.
- Castellanos, M.T., A.M. Tarquis, F. Ribas, M.J. Cabello, N. Figueiró, A. Arce, M.C. Cartagena. 2006. Field measurements of water and nitrogen losses under fertirrigated melon crop in a shallow calcareous soil in Spain. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 8, 09494.
- Castellanos, M.T., M.C. Cartagena, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, A.M. Tarquis. 2007. Medidas en campo del balance de agua y de nitrógeno en un cultivo de melón con fertirrigación. In: *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo*. J.V. Giráldez Cervera, F.J. Jiménez Hornero (Eds.), Vol. VIII, 217-223.
- Castellanos, M.T., M.J. Cabello, M.C. Cartagena, A.M. Tarquis, A. Arce, F. Ribas. 2010a. Growth dynamics and yield of melon as influenced by nitrogen fertilizer. *Scientia Agricola*, 68:191-199.
- Castellanos, M.T., M.C. Cartagena, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, A.M. Tarquis. 2010b. Efficiency indexes for melon crop optimization. *Agronomy Journal*, 102:716-722.
- Chartzoulakis, K.S. 1994. Photosynthesis, water relations and leaf growth of cucumber exposed to salt stress. *Scientia Horticulturae*, 59:27-35.

- Claussen, W. 2002. Growth, water use of efficiency, and proline control of hydroponically grown tomato plants as affected by nitrogen source and nutrient concentration. *Plant and Soil*, 247:199-209.
- Coelho, E.L., V.F. de Sousa, V.A.B. de Souza, F.de B. Melo. 2001. Effects of levels of N and K applied by drip irrigation on melon (*Cucumis melo* L.) grown on a sandy soil. *Ciência e Agrotecnologia*, 25(1):23-30.
- Coelho, E.L., P.C.R. Fontes, F.L. Finger, A.A. Cardoso. 2003. Muskmelon fruit quality affected by nitrogen rates. *Bragantia*, 62(2):173-178.
- Cornillon, P., S. Obeid. 1993. Influence of root temperature and phosphorus content in the substrate on muskmelon growth. *Advances in Horticultural Science*, 7(2):69-72.
- Costa, E.F. da, G.E. de França, V.M.C. Alves. 1986. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 12(139):63-69.
- Cucurbit. 2010. Disponible en www.cucurbit.org; verificado 10 Enero de 2010.
- Da Silva Júnior, M.J., J.F. de Medeiros, F.H.T. de Oliveira, I. Dutra. 2006. Dry matter accumulation and nutrient uptake by “pele de sapo” melon plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2):364-368.
- Da Silva Júnior, M.J., J.F. de Medeiros, F.H.T. de Oliveira, I. Dutra. 2007. Balance of fertigation in “pele de Sapo” melon plants. *Irriga*, 12(1):63-72.
- Dasberg, S., H. Bielorai, J. Erner. 1983. Nitrogen fertigation of Shamouti oranges. *Plant and Soil*, 75:41-49.
- De Grazia, J., P.A. Tittonell, A. Chiesa. 2008. Nitrogen fertilization of eggplant (*Solanum melongena* L. var. *Esculatum*) transplants and their impact on crop growth after transplanting. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 782:185-192.
- De Pablo, J. 2002. La competitividad del sector de las hortalizas españolas en el contexto de la Unión Europea. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, nº 194, pp 71-110.
- De Pinheiro Henriques, A.R., L.F.M. Marcelis. 2000. Regulation of growth at steady-state nitrogen nutrition in lettuce (*Lactuca sativa* L): Interactive effects of nitrogen and irradiance. *Annals of Botany*, 86:1073-1080.
- Delgado, R., P. Martín, M. Álamo, M.R. González. 2004. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilisation rates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(7):623-630.
- Derby, N.E., D.D. Steele, J. Terpstra, R.E. Knighton, F.X.M. Casey. 2005. Interactions of nitrogen, weather, soil, and irrigation on corn yield. *Agronomy Journal*, 97:1342-1351.
- Di, H.J., K.C. Cameron, 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosyst*, 64:237-256.

- di Paolo, E., M. Rinaldi. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 105:202–210.
- Dias, N. da S., J.F. de Medeiros, N. de S. Sathler. 2000. Production of melon under two plant densities in different spacings and kinds of drippers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(3):331-336.
- Díaz Mora, J. 1999. Experiencia en la implantación de contadores en los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana. p. 69-72. In: *Medida y Evaluación de las extracciones de agua subterránea*. A. Ballester, J.A. Fernández, J.A. López (Eds.).
- Díez, J.A., A. Tarquis, M.C. Cartagena, A. Vallejo. 2006. Optimisation of N application for a maize crop grown in a shallow, irrigated soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4):373-380.
- Dinnes, D.L., D.L. Karlen, D.B. Jaynes, T.C. Kaspar, J.L. Hatfield, T.S. Colvin, C.A. Cambardella. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drainage. *Agronomy Journal*, 94:153–171.
- Domínguez, A. 1992. *Fertirrigación*. 217 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Domínguez, A., J.A. de Juan. 2008. Agricultural water management in Castilla-La Mancha (Spain). p. 69-128. In: *Agricultural water management Research Trends*, Magnus L. Sorensen (Ed.). Nova Science Publishers, New York.
- Doorenbos, J., W.O. Pruitt. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. *Estudios F.A.O. Riego y Drenaje*, 24 Ed., 194 p., FAO, Roma, Italy.
- Draggan, S. 2009. Nutrient management. In: *Encyclopedia of Earth*, J. Cutler (Ed.), Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). http://www.eoearth.org/article/Nutrient_management?topic=58075.
- Duarte, S.R. 2002. Alterações na nutrição mineral do meloeiro em função da salinidade da água de irrigação. Campina Grande, 70 p. *Dissestação (Maestrado em Nutrição Mineral)* – UFCG –Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Dunlap, J.R. 2003 Influence of soil temperatura on the early growth of three muksmelon cultivars. *Scientia Horticulturae*, 29:221-228.
- Eidman, V.R., J.C. Lingle, H.O. Carter. 1963. Optimum fertilization rates for crops with multi-harvest periods. *Journal of Farm Economics*, 45(4):823-830.
- Eilers, V.H.M., R.C. Carter, K.R. Rushton. 2007. A single layer soil water balance model for estimating deep drainage (potential recharge): An application to cropped and in semi-arid North-east Nigeria. *Geoderma*, 140:119–131.
- El-Sheikh, A.M., M.A.A. El-Hakam, A. Ulrich. 1970. Critical nitrate levels for squash, cucumber and melon plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1:63-74.

- Elías, F., F. Castellví. 2001. Agro-meteorología. 2ª Ed. 517 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- E.S.Y.R.C.E. 2009. (Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (M.A.R.M.).
- Evans, L.T. 1993. Crop evolution, adaptation, and yield. Cambridge University Press, ISBN 0-521-29558-0. Cambridge, UK.
- Fabeiro, C., F. Martín, J.A. de Juan. 2002. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agriculture Water Management*, 54:93-105.
- Faci, J.M., A. Martínez-Cob, A. Tercero. 1997. La hoja informativa de riegos, en marcha. *Surcos de Aragón*, 53:14-16.
- Fagan, E.B.; S.L.P. Medeiros, J. Simon, G.L. da Luz, E. Borcioni, L.R. Jasiewicz, D. Casaroli, P.A. Manaron. 2006. Evolution and partitionig of dry biomass of muskmelon in hidroponic. *Acta Scientiarum-Agronomy*, 28:165-172.
- FAO. 2010. Ficha Técnica del melón. Disponible en <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae620s/Pfrescos/MELON.HTM>; verificado el 25 de Noviembre de 2010.
- FAOSTAT. 2009. Disponible en <http://www.faostat.org/> (verificado 17 Nov. 2010). FAO, Roma.
- Fares, A., A.K. Alva. 2000. Soil water components based on capacitance probes in a sandy soil. *Soil Science Society of America Journal*, 64:311-318.
- Faria, C.M.B., N.L.D. Costa, J.M. Pinto, L.T.L. Brito, J.M. Soares. 2000. Níveis de nitrógeno por fertirrigação e densidade de plantio na cultura do melão em um vertissolo. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 35:491-495.
- Faria, C.M.B. de, N.D. Costa, J.M. Soares, J.M. Pinto, J.M. Lins, L.T. de L. Brito. 2003. Effects of organic matter, nitrogen and micronutrients on yield and quality of melon. *Horticultura Brasileira*, 21(1):55-59.
- Federación Española de Asociaciones de Productores y Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas Vivas (FEPEX) 2010. Disponible en <http://www.fepex.es>; verificado el 14 Dic. 2010.
- Fernández, J.E., F. Moreno, J.M. Murillo, J.A. Cayuela, E. Fernandez-Boy, F. Cabrear. 1996. Water use and yield of maize with two levels of nitrogen fertilization in SW Spain. *Agricultural Water Management*, 29:215-233.
- Ferrante, A., A. Spinardi, T. Maggiore, A. Testoni, P.M. Gallina. 2008. Effect of nitrogen fertilisation levels on melon fruit quality at the harvest time and during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(4):707–713.

- Filippi, F., G. Magnani, S. Guerrini, F. Ranghino. 2011. Agronomic evaluation of green biodegradable mulch on melon crop. *Italian Journal of Agronomy*, 15:41-53.
- Fink, M., C. Feller. 1998. An empirical model for describing growth and nitrogen uptake of white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 73:75-88.
- Flocker, W.J., J.C. Lingle, R.M. Davis, R.J. Miller. 1965. Influence of irrigation and nitrogen fertilization on yield, quality, and size of cantaloupes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 86(1):424-431.
- Flores, P., I. Castellar, J. Navarro. 2005. Nitrate leaching in pepper cultivation with organic manure and supplementary additions of mineral fertilizer. *Soil Science and Plant Analysis*, 3:2889-2898.
- Fog, K. 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biological Reviews*, 63:433-462.
- Fogaça, M.A.F., J.L. Andriolo, R.S. Godoi, C.A.P. Barros, D.I. Janisch, M.A. Braz Vaz. 2008. Nitrogen critical dilution curve for the muskmelon crop. *Ciência Rural*, 38:345-350.
- Fontes, P.C.R., E.L. Coelho, A.A. Cardoso, F.L. Finger. 2004. Muskmelon fruit yield in greenhouse and field conditions as affected nitrogen rates. *Bioscience Journal*, 20(1):15-20.
- Ford, M., G.N. Thorne. 1973. Effects of atmospheric humidity on plant growth. *Annals of Botany*, 38(2):441-452.
- Freijssen, A.H.J., B.W. Veen. 1990. Phenotypic variation in growth as affected by N-supply: nitrogen productivity. In: H. Lambers, M.L. Cambridge, H. Konings, T.L. Pons (Eds). *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*. The Hague: SPB Academic Publishing, 19-33.
- Fuentes, J. 1996. *Curso de Riego para Regantes*. 160 p. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Fukutoku, Y., S. Koto, Y. Teraoka, K. Kubo. 2000. Nitrogen absorption and distribution of muskmelons (*Cucumis melo* L.) at different growth stages using hydroponics. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 71:72-81.
- Gabriel, E., M. Cañadas, R. Benito. 1994. Evaluación de la cobertura plástica de suelo en la producción temprana de melón (*Cucumis melo* L.). *Horticultura Argentina*, 13(33):7-12.
- García, J.C., Z.F. Rodríguez G., J.G. Lugo G. 2006. Effects of cultivars and plant spacing on performance agronomics and muskmelon yield. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(4):448-458.
- García-Serrano, P., S. Ruano. 2010. La nutrición de las plantas. En: *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*, Parte I, p 19-24. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (Ed.), Madrid.

- Giaconi, V., M. Escaff. 1995. Cultivo de hortalizas. 11ª Ed. 337 p. Editorial Universitaria. Santiago de Chile.
- Gastal, F., G. Lemaire. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, 53:789-799.
- Gil Díaz, A. 2000. Las aguas subterráneas y el abastecimiento de la población en Castilla-La Mancha: diagnóstico y directrices de planificación. p. 41-53. In: Aguas subterráneas y abastecimiento urbano. R. Fernández, J.A. Fernández, B. López, J.A. López (Eds.).
- Goldberg, D., M. Shmueli. 1970. Drip irrigation-a method used under arid and desert conditions of high water and soil salinity. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, 13:38-41.
- Good, A.G., A.K. Shrawat, D.G. Muench. 2004. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? *Plant Science*, 9:597-605.
- Goreta, S., S. Perica, G. Dumicic, L. Bucan, K. Zanic. 2005. Growth and yield of watermelon on polyethylene mulch with different spacings and nitrogen rates. *HortScience*, 40:366-369.
- Grangeiro, L.C., J.F. Pedrosa, F. Bezerra Neto, M.Z. Negreiros. 1999. Qualidade de híbridos de melão amarelo em diferentes densidades de plantio. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 17(2):110-113.
- Greenwood, D.J., G. Lemaire, G. Gosse, P. Cruz, A. Draycott, J.J. Neeteson. 1990. Decline in percentage N of C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. *Annals of Botany*, 66:425-436.
- Grindlay, D.J.C. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. *The Journal of Agricultural Science*, 128:377-386.
- Hadas, A., A. Hadas, B. Sagiv, N. Haruvy. 1999. Agricultural practices, soil fertility management modes and resultant nitrogen leaching rates under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 42:81-95.
- Halitligil, M.B., A.I. Akin, H. Kislal, A. Ozturk, A. Deviren. 2002. Yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency by tomato, pepper, cucumber, melon and eggplant as affected by nitrogen rates applied with drip-irrigation under greenhouse conditions. *International Atomic Energy Agency (IAEA) Technical Documents*, 1266: 99-110.
- Han, K.Y., Y.B. Kim, J.K. Suh, W.K. Shin, Y.S. Lee, J.L. Cho. 1993. Effects of foliar application on the injury, growth and yield of fruit vegetables in the greenhouse. *RDA Journal of Agricultural Science, Horticulture*, 35(2):396-400.

- Hanada, T. 1991. The effect of mulching and row covers on vegetable production. Food and Fertilizer Technology Center, Extension Bulletin, ASPAC No. 332, 22 p., Taipei. Disponible en: <http://www.agnet.org/library/eb/332/>, verificado el 11 de Agosto de 2011.
- Hanley, N. 1990. The economics of nitrate pollution. *European Review of Agricultural Economics*, 17:129-151.
- Harlan, J.R., J.M.J. Wet, A.B.L. Stemler, 1997. Origin of Africa plant domestication. In: The origin of agriculture and crop domestication. A.B. Damania et al. (Eds.). ICARDA, IPGRI, FAO e UC/GRCP.
- Hartz, T.K., G.J. Hochmuth. 1996. Fertility management of drip-irrigated vegetables. *HortTechnology*, 6:168-172.
- Hartz, T.K. 1997. Effects of drip irrigation scheduling on muskmelon yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 69:117-122.
- Hassan, M.A., V.K. Sasidhar, K.V. Peter. 1984. Effect of graded doses of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and yield of oriental pickling melon (*Cucumis melo* var. Conomon). *Agricultural Research Journal of Kerala (India)*, 22(1):43-47.
- He, B., S. Kanae, T. Oki, Y. Hirabayashi, Y. Yamashiki, K. Takara. 2011. Assessment of global nitrogen pollution in rivers using an integrated biogeochemical modelling framework. *Water Research*, 45(8):2573-2586.
- Hegde, D.M. 1988. Physiological analysis of growth and yield of watermelon (*Citrillus lanatus* Thunb. Musf.) in relation to irrigation and nitrogen fertilization. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 160(5):296-302.
- Hernández, C., V. Bustos, N. Zamudio. 1995. Fertilization and drip irrigation of melon under plastic cover. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 72(1/2):1-4.
- Hesse, P.R. 1971. A textbook of soil chemical analysis. John Murray Publishers Ltd. London. UK.
- Higashi, K., K. Hosoya, H. Ezura. 1999. Histological analysis of fruit development between two melon (*Cucumis melo* L. reticulatus) genotypes setting a different size of fruit. *Journal of Experimental Botany*. 50:1593-1597.
- Hochmuth, G., K. Cordasco. 2000. A summary of N and K research with muskmelon in Florida. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Document nº HS 754:1-9.
- Hodges, L., F.P. Baxendale, D.S. Wysong. 1992. Growing squash and pumpkin for food and ornamentation. Disponible en: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2629&context=extensionhist&sei->

- redir=1#search=="relative+humidity+and+melon+growth,+flowering+and+maturity""; verificado el 2 de Mayo de 2011.
- Hofman, L.M. 1998. Production factors influence fruit quality and response to postharvest treatments. In: Disease control and storage life extension in fruit. Proceedings of an International Workshop held at Chiang Mai, Thailand. 160 p. L.M. Coates, P.J. Hofman, G.I. Johnson (Eds.). Australian Centre for International Agricultural Research.
- Houot, S., R. Chaussod. 1995. Impact of agricultural practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of soils*, 19:309-316.
- Hubbard, N.L., D.M. Pharr, S.C. Huber. 1990. Sucrose metabolism in ripening muskmelon fruit as affected by leaf area. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 115:798-802.
- Huett, D.O. 1996. Prospects for manipulating the vegetative-reproductive balance in horticultural crops through nitrogen nutrition: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 47:47-66.
- Ibarra, L., J. Flores, J.C. Díaz-Pérez. 2001. Growth and yield of muskmelon in response to plastic mulch and row covers. *Scientia Horticulturae*, 87:139-145.
- I.D.E.A., 2007. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Ahorro, eficiencia energética y fertilización nitrogenada. In serie Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) (Ed.).
- I.G.M.E., 1985. (Instituto Geológico y Minero de España). Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España.
- I.G.M.E., 1985b. (Instituto Geológico y Minero de España). Síntesis hidrogeológica de Castilla-La Mancha.
- I.G.P., 2011. (Indicación Geográfica Protegida del Melón de la Mancha). Disponible en: <http://www.igpmelonmancha.es/>; verificado 23 de agosto de 2011.
- Incalcaterra, G., A. Sciortino, F. Vetrano. Agronomic response of winter melon (*Cucumis melo inodorus* Naud) to biodegradable and polyethylene film mulches, and to different planting densities. *Options Méditerranéennes. Serie A, Séminaires Méditerranéens*, 60:183-186.
- I.N.E., 1999. (Instituto Nacional de Estadística). Censo Agrario del año 1999. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft01%2Fp042&file=inebase&L=0>; verificado 20 abril 2011.
- I.N.E., 2009 (Instituto Nacional de Estadística). Estadísticas sobre medio ambiente. Estadísticas medioambientales sobre el agua. Disponible en:

- <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft26%2Fp067%2Fp01&file=inebase&L=0>; verificado el 29 de Noviembre de 2011.
- I.N.I., 2011. (International Nitrogen Initiative). Conference Nitrogen and Global Change: Key findings – future challenges. 11-15 April 2011. Edinburgh, Scotland. Disponible en <http://www.nitrogen2011.org/>; verificado 4 mayo 2011.
- Ismail, M.R., M.K. Yusof. 1996. Effects of irradiance on growth, physiological processes and yield of melon (*Cucumis melo*) plants grown in hydroponics. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 19(2/3):103-110.
- Janick, J. 2000. Competição biológica. En: *A Ciência da horticultura*. Rio de Janeiro: USAID, Capítulo 3, p. 277-286.
- Jaynes, D.B., T.S. Colvin, D.L. Karlen, C.A. Cambardella, D.W. Meek. 2001. Nitrate loss in subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizer rate. *Journal of Environmental Quality*, 30:1305-1314.
- JCCM. 2011. (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha) Disponible en http://pagina.jccm.es/agricul/condicionalidad/deterioro_habitats.htm; verificado 17 mayo 2011.
- Jenkinson, D.S., J.N. Lad. 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. p 415-471. In: *Soil Biochemistry*, Vol.5. E.A Paul, J.N. Ladd (Eds), Marcel Dekker, New York.
- Jenni, S., D.C. Cloutier, G. Borgeois, K.A. Stewart. 1996. A heat unit model to predict growth and development of muskmelon to anthesis of perfect flowers. *Journal of Journal of American Society for Horticultural Science*, 121:274-280.
- Kafkafi, U. 2005. Global aspects of fertigation usage. In *Fertigation: Optimizing the utilization of water and nutrients*. Fertigation Proceeding: International Symposium on Fertigation, 8-22 p., Beijing, China.
- Kakani, V.G., K.R. Reddy, S. Koti, T.P. Wallace, P.V.V. Prasad, V.R. Reddy, D. Zhao. 2005. Differences in *in vitro* pollen germination and pollen tube growth of cotton cultivars in response to high temperature. *Annals of Botany*, 96:59-67.
- Kerje T., M. Grum, H.S Paris. 2000. The origin of melon, *Cucumis melo*: a review of the literature. *Acta Horticulturae*, 510:37-44.
- Kerje T. 2003. Descriptors for Melon (*Cucumis melo*, L.). Internacional Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Kimble, J.H. 1996 Guide to the commercial production of muskmelon (cantaloupe) and related melons. Publication ANR 974. Alabama Cooperative Extension System, Auburn University.
- Kirkbride, J.H. 1993. Biosystematic monograph of the genus *Cucumis* (Cucurbitaceae). Parkway Publishers, 159 p., Boone, North Carolina, USA.

- Kirnak, H., D. Higgs, C. Kaya, I. Tas. 2005. Effects of irrigation and nitrogen rates on growth, yield, and quality of muskmelon in semiarid regions. *Journal of Plant Nutrition*, 28:621-638.
- Knave, D.E. 1988. Growth, development and yield potential of short internode muskmelon. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 133:595-599.
- Kozlowski, T.T. 1968. Water deficits and plant growth. Vol 2. Plant water consumption and response. 333 p. Kozlowski T.T. (Ed.). Academic Press, New York, USA.
- Kultur, F., H.C. Harrison, J.E. Staub. 2001. Spacing and genotype affect fruit sugar concentration, yield, and fruit size of muskmelon. *HortScience*, 36(2):274-278.
- Kundu, M.C., B. Mandal. 2009. Nitrate enrichment in groundwater from long-term intensive agriculture: Its mechanistic pathways and prediction through modelling. *Environmental Science and Technology*, 43(15):5837-5843.
- Kurtar, E.S. 2010. Modelling the effect of temperature on seed germination in some cucurbits. *African Journal of Biotechnology*, 9:1343-1353.
- Kver, V., K. Mashall. 1988. Assessment of leaf area and other assimilating surfaces. p. 517-555. In: Sestak, J., J. Catsky, P.G. Jarvis (Eds.). *Plant photosynthetic production manual of methods*. Junk, The Hague, Netherlands.
- Lam, H.M., K.T. Coschigano, I.C. Oliveira, R. Melo-Oliveira, G.M. Coruzzi. 1996. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47:569-593.
- Lambers, H., F. Posthumus, I. Stulen, L. Lanting, S.J. Van de Dijk, R. Hofstra. 1981. Energy metabolism of *Plantago lanceolata* as dependent on the supply of mineral nutrients. *Physiologia Plantarum*, 51:85-92.
- Lazin, M.B., S.C. Simonds. 1982. Influence of planting method, fertilizer rate, and within row plant spacing on production of two cultivars of honeydew melons. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 94:180-182.
- Le Bot, J., S. Adamowicz, P. Robin. 1998. Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, 74:47-82.
- Lemaire, G., M. Khaity, B. Onillon, J.M. Allirand, M. Chartier, G. Gosse. 1992. Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of Lucerne (*Medicago sativa*) in a dense canopy. *Annals of Botany*, 70:429-435.
- Lemaire, G., F. Gastal. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. p. 3-43. In: Lemaire G. (Ed.). *Diagnosis on the nitrogen status in crops*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Lemaire, G., F.H. Jeuffroy, F. Gastal. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28:614-624.

- Leskovar, D.I., J.C. Ward, R.W. Sprague, A. Meiri. 2001. Yield, quality and water use efficiency of muskmelon affected by irrigation and transplanting versus direct seeding. *HortScience*, 36:286-291.
- Li, Y., J. Li, M. Rao. 2006. Effects of drip fertigation strategies and frequencies on yield and root distribution of tomato. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(7):1419-1427.
- Lima, A.A., 2001. Absorção e eficiência de utilização de nutrientes por híbridos de melão (*Cucumis melo* L.). 60 p. Dissertação Mestrado. (Maestrado em Solos e Nutrição de plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Llanos, M. 1998. El melon: variedades, mercados y cultivo. *Vida Rural*, 76:66-70.
- Llewellyn, R. 2005. Improving fruit soluble solids content in melon (*Cucumis melo* L.) (reticulatus group) in the Australian production system. Tesis presentada en Central Queensland University en Rockhampton (Australia).
- López, F. 1994. Deterioro ambiental en las tierras de regadío por plaguicidas y fertilizantes p. 119-131. In: *El Medio Rural Español: Cultura, paisaje y naturaleza*. V. Cabrero, J.M. Llorente, J.I. Plaza, I C. Po (Eds.). Universidad de Salamanca.
- López-Sesé, A.I., J.E. Staub, M.L. Gómez-Guillamón. 2003. Genetic analysis of Spanish melon (*Cucumis melo* L.) germplasm using a standardized molecular-marker array and geographically diverse reference accessions. *Theor. Appl. Genet*, 108:41-52.
- Lovelli, S., S. Pizza, T. Caponio, A.R. Rivelli, M. Perniola. 2005. Lysimetric determination of muskmelon crop coefficients cultivated under plastic mulches. *Agricultural Water Management*, 72:147-159.
- Maas, E.V., G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Division. American Society of Civil Engineers (ASCE)*, 103(2):115-134.
- McCarty, G.W., J.J. Meisinger. 1997. Effects of N fertilizer treatments on biologically active N pools in soils under plow and no tillage. *Biology and Fertility of Soils*, 24:406-412.
- McDonald, A.J.S., A. Ericsson, T. Lohammar. 1986. Dependence of starch storage on nutrient availability and photon flux density in small birch (*Betula pendula* Roth). *Plant, Cell and Environment*, 9:433-438.
- McDonald, A.J.S. 1990. Phenotypic variation in growth rate as affected by N-supply: its effects on net assimilation rate (NAR), leaf weight ratio (LWR) and specific leaf area (SLA). p. 35-44. In: *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*. H. Lambers, M.L. Cambridge, H. Konings, T.L. Pons (Eds.). The Hague: SPB Academic Publishing.
- Maestro, M.C., J. Álvarez. 1988. The effects of temperature on pollination and pollen tube growth in muskmelon (*Cucumis melo* L). *Scientia Horticulturae*, 36(3-4):173-181.

- Malavolta, E. 1976. Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. 527 p., Agronômica Ceres, São Paulo, Brasil.
- Mankin, K.R., R.P. Fynn. 1996. Modelling individual nutrient uptake by plants: Relating demand to microclimate. *Agricultural Systems*, 50(1):101-114.
- M.A.P.A. 1994. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). Official methods of analysis. Ministerio de Agricultura y Alimentación (Ed.). Madrid, Spain.
- M.A.P.A., 2000. Anuario de estadística 2000. Disponible en <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm#inicio> ; verificado 11 marzo 2011.
- M.A.P.A., 2006. Anuario de estadística 2000. Disponible en <http://www.mapa.es/estadistica/pags/anuario/2006/capitulos/AEA-C26.xls>; verificado 11 marzo 2011.
- M.A.R.M., 2010. Anuario de estadística 2010. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica, Madrid.
- M.A.R.M., 2011. Gestión sostenible de regadíos. Disponible en <http://www.marm.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/>; verificado 31 marzo 2011.
- Maroto, J.V. 2008. Elementos de Horticultura General. 3ª Ed. 481 p. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Marr, Ch.W., W.J. Lamont. 1992. Fertigation of vegetable crops. Commercial vegetables production. Cooperative Extension Service. Kansas State University, Document N° 92-312-E: 1-4.
- Martínez, A., E. López, N. Álvarez, D. Matamala, D. Medina, J.M. Tarjuelo, A. de Juan. 2007. Aplicaciones “on line” del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha. Jornadas Técnicas sobre Diferentes Modelos de Assistência na Rega. Serviço de Assistência Técnica ao Regante del Centro Operativo e de Tecnología de Regadío. Disponible en: http://www.cotr.pt/informacao/jtSATR/Documentos/castilla_mancha_SIAR.pdf.
- Masuda, M., T. Tanaka, S. Matsunari. 1990. Uptake of water and minerals during the day and the night in tomato and cucumber plants. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 58(4):951-957.
- Matlob, A.N., W.C. Kelly. 1973. Effect of high temperature on pollen tube growth of snake melon and cucumber. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 98:296-300.
- Maynard, D.N., G.A. Clark. 1989. Response of micro-irrigated vegetable crops on various bed widths. *Soil and Crop Science Society of Florida*, 49:88-90.

- Maynard, E.T., W.D. Scott. 1998. Plant spacing affects yield of Superstar muskmelon. *HortScience*, 33(1):52-54.
- McCarty, G.W., J.J. Meisinger. 1997. Effects of N fertilizer treatments on biologically active N pools in soils under plow and no tillage. *Biology and Fertility of Soils*, 24:406-412.
- Meena, K.R., I.M. Verma, R.P. Meena. 2005. Effect of different sowing environments and applied nitrogen on phenophase appearance, fruit yield and heat use efficiency of spring sown snapmelon (*Cucumis melo* var. *momordica*). *Annals of Agri Bio Research*, 10(2):171-176.
- Mendlinger, S. 1994. Effect of increasing plant density and salinity on yield and fruit quality in muskmelon. *Scientia Horticulturae*, 57(1-2):41-49.
- Mills, H.A., J.B.Jr. Jones, 1979. Nutrient deficiencies in plants: nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, 1:101-122.
- MINER-MOPTMA, 1994. Libro Blanco de las Aguas Subterráneas. Series Monografías. MINER-MOPTMA (Ministerio de Industria y Energía y Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente), Madrid, pp. 135.
- Misle, E. 2003. Thermophysiological characterization of the nutrient absorption rhythm of muskmelon (*Cucumis melo* L var *reticulatus* Naud). *Ciencia e Investigación Agraria*, 30(1):39-50.
- MITYC (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio). 2009. La Balanza comercial agroalimentaria en 2008. Disponible en: <http://www.comercio.mityc.es/es-ES/comercio-exterior/informacion-sectorial/agroalimentarios/estadisticas/PDF/20100823BalanzaAgroalimDefinitiva2009Corregidaminúsculas.pdf>; verificado el 14 Diciembre 2011.
- Mizrahi, Y., D. Pasternak. 1985. Effect of salinity on quality of various agricultural crops. *Plant and Soil*, 89(1-3):301-307.
- Moll, R.H., E.J. Kamprath, W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, 74:562-564.
- Moreno, F., J.A. Cayuela, J.E. Fernandez, E. Fernandez-Boy, J.M. Murillo, F. Cabrera. 1996. Water balance and nitrate leaching in an irrigated maize crop in SW Spain. *Agricultural Water Management*, 32:71-83.
- Mota, J.C.A., J. Amaro Filho. 2002. Determination of fertilization in culture of the muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Revista Científica Rural*, 7(2):17-20.
- Muhammetoglu, H., A. Muhammetoglu, S. Soyupak. 2005. Assessment of nitrogen excess in an agricultural area using a nitrogen balance approach. *Water Science and Technology*, 51:259-266.
- Munger, H.M., R.W. Robinson. 1991. Nomenclature of *Cucumis melo* L. *Cucurbit Genet Coop Reports*. 14:43-44.

- Mungia, L., R. Quezada, G. Zermenio, V. Pena. 1998. Plastic mulch effect on the spatial distribution of solutes and water in the soil profile and relationship with growth and yield of muskmelon crop. *Plasticulture*, 116:27-32.
- Nakamura, K., T. Harter, Y. Hirono, H. Horino, T. Mitsuno. 2004. Assessment of root zone nitrogen leaching as affected by irrigation and nutrient management practices. *Vadose Zone Journal*, 3:1353–1366.
- Naudin, C. 1859. Essais d'une monographie des especes et varietes du genre *Cucumis*. *Annales Des Sciences Naturelles*, 11:5-87.
- Navarro, E.M. 2008. Influencia de las alteraciones texturales del suelo sobre la calidad del melón Galia cultivado en invernadero. Tesis presentada en el Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Almería y el Departamento de Nutrición y Bromatología de la Universidad de Granada.
- Nelson, H. 2002. Relationship between plant density and fruit and seed production in muskmelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(5):855-859.
- Niaz, A., M. Ibrahim, M.Y. Nadeem, A. Saneen, W. Ahmed, F.M.Z. Katar. 2004. Nitrate leaching losses under different irrigation frequencies and uptake in cereal foods. *Journal of Agricultural Science*, 41:95-101.
- Novoa, R., R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil*, 58(1-3):177-204.
- Oenema, O., L. van Liereb, O. Schoumansa. 2005. Effects of lowering nitrogen and phosphorus surpluses in agriculture on the quality of groundwater and surface water in the Netherlands. *Journal of Hydrology*, 304:289–301.
- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939. U.S. Gov. Print Office, Washington, DC.
- Orozco-Santos, M., O. Pérez-Zamora, O. López-Arriaga. 1995. Floating row cover and transparent mulch to reduce insect populations, virus diseases and increase yield in cantaloupe. *Florida Entomologist*, 78(3):493-501.
- Orsini, F., M. Mezzetti, G. Iannicelli. 2009. The use of portable chlorophyll meter for the management of N fertilization in Cantaloupe (*Cucumis melo* L.) grown under transparent polyethylene low tunnels. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 807:333-340.
- Ortega, J.F., J.A. De Juan, J.M. Tarjuelo, R. Merino, M. Valiente. 1999. Modelo de optimización económica del manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas: Aplicación a la agricultura de regadío de la provincia de Toledo. *Investigación agraria. Producción y protección vegetales*, 14(3):325-354.

- Ortega, J.F., J.A. De Juan, J.M. Tarjuelo. 2003. Evaluación y análisis del funcionamiento del riego localizado en cultivos hortícolas de Castilla-La Mancha. *Actas de Horticultura* N° 39. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Pontevedra, 61-63.
- O.S.E., 2006. (Observatorio de la Sostenibilidad en España). Cambios de ocupación del suelo en España. Implicaciones para la sostenibilidad. <http://193.146.56.6/observatorio%20sostenibilidad/esp/pubind/tematicos/suelo/>; verificado 29 marzo 2011.
- Oster, J.D. 1994. Irrigation with poor quality water. *Agricultural Water Management*, 25(3):271-297.
- Pádua, J.G., L.T. Braz, D.A. Banzatto, S.A.L. Gusmão, M.T.A. Gusmão. 2003. Net melon cultivars productivity under different cultivation systems, during summer and winter. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 607:83-89.
- Panagiotopoulos, L. 2001. Effects of nitrogen fertigation on growth, yield, quality and leaf nutrient composition of melon. *Acta Horticulturae*, 563:115-121.
- Pardossi, A., F. Falossi, F. Malorgio, L. Incrocci, G. Bellocchi. 2004. Empirical models of macronutrient uptake in melon plants grown in recirculating nutrient solution culture. *Journal of Plant Nutrition*, 27:1261-1280.
- Pardossi, A., F. Malorgio, L. Incrocci, G. Carmassi, R. Maggini, D. Massa, F. Tognoni. 2006. Simplified models for the water relations of soilless cultures: What they do or suggest for sustainable water use in intensive horticulture. *Acta Horticulturae*, 718:425-434.
- P.E.A.G., 2008 (Plan Especial del Alto Guadiana). Disponible en <http://www.chguadiana.es/?corp=chguadiana&lang=es&url=32&mode=view> ; verificado 4 abril 2011.
- Peil, R.M., J.L. Galvez. 2005. Dry-matter partitioning as a determinant of greenhouse fruit vegetable crops production. *Revista Brasileira de Agrociência*, 11:5-11.
- Pereira, F.H.F., J.C.C. Nogueira, J.F. Pedrosa, M.Z. Negreiros, F. Bezerra Neto. 2003. Poda da haste principal e densidade de cultivo na produção e qualidade de frutos em híbridos de melão. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 21(2):191-196.
- Pérez-Zamora, O., M.R. Cigales-Rivero. 2001. Soil moisture tension and nitrogen fertilization on cantaloupe melon. *Agrociencia*, 35:479-488.
- Pérez-Zamora, O, M.R. Cigales-Rivero, M. Orozco-Santos, K. Pérez-Castro. 2004. Soil moisture tension and nitrogen fertilization on cantaloupe melon: Part II. *Agroscience*, 38:261-272.
- Pew, W.D., B.R. Gardner. 1983. Effects of irrigation practices on vine growth, yield and quality of muskmelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108:134-137.

- Pinto, J.M., J.M. Soares, J.R. Pereira, E.N. Choudhury, M.M. Choudhury. 1994 Effect of time and frequency of nitrogen fertirrigation on melon yield. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 29(9):1345-1350.
- Pinto, JM, T.A. Botrel, J.C. Feitosa Filho. 1997. Efeitos do nitrógeno via fertirrigação na cultura do melao. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 16(4):27-36.
- Pitrat, M., M. Chauvet, C. Foury 1999. Diversity, history and production of cultivated cucurbits. *Acta Horticulturae*, 492:21-28
- Pitrat, M., P. Hanelt, K. Hammer. 2000. Some comments on infraspecific classification of cultivars of melon. *Acta Horticulturae*, 510:29-36.
- Ponce, V. 2010. Proyecto de prefactibilidad para la producción y exportación de pulpa congelada de melón al mercado venezolano, en el período 2011-2020. Tesis presentada en la Escuela de Comercio Exterior Integración y Aduanas, Facultad de Ciencias Económicas y Negocios, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
- Pospisil, M., A. Pospisil, M. Rastija. 2000. Effect of plant density and nitrogen rates upon the leaf área of seed sugar beet on seed yield and quality. *European Journal of Agronomy*, 12(1):69-78.
- Prabhakar, B.S., K. Srinivas, V. Shukla. 1985. Yield and quality of muskmelon (cv. Hara Madhu) in relation to spacing and fertilization. *Progressive Horticulture*, 17(1):51-55.
- Prata, E.B. 1999. Acumulação de biomassa e absorção de nutrientes por híbridos de meloeiro (*Cucumis melo* L.). 60 p Dissertação de Maestrado. (Maestrado em Solos e Nutrição de plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Pratt, P.F. 1965. Potasium. p. 1027-1028. In: Black, C.A., Ed. *Methods of Soils Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- Poch, R., J.C. Mailhol L. Candela, F. Ramírez. 2005. Estimación de los riesgos de lixiviación de nitratos en suelos agrícolas: ¿Enfoque numérico o funcional?. p. 177-184. In: *Actas de las VII Jornadas sobre Investigación de la Zona no Saturada del Suelo*. F.J. Samper, A. González (Eds.). Universidad de A Coruña, A Coruña.
- Purqueiro, LFV, A.B. Cecílio Filho, J.C. Barbosa. 2003. Efeito da concentração de nitrogênio na solução nutritiva e do número de frutos por planta sobre a produção do meloeiro. *Horticultura Brasileira*, 21(2):185-190.
- Rahman, A.H.M.M., M. Anisuzzaman, M.Z. Alam, A.K.M.R. Islam, A.T.M.N. Zaman. 2006. Taxonomic studies of the cucurbits grown in the northern parts of Bangladesh. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 2:299-302.
- Ramírez, V.J. 1994. Cubiertas flotantes para desarrollar cultivos hortícolas y controlar virosis. Universidad Autónoma de Sinaloa.

- Rao, M.H., K. Srinivas. 1990. Effect of different levels of N, P, K on petiole and leaf nutrients, and their relationship to fruit yield and quality in muskmelon. *Indian Journal of Horticulture*, 47(2):250-255.
- Reche, J. 2007. Cultivo intensivo del melón. Hojas divulgadoras Núm. 2125HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Resende, G.M., N.D. Costa. 2003. Yield and fruit quality of melon in different planning densities. *Horticultura Brasileira*, 21(4):690-694.
- Ribas, F., M.J. Cabello, M.M. Moreno. 1995. Necesidades de riego del melón y respuesta del cultivo a riegos diferenciales en la provincia de Ciudad Real (Castilla-La Mancha). XIII Jornadas Técnicas sobre Riegos (Tenerife). 12-20.
- Ribas, F., M.J. Cabello, M.M. Moreno, A. Moreno, L. López-Bellido. 2000. Physiological response of a melon crop (*Cucumis melo* L.) to different watering regimes. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales*, 15:195-212.
- Ribas, F., M.J. Cabello, M.M. Moreno, A. Moreno, L. López-Bellido. 2001. Influencia del riego y de la aplicación de potasio en la producción de melón (*Cucumis melo* L.). I: Rendimiento. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales*, 16(2):283-297.
- Ribas, F., M.J. Cabello, M.M. Moreno, A. Moreno, L. López-Bellido. 2003. Influencia del riego y de la aplicación de potasio en la producción de melón (*Cucumis melo* L.). II. Calidad. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(1):79-90.
- Rincón, L., M. Giménez. 1989. Fertirrigación por goteo en melón. *Fertilización*, 105:55-56.
- Rincón, L., J. Sáez, J.A. Pérez, R. Madrid, R. 1996. Growth and nutrient absorption by muskmelon crop under greenhouse conditions. *Acta Horticulturae*, 54:153-159.
- Rincón, L. 1997. Estimación de las necesidades hídricas del melón. En *Melones: Compendios de Horticultura* 10, 277 p. Ediciones de Horticultura, Barcelona.
- Rincón, L. 2002. Riego y fertirrigación de melón en riego por goteo. *Horticultura global: Revista de Industria, distribución y socioeconomía hortícola*, 161:14-22.
- Robinson, R.W., D.S. Decker-Walters. 1997. *Cucurbits*. New York CAB International (Ed.), 226 p., Crop Production Science in Horticulture nº6, New York, USA.
- Rodriguez, J.C., N.L. Shaw, D.J. Cantliffe, Z. Karchi. 2005. Nitrogen fertilization sheduling of hydoponically grown "Galia" muskmelon. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 118:106-112.
- Rodriguez, J.C., N.L. Shaw, D.J. Cantliffe. 2007. Influence of plant density on yield and fruit quality of greenhouse-grown Galia muskmelon. *HortTechnology*, 17(4):580-585.
- Romero, F., M.C. Martínez Madrid, M.T. Pretil. 2007. Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios.

- <http://www.horticom.com/pd/imagenes/65/906/65906.pdf>; verificado 13 octubre 2011.
- Ruano, S. 2007. Desarrollo de la fertirrigación en España. *Vida Rural*, 246:55-58.
- Salman, S., M. Bakry, A. Abou-Hadid, A. El-Beltagy. 1991. The effect of plastic mulch on the microclimate of plastic house. *Acta Horticulturae*, 287:417-425.
- Sams, C.E. 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3):249-254.
- Sánchez, J. 2000. Fertirrigación. Principios, factores, aplicaciones. Seminario de Fertirrigación: Apukai-Comex Perú.
- Sánchez-Martín, L., A. Arce, A. Benito, L. García-Torres, A. Vallejo. 2008. Influence of drip and furrow irrigation systems on nitrogen oxide emissions from a horticultural crop. *Soil Biology and Biochemistry*, 40:1698-1706.
- Sawhney, V.K., A. Shukla. 1994. Male sterility in flowering plants: Are plant growth substances involved?. *American Journal of Botany*, 81:1640-1647.
- Scholberg, J., B.L. McNeal, K.J. Boote, J.W. Jones, S.J. Locascio, S.M. Olson. 2000. Nitrogen stress effects on growth and nitrogen accumulation by field-grown tomato. *Agronomy Journal*, 92:159-167.
- Secer, M., A. Unal. 1990. Nutrient contents in the leaf blades and petioles of honeydew melons and their relationship to yield and quality. *Gartenbauwissenschaft*, 55(1):37-41.
- Sedgley, M., M.S. Buttrose. 1978. Some effects of light intensity, day length and temperature on flowering and pollen tube growth in the watermelon (*Citrullus lanatus*). *Annals of Botany*, 42:609-616.
- Seilsepour, M. 2008. Field test evaluation of salinity effects on quantitative and qualitative parameters of three iranian muskmelon cultivars. *World Applied Sciences Journal*, 3(2):240-243.
- Sen, B., S. Majumder, S. Kumar. 1999. Fungal and bacterial diseases of cucurbits. In: *Diseases of Horticultural crops - Vegetables, Ornamentals and Mushrooms*. L.R. Verma, R.C. Sharma (Eds.). Indus Publishing Co., New Delhi.
- Sensoy, S., A. Ertek, I. Gedik, C. Kucukyumuk. 2007. Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field-grown melon (*Cucumis melo* L.). *Agricultural Water Management*, 88:269-274.
- Serrano, Z. 1979. Cultivo de hortalizas en invernadero. 361 p. Aedos (Ed.). Barcelona, Spain.
- Shani, M. 1981. La fertilización combinada con el riego. 36 p. Ministerio de Agricultura, Servicio de Extensión, Tel Aviv, Israel.

- Shanon, M.C., L.E. Francois. 1978. Salt tolerance of three muskmelon cultivars. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 103:127-130.
- Shmueli, M., S.D. Goldberg. 1974. Riego por aspersión, por surco y por goteo del melón en una zona árida. 6 p. Centro Regional de Ayuda Técnica, México D.F., México.
- Silberstein, L., I. Kovalski, R. Huang, K. Anagnostou, J.M. Jahn, R. Perl-Treves. 1999. Molecular variation in melon (*Cucumis melo* L.) as revealed by RFLP and RAPD markers. *Scientia Horticulturae*, 79:101-111.
- Silgram, M., B.J. Chambers. 2002. Effects of long-term straw management and fertilizer nitrogen additions on soil nitrogen supply and crop yields at two sites in eastern England. *Journal of Agricultural Science*, 139:115-127.
- Silva, P.S.L., J.R. Fonseca, J.C.A. Mota, J. da Silva. 2003. Plant density and fruit yield of muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(2):245-247.
- Silva, P.S.L., V.L.P. Rodrigues, J.F. De Medeiros, B.F. De Aquino, J. Da Silva. 2007a. Response of melon plants to nitrogen and phosphorus application. *Revista Caatinga*, 20(1):67-70.
- Silva, P.S.L., V.L.P. Rodrigues, J.F. De Medeiros, B.F. De Aquino, J. Da Silva. 2007b. Yield and quality of melon fruits as a response to the application of nitrogen and potassium doses. *Revista Caatinga*, 20(2):43-49.
- Singh, K.P., A. Bahadur, S.N.S. Chaurasia. 2010. Protected vegetable cultivation. p. 153-175. In *Agriculture Diversification: Problems and Perspectives*. A.K. Sharma, S. Wahab, R. Srivastava (Eds.). I.K. International Publishing House Pvt. Ltd., New Delhi, India.
- Smart, D.R., A.J. Bloom. 1993. Relationships between the kinetics of NH_4^+ and NO_3^- absorption and growth in the cultivated tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. Cv T-5). *Plant, Cell and Environment*, 16:259-267.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*, 2nd Ed., p. 869. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Agric. Handbook No. 436, U.S. Govt. Printing Office, Washington DC, United States.
- Solorzano, H.L. 2008. Beneficios de un sistema de riego por goteo en las parcelas de cultivo de hortalizas de la asociación de desarrollo integral de la Aldea Lo de Ramírez, Villa Nueva, Guatemala. Tesis del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales - Facultad de Agronomía - Universidad de San Carlos de Guatemala, pp 98.
- Splittstoesser, W.E., S.A. Hassan, J.M. Gerber. 1995. Effects of excess nitrogen at transplanting on growth, flowering and fruit set of bell pepper. *Proceedings of the Plant Growth Regulator Society of America*, 20:101-105.

- Stoltzfus, R.M.B., H.G. Taber, A.S. Aiello. 1998. Effect of increasing root-zone temperature on growth and nutrient uptake by “gold star” muskmelon plants. *Journal of Plant Nutrition*, 21(2):321-328.
- Strebel, O., W.H.M. Duyniveld, J. Böttcher. 1989. Nitrate pollution of groundwater in Western Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 26:189-214.
- Suárez, F.D. 1991. Nitrogen requeriment and fertilization efficiency in cantaloupe melon (*Cucumis melo* L. var. *Reticulatus* Naud). *Ciencia e Investigación Agraria*, 18(3):101-109.
- Sutton, M.A., C.M. Howard, J.W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. van Grinsven, B. Grizzetti. 2011. Assessing our nitrogen inheritance. 612 p. In: *The European Nitrogen Assessment*. M.A. Sutton, C.M. Howard, J.W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. van Grinsven, B. Grizzetti (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Taiz, L., E. Zeiger. 2004. *Plant Physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates Inc. USA.
- Tanemura, R., H. Kurashima, N. Ohtake, K. Sueyoshi, T. Ohyama. 2008. Absorption and translocation of nitrogen in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants using the ¹⁵N tracer technique. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54(1):108–117.
- Tanji, K.K. 1990. *Agricultural salinity assessment and management*. American Society of Civil Engineers. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71. 619 p. Irrigation and Drainage Division. Water Quality Technical Committee, Reston, Virginia.
- Thompson, C.R., D.M. Olszyk. 1988. Interaction of humidity and air pollutants on vegetation. Final Report for the California Air Resources Board for Contract. Statewide Air Pollution Research Center, University of California, Riverside, CA, Estados Unidos.
- Tomaz, H.V. de Q., F. de Q. Porto Filho, J.F. de Medeiros, I. Dutra. 2008. Growth of the melon plants under different irrigation depths and levels of nitrogen and potasium. *Caatinga*, 21(3):174-178.
- Trentini, L., 1998. Origine e botanica del melone. *Supplemento a l'Informatore Agrario* 3: 5-6.
- USDA-ARS. 2010. National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network - (GRIN) [Online Database]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. URL: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?404410> (12 March 2010).
- Valantin, M., C. Gary, B. Vaissière, M. Tchamitchian, B. Bruneli. 1998. Changing sink demand affects the area but not the specific activity of assimilate sources in Cantaloupe (*Cucumis melo* L). *Annals of Botany*, 82:711-719.

- van Doorn, W.G., A.D. Stead, 1997. Abscission of flowers and floral parts. *Journal of Experimental Botany*, 48:821-837.
- van Eerd, L.L. 2007. Evaluation of different nitrogen use efficiency indices using field grown green bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 87:565-569.
- van Eerd, L.L., K.A. O'Reilly. 2009. Yield, nitrogen dynamics, and fertilizer use efficiency in machine-harvested cucumber. *HortScience*, 44:1712-1718.
- van Herwaarden, A.F., G.D. Farquhar, J.F. Angus, R.A. Richards, G.N. Howe. 1998. 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49:1067-1081.
- Varela, M., S. Castaño. 1995. Experiencias para la caracterización del flujo y transporte de nitratos en la zona no saturada de la llanura manchega (Ciudad Real). Jornadas sobre "La zona no saturada y la contaminación de las aguas subterráneas. Vulnerabilidad de acuíferos". (Barcelona).
- Vázquez, N., A. Pardo, M.L. Suso, M. Quemada. 2006. Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112:313-323.
- Ventura, Y., S. Mendlinger. 1999. Effects of suboptimal low temperature on yield, fruit appearance and quality in muskmelon (*Cucumis melo* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(5):602-607.
- Verkleij, F.N., L.B. Hofman-Eijer. 1988. Diurnal export of carbon and fruit growth in cucumber. *Journal of Plant Physiology*, 133:345-348.
- Vetrano, F. S. Fascella, G. Lapichino, G. Incalcaterra, P. Girgenti, P. Sutura, G. Buscemi. 2008. Response of melon genotypes to polyethylene and biodegradable starch-based mulching films used for fruit production in the western coast of Sicily. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 807:109-114.
- Vos, J., H. Biemond, P.C. Struik. 1996. Dynamics of change of leaf attributes of brussels sprouts in response to switches between high and low supply of nitrogen. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 44:31-42.
- Wacquant, C. 1989. *Maîtrise du Climat et Production*, Vol. 49. Infos-Ctifl, 33-39.
- Wang, Y.T., S.W. Huang, R.L. Liu, J.Y. Jin. 2007. Effects of nitrogen application on flavour compounds of cherry tomato fruits. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170:1-8.
- Waring, R.H., A.J.S. McDonald, S. Larsson, T. Ericsson, A. Wren, E. Arwidsson, A. Ericsson, T. Lohammar. 1985. Differences in chemical composition of plants grown at constant relative growth rates with stable mineral nutrition. *Oecologia*, 66:157-160.

- Warriner, S.A., R.D. Henderson. 1989. Rockmelon irrigation management for market quality. In: Research and Development Conference on Vegetables, The Market Producer, p. 239-242, Richmond, Australia.
- Wassenaar, L., M. Jim Hendry, N. Harrington. 2006. Decadal geochemical and isotopic trends for nitrate in a transboundary aquifer and implications for agricultural beneficial management practices. *Environmental Science and Technology*, 40(15):4626-4632.
- Wells, J.A., P.E. Nugent. 1980. Effect of high soil moisture on quality of muskmelon. *HortScience*, 15:258-259.
- Whitaker, T.W., G.N Davis. 1962. Cucurbits: botany, cultivation and utilization. Interscience Publications, 250 p., London.
- Wilcox, G.E. 1973. Muskmelon response to rates and sources of nitrogen. *Agronomy Journal*, 65(5):694-697.
- Xu, R.Y., Z.L. Bie, D.F. Huang 2007. Effects of nitrogen supply on the mineral composition and quality of greenhouse muskmelon fruits. *Acta Horticulturae*, 742:155-160.
- Xue, Y.X., Y.L. Li, X.Z. Wen. 2010. Effects of air humidity on the photosynthesis and fruit – set of tomato under high temperature. *Acta Horticulturae Sinica*, 37(3):397-404.
- Yard, C. 1992. Optimization de l'emploi des films plastiques dans la culture du melon. *Plasticulture*, 95:40-44.
- Yin, T.; J.A. Quinn. 1995. Tests of a mechanistic model of one hormone regulating both sexes in *Cucumis sativus* (Cucurbitaceae). *American Journal of Botany*, 82: 1537-1546.
- Zalidis, G., S. Stamatiadis, V. Takavakoglou, K. Eskridge, N. Misopolinos. 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88:137-146.
- Zapata, M. 1989. La comercialización del melón: Evolución histórica y proceso actual. *Horticultura*, 46:16-23.
- Zapata, M, P. Cabrera, S. Bañón, P. Roth. 1989. El melón. 174 p. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Zhang, Y.H., J.B. Fan, Y.L. Zhang, D.S. Wang, Q.W. Huang, Q.R. Shen. 2007. N accumulation and translocation in four japonica rice cultivars at different N rates. *Pedosphere*, 17(6):792-800.
- Zotarelli, L., M. Dukes, J. Scholberg, T. Hanselman, K. Le Femminella, R. Muñoz-Carpena. 2008. Nitrogen and water use efficiency of zucchini squash for a plastic mulch be system on a sandy soil. *Scientia Horticulturae*, 116:8-16.

Zotarelli, L., M.D. Dukes, J.M.S. Scholberg, R. Muñoz-Carpena, J. Icerman. 2009. Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, 96(8):1247-1258.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA.

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (I.N.I.A.) bajo el Proyecto INIA RTA 04-111-C3.

Del trabajo contenido en esta memoria se han derivado las siguientes publicaciones en revistas de ámbito internacional bajo los siguientes títulos:

✓ **Castellanos, M.T.**, M.C. Cartagena, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, A.M. Tarquis. 2010. Efficiency indexes for melon crop optimization. *Agronomy Journal*, 102: 716-722.

✓ **Castellanos, M.T.**, M.J. Cabello, M.C. Cartagena, A.M. Tarquis, A. Arce, F. Ribas. 2011. Growth dynamics and yield of melon as influenced by nitrogen fertilizer. *Scientia Agricola*, 68(2):191-199.

Contribuciones a congresos:

✓ **Castellanos, M.T.**, A.M. Tarquis, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, M.C. Cartagena. Field measurements of water and nitrogen losses under fertirrigated melon crop in a shallow calcareous soil in Spain. European Geosciences Union. Viena (Austria), Abril 2006. **Póster**.

✓ **Castellanos, M.T.**, F. Ribas, M.J. Cabello, N. Figuieró, M.C. Cartagena, A. Arce, A.M. Tarquis. Optimization of nitrogen fertirrigation of melon crop in a petrocalcic soil. 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia (Pennsylvania), Julio 2006. **Oral**.

✓ **Castellanos, M.T.**, M.J. Cabello, M.C. Cartagena, N. Figuieró, A.M. Tarquis, A. Arce, N. Figueiró, F. Ribas. Effect of different nitrogen levels on dry matter accumulation and partitioning in melon (*Cucumis melo* L. cv. Sancho). IX ESA Congress. Varsovia (Polonia), Septiembre 2006. **Póster**.

✓ **Castellanos, M.T.**, A.M. Tarquis, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, M.C. Cartagena. Water and nitrogen field losses as a tool for integrated water resources management and nitrate contamination. 6th International Congress of Chemistry "Chemistry and sustainable development". Puerto de la Cruz (Tenerife), Diciembre 2007. **Póster**.

✓ **Castellanos, M.T.**, M.J. Cabello, M.C. Cartagena, A.M. Tarquis, A. Arce, F. Ribas. Efecto de distintas dosis de nitrógeno en la acumulación y distribución de materia seca en melón. II Jornadas del Grupo de Fertilización de la SECH. Logroño, Noviembre 2007. **Oral**.

✓ **Castellanos, M.T.**, M.C. Cartagena, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, A.M. Tarquis. Medidas de campo del balance de agua de nitrógeno en un cultivo en melón con

fertirrigación. Jornadas de Investigación en la Zona no Saturada del Suelo. Córdoba, Noviembre 2007. **Oral**.

✓ **Castellanos, M.T.**, M.C. Cartagena, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, A.M. Tarquis. Optimización de los índices de eficiencia para el melón. V Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas- XII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Publicación. Logroño, Mayo 2009, **Oral**.

✓ **Castellanos, M.T.**, M.C. Cartagena, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, A.M. Tarquis. Assessment of different doses of N applied to a melon crop in the quality of groundwater: environmental impact indexes. European Geosciences Union. Viena (Austria), Mayo 2010. **Póster**.

✓ **Castellanos, M.T.**, A.M. Tarquis, F. Ribas, M.J. Cabello, A. Arce, M.C. Cartagena. Assessment of agricultural nitrate pollution on aquifer through impact indexes. 7th ANQUE International Congress. Oviedo, Junio 2010. **Oral**.

✓ Cartagena, M.C., A. Arce, A.M. Tarquis, F. Ribas, M.J. Cabello, **M.T. Castellanos**. Methodology to assess economic and environmental impacts of nitrogen in fertirrigation systems. European Geosciences Union. Viena (Austria), Abril 2011. **Póster**.

✓ Cartagena, M.C., **M.T. Castellanos**, A.M. Tarquis, M.J. Cabello, F. Ribas, A. Arce. Risk of nitrate pollution in agricultural systems. European Geosciences Union. Viena (Austria). **Póster**.