



UNIVERSIDAD DE MURCIA

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA,
GEOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA**

Influencia del Tipo de Enmienda Orgánica, Dosis de Riego y Acolchado de Plástico en un Cultivo de Tomate para Industria. Dinámica de Nutrientes en el Sistema Suelo-Planta, Calidad de Fruto y Producción

**Dña. Eva María Barba Corbalán
2015**



UNIVERSIDAD DE MURCIA

Facultad de Química

Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología

TESIS DOCTORAL

INFLUENCIA DEL TIPO DE ENMIENDA ORGÁNICA, DOSIS DE RIEGO Y ACOLCHADO DE PLÁSTICO EN UN CULTIVO DE TOMATE PARA INDUSTRIA. DINÁMICA DE NUTRIENTES EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA, CALIDAD DE FRUTO Y PRODUCCIÓN.

Eva María Barba Corbalán

2015



UNIVERSIDAD DE MURCIA

Facultad de Química

Dpto. de Química Agrícola, Geología y Edafología

TESIS DOCTORAL

**INFLUENCIA DEL TIPO DE ENMIENDA ORGÁNICA,
DOSIS DE RIEGO Y ACOLCHADO DE PLÁSTICO EN
CULTIVO DE TOMATE PARA INDUSTRIA. DINÁMICA
DE NUTRIENTES EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA,
CALIDAD DE FRUTO Y PRODUCCIÓN.**

EVA MARÍA BARBA CORBALÁN

2015

DIRECTORES

Antonio Sánchez Navarro

Magdalena Valverde Pérez

Agradecimientos

La realización de esta tesis doctoral ha sido posible gracias a la dirección, confianza y continuo apoyo que me han prestado los doctores D. Antonio Sánchez Navarro, D^a. Magdalena Valverde Pérez y D. Ramón Madrid Vicente. Junto a ellos, quisiera agradecerle al doctor D. Antonio Lax Muñoz todos los conocimientos que me transmitió durante el período en el que tuve la suerte de trabajar con él.

También quiero agradecer el apoyo a todos los que contribuyeron a que esto fuera posible:

A Lola y Azu con las que comencé esta larga batalla con los tomates, por hacer que algunos malos momentos no lo fueran tanto, así como a todos los que pasaron por el laboratorio: Sergio, David, Jacobo y Emilia.

A M^a José (Pepa), Jose (Bullas) y Paloma, con las que, junto con Mada, compartí mis comienzos en este mundo de la investigación, por hacer amenas tantas horas de trabajo en el laboratorio y fuera de él. Y a gracias a Germán por la ayuda que me prestó.

A Concha y Bea por su ánimo para que no abandonara este proyecto, mientras tuve la suerte de trabajar con ellas en la Facultad de Enfermería.

Y por supuesto, gracias a mi familia, mis hermanos (Ana y Antonio), mis sobrinas (Ana y Raquel), a la "Barbafamilia" al completo y a Ron y Koji, naturalmente. También a todas mis amigas y amigos, ellos saben quienes son, en especial al Dr. Rockson.

Y me dejo para el final lo más importante, mis padres (Antonio Barba Molera y María Dulce Corbalán Sánchez), que tantas veces me dijeron que acabara esta tesis, a cuya defensa tanta ilusión les hubiera hecho asistir, pero que, finalmente, no han podido verla. Lo siento.

A la memoria de mis padres

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA DURANTE LA ELABORACIÓN DE ESTA TESIS DOCTORAL.

- Ramón Madrid, Eva María Barba, Antonio Sánchez y Antonio Lino García. 2009. EFFECTS OF ORGANIC FERTILISERS AND IRRIGATION LEVEL ON PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF INDUSTRIAL TOMATO FRUIT (CV. NAUTILUS). *Journal of Science of Food and Agriculture*; 89: 2608–2615.
- E. M. Barba, A. Sánchez, R. Madrid. 2005. EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA DISOLUCIÓN DEL SUELO DURANTE EL DESARROLLO DE VARIEDADES DE TOMATE PARA INDUSTRIA SEGÚN EL TIPO DE FERTILIZANTE ORGÁNICO Y ACOLCHADO DE CULTIVO EMPLEADO. *Agrícola Vergel*; 288: 615-620.
- Barba, E.M.; Madrid, R.; Sánchez, A.; Valverde, M. 2005. EVOLUCIÓN DEL COLOR EN FRUTOS DE TOMATE PARA INDUSTRIA (VAR. NAUTILUS). INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y LA DOSIS DE RIEGO. *Agrícola Vergel*; 284: 395-400.
- E.M. Barba, M.D. López, M. Valverde, A. Sánchez, R. Madrid. 2005. CALIDAD DE VARIEDADES DE TOMATE PARA INDUSTRIA. II. PARÁMETROS FÍSICOS Y PRODUCCIÓN. *Agrícola Vergel*; 278: 69-73.
- E.M. Barba, M.D. López, M. Valverde, A. Sánchez, R. Madrid. 2004. CALIDAD DE VARIEDADES DE TOMATE PARA INDUSTRIA. I. PARÁMETROS QUÍMICOS. *Agrícola Vergel*; 276: 608-613.
- E.M. Barba, P. Ponce, M.D. López, A. Sánchez, R. Madrid. 2004. "INFLUENCIA DEL TIPO DE FERTILIZANTE ORGÁNICO, DOSIS DE RIEGO Y ACOLCHADO SOBRE EL DESARROLLO DE VARIEDADES DE TOMATE PARA INDUSTRIA. I. SUELO, MATERIA ORGÁNICA Y MATERIAL VEGETAL". *Agrícola Vergel*; 272: 409-414.

COMUNICACIONES A CONGRESOS.

E. M. Barba, A. Sánchez, R. Madrid. 2008. "EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA DISOLUCIÓN DEL SUELO SEGÚN EL TIPO DE FERTILIZANTE ORGÁNICO PARA UN CULTIVO DE PLANTAS DE TOMATE PARA INDUSTRIA". XII Simposio Ibérico de Nutrición Mineral de las Plantas. Granada.

Barba, E.M.; Sánchez, A.; Valverde, M.; Madrid, R. 2005. "INFLUENCIA DEL TIPO DE FERTILIZANTE ORGÁNICO, DOSIS DE RIEGO Y ACOLCHADO SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL COLOR SUPERFICIAL DEL TOMATE PARA INDUSTRIA (VAR. NAUTILUS)". V Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Actas Portuguesas de Horticultura, 70-74 Oporto.

E. M. Barba, P. Ponce, M. D. López, A. Sánchez, R. Madrid. 2004. "INFLUENCIA DEL TIPO DE FERTILIZANTE ORGÁNICO Y DOSIS DE RIEGO SOBRE LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE TRES VARIEDADES DE TOMATE PARA INDUSTRIA". Nutrição Mineral: Causas e consequências da dependência da fertilização. X Simposio Ibérico de Nutrição Mineral das Plantas, pp. 223-226. Lisboa.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Objetivos.....	10
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA.....	11
2.1. Localización geográfica y característica socioeconómicas.....	13
2.2. Geología y relieve.....	14
2.3. Hidrogeología	17
2.4. Edafología	21
2.5. Clima	23
2.6. Vegetación.....	27
2.7. Cultivos.....	30
3. MATERIAL Y MÉTODOS	33
3.1. Material.....	35
3.1.1. Suelo y agua para riego.....	35
3.1.2. Enmiendas orgánicas.....	36
3.1.3. Acolchado	38
3.1.4. Preparación del terreno.....	39
3.1.5. Variedades de tomate para industria.	40
3.2. Métodos.....	41
3.2.1. Toma de muestras	41
3.2.1.1. Muestreo del suelo.....	41
3.2.1.2. Muestreo de la solución del suelo.....	42

3.2.1.3. Muestro del material vegetal	42
3.2.2. Métodos de laboratorio.	42
3.2.2.1. Suelo	42
3.2.2.2. Disolución del suelo	48
3.2.2.3. Material foliar	49
3.2.2.4. Fruto.....	51
3.2.3. Métodos de campo.....	55
3.2.3.1. Diseño experimental.	55
3.2.3.2. Programación del riego	56
3.2.3.3. Determinación de la producción.....	56
3.2.4. Método estadístico.....	57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1. Suelo	63
4.1.1. Macromorfología	64
4.1.2. Datos analíticos generales	69
4.1.3. Composición granulométrica.....	77
4.1.4. Macro y micronutrientes.....	81
4.2. Disolución del suelo.....	87
4.3. Hojas.	111
4.3.1. Cenizas	112
4.3.2. Nitrógeno	114
4.3.3. Potasio.....	116
4.3.4. Calcio.....	118
4.3.5. Magnesio	120

4.3.6. Sodio.....	122
4.3.7. Hierro	124
4.3.8. Manganeso	126
4.3.9. Cobre	128
4.3.10 Cinc.....	130
4.4. Fruto.	132
4.4.1. Nutrientes.....	132
4.4.1.1. Nitrógeno.....	132
4.4.1.2. Potasio.....	135
4.4.1.3. Calcio.....	138
4.4.1.4. Magnesio	141
4.4.1.5. Sodio.....	144
4.4.1.6. Hierro	146
4.4.1.7. Manganeso	149
4.4.1.8. Cobre	152
4.4.1.9. Cinc.....	154
4.4.2. Parámetros químicos	156
4.4.3. Parámetros físicos.	159
4.4.4. Cenizas	162
4.4.5. Color superficial	165
4.5. Producción.	173
4.5.1. Producción de las distintas variedades.....	173
4.5.2. Efecto en la producción de las distintas enmiendas orgánicas con y sin acolchado de plástico	179

5. CONCLUSIONES..... 185

6. BIBLIOGRAFÍA. 191

ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Fig. 2.1: Situación geográfica de la zona de estudio	13
Fig. 2.2. Balance hídrico estación meteorológica Puebla D. Fadrique (1.110 m).....	27
Figura 2.3. Usos del suelo. Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca. 2001	30
Fig. 2.4. Cultivo de cebada.....	31
Fig. 2.5. Panorámica de un cultivo de hortalizas. Al fondo almendros y cereal	32
Fig. 3.1. Detalle del acolchado	38
Fig. 3.2. Detalle preparación del terreno e instalación del riego por goteo.....	39
Fig. 3.3. Detalle de la parcela de ensayo	41
Fig. 3.4. Determinación de pF	45
Fig. 3.5. Panorámica del campo de ensayo de tomate	56
Fig. 3.6. Detalle de tensiómetro.....	57
Fig. 3.7. Detalle EnviroSCAN	57
Fig. 3.8. Diseño de la parcela de ensayo	58
Fig. 3.9. Esquema global del ensayo de la plantación de tomate para industria	59
Fig. 4.1. Localización geográfica de los perfiles estudiados.....	63
Fig. 4.2. Panorámica perfil 1.....	68
Fig. 4.3. Perfil 1	68
Fig. 4.4. Panorámica perfil 2.....	68
Fig. 4.5. Perfil 2	68
Fig. 4.6. Niveles de C.O., N, C/N y C.E en los perfiles P1 y P2	71

Fig. 4.7. Niveles de yeso ($\text{SO}_4^{=}$) en los perfiles P1 y P2.....	73
Fig. 4.8. Valores de algunas propiedades en perfiles P1 y P2	76
Fig. 4.9. Contenidos de arcilla, limo y arena en perfil P1 y P2	78
Fig. 4.10. Difractograma de A.O. horizontes Ap	79
Fig. 4.11. Difractograma de A.O. horizontes Bw	79
Fig. 4.12. Difractogramas de A.O. saturado en Mg horizontes C1	80
Fig. 4.13. Difractogramas de A.O. saturado en Li horizontes C1	81
Fig. 4.15. Bases de cambio en perfiles P1 y P2.....	82
Fig. 4.16. Concentración (mg kg^{-1}) de Mn y P en perfiles P1 y P2.....	84
Fig. 4.17. Concentración (mg kg^{-1}) de algunos micronutrientes en los perfiles P1 y P2.....	85
Fig. 4.2.1. Evolución del pH y la conductividad eléctrica (C.E.) de la disolución del suelo a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.....	87
Fig. 4.2.2. Evolución de la concentración de nitratos (NO_3^-) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	89
Fig. 4.2.3. Evolución de la concentración de bicarbonatos (HCO_3^-) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	91
Fig. 4.2.4. Evolución de la concentración de cloruros (Cl^-) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	93
Fig. 4.2.5. Evolución de la concentración de sulfatos (SO_4^{2-}) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	94

Fig. 4.2.6. Evolución de la concentración de fosfatos ($H_2PO_4^-$) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	95
Fig. 4.2.7. Evolución de la concentración de amonio (NH_4^+) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	96
Fig. 4.2.8. Evolución de la concentración de calcio (Ca^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	98
Fig. 4.2.9. Evolución de la concentración de magnesio (Mg^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	99
Fig. 4.2.10. Evolución de la concentración de sodio (Na^+) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	101
Fig. 4.2.11. Evolución de la concentración de potasio (K^+) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	102
Fig. 4.2.12. Evolución de la concentración de hierro (Fe^{3+}) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	104
Fig. 4.2.13. Evolución de la concentración de manganeso (Mn^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña	106

- Fig. 4.2.14. Evolución de la concentración de cobre (Cu^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña 107
- Fig. 4.2.15. Evolución de la concentración de cinc (Zn^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña 108
- Fig. 4.2.16. Evolución de la concentración de boro ($\text{B}(\text{OH})_4^-$) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña 109
- Fig.4.3.1. Evolución del contenido de cenizas en hojas, expresada en % de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado. La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda 113
- Fig.4.3.2. Evolución de la concentración de nitrógeno total (Nt) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado. La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda 115
- Fig.4.3.3. Evolución de la concentración de potasio (K^+) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda 117
- Fig.4.3.4. Evolución de la concentración de calcio (Ca^{2+}) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda 119
- Fig.4.3.5. Evolución de la concentración de magnesio (Mg^{2+}) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del

ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda	121
Fig.4.3.6. Evolución de la concentración de sodio (Na ⁺) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda	123
Fig.4.3.7. Evolución de la concentración de hierro (Fe ³⁺) en hojas, expresada en mg kg ⁻¹ de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda	125
Fig.4.3.8. Evolución de la concentración de manganeso (Mn ²⁺) en hojas, expresada en mg kg ⁻¹ de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda	127
Fig.4.3.9. Evolución de la concentración de cobre (Cu ²⁺) en hojas, expresada en mg kg ⁻¹ de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda	129
Fig.4.3.10. Evolución de la concentración de cinc (Zn ²⁺) en hojas, expresada en mg kg ⁻¹ de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda	131
Fig.4.4.1.1a. Concentración de nitrógeno total (Nt) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña	133
Fig.4.4.1.1b. Concentración de nitrógeno total (Nt) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	134

Fig.4.4.1.2a. Concentración de potasio (K+) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.....	136
Fig.4.4.1.2b. Concentración de potasio (K+) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	137
Fig. 4.4.1.3. Frutos de tomate afectados de la pudrición apical de la fruta (blossom end rot) asociada con la deficiencia de calcio (Ca)	138
Fig.4.4.1.3a. Concentración de calcio (Ca ²⁺) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.....	139
Fig.4.4.1.3b. Concentración de calcio (Ca ²⁺) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	140
Fig.4.4.1.4a. Concentración de magnesio (Mg ²⁺) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña	142
Fig.4.4.1.4b. Concentración de magnesio (Mg ²⁺) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	143
Fig.4.4.1.5a. Concentración de sodio (Na+) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.....	144

Fig.4.4.1.5b. Concentración de sodio (Na^+) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	145
Fig.4.4.1.6a. Concentración de hierro (Fe^{3+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.....	147
Fig.4.4.1.6b. Concentración de hierro (Fe^{3+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	148
Fig.4.4.1.7a. Concentración de manganeso (Mn^{2+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña	150
Fig.4.4.1.7b. Concentración de manganeso (Mn^{2+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	151
Fig.4.4.1.8a. Concentración de cobre (Cu^{2+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.....	152
Fig.4.4.1.8b. Concentración de cobre (Cu^{2+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	153
Fig.4.4.1.9a. Concentración de cinc (Zn^{2+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.....	154

Fig.4.4.1.9b. Concentración de cinc (Zn^{2+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	155
Fig.4.4.4a. Cantidad de cenizas en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.....	163
Fig.4.4.4b. Cantidad de cenizas en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.....	164
Fig. 4.4.5.1. Evolución de las coordenadas colorimétricas CIELAB L^* , a^* y b^* del color superficial de tomate (var. Nautilus) según tratamientos fertilizantes y niveles de riego empleados. Las barras de error indican la desviación estándar correspondiente a cuatro repeticiones para cada tratamiento y fecha de muestreo.....	169
Fig. 4.4.5.2. Evolución de los atributos cromáticos H^* , C^* y S del color superficial de tomate (var. Nautilus) según tratamientos y niveles de riego empleados. Las barras de error indican la desviación estándar correspondiente a cuatro repeticiones para cada tratamiento y fecha de muestreo	170
Fig. 4.4.5.3. Evolución del cociente a^*/b^* y del índice de color (IC) del sistema CIELAB del color superficial de tomate (var. Nautilus) según tratamientos y niveles de riego empleados. Las barras de error indican la desviación estándar correspondiente a cuatro repeticiones para cada tratamiento y fecha de muestreo. La línea vertical discontinua corresponde al momento óptimo de maduración estimado (M.O.M) según los resultados obtenidos	171
Fig. 4.5.1. Recolección de la producción de tomate.....	172
Fig. 4.5.2. Comparativa de la producción del cultivo de tomate (var. H-244) expresada en $kg\ m^{-2}$, en el momento del corte del fruto, según	

niveles de riego y tratamientos fertilizantes empleados, para la primera (1ªC) y la segunda campaña (2ªC)	173
Fig. 4.5.3. Detalle de la diferencia de desarrollo 30 días después del trasplante. Izquierda ensayo B+P, derecha B, en segunda campaña.....	174
Fig. 4.5.4. Detalle de la diferencia de desarrollo 30 días después del trasplante. Izquierda ensayo E+P, derecha E, en la primera campaña ..	175
Fig. 4.5.5. Comparativa de la producción del cultivo de tomate (var. Ercole) expresada en kg m ⁻² , en el momento del corte del fruto, según niveles de riego y tratamientos fertilizantes empleados, para la primera y la segunda campaña	176
Fig. 4.5.6. Comparativa de la producción del cultivo de tomate (var. Nautilus) expresada en kg m ⁻² , en el momento del corte del fruto, según niveles de riego y tratamientos fertilizantes empleados, para la primera y la segunda campaña	178

ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Página</u>
Tabla 2.1. Recursos y explotación de las aguas subterráneas. Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España (1990)	18
Tabla 2.2. Quimismo y calidad de las aguas subterráneas. Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España (1990)	20
Tabla 2.3: Balance hídrico estación de Puebla D. Fadrique.....	26
Tabla 3.1. Análisis del agua de riego	35
Tabla 3.2. Análisis químico del estiércol de oveja (Solano et al., 2001; Negro et al., 1995)	36
Tabla 3.3. Datos analíticos de la enmienda orgánica convencional (Guillén, 2002; Madrid et al., 2004).....	37
Tabla 3.4. Dosis de abonado en el tratamiento convencional	38
Tabla 3.5. Estimación semicuantitativa de los minerales de la fracción arcilla.....	47
Tabla 4.1. Descripción macromorfológica.....	66
Tabla 4.2. Determinaciones analíticas generales.....	69
Tabla 4.3. Propiedades físico-químicas	74
Tabla 4.4. Composición granulométrica	77
Tabla 4.5. Elementos asimilables.....	82
Tabla 4.4.2. Parámetros químicos en el momento del corte del fruto de tomate para industria (var. Nautilus), según nivel de riego (I) y tratamiento fertilizante empleado	158
Tabla 4.4.3. Parámetros físicos en el momento del corte del fruto de tomate para industria (var. Nautilus), según nivel de riego (I) y tratamiento fertilizante empleado (T).....	161
Tabla 4.5.1. Producción de los ensayos con enmienda orgánica de estiércol (tratamientos E+P y E) para las dos campañas ensayadas, según variedades y niveles de riego.....	180

Tabla 4.5.2. Producción de los ensayos con enmienda orgánica mezcla de estiércol y turba (tratamientos EM+P y EM) para las dos campañas ensayadas, según variedades y niveles de riego	181
Tabla 4.5.3. Producción de los ensayos sin enmienda orgánica (tratamientos B+P y B) para las dos campañas ensayadas, según variedades y niveles de riego.....	183

1. INTRODUCCIÓN

El sector agrario viene sufriendo profundos cambios en las últimas décadas como consecuencia de las cada día más sofisticadas técnicas de cultivo y la introducción de sofisticadas máquinas agrícolas, todo ello dirigido básicamente a incrementar la producción y, por tanto, la rentabilidad de las explotaciones. Este planteamiento de la agricultura, sin tener en cuenta las consecuencias ambientales, ha conducido en numerosas ocasiones a la degradación progresiva del medio natural y la pérdida de su potencial productivo, aspecto que preocupa profundamente a algunos sectores de la sociedad y que viene siendo recogido en los planes de desarrollo para los próximos años.

En zonas como en la que se ha realizado el estudio, ubicada en el NE de la Provincia de Granada, los agrosistemas han sufrido profundos cambios durante los últimos 20 años al pasar de explotaciones extensivas de cereales a cultivos hortícolas intensivos, más proclives a inducir fenómenos de degradación y contaminación de suelos. En este nuevo escenario, se precisa una **gestión integral** de los recursos naturales, donde se tengan en cuenta tanto los aspectos socio-económicos relacionados con la economía agraria como los de tipo ambiental, que garanticen la mínima agresión sobre el sistema. Este planteamiento es el defendido, entre otros, por Jiménez Díaz (1998), que entiende la **agricultura sostenible** como aquel sistema de cultivo que incluye tres objetivos: conservación de los recursos naturales, protección del medio ambiente, viabilidad económica y equilibrio social.

La agricultura industrializada mal gestionada ha conducido en ocasiones a escenarios de crisis que tienen su origen en una compleja trama de problemas sociales (desempleo, despoblamiento, envejecimiento de la población rural, entre otros), económicos (incremento de los costes de producción, pérdida de renta agraria, endeudamiento de los agricultores, etc.) y ecológicos (generación de gases de efecto invernadero (GEI), pérdida de biodiversidad agraria y de fertilidad de la tierra, erosión del suelo, contaminación de agua), problemas que cada vez se hacen más patentes y de mayor intensidad. Algunos de los problemas más graves están relacionados

con el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, dos de los grandes retos ambientales y socioeconómicos de la humanidad del siglo XXI (Pimentel, 1995; Wienhold et al., 2004; García-Orenes et al., 2009; MAGRAMA, 2013).

En este escenario, el papel del suelo es de vital importancia, ya que es el soporte físico sobre el que se desarrollan los procesos natural y la actividad antrópica y, por tanto, es el recurso natural que más puede verse afectado. La velocidad de degradación de un suelo depende, entre otros factores, de sus constituyentes y propiedades macromorfológicas, entre las que destacan el contenido en coloides, sobre todo la materia orgánica y en menor medida la arcilla, la textura, estructura y tipo de horizontes diagnósticos; por todo ello, el estudio y caracterización de los suelos resulta imprescindible para hacer una gestión adecuada de los mismos.

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es uno de los frutos más ampliamente consumidos, con una producción mundial estimada de 115.001.436 Mt anuales. España es el segundo productor de tomate de Europa con 3.803.000 Mt y el tercero en superficie cultivada con 64.100 ha (FAOSTAT, 2004). La calidad de los componentes nutricionales de este cultivo son la mayor preocupación de los productores del mundo (Chapagain y Wiesman, 2004). La calidad de los tomates frescos viene principalmente determinada por la apariencia (el color y los aspectos visuales externos), la firmeza, el sabor y el valor nutritivo. La apariencia y las características organolépticas son los atributos más valorados desde el punto de vista del consumidor (Artés et al., 1998). Después de la cosecha, la maduración del fruto continua, pudiendo llegar a sobremadurarse rápidamente; esto puede provocar una pérdida de calidad y restringe la vida del fruto (Batu, 2004), por esta razón es muy importante tener en cuenta el momento óptimo del corte del fruto. La producción de frutos de calidad se controla mediante la interacción de factores genéticos, ambientales, culturales y sostenibles (Dorais et al., 2001), trasladable al fruto en conserva para que mantenga una uniformidad de calibres, pigmentación, textura, etc. La demanda de productos de calidad por parte de los consumidores y la implantación de sistemas de garantía de calidad en empresas de comercialización de productos hortícolas conduce a la

necesidad de controlar la calidad de todos los productos. Así, si en años anteriores era suficiente el análisis dirigido a muestras sospechosas de malas prácticas agrícolas, hoy día los mercados exigen el aseguramiento de la calidad de cada partida de producto comercializado, estableciendo su trazabilidad desde el campo hasta su punto final de venta, incluyendo su control analítico.

En zonas áridas y semiáridas, como en la que se ha llevado a cabo el estudio, el agua para riego es un factor de producción vital, de manera que el uso eficaz de la misma es muy importante. En los sistemas de riego por surcos, la pérdida del agua aplicada al suelo bajo el sistema de irrigación no canalizado es del 71 %; esta pérdida tan elevada de agua determina a su vez una abundante pérdida por lixiviación de nutrientes (Singandhupe et al., 2003). El sistema de riego localizado surge como una clara alternativa, en la medida que reduce los costes, incrementa la eficacia, la uniformidad del fruto y el rendimiento del cultivo. El efecto de la localización influye en la evaporación, la transpiración, la distribución de sales, etc.; mantener los niveles de humedad en el bulbo húmedo del suelo obliga a aplicar dosis reducidas de riego y con alta frecuencia. El cultivo de tomate es muy susceptible a las pérdidas de agua, pudiendo ablandarse el fruto (Mencarelli y Saltveit, 1988).

El uso racional de enmienda orgánicas de diversa naturaleza y procedencia puede suplir total o parcialmente los aportes de abonos de síntesis. En efecto, los suelos del sureste español son pobres en materia orgánica y tienen un alto índice de mineralización debido a las condiciones climáticas (Bernal et al., 1998). Así pues, la utilización de residuos orgánicos frescos o transformados supone por una parte eliminar materiales molestos y por otra incrementar la calidad de los suelos agrícolas, mejorando su fertilidad. La necesidad de encontrar vías para una agricultura sostenible pasa por optimizar los sistemas de cultivo, con las necesarias adiciones de fertilizantes orgánicos procedentes de residuos de origen vegetal y animal y el estudio diferencial de la calidad y cantidad de producción. La optimización de las dosis o aportes de estos subproductos debe asegurar una correcta nutrición del cultivo, obtener productos de calidad y no producir efectos adversos en el suelo

y aguas subterráneas. Madrid et al. (2004), Smith y Eliot (1990), entre otros, han demostrado que la adición de enmiendas orgánicas mejora la calidad del suelo, por tanto, sus propiedades físicas (estructura, permeabilidad, capacidad de retención de agua), químicas (nutrientes y capacidad de cambio catiónico) y biológicas (microflora y microfauna).

El acolchado de polietileno para cultivo permite mejorar la producción temprana, controlar las malas hierbas, reducir la lixiviación de nutrientes y favorecer la temperatura del suelo y la humedad (Bhella, 1988; Tindall et al., 1991; Ramalan y Nwokeocha, 2000).

Finalmente, cuando en la gestión de las explotaciones agrícolas no se tiene en cuenta la sostenibilidad de los agrosistemas, a medio y largo plazo pueden manifestarse episodios de degradación de los mismos y muy particularmente del suelo. Estudios realizados en suelos semejantes del Campo de Cartagena, Valle del Guadalentín y Vega Baja del Segura, han puesto de manifiesto fenómenos relacionados con la degradación del suelo por pérdida de su estructura, como consecuencia del laboreo, así como etapas de contaminación química y aumento de la salinidad, procedentes de las aguas de riego y de los agroquímicos incorporados para el desarrollo de los cultivos (Arnaldos , 2000; Vela de Oro, 2002; Vidal Otón, 2002; Martínez Álvarez et al., 2014). Por tanto, puede decirse que el uso de fertilizantes químicos puede ocasionar fuertes repercusiones medioambientales, sobre todo cuando su incorporación al suelo no es de la forma ni en las dosis adecuadas. Los efectos negativos se manifiestan en el medioambiente a través de distintos signos como es la salinización del suelo, eutrofización de aguas superficiales, alcalinización, etc.

1.1 Antecedentes y justificación.

La absorción de nutrientes por las plantas ha sido motivo de numerosos estudios a lo largo del siglo pasado, resaltando todos ellos la importancia de la fertilización en la producción, calidad y desarrollo de los cultivos (Evers et al.,

1997; Cánovas et al., 2002), si bien un mal manejo de la misma puede originar problemas tales como salinización del suelo, elevada lixiviación de nitratos, pérdidas de biodiversidad en suelo (Omar et al., 1998; Liebig et al., 2002; Huaming et al., 2006) e incluso mermas en la producción y calidad de los cultivos (Stamatiadis et al., 1999). Se ha demostrado extensamente que la aplicación de residuos y fertilizantes orgánicos puede influir positivamente en la calidad de los cultivos sin que, en muchos casos, se produzcan pérdidas de producción (Pimentel et al., 2005; Archer et al., 2007; Posner et al., 2008). En este sentido, hay estudios que demuestran que el empleo intensivo de productos químicos de síntesis en agricultura mejoran el aspecto y tamaño de las frutas y hortalizas cosechadas, pero favorecen la retención de agua por las plantas, provocan una merma en las propiedades organolépticas de los alimentos y, al contrario que los sistemas orgánicos, no contribuyen a la prevención de determinadas enfermedades degenerativas, por no poseer contenidos significativos de elementos antioxidantes, como los polifenoles (Mitchell et al., 2007; Rembiałkowska y Średnicka, 2009).

En esta línea, Herencia et al. (2008), evaluaron dos tratamientos de fertilización orgánica frente a un tratamiento convencional de fertilización mineral durante tres años en el valle del Guadalquivir. El ensayo se realizó sobre un Calcisol en el que se establecieron cinco cultivos en rotación desde la primavera de 2001 hasta el verano de 2003, concretamente, patata, lechuga, zanahoria, espinacas y tomate. Los rendimientos fueron mayores con la fertilización mineral, si bien sólo se registraron diferencias significativas en un ciclo de cultivo de espinaca en el segundo año de reconversión y en el ciclo de cultivo de tomate del tercer año.

Hargreaves et al. (2008), en un experimento realizado durante 3 años con un cultivo de fresa en un suelo franco arenoso de Canadá, compararon un sistema de producción orgánico frente al convencional. En este ensayo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo la producción mayor, incluso, en el tratamiento de fertilización orgánica.

Archer et al (2007), en un estudio realizado en Minnesota, evaluaron la

productividad de una rotación de maíz y soja en conversión a sistemas orgánicos respecto a esa misma rotación en convencional. El experimento se llevó a cabo en distintos tipos de suelo durante 4 años comparando un tratamiento de fertilización orgánica con estiércol sólido de granjas lecheras y purín de cerdo frente a un tratamiento con fertilización mineral. El estudio de rentabilidad de ambos sistemas concluye que, a pesar de los menores rendimientos en el tratamiento orgánico, la rentabilidad obtenida fue similar en ambos tratamientos, no registrándose diferencias significativas. Una de los factores que más contribuyó a la disminución de rendimiento por la presencia de malas hierbas.

Colla et al. (2002) evaluaron el rendimiento y calidad de un cultivo de tomate en un sistema orgánico en conversión respecto a un sistema convencional en un suelo franco arenoso durante dos años en Davis, California. La producción comercial de tomate por kg de nitrógeno aportado en el tratamiento orgánico fue similar al tratamiento mineral y cuanto a los parámetros de calidad medidos se observaron diferencias significativas en sólidos solubles y color, registrándose mayores valores en el tratamiento orgánico.

En trabajos previos realizados por el grupo de investigación, se observó que el almendro cultivado exclusivamente con fertilizantes orgánicos en condiciones de regadío y seco presentaba niveles óptimos de macro y micronutrientes en hoja y producciones similares a los cultivados con fertilizantes inorgánicos convencionales (Valverde et al., 2000; Sánchez-Bel et al., 2001; Sánchez Navarro et al., 2013). Por otro lado, Sánchez Romero (2010), en un estudio llevado a cabo en una zona muy próxima, llegó a la conclusión de que la producción de apio obtenida mediante agricultura ecológica era equivalente en rendimiento a la procedente de la agricultura convencional, pero por el contrario, algunos parámetros de calidad mejoraban notablemente.

A pesar de lo expuesto en los párrafos anteriores, no se han encontrado estudios donde se aborde en profundidad la influencia de las condiciones de

cultivo, y particularmente la del uso de enmiendas orgánicas, en el sistema suelo-planta. Hay muy escasas referencias que estudien el comportamiento del perfil del suelo en su conjunto, ni tampoco la biodisponibilidad de nutrientes en la solución del suelo y la absorción de éstos por los cultivos, así como la influencia que todo ello puede tener en el rendimiento y la calidad de la cosecha.

Por otro lado, este tipo de investigación puede servir de base científica y técnica en la nueva Política Agrícola Común (PAC), ya que ésta contempla múltiples aspectos relativos a la gestión sostenible de recursos, entre otros el suelo. En las buenas condiciones agrarias y medioambientales (BCAM), desde que se introdujo la condicionalidad a las ayudas de la PAC en 2003, se hace hincapié en limitar la erosión, retener y aumentar la materia orgánica y evitar la salinización. Con los resultados obtenidos en los primeros años de aplicación, la Comisión de las BCAM, ha propuesto recientemente concretar más las normas sobre protección del suelo, atenuación de la degradación y conservación de la materia orgánica en el contexto de la reforma global de la PAC con vistas al Horizonte 2020.

Por todo ello, puede decirse que este trabajo de investigación es plenamente vigente en el presente y de interés para un futuro inmediato, por lo que está doblemente justificado. Por un lado, las lagunas de investigación existentes en la dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta, así como la influencia que sobre las propiedades del suelo, en todos los horizontes del perfil, pueda tener el tipo de fertilización empleada, nos obliga a profundizar en estas líneas de investigación para poner de manifiesto los factores implicados, como pueden ser el tipo de suelo en que se desarrollan, variedades, condiciones edafológicas y climáticas, tipos y cantidades de enmiendas aplicadas con el fin marcar las pautas para una gestión sostenible de estos agrosistemas.

1.2. Objetivos.

El objetivo global de este proyecto es el estudio de la influencia en el sistema *suelo-planta-fruto* de diversas enmiendas orgánicas, dosis de riego y acolchado de plástico en un cultivo de tomate para industria, como base para una gestión sostenible de dichos agrosistemas, para la optimización de su uso como fertilizantes orgánicos de calidad en el cultivo del tomate para industria. Se considerará su efecto en la evolución de las propiedades y constituyentes del suelo así como los cambios macromorfológicos y mineralógicos que pudieran tener lugar, para prevenir su degradación. Este objetivo global se concreta en los siguientes objetivos específicos.

1. Determinar la influencia del cultivo de hortalizas en las características y propiedades del suelo, para lo que se realizará un estudio de la evolución en el tiempo de algunas propiedades del suelo en todos y cada uno de los horizontes de éste.
2. Estimación cuantitativa y cualitativa de la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo en función del abonado efectuado, mediante el uso de sondas de succión.
3. Evaluar el estado nutricional del cultivo en función del tratamiento de fertilización efectuado, a partir del nivel de macro y micronutrientes obtenidos mediante análisis foliar a lo largo del ciclo de desarrollo.
4. Determinar los parámetros físicos y químicos más importantes para la caracterización adecuada de la calidad del fruto y para definir el momento de recolección más adecuado.
5. Evaluar la producción/rentabilidad de los distintos ensayos efectuados y determinar los factores que más influyen en la misma.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA.

2.1. Localización y características socioeconómicas.

La zona de estudio se encuentra en las Coordenadas U.T.M.: 30SWG498890 y forma parte del término municipal de Puebla de Don Fadrique, en la comarca de Huéscar, que, junto con la de Baza, circunscriben el altiplano del noroeste granadino, lindando con las provincias de Jaén, Albacete, Murcia y Almería (Figura 2.1). Concretamente la Puebla de Don Fadrique se encuentra a una altitud sobre el mar de 1160 m, con una extensión superficial de 523,4 km² y una población total en 2013 de 2370 personas (Instituto de estadística y cartografía de Andalucía, 2013).

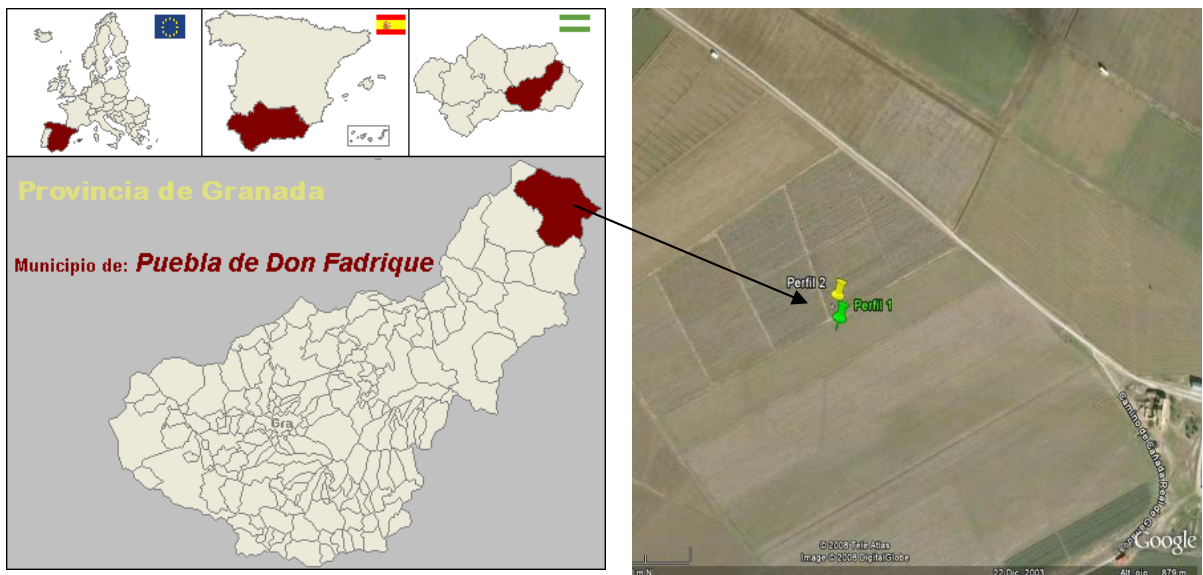


Fig. 2.1. Situación geográfica de la zona de estudio.

Se trata de una amplia fosa de configuración formada por una gran llanura central que se extiende hacia el noreste, la altiplanicie de Huéscar-Puebla, con una altitud media de 1.000 m. y una serie de formaciones montañosas conformadas por la Sierra de la Junquera y el Morrón de los Lobos, con cotas que alcanzan los 1.800 m. En la parte central de la llanura Huéscar-La Puebla destacan una serie de pequeñas sierras calizas que rompen el paisaje un tanto monótono de la misma, de entre ellas cabe destacar

la Sierra de Alcantín, con cotas de 1.300 m, situada al lado de la parcela de ensayo, cerro del Romero (1.230 m), los Morenos (1.425 m) y Moraleja (1.500 m), estos últimos situados un poco más hacia el norte, discurriendo al sur de la carretera la Puebla-Caravaca. En la zona este destaca la Sierra de la Zarza con cotas que alcanzan los 1.500 m.

Desde un punto de vista socioeconómico se mantiene un entorno eminentemente rural, vinculado al sector primario, en parte gracias a las subvenciones, permaneciendo en muchos municipios (Orce, Castillejar, Puebla de Don Fadrique, etc.) como la actividad principal. Sin embargo esta alta subsidiación, aunque contribuye al sustento económico de la zona, en cierto modo, hipoteca el futuro de sus campos pues se está gestando un sector excesivamente dependiente de decisiones que escapan a los propios agricultores y se adoptan en las altas esferas europeas, lo cual está desarticulando el sector y dejándolo sin perspectivas. Es aquí donde los nuevos cultivos tienen que tomar la iniciativa en el sector agrario de la comarca, pasando de una agricultura tradicional de herbáceos y de leñosos mediterráneos a un modelo mixto donde se alternen éstos con cultivos hortícolas y leñosos de altos rendimientos económicos.

En base a los datos suministrados por el censo agrario de 2009 de la Junta de Andalucía, las comarcas de Baza y Huéscar poseen en catastro un total de 228.123 ha de las que 188.941 ha (82.82 %) eran superficie agraria útil (S.A.U.). Ciñéndonos a dicho censo, las explotaciones con SAU en las comarcas de Baza y Huéscar son 6.168. Realizando un primer análisis, nos llevaría a la conclusión de que estamos en una zona minifundista, ya que el 46.03 % de las explotaciones de la comarca tiene una superficie inferior a las 5 ha situándose la media comarcal entorno a unas 15 ha (Instituto de estadística y cartografía de Andalucía, 2009).

2.2. Geología y relieve.

En la Puebla de D. Fadrique, según el I.G.M.E. (1978), se encuentran materiales que corresponden a los dominios Subbético y Prebético además de

un conjunto de materiales post-orogénicos que ocupan grandes extensiones y se dedican fundamentalmente a la agricultura.

Subbético.

Está representado en la Hoja por la mayoría de las Sierras que destacan en el paisaje y conforman las Sierras de Junquera, Morrón de Lobos, Morrón de Carboneros, sierra de Alcantín, cerro Reolíd, los Morenos, cerro Gordo y sierra de la Zarza, principalmente. En el mismo aparecen diferentes pisos donde predominan facies calizo dolomíticas del Jurásico y en menor proporción margas del Cretácico. Puntualmente también se han descrito margas abigarradas del Triásico.

Prebético.

Prácticamente sólo aflora en el cuadrante noroeste y en una franja en el borde norte de la Hoja. En él hay representados diferentes pisos del Paleógeno y Neógeno donde predominan margas de distintas tonalidades, margo calizas y calizas arenosas.

Materiales post-orogénicos.

Son los materiales que ocupan la mayor parte de la superficie de la Hoja, aproximadamente dos tercios de la misma. Predominan margas y conglomerados del Mioceno Superior y Plioceno, así como sedimentos heterométricos de edad cuaternaria. Es precisamente sobre estos últimos donde se encuentra situado el campo de ensayo.

El relieve viene condicionado por la historia geológica y los materiales que la componen. La zona, como ya se ha indicado, presenta una gran llanura que ocupa la parte central extendiéndose hacia el noroeste. Las cotas máximas se alcanzan en la Sierra de Junquera con la cota de los Lobos de 1.800 m. El resto es una altiplanicie con una altitud media de 1.000 m. donde destacan una

serie de sierras calizas y montes resaltando netamente sobre dichas zonas llanas.

Existen seis clases de relieve en función del porcentaje de inclinación en nuestra zona de estudio y se distribuyen como sigue:

- Clase 1: de relieve prácticamente llano o casi llano (0-2 %), ocupa unas 10.500 Has y se extiende por las Casas de D. Juan en el sur, la Hoya, Casa Blanca, Toscana, Cuartos Nuevos de Abajo, en la zona central sobre materiales aluviales de inundación. Hacia el noreste y casi unida a la unidad descrita existen dos áreas sobre materiales cuaternarios, que se extiende en los alrededores de los Cortijos las Lomas y Arias así como el área comprendida entre el Entredicho y El Moral, al Sur de la N-330. En el Sur se extiende por los llanos de Barrás y Cobatillas. En esta clase se encuentra situada la parcela de ensayo.

- Clase 2: suavemente inclinada (2-6 %), ocupa unas 14.600 ha. Existe una gran zona que ocupa toda el área central, alrededor de la clase 1 y sobre materiales cuaternarios y pliocenos, conglomerados, glaciares, arcillas y limos. También aparecen numerosas áreas de esta unidad repartidas aleatoriamente. Las áreas principales se extienden por, las Lomas, Cortijos Nuevos, La Capellanía y Los Serranos en el Sur y por el Saladillo, este de Almaciles por todo el borde norte a lo largo de la N-330 y en una amplia zona al norte y este de la Puebla de D. Fadrique. Por último existen numerosas pequeñas zonas que ocupan los rellenos entre las sierras existentes.

- Clase 3: inclinada (6-13 %), ocupa unos 12.000 ha. Está irregularmente distribuida por la Hoja sobre materiales cuaternarios, pie de monte y glaciares principalmente, así como margas y limos miocénicos. Se trata de un paisaje formado por suaves colinas sobre los materiales descritos.

- Clase 4: moderadamente escarpada (13-25 %), ocupa unas 10.000 ha. Su zona de ubicación está localizada en la mitad oeste, alrededor de las sierras calizas de la Junquera y Morrón del Lobo y en el norte, sobre materiales

terciarios, calizas arenosas, calizas conglomeráticas y calizas que conforman un paisaje un tanto accidentado. También existen grandes áreas alrededor de la sierra de la Zarza sobre derrubios de ladera. Se trata de formaciones con pendientes ya bastante acentuadas.

- Clase 5: escarpada (25-55 %), ocupa unas 7.300 ha, que representan un 13 % del total y están localizadas en las sierras calizas del oeste de la Hoja. La principal zona se encuentra en la Sierra de la Junquera. Esta unidad debido a las fuertes pendientes presenta en numerosos puntos vestigios de la erosión que padece.

- Clase 6: muy escarpada (más de 55 %), ocupa unas 20 ha. Se limita a las zonas de escarpes en áreas calcáreas de la Sierra de la Junquera; también existen pequeños puntos aislados repartidos por la zona, aunque su influencia en la misma es muy escasa.

2.3. Hidrogeología.

La red hidrográfica de este territorio vierte sus aguas al Guadiana Menor, constituye básicamente su cuenca alta y media. De los ríos y arroyos que desembocan en él, parece ser que, el que por su perfil, caudal y distancia a la desembocadura cumple las características para ser el origen principal de la cuenca es el Barbata, también denominado Bravatas o Huéscar (cambiando el nombre al pasar por Galera y tomando el de la localidad). Nace en la Sierra de Guillimoma, entre las provincias de Granada y Albacete.

El importante sistema de acuíferos subterráneos de la zona posibilita el almacenamiento natural de grandes cantidades de agua. Este aspecto es muy importante en nuestro territorio debido a la escasez, al carácter torrencial de las precipitaciones y a las altas temperaturas alcanzadas durante el verano, ya que los acuíferos permiten una mejor regulación de este recurso y son menos sensibles a la aridez estival.

La mayor parte de los acuíferos de las comarcas de Baza y Huéscar son de naturaleza kárstica. Los acuíferos kársticos o carbonatados están constituidos por los materiales calizos, margosos y dolomíticos sobre los que se moldean los relieves propios de buena parte de las sierras de la zona. Pueden ser agrupados en dos conjuntos según el ámbito geológico: los relacionados con las unidades del Prebético y del Subbético (sierras de Castril, Cabrilla, Seca, Sagra, Montilla, Jurena, etc.), situados en las inmediaciones de la zona de estudio, y los que se integran en la unidad del Complejo Alpujárride (la parte granadina de la Sierra de las Estancias y la Sierra de Baza occidental) mucho más distanciados. Todas las explotaciones agrícolas de regadío situadas en las inmediaciones de la zona de estudio se abastecen del acuífero carbonatado de las sierras de Montilla-Puebla-Huéscar, que se nutre básicamente en las unidades Subbéticas y que con 280 km² de superficie de captación es el de mayor extensión de la provincia.

Los recursos y explotación de las aguas subterráneas se presenta en la tabla 2.1. Para los sistemas que se extienden fuera de los límites provinciales, entre paréntesis se indica el valor estimado tanto para la superficie y los recursos correspondientes a la fracción del sistema incluida dentro de los límites provinciales. La cifra se ha estimado, en la mayor parte de los casos, en la proporción de superficie descrita.

Tabla 2.1. Recursos y explotación de las aguas subterráneas. Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España (1990).

ACUIFEROS	Superficie (km ²)	PRINCIPALES COMPONENTES DEL BALANCE (hm ³ /año)				
		Recursos		Salidas		
		Internos	Externos	Emergente	Subterránea	Bombeos
Castril	480(184)	130(50)	0			
Sierra de Duda-La Sagra	50	7	0	--	6,41	--
Sierra de Montilla-Puebla-Huéscar	280	21	0	16.8		4.2
Jabalcón	10	1.2				
Sierra de las Estancias	210(68)	16,5(2)	--	--	--	--
Sierra de Baza	272	35	0	15	19	1
Baza-Caniles	300(264)	12	8.5	19.75	1-1.5	--

Las salidas por emergencias se refieren a las obtenidas a partir del control de los principales manantiales. Las cifras se refieren al total de cada sistema, sin distinguir las correspondientes a la zona. Las salidas subterráneas son, en todos los casos, estimadas. En algunos sistemas no se dispone de datos al respecto y en otros no existen argumentos para distinguir entre ambas partidas.

También hay que destacar que la mayor parte de los recursos proceden de la superficie de alimentación propia de cada acuífero, en el único que se estiman recursos externos apreciables es en el acuífero detrítico de Baza-Caniles, éste recibe unos aportes externos de 8.5 hm³/año, lo cual supone un 65 % del total de los recursos recibidos de esta forma, en nuestro territorio. De las salidas subterráneas se han realizado estimaciones, el resultado ha sido de 23 hm³/año, de los que 19 hm³/año corresponden a salidas subterráneas del acuífero de la Sierra de Baza. Las salidas por bombeo también han sido estimadas para algunos casos, el total de las estimaciones supone 5,2 hm³/año de los que un 80,7 % se extraen del acuífero de Sierra de Montilla-Puebla-Huéscar y en su mayor parte van destinadas a los nuevos regadíos situados en las inmediaciones de la zona de estudio.

En general, el grado de explotación de los recursos subterráneos es bajo. La extracción por bombeos supone menos de un 4 % del total de recursos, y las salidas, emergentes y subterráneas, suponen un 54 %.

Respecto a la calidad de las aguas subterráneas presenta las siguientes características: la salinidad se considera baja en la mayoría de los casos (inferior a 1 g/l), aunque en casos puntuales puede llegar a los 5 g/l, debido a la presencia de facies sulfatadas cálcicas o calcicomagnésicas. La dureza, muy en relación con la mineralización, es en general alta (35-65 °F), incluso llegan a ser muy altos, más de 65 °F (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Quimismo y calidad de las aguas subterráneas. Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España (1990).

Acuíferos	Facies	Salinidad	Dureza	Calidad	
	Hidroquímica	(g/l)	(°F)	Urbano	Agrícola
Castril	B-C	<1	12 a 35	P	C ₁ S ₁
Sierra de Duda-La Sagra	B-C	<1	12 a 35	P	C ₁ S ₁
Sierra de Orce	S-MC, B-C	<1	35 a 65	P	C ₂ S ₁
La Zarza	S-MC	<1	35 a 65	P	C ₂ S ₁
Jabalcón	S-C, C-S	1 a 3	35 a 65	SP	C ₂ S ₁
Sierra de las Estancias	S-C, B-MC	1 a 3	>65	SP	C ₃ S ₁
Sierra de Baza	BS-CM	<1	12 a 35	P	C ₁ S ₁
Baza-Caniles	S-C, B-CM,	<1	35 a 65	P	C ₂ S ₁
	S-CM	1 a 5	> 65	SP	C ₃ S ₁

La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación depende básicamente del comportamiento hidrogeológico de los materiales presentes en superficie. Las áreas más vulnerables son aquellas en las que afloran materiales muy permeables y/o fisurados, por lo que el riesgo de contaminación es mayor en los acuíferos carbonatados que en los constituidos por formaciones detríticas. La mayor vulnerabilidad de los materiales carbonatados es consecuencia de la mayor permeabilidad y transmisividad que suelen presentar, en especial aquellos con karstificación bien desarrollada, en los que la velocidad de circulación de las aguas y, con ello la propagación de la contaminación, es máxima y, por el contrario, la capacidad de retención del agente contaminante y de autodepuración está muy limitada. Son las calizas del Jurásico inferior de las unidades subbéticas y, en menor medida, los materiales dolomíticos subbéticos y prebéticos, los que mayor grado de karstificación presentan y por tanto los más vulnerables. La karstificación en las dolomías y calizo-dolomías de las unidades alpujárrides es, en general, menos pronunciada.

Por su parte, los materiales detríticos presentan un mayor poder de retención de contaminantes y una mayor capacidad de autodepuración, debido

a características granulométricas y a las condiciones de flujo más lento que les son propias. Sin embargo presentan el inconveniente de que la regeneración es lenta y difícil, una vez que la contaminación se ha producido.

Aunque, por su naturaleza, los acuíferos detríticos sean los menos vulnerables a la contaminación, suelen ser estos los más afectados. Esto es debido a que suelen estar relacionados con topografías suaves, lugares adecuados para los asentamientos humanos, no sólo núcleos urbanos, sino que también son lugares idóneos para llevar a cabo actividades industriales, agrícolas, ganaderas, mineras, etc. y, por tanto, sobre este tipo de acuíferos se encuentran los principales focos de contaminación.

Entre las fuentes potenciales de contaminación con incidencia en la zona destacan: residuos agrícolas, aguas de riego contaminadas con fitosanitarios y el empleo abusivo de fertilizantes, especialmente los nitrogenados.

2.4. Edafología.

Los tipos de suelos, según FAO (2006), que aparecen en la zona de estudio y en sus inmediaciones, así como sus características más importantes se describen a continuación:

Leptosoles

Se trata de suelos sometidos a fuertes procesos erosivos, por lo que están en continuo rejuvenecimiento. Su principal característica es que están limitados en profundidad por la roca madre, que en ocasiones llega a aflorar. En la zona se desarrollan sobre calizas y dolomías, presentándose sobre pendientes superiores al 25 % y con un alto porcentaje de pedregosidad. Se trata de suelos excesivamente drenados, debido a su escaso espesor y al bajo contenido en arcilla y limo. Están distribuidos ampliamente por toda la geografía de la zona, relacionados con las áreas más abruptas de los abundantes macizos de roca carbonatada. Se han descrito en la zona Leptosoles Líticos y Réndnicos.

Fluvisoles

Son suelos formados por la deposición de materiales aluviales recientes. Se trata por lo general de suelos profundos de perfil poco diferenciado. Ocupan fondos de valles y depresiones, en un relieve prácticamente llano. Comprenden, además de los propios valles fluviales, las vegas más fértiles. En la zona, los Fluvisoles Háplicos (Calcáricos) son mayoritarios, esto es, presentan una acumulación de carbonatos mayor al 2 %.

Kastanozems

Se trata de suelos con un horizonte A móllico, textura franca y que presentan una buena estructura. Son calcáreos y con el complejo de cambio saturado. Se presentan sobre pendientes suaves y predominantemente en orientación norte. Destacan los Kastanozems Cálcidos y Petrocálcidos.

Phaeozems

Son suelos bastante evolucionados y que siempre se presentan sobre derrubios de ladera. Se trata de suelos con un horizonte A móllico y que siendo calcáreos no llegan a presentar acumulación de carbonatos en los horizontes profundos.

Calcisoles

Estos suelos están ampliamente representados en la zona de estudio y aparecen asociados a sedimentos cuaternarios, depósitos de piedemonte, glaciares y, en general, materiales calcáreos que por su naturaleza han permitido el lavado y translocación de carbonatos. Precisamente es este proceso edáfico el que permite diferenciar los dos taxones más frecuentes en la zona, los Calcisoles Hipercálcidos y los Calcisoles Pétricos, según el horizonte de acumulación de carbonato sea cálcico o petrocálcido, respectivamente. En la mayoría de ocasiones, estos suelos se encuentran cultivados, preferentemente de cereales y leñosos de secano.

Cambisoles

Son suelos más evolucionados, con un perfil de tipo A-B-C. El horizonte B es un cámbico, que se caracteriza por ser un horizonte de alteración, con

mayor porcentaje de arcilla y un color más rojo y más intenso que el horizonte subyacente, presenta lavado de carbonatos, posee un buen desarrollo de estructura edáfica y carece de horizonte de acumulación de CaCO_3 y de arcilla iluvial.

Regosoles

Son suelos que se han formado sobre materiales no consolidados como las margas, calizas margosas, margas con yeso, etc., que a su vez no son de aporte reciente. Son formaciones muy poco evolucionadas, de perfil tipo AC, debido a factores climáticos y morfogenéticos, que se clasifican mayoritariamente como Regosoles Háplicos (Calcáricos)

2.5. Clima.

Los parámetros climáticos con mayor incidencia en los procesos que afectan a la evolución del suelo, así como del uso aplicado que de éste puede hacerse, son la precipitación y la temperatura. Ambos condicionan el edafoclima o clima del suelo, que viene definido por los distintos regímenes de humedad y temperatura establecidos por Soil Taxonomy (USDA, 2010).

En relación con este factor formador del suelo, hay que indicar que el noroeste de la provincia de Granada tiene una situación cercana a dos grandes centros de acción atmosférica, el Mediterráneo y no lejos del Atlántico, lo que unido a su accidentado relieve permite una diferenciación en regiones climáticas dentro de la provincia: las altiplanicies y depresiones interiores y las serranías.

Las altiplanicies y depresiones se encuentran a una altitud entre 700 y 1050 m sobre el nivel del mar, pero con picos montañosos de considerable altura como es La Sagra, con 2831 m, y además sierras que producen un efecto de "sombra de lluvia". Las sierras ocupan las zonas más extensas de la comarca, llegándose a alcanzar en varios de sus picos altitudes que superan los 2000 m sobre el nivel del mar. Al aumentar la altitud aumentan las precipitaciones y disminuye la temperatura, por lo que llegan a ser

considerables las diferencias climáticas con respecto a las altiplanicies y depresiones.

Así en esta región se da un clima mediterráneo continental, caracterizado por unos veranos calurosos, soleados, secos y sin nubes y un invierno frío y prolongado, de nubosidad media y lluvias relativamente escasas; con unas estaciones intermedias, primavera y otoño, poco diferenciadas, con temperaturas suaves y húmedas. Los inviernos son fríos, con temperaturas absolutas por debajo de cero durante muchos días de invierno y los veranos calurosos, alcanzándose máximas por encima de los 40 °C.

La mayor parte de las precipitaciones se producen en las estaciones de primavera e invierno, en otoño pueden ser también considerables, durante el paso del frente polar del norte al sur. En general, llueve pocos días, y frecuentemente de forma torrencial cuando lo hace en el verano. La estación con diferencia más seca es verano, alcanzándose los mínimos en los meses de julio y agosto. Esta escasez de precipitaciones solamente es rota por las pequeñas, rápidas y localizadas tormentas veraniegas, pudiendo ser estas en alguna ocasión en forma de granizo. Las temperaturas mínimas se alcanzan en enero y las máximas en julio-agosto, pudiendo ser estas máximas y estas mínimas temperaturas absolutas. No son extrañas las nevadas en los meses de enero y febrero. La amplitud térmica (salto térmico) es alta, de unos 18 a 20 ° C, aunque debido a las condiciones topográficas de la comarca hace que sea algo más elevada y superior para la estación cálida. Debido a la continentalidad y la altitud de la zona existe un periodo de heladas de 3 meses, produciendo en muchos días de invierno escarcha. Así mismo, la primera helada suele registrarse a principio de noviembre y la última en abril o incluso mayo.

Una característica fundamental del clima mediterráneo continental (y del mediterráneo) es la ausencia de precipitaciones durante 3-5 meses en verano debido al dominio del anticiclón subtropical.

Para el establecimiento de las principales características del clima de la zona estudiada se han utilizado los datos termopluviométricos aportados por

las estaciones que se localizan en la zona de estudio y otras que por su orientación, posición y cercanía al área sirven para la determinación del clima en sus dos parámetros fundamentales: temperatura y precipitación.

Los datos climáticos de base existentes (tabla 2.3.) son los elaborados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y el Instituto Nacional de Meteorología y abarcan, en la mayoría de los casos, un periodo de veinte años, que es el recomendado para este tipo de estudios.

A partir de los valores mensuales medios de precipitación y temperatura, se han calculado los de evapotranspiración potencial, ETP, y se ha confeccionado un balance hídrico, asignando al suelo, como es bastante usual, una capacidad de almacenamiento de agua o reserva, R, de 200 mm.

Como puede observarse (tabla 2.3 y figura 2.2.), la precipitación anual media, P, alcanza valores de 340 mm, mientras que la temperatura media anual, T, posee valores medios de 12.7 °C, la evapotranspiración potencial media, ETP es de 720.6 mm, debido a lo cual el déficit hídrico del suelo es de 380.6 mm

Tabla 2.3: Balance hídrico estación de Puebla D. Fadrique

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
P (mm)	13,9	23,7	50,0	39,5	37,1	7,7	3,1	22,5	18,7	42,6	40,8	40,4	340
ETP (mm)	9,5	12,5	27,5	39,8	70,8	126,3	140,3	126,7	83,9	51,6	20,6	11,1	720,6
ETR (mm)	9,5	12,5	27,5	39,8	70,8	61,3	3,1	22,5	18,7	42,6	20,6	11,1	-
VR (mm)	4,4	11,2	22,5	-0,3	-33,7	-53,6	0,0	0,0	0,0	0,0	20,2	29,3	-
R (mm)	53,9	65,1	87,6	87,3	53,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,2	49,5	-
DEF (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	137,2	104,2	65,2	9,0	0,0	0,0	380,6
SUP (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T (°C)	4,2	5,2	8,0	10,0	14,1	21,5	23,1	22,5	18,1	13,4	7,5	4,8	12,7

Datos estación. X: 554482.0; Y: 4192456.0; Latitud: 37° 52' 38" N; Longitud: 02° 22' 49" W; Altitud: 1110.0. (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2004).

Teniendo en cuenta estos valores podemos afirmar que el régimen de humedad del suelo en la zona de estudio es arídico, aunque en las inmediaciones podrá llegar a xérico, cuando la orientación, topografía, altitud, vegetación, etc. permitan que el agua pueda permanecer durante más tiempo en el suelo. El régimen de temperatura es méxico.

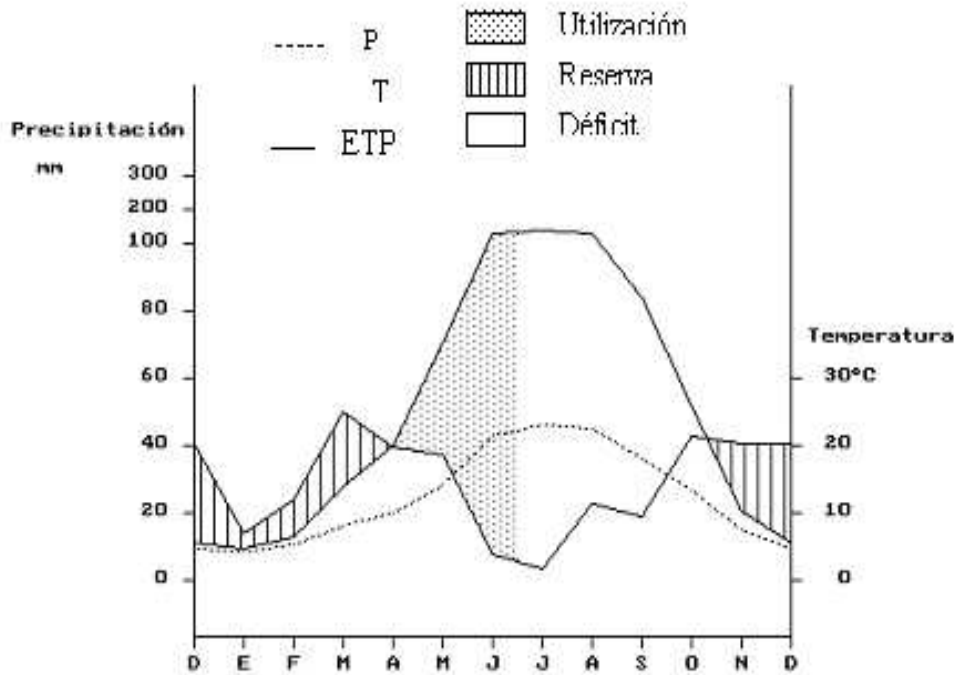


Fig. 2.2. Balance hídrico estación meteorológica Puebla D. Fadrique (1.110 m).

2.6. Vegetación.

Biogeográficamente se encuadra en la provincia Bética, sector Subbético (Rivas-Martínez et al., 2002). Dentro del mismo corresponde al subsector Cazorlense.

La vegetación potencial corresponde en los suelos de laderas y llanos no afectados por hidromorfía al Paeoniocoriaceae-Quercetumrotundifoliae, pero en las zonas rocosas del entorno se han cartografiado sabinares (Rhamnolycioidis-Juniperetumphoeniceae) (Rivas-Martínez, 1964). También se

han cartografiado en los cerros de la zona tomillares del *Thymoorospedani-Cistetumclusii* (Valle et al., 1988).

En la actualidad el ámbito potencial de estos bosques se corresponde con las mejores tierras de cultivo, la vegetación espontánea ocupa las tierras marginales y la escasa superficie de estos bosques esclerófilos se suma a su importancia ecológica, convirtiéndolos en bosques de gran valor donde puede compatibilizarse el uso y la conservación. Los romerales se desarrollan sobre suelos pedregosos básicos, representando la etapa serial de degradación del encinar.

Las sierras destacan de las altiplanicies situadas al sur y sureste, lo que les confiere unas características climatológicas y ecológicas particulares, fundamentalmente debido a los acusados gradientes hacia una mayor humedad; funcionan como islas bioclimáticas en un entorno árido. Presentan actualmente diversidad de formaciones vegetales que poseen un estado de conservación muy variable. La mayor parte se corresponde con pinares de repoblación, pinares autóctonos y formaciones arbustivas con pastizal, apareciendo en menor medida encinares. Las diferencias en altura y geología condicionan las formaciones vegetales, relativamente diversas, con varios endemismos. Las abundantes repoblaciones de coníferas forman la vegetación arbórea más representativa del paisaje.

El piso Supramediterráneo aparece ocupando la banda altitudinal delimitada por la curva de 1.300 m en las exposiciones umbrosas y la cota de 1.804 m de la cota de solana.

El Piso Oromediterráneo se corresponde a las zonas más elevadas de La Sagra y Castril.

La fuerte acción antrópica, talas originadas por prácticas como el carboneo, extracción de madera para industria, así como el pastoreo, cultivos extensivos de cereal y frutales de secano, etc., sufrida desde antiguo ha

originado la pérdida de la mayor parte de la vegetación potencial de la zona que ha sido sustituida por los cultivos o vegetación actual correspondiente.

La ganadería extensiva, que continua siendo en éste área un recurso económico estimable, se comporta indudablemente como un claro inhibidor de la recuperación/regeneración de las formaciones arbóreo/arbustivas y de matorral existentes. Las causas no resultan difíciles de analizar y diagnosticar:

La extensión de las áreas cultivadas y los característicos ciclos vitales de las especies implantadas en estas, determinan que el máximo esfuerzo ganadero sobre las formaciones naturales, más o menos degradadas, que vegetan en la superficie de la zona, se tenga que producir en el periodo álgido de crecimiento y floración de éstas. Las duras condiciones ombrotérmicas y edáficas del espacio, no propician una recuperación de las pérdidas anteriormente reseñadas, durante los periodos en los que el ganado encuentra recursos en las rastrojeras de los extensos cultivos de cereales y almendro.

Los trabajos forestales (tratamientos silvícolas) realizados de manera mecánica o manual, según los casos, propician perturbaciones de diversa índole: eliminación de porcentajes elevados de elementos arbustivos y subarbustivos autóctonos (podas de eliminación de aquellas especies que no son objeto de protección o incentivación de su crecimiento por el tratamiento en cada caso diseñado; etc.).

Las zonas provistas de comunidades naturales no sometidas a actuaciones silvícolas o aquellas que lo han sido con baja intensidad, presentan comunidades en un aceptable estado de conservación, con vitalidad y capacidad de regeneración media, que en algunos puntos (tratamientos selectivos del chaparral ubicado en la cuenca del río Bravatas) cabría considerar ésta siendo potenciada.

2.7. Cultivos.

En la figura 2.3. se representa la distribución de los usos del suelo atendiendo al porcentaje de superficie ocupada, a partir de los datos de la Consejería de Agricultura y Pesca (2001). Se puede ver como el monte abarca el mayor porcentaje de terreno, seguido a poca distancia por las tierras ocupadas por cultivos herbáceos. El barbecho y otras tierras no ocupadas, y los prados, pastizales, erial a pastos y espartizales también tienen gran importancia en la zona.

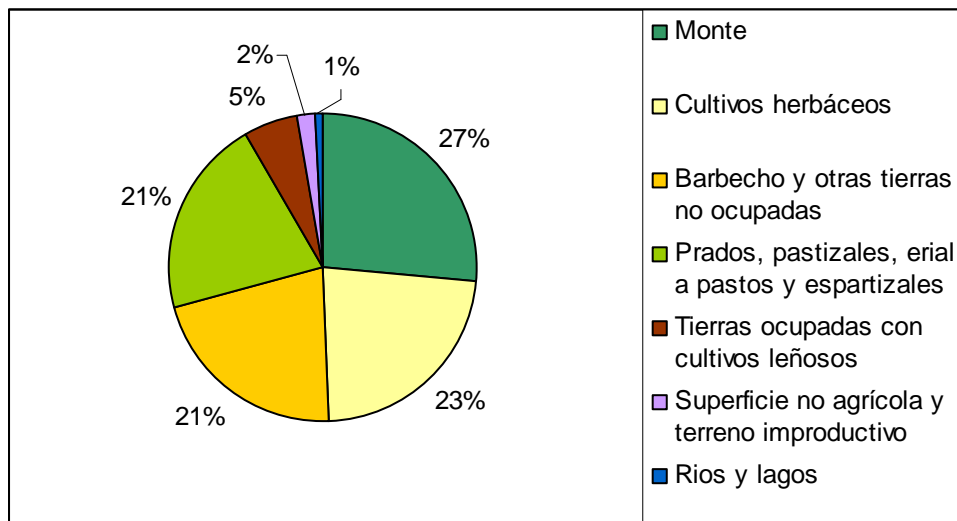


Fig. 2.3. Usos del suelo. Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca. 2001.

En la zona dominan las labores de secano (89 %) y dentro de estas tierras destacan por la superficie que ocupan el cultivo de cereal (figura 2.4), siendo la dureza climática y la suavidad de los relieves factores determinantes.

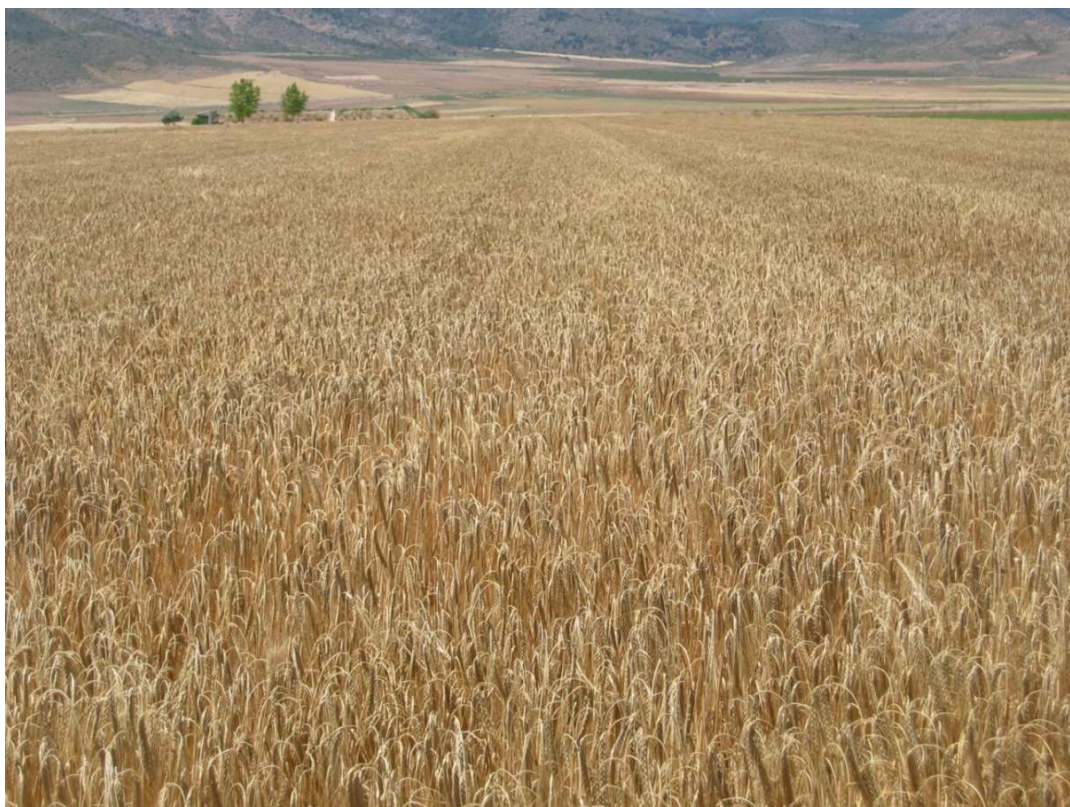


Fig. 2.4. Cultivo de cebada.

Junto con los cereales, existen también plantaciones de leñosos que, junto con el barbecho obligatorio para acogerse al régimen de subvenciones de la PAC, cubren la mayor parte de la superficie agrícola de la zona. Los frutales de secano, y de forma específica diversas variedades de almendro, ocupan las superficies más significativas.

Dentro de la distribución secano-regadío los herbáceos son los cultivos más extendidos, pues ocupan 41.237 hectáreas.

Por último, las áreas dedicadas al cultivo de regadío han sufrido un cambio drástico en su aprovechamiento agrícola. En ellas se está desarrollando una agricultura a base de hortalizas estivales donde se emplean las más sofisticadas y avanzadas técnicas de cultivo (figura 2.5).



Fig. 2.5. Panorámica de un cultivo de hortalizas. Al fondo almendros y cereal.

Junto a estos cultivos de hortalizas y en rotación con las mismas, se producen los forrajes (maíz, alfalfa...) necesarios para la cabaña ganadera, girasol, y en determinadas ocasiones algunos frutales (manzanos, perales y nogales).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL.

3.1.1. Suelo y agua para riego.

La parcela donde se realizó el ensayo se encuentra en una llanura formada por sedimentos aluviales cuaternarios, razón por la que los suelos tienen un marcado carácter fluvéntico. En cuanto al perfil, es de tipo Ap-Bw-C, donde el horizonte superficial (antrópico) está fuertemente afectado por las labores propias de este tipo de cultivos hortícolas. Una descripción detallada del mismo, así como de sus características más importantes se encuentra en el apartado 4.1 de esta tesis.

En cuanto al agua para riego, se determinaron los valores medios de los índices de primer grado (NO_3^- , NH_4^+ , H_2PO_4^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , $\text{B}(\text{OH})_4^-$) y a partir de ellos, los índices de segundo grado (S.A.R., dureza e índice de Scott) (tabla 3.1).

Tabla 3.1. Análisis del agua de riego.

Macroelementos	mg.L⁻¹	Microelementos	mg.L⁻¹
NO_3^-	31,72 ± 1,50	Fe^{3+}	0,02 ± 0,00
NH_4^+	0,64 ± 0,02	Mn^{2+}	0,02 ± 0,00
H_2PO_4^-	0,20 ± 0,01	Cu^{2+}	0,03 ± 0,00
K^+	4,81 ± 0,04	Zn^{2+}	0,03 ± 0,00
Ca^{2+}	83,67 ± 7,20	$\text{B}(\text{OH})_4^-$	0,06 ± 0,00
Mg^{2+}	47,65 ± 2,43	pH	7,82 ± 0,280
SO_4^{2-}	164,72 ± 11,21	C.E. (dS.m ⁻¹)	1,12 ± 0,02
HCO_3^-	257,78 ± 14,50	S.A.R.	2,06 ± 0,03 (Buena)
Cl^-	150,08 ± 10,28	Dureza (° Franceses)	40,55 ± 2,42 (Dura)
Na^+	95,35 ± 9,04	Índice de Scott	0,01 ± 0,00 (Mala)

Los valores son la media de cuatro medidas realizadas ± desviación estándar

Según estos resultados, podemos afirmar que es un agua con poco poder alcalinizante, con bajo carbonato sódico residual, dura y algo salina. Según las normas Riverside (Wilcox, 1984), se trata de un agua de categoría

C3-S1 (existe riesgo de salinización del suelo pero muy bajo de alcalinización). Concluyendo, se trata de un agua poco alcalina y ligeramente salina, de buena calidad para el cultivo de tomate.

3.1.2. Enmiendas orgánicas.

Se han utilizado dos enmiendas orgánicas frente a un tratamiento convencional a base de abonos minerales (B), que se ha considerado como control (el diseño experimental puede verse en el apartado 3.2.2.1 de esta tesis). El primer tratamiento orgánico se ha hecho a base de estiércol de oveja (E), procedente de una cabaña ganadera existente en la propia finca, las características del mismo se recogen en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Análisis químico del estiércol de oveja (Solano et al., 2001; Negro et al., 1995).

<i>Parámetros</i>	<i>Estiércol de oveja</i>
Contenido de humedad (%)	43.60 ± 7.00
pH	8.30 ± 0.33
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	5.40 ± 0.10
Carbono total (g kg ⁻¹)	449.00 ± 4.40
Nitrógeno total (g kg ⁻¹)	26.00 ± 0.99
Relación C/N	17
Fósforo total (g kg ⁻¹)	7.70 ± 0.37
Potasio total (g kg ⁻¹)	25.20 ± 2.00
Sodio total (g kg ⁻¹)	1.10 ± 0.16
Calcio total (g kg ⁻¹)	20.20 ± 3.10
Magnesio total (g kg ⁻¹)	3.20 ± 0.60
Hierro total (g kg ⁻¹)	2.30 ± 0.58
Cobre total (p.p.m.)	16.00 ± 0.30
Manganeso total (p.p.m.)	640.00 ± 20.80
Cinc total (p.p.m.)	90.00 ± 13.00

Los valores están referidos a materia seca y son la media de tres medidas realizadas, seguida de la desviación estándar de éstas.

El segundo ha sido una enmienda orgánica comercial compuesta por estiércol de oveja y turba en relación 1:3 (EM), cuya composición puede verse en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Datos analíticos de la enmienda orgánica convencional (Guillén, 2002; Madrid et al., 2004).

Análisis físico-químico	
pH	5.70 ± 0.02
C.E. (1:10) (dS.m ⁻¹)	9.60 ± 0.20
<i>Análisis químico</i>	
<i>Formas del carbono (g·kg⁻¹)</i>	
Carbono oxidable	234.70 ± 5.00
Carbono extraíble (Pirofosfato)	77.30 ± 1.50
Carbono de ácidos fúlvicos	54.30 ± 1.10
Carbono de ácidos húmicos	23.00 ± 0.50
Relación C _{extr} /C _{oxid}	0.33 ± 0.01
Relación C _{HA} /C _{FA}	0.42 ± 0.01
<i>Macronutrientes (g·kg⁻¹)</i>	
Nitrógeno total	46.20 ± 10.00
Nitrógeno amónico	8.50 ± 0.20
Nitrógeno nítrico	4.00 ± 0.10
Nitrógeno orgánico	33.70 ± 1.00
Relación C _{oxid} /N _{org}	6.96 ± 0.20
Fósforo total	12.40 ± 0.30
Potasio total	14.60 ± 0.30
Azufre total	24.00 ± 0.50
<i>Micronutrientes (mg·kg⁻¹)</i>	
Boro total	69.20 ± 1.30
Hierro total	5086.00 ± 102.00
Manganeso total	663.00 ± 12.00
Cobre total	65.90 ± 1.30
Cinc total	3503.00 ± 71.00

Los valores están referidos a materia seca y son la media de cuatro medidas realizadas, seguida de la desviación estándar de éstas.

El tratamiento convencional se ha llevado a cabo mediante un abonado de fondo antes del trasplante, más aportes semanales según necesidades del cultivo, incorporados con el agua de riego (fertirrigación) durante todo el ciclo vegetativo. Las cantidades aproximadas utilizadas en este tratamiento se presentan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Dosis de abonado en el tratamiento convencional

Macronutrientes	Uf/ha
N	200
P ₂ O ₅	90
K ₂ O	350
MgO	40

3.1.3. Acolchado.

Para llevar a cabo el ensayo, se ha utilizado, en un 50 % de la superficie, una cubierta de cultivo de polietileno negro, con un espesor de 80 micras y una anchura de 1.10 m (figura 3.1.).



Fig. 3.1. Detalle del acolchado.

Dicha cubierta se ha fijado al suelo mediante sellado con tierra, para evitar su desprendimiento por acción del viento, y una vez así, se ha procedido al trasplante del cultivo de hortalizas.

3.1.4. Preparación del terreno.

En los dos años de seguimiento del ensayo, para llevar a cabo la preparación del terreno, se realizaron varias labores de cultivo. El primer año, se comienza con un pase de vertedera, en el mes de abril, seguido de una ligera nivelación, un pase de cultivador y finalmente fresadora y apertura de caballones (figura 3.2.). Después de la recolección del tomate, hacia mediados de octubre, se elimina el plástico y restos vegetales de la superficie del suelo, se vuelve a arar con el cultivador y posteriormente con vertedera, dejando en barbecho toda la etapa invernal. En la primavera siguiente se procede igual que en el primer año, salvo que no se hace ninguna nivelación del terreno.



Fig. 3.2. Detalle preparación del terreno e instalación del riego por goteo.

3.1.5. Variedades de tomate para industria.

En el ensayo se utilizan plantas de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill de tipo pera de la variedades Nautilus, H-244 y Ercole, destinadas a la industria de conservas vegetales (figura 3.3.),

Las variedades elegidas responden a criterios agronómicos e industriales, ya que este es el destino principal de la producción. Desde el punto de vista agronómico, se han tenido en cuenta factores relacionados con la adaptación de las variedades a las condiciones edafoclimáticas de la zona, su rendimiento, la calidad de los frutos y la susceptibilidad para la recolección mecanizada, siendo las variedades H-244 y Ercole las que tienen un mejor comportamiento, salvo en lo relativo a la recolección mecanizada, donde Nautilus madura más homogéneamente y, por tanto, las pérdidas en la recolección por no alcanzar el grado de maduración adecuado son menores que en las otras dos variedades. Los criterios industriales están relacionados con el uso que se le vaya a dar a la producción. De esta manera, cuando el destino es para tomate pelado entero, se buscan variedades alargadas (tomate de pera), resistentes al pelado mecánico, como son el H-244 y Ercole, mientras que si el destino es para concentrado a base de tomate, el factor determinante es su contenido en sólidos solubles totales (°Brix) y en este caso el más apreciado es el Nautilus. Teniendo en cuenta que la recolección mecanizada es la apuesta de futuro para este tipo de producto y que la industria local de tomate pelado entero está perdiendo protagonismo en favor de la de concentrado a base de tomate, se ha considerado que la variedad con más futuro de las ensayadas es la Nautilus, por lo que el núcleo de la investigación, salvo en los aspectos relativos a la producción/rentabilidad, se va a llevar a cabo sobre dicha variedad.

Se trata de una variedad de ciclo precoz, 110-115 días, fruto redondo alargado con peso medio de 70-80 g, color rojo intenso y paredes muy gruesas. Planta de vigor medio y altamente productiva, adecuada para la recolección mecánica. Su producción precoz aconseja que se alcance un buen desarrollo de la planta en las primeras fases del cultivo como garantía de una gran

producción. Es muy resistente al asolado del fruto y se utiliza para concentrado, pelado y dados. Resistente a nematodos y bacterias.



Fig. 3.3. Detalle de la parcela de ensayo.

3.2. MÉTODOS.

3.2.1. Toma de muestras.

La toma de muestras se realiza teniendo especial cuidado en buscar la máxima representatividad, con el mayor número posible de muestras, de manera que permita un correcto tratamiento estadístico de los resultados.

3.2.1.1. Muestreo del suelo.

En el último año del experimento se han seleccionado dos perfiles, el primero en la parcela de ensayo, donde se pretende estudiar los cambios en la

propiedades del suelo que ha originado el cultivo del tomate, mientras que el segundo se ha muestreado en una parcela limítrofe, a unos 25 m del primero, que se utilizará como testigo. En ambos se describieron las características macromorfológicas *in situ* y se tomaron muestras alteradas e inalteradas de los diferentes horizontes, todo ello siguiendo la Guía de descripción de perfiles de FAO (Guidelines for soil description, 2006).

3.2.1.2. Muestreo de la solución del suelo.

Se utilizan sondas de succión como método no destructivo para la toma de muestras de la disolución del suelo, dentro del bulbo húmedo del suelo (BHS), en las que posteriormente a la correcta instalación se efectúa el vacío con una bomba de mano para asegurarnos la captación de la disolución del suelo de las mismas.

3.2.1.3. Muestreo del material vegetal.

Se establecen para el diseño del experimento 3 bloques de repetición. Para la recogida de las hojas y los frutos se seleccionan 4 plantas por bloque, cogiendo 3 muestras por planta, con un total de 12 por bloque y 36 muestras por tratamiento, a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

El fruto de tomate se recolecta separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo.

3.2.2. Métodos de Laboratorio.

3.2.2.1. Suelo.

De las muestras de **suelo** recogidas se han realizado las determinaciones analíticas necesarias para una adecuada caracterización tipológica de los suelos según el sistema de FAO (2006), así como algunas otras determinaciones complementarias. Los métodos analíticos son los que a continuación se resumen.

Determinaciones analíticas.

El **carbono orgánico (CO)** se ha determinado por el método de Anne (1945), modificado por Douchafour (1970), basado en la oxidación con $K_2Cr_2O_7$ en medio sulfúrico y valoración del exceso de oxidante con solución de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ de normalidad conocida en presencia de NaF y con difenilamina como indicador. Su contenido viene dado en gramos de carbono por kg de suelo. Los valores de materia orgánica, se han obtenido multiplicando los de carbono orgánico por el factor 1.72.

El **nitrógeno total (N_T)** se ha determinado por el método de Kjeldahl, tal como lo describe Douchafour (1970), con alguna modificación que no afecta a la esencia del método, tal como la destilación con corriente de vapor en un equipo Büchi 315. Los resultados se expresan en gramos de nitrógeno por kg.

El **carbonato cálcico equivalente** mediante gasometría, basada en el método volumétrico del calcímetro de Bernard previamente calibrado frente a Na_2CO_3 R.A., y partiendo del peso adecuado de tierra fina, según su contenido en carbonatos. Los resultados vienen expresados en gramos de $CaCO_3$ equivalente por kg.

El **pH** se determina por el método de Peech (1965), realizando la medida en una suspensión 1:1 de suelo en agua y en KCl 1 M.

La **capacidad de cambio catiónica (CCC)** se determina por el método de Chapman (1965), basado en saturar el suelo con catión amonio y su valoración con sulfúrico tras su desplazamiento y destilación. Los resultados vienen expresados en centimoles de carga positiva por kg de suelo.

La **conductividad eléctrica (CE)** se ha obtenido siguiendo el método descrito por Bower y Wilcox (1965). Los resultados de la medición vienen expresados en $dS\ m^{-1}$.

En cuanto al contenido de **sodio, potasio y magnesio asimilables**, se

ha tomado como índice de asimilabilidad de estos cationes la cantidad extraída con solución 1N de acetato amónico (Pratt, 1965). La determinación de sodio y potasio se ha hecho por emisión atómica y la de magnesio por absorción atómica, en un equipo Perkin Elmer 1100 B. Los resultados obtenidos vienen expresados en gramos de Na, K y Mg por kg de suelo.

El **fósforo asimilable** se ha obtenido por el método de Watanabe y Olsen (1965), basado en la extracción del fósforo con solución 0.5 M de NaHCO_3 (Olsen y Dean, 1965) y determinación fotocolorimétrica del azul de molibdeno (Murphy y Riley, 1962). Los resultados vienen dados en mg de P por kg de suelo.

El **hierro, cobre, manganeso y cinc** se han extraído con una solución 0.005M de DTPA, 0.01M de CaCl_2 y 0.1M de trietanolamina a pH de 7.3 (Lindsay y Norvell, 1969), y su determinación ha sido por absorción atómica. Los resultados vienen expresados en mg de Fe, Cu, Mn, Zn por kg de suelo.

El **análisis granulométrico** se ha efectuado tras la adecuada dispersión de la tierra fina, utilizando hexametáfosfato sódico como dispersante y manteniendo el suelo en agitación durante 8 horas. A partir de esta suspensión, se han determinado, combinando la extracción con la pipeta de Robinson y la tamización, los porcentajes de arcilla ($\emptyset < 2 \mu\text{m}$, limo fino (2-20 μm), limo grueso (20-50 μm) y las fracciones de arena de 50-100, 100-250, 250- 500, 500- 1000 y 1000- 2000 μm .

La **retención de humedad del suelo**, pF a 33 y 1500 kPa (pF a 1/3 y 15 atmósferas), se ha determinado con el método de la membrana de Richards (Richards, 1974) en la fracción de tierra fina del suelo ($\emptyset < 2\text{mm}$) (figura 3.4.). Con la retención de agua a 1/3 atm se obtiene la capacidad de campo del suelo (C.C.) y a 15 atmósferas el punto de marchitamiento (PM), siendo la diferencia entre ambos parámetros el **agua útil del suelo**.



Fig. 3.4. Determinación de pH.

Para determinar la **mineralogía de la fracción arcilla** se ha seguido el siguiente procedimiento:

- 1) Eliminación de cementantes que puedan dificultar su buena dispersión.
- 2) Eliminación de carbonatos. Se toma una cantidad determinada de tierra, se pone en un medio 0.3 M de acético ó 0.1 M de HCl, según predomine la caliza o dolomía, respectivamente, hasta la disolución total de las mismas (Ostrom, 1961). Durante el proceso, hay que tener especial cuidado en no sobrepasar estas concentraciones, ya que podría alterar algunos minerales. Periódicamente se procede a la decantación del líquido sobrenadante para evitar la formación de tampones (acético/acetato) y que aumente considerablemente la concentración salina de la disolución.
- 3) Destrucción de la materia orgánica. Una vez sin carbonatos, se destruye la materia orgánica oxidándola con H_2O_2 (Kunze, 1965).

- 4) Eliminación de los óxidos de hierro con hidrosulfito sódico en un medio tamponado con citrato/bicarbonato (Mehra y Jankson, 1960).

El residuo sólido (arcilla, arena y limo) se pasa por tamiz de 50 μm , se recoge en una probeta la fracción menor de 50 μm y se lava las veces necesarias hasta la total dispersión de la arcilla. El proceso termina con la extracción de esta fracción por varios sifonados de los 10 cm superiores tras reposo de 8 horas a 20 °C.

La arcilla extraída se ha saturado en magnesio y potasio (Jackson, 1958) y con ella se han preparado los correspondientes agregados orientados, los cuales han sido sometidos a una serie de tratamientos previos para conseguir la identificación precisa de los minerales de esta fracción. Entre estos tratamientos hay que destacar:

- 1) Solvatación con etilenglicol y glicerina (Bradley, 1945; Bridley, 1966). Se ha realizado siempre que aparece el pico a 1.4 nm en el diagrama de magnesio.

- 2) Tratamiento térmico (Whitting, 1965). Realizado cuando existe incertidumbre entre vermiculita, clorita y esmectitas.

- 3) Ataque ácido (Martin Vivaldi y Rodríguez Gallego, 1961). Teniendo en cuenta que la clorita se destruye en presencia de ácidos, este tratamiento nos permite saber si el pico a 0.7 nm pertenece al segundo orden de la clorita o al primero de la caolinita.

- 4) Prueba de Greene Kelly (1953). Permite distinguir la montmorillonita de otros minerales esmectíficos.

La determinación de la **mineralogía de la fracción arcilla** se ha realizado mediante difracción de RX en un equipo Philips PW1710 provisto de goniómetro vertical, panel electrónico de registro, monocromador de grafito y contador proporcional, operando bajo las siguientes condiciones de trabajo:

- Radiación: $K\alpha$ Cu
- Intensidad: 24 mA
- Voltaje: 40 kV
- Filtro: Ni
- Rendija de ventana: 1°
- Rendija de contador: 0.1°
- Velocidad de exploración: $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$
- Velocidad del papel: 10 mm min^{-1}
- Sensibilidad: 5×10^3 , 2×10^3 , 1×10^4

La estimación semicuantitativa de los minerales que aparecen en la fracción arcilla ha sido muy complicada, sobre todo en aquellos casos en los que aparecen las tres especies cuyo espaciado basal está próximo a 1.4 nm. Se ha realizado a partir de la superficie de cada pico característico y de los poderes reflectantes dados por Martín Pozas (1968) y Martín Pozas et al. (1969) para cada mineral y que se resumen a continuación (tabla 3.5).

Tabla 3.5. Estimación semicuantitativa de los minerales de la fracción arcilla.

Mineral	Reflexión (nm)	Poder reflectante
ILLITA	1.0	0.5
CAOLINITA	0.7	1
MONTMORILLONITA	1.7	2
CLORITA	1.4 (Tratamiento térmico)	2

Para vermiculita se ha empleado el mismo poder reflectante que para illita, ya que su estimación se hace por diferencia entre el pico de 1.0 nm del diagrama de calentamiento a 500°C y el de 1.0 en el de arcilla saturada en Mg, que coincide, generalmente, con el hallado por diferencia entre los picos a 1.0 nm de los diagramas correspondientes a las muestras saturadas en K y Mg.

3.2.2.2. Disolución del suelo.

Determinaciones analíticas.

El **pH** se determina directamente las muestras captadas de la disolución del suelo, utilizando un pH-metro provisto de electrodo combinado y sonda de temperatura CAT (compensación automática) mediante introducción directa de ambos en la disolución y refiriendo la lectura a 25 °C (Chapman and Pratt, 1979).

La **conductividad eléctrica (CE)** se mide con conductímetro provisto de célula de conductividad de platino y sonda de temperatura CAT (compensación automática) con introducción de ambos en la disolución y los resultados se expresan en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ referidos a 25 °C (M.A.P.A., 1986).

Carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) se determinan mediante valoración potenciométrica con HCl 0.1 N hasta alcanzar los puntos de equivalencia primero del bicarbonato (pH = 8.3) y a continuación del ácido carbónico (entre pH = 4.2 y 5.4) utilizando un valorador automático Metrohm Mod. Titrino SM 702.

El **amonio (NH_4^+)** que existe en la muestra líquida de la disolución del suelo es destilado por arrastre con corriente de vapor de agua y se recoge sobre ácido bórico indicador Tshiro Tasiro. Posteriormente se valora potenciométricamente con HCl 0.01 N. El amonio se libera con una base débil como es el carbonato sódico.

Los **elementos minerales calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn) y cobre (Cu)** se determinan por espectrometría de absorción atómica, mientras **que sodio (Na) y potasio (K)** se miden por espectrometría de emisión, con un espectrómetro de AA UNICAM 969.

Cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-), fosfatos (H_2PO_4^-) y sulfatos (SO_4^{2-}) se determinan por cromatografía iónica (columna para aniones), con un cromatógrafo iónico (IC) Metrohm 790.

En la determinación de **boro (BO_3^{3-})**, este se hace reaccionar con azometina y después de dos horas se mide con espectrofotómetro doble haz VIS-UV a 410 nm. Al medio de reacción se le adiciona un tampón enmascarante para evitar posibles interferencias.

3.2.2.3. Material foliar.

Preparación de muestras.

Una vez las hojas en el laboratorio, previa a la mineralización, son lavadas con agua para eliminar parte de los residuos acumulados y el polvo de las mismas, seguidamente lavado con agua destilada y un detergente no iónico, aclarando dos veces con agua bidestilada y secándolas suavemente con papel de filtro. Posteriormente son desecadas en estufa de aire forzado a 65 °C durante 24 horas. A continuación se trituran en molinillo de aspas, quedando reducido a polvo finamente dividido y a continuación desecación a 105 °C hasta peso constante (2 horas). Por último la muestra pulverizada se introduce en frascos con cierre hermético para su conservación y posterior mineralización (Grier, 1966, Ashby, 1969).

Determinaciones analíticas.

Digestión de las muestras. Porcentaje en cenizas.

Para la determinación de los elementos minerales en el material vegetal, se efectúa la digestión en crisoles, vía seca en horno de mufla, según rampa de temperatura hasta alcanzar un máximo de 500 °C. Una vez eliminada inicialmente la humedad tras el tratamiento por calor, queda el residuo seco que contiene la materia orgánica y la materia mineral. Mediante la combustión se separa la fracción orgánica de la inorgánica: en efecto, la materia orgánica se destruye, se volatiliza (fundamentalmente CO_2 , NH_3 y H_2O) y desaparece, al tiempo que los elementos minerales que se encontraban formando parte de las

moléculas orgánicas, como depósitos salinos o como iones, aparecen fijos en las cenizas, en forma oxidada, generalmente como óxido.

Se deben tomar una serie de precauciones para evitar la pérdida de algún elemento por combustión. Así, por ejemplo, el azufre que se encuentra en las cenizas, habitualmente en forma de SO_3^{2-} o de SO_4^{2-} , puede convertirse parcialmente en SO_2 , que se pierde en forma de gas. Algo parecido puede pasar con el fósforo y el nitrógeno inorgánico. También se ha de considerar que los óxidos de metales como el boro y el cinc son volátiles por encima de los 500-600 °C.

En relación a esto, se realiza un ascenso gradual de la temperatura a lo largo de dos horas y después se mantiene entre 480-500 °C durante 5-6 horas. En ningún caso, la temperatura debe sobrepasar los 500 °C a fin de evitar los problemas anteriormente citados. Las cenizas adquieren una coloración blanca, signo de que no contiene materia orgánica carbonizada.

La extracción de los elementos minerales de las cenizas se realiza con HNO_3 0.6 N. Se filtra y conserva en fascos de plástico y se almacena para su posterior análisis. Los filtros utilizados deben ser los denominados "sin cenizas", que no contienen, prácticamente, elementos minerales y presentan un bajo peso conocido en cenizas.

Elementos minerales

El ***nitrógeno total*** (N_T) se determina siguiendo el método Kjeldahl semimicro. La muestra seca se introduce en un tubo de digestión al que se adicionan 2 g de catalizador y 20 ml de ácido sulfúrico. Se somete a una rampa de temperatura hasta 400 °C (15 min a 100°C, 15 min a 200 °C, 15 min a 300 °C y 45 min a 400 °C). Una vez fría se destila recogiendo el amonio sobre ácido bórico-indicador. El amonio se valora potenciométricamente con HCl 0.1 N.

El ***fósforo*** se determina mediante el método basado en la medida espectrofotométrica de la intensidad del color amarillo desarrollado por el complejo fosfovanadomolibdato amónico (Chapman, H.D. y Pratt, P.F., 1979).

El **potasio** y el **sodio** se determinan por espectrometría de emisión a partir de las muestras mineralizadas y diluidas.

Los macronutrientes **calcio**, **magnesio** y los oligoelementos **hierro**, **manganeso**, **cinc** y **cobre** se determinan mediante espectrometría de absorción atómica, previa mineralización.

El **azufre** se determina por turbidimetría en forma de sulfato de bario, empleando goma arábica como estabilizador (Abrisqueta, C. et al, 1962).

El **cloro** se determina a partir del material vegetal seco y molido utilizando como reactivo extractante ácido nítrico-ácido acético, dejando reposar 24 horas. Pasado este tiempo se filtra y se determinan los cloruros mediante valoración potenciométrica con nitrato de plata 0.01 N.

3.2.2.4. Fruto.

Preparación de muestras.

Los frutos recogidos en cada muestreo son troceados. Posteriormente son desecados en estufa de aire forzado a 65 °C durante 24 horas, después triturados en molinillo de aspas, quedando reducido a polvo finamente dividido. A continuación desecación a 105 °C hasta peso constante (2 horas). Por último la muestra pulverizada se introduce en frascos con cierre hermético para su conservación y posterior análisis con el fin de conocer y caracterizar su composición.

Determinaciones analíticas.

Digestión de las muestras. Porcentaje en cenizas.

Para la determinación de los elementos minerales en el material vegetal, se efectúa la digestión en crisoles, vía seca en horno de mufla, según rampa de temperatura hasta alcanzar un máximo de 500 °C. Una vez eliminada inicialmente la humedad tras el tratamiento por calor, queda el residuo seco que contiene la materia orgánica y la materia mineral. Mediante la combustión se separa la fracción orgánica de la inorgánica: en efecto, la materia orgánica se destruye, se volatiliza (fundamentalmente CO₂, NH₃ y H₂O) y desaparece, al tiempo que los elementos minerales que se encontraban formando parte de las moléculas orgánicas, como depósitos salinos o como iones, aparecen fijos en las cenizas, en forma oxidada, generalmente como óxido.

Se deben tomar una serie de precauciones para evitar la pérdida de algún elemento por combustión. Así, por ejemplo, el azufre que se encuentra en las cenizas, habitualmente en forma de SO₃²⁻ o de SO₄²⁻, puede convertirse parcialmente en SO₂, que se pierde en forma de gas. Algo parecido puede pasar con el fósforo y el nitrógeno inorgánico. También se ha de considerar que los óxidos de metales como el boro y el cinc son volátiles por encima de los 500-600 °C.

En relación a esto, se realiza un ascenso gradual de la temperatura a lo largo de dos horas y después se mantiene entre 480-500 °C durante 5-6 hras. En ningún caso, la temperatura debe sobrepasar los 500 °C a fin de evitar los problemas anteriormente citados. Las cenizas adquieren una coloración blanca, signo de que no contiene materia orgánica carbonizada.

La extracción de los elementos minerales de las cenizas se realiza con HNO₃ 0.6 N. Se filtra y conserva en fascos de plástico y se almacena para su posterior análisis. Los filtros utilizados deben ser los denominados "sin cenizas", que no contienen, prácticamente, elementos minerales y presentan un bajo peso conocido en cenizas.

Elementos minerales

El ***nitrógeno total (N_T)*** se determina siguiendo el método Kjeldahl semimicro. La muestra seca se introduce en un tubo de digestión al que se adicionan 2 g de catalizador y 20 ml de ácido sulfúrico. Se somete a una rampa de temperatura hasta 400 °C (15 min a 100 °C, 15 min a 200 °C, 15 min a 300

°C y 45 min a 400 °C). Una vez fría se destila recogiendo el amonio sobre ácido bórico-indicador. El amonio se valora potenciométricamente con HCl 0.1 N.

El **fósforo** se determina mediante el método basado en la medida espectrofotométrica de la intensidad del color amarillo desarrollado por el complejo fosfovanadomolibdato amónico (Chapman, H.D. y Pratt, P.F., 1979).

El **potasio** y el **sodio** se determinan por espectrometría de emisión a partir de las muestras mineralizadas y diluidas.

Los macronutrientes **calcio**, **magnesio** y los oligoelementos **hierro**, **manganeso**, **cinc** y **cobre** se determinan mediante espectrometría de absorción atómica.

Parámetros físicos: peso, calibres, índices de forma, humedad y cenizas.

Los parámetros físicos a considerar en este ensayo fueron determinados en el momento óptimo del corte del fruto (a los 42 días del cuajado para los tratamientos con fertilización orgánica y 35 días para el tratamiento control, sin fertilización) y son: Masa del fruto (M), Humedad del fruto (H), Diámetro ecuatorial (D) y longitudinal (L). A partir de estos dos parámetros se determinaron el índice de forma (FI), el diámetro geométrico principal (Dg) y la esfericidad (\emptyset) (Topuz, et al., 2005; Haciseferoğullari, et al., 2005) cuyo cálculo corresponde a las ecuaciones:

$$FI = D / L$$

$$Dg = (LD^2)^{1/3}$$

$$\emptyset = Dg/L$$

Color superficial. Coordenadas CIELAB (L^* , a^* y b^*) y atributos cromáticos (C^* , H^* y S^*).

Para determinar la evolución del color superficial del tomate se utilizó un método no destructivo, midiendo el color reflectado según el espacio CIELAB

(L*, a* y b*) con un colorímetro X-RITE (Mod. 918), seleccionando tres áreas de la superficie del fruto aleatoriamente, y calculando el valor medio. Todas las medidas del color son referenciadas a la CIE (Commission Internationale de E'claire) utilizando como iluminante estándar D65 a 10 °. También se calcularon los atributos cromáticos H* (ángulo métrico de tonalidad), C* (chroma) y S* (saturación métrica) a partir de las coordenadas CIELAB, según las ecuaciones:

$$H^* = \arctan b^*/a^*$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$S^* = C^*/L^* = (a^{*2} + b^{*2})/L^*$$

Así como las relaciones a*/b* y el índice de color (CI) según la ecuación:

$$CI = 1000a^*/(L^*b^*).$$

Parámetros químicos: pH, ° Brix, Acidez valorable. Índice de madurez.

Los parámetros químicos que consideramos en este ensayo para conocer la calidad del fruto fueron determinados en el momento óptimo del corte y son los siguientes:

El **pH del fruto** fresco, utilizando un pH-metro CRISON Mod. GLP22 provisto de electrodo combinado y sonda de temperatura CAT (compensación automática), con una sensibilidad de 0.001.

Los **sólidos solubles totales (TSS)** se midieron con un refractómetro ATAGO Mod. A01, sensibilidad 0.2 °Brix.

La **acidez** se obtuvo valorando el zumo del fruto con NaOH 0.1 N hasta pH 8.1 con equipo METROHM (Mod. 702). El resultado se expresa como % de ácido cítrico monohidrato, considerándolo como ácido mayoritario.

Por último, se calculó el **índice de madurez** del fruto (**MI**) a partir de la siguiente relación:

$$MI = TSS/Acidez$$

3.2.3. MÉTODOS DE CAMPO.

3.2.3.1. Diseño experimental.

Este ensayo se llevó a cabo a lo largo de dos años en una parcela de 100 x 100 m situada en el SE de España (figura 3.5.), donde se han ensayado tres tipos de fertilización con y sin acolchado frente a tres dosis de riego, en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones cada uno.

En cuanto a la fertilización, se ensayan tres tipos de fertilización, dos enmiendas orgánicas y una a base de abonos de síntesis química que se utiliza como control. En la primera de las enmiendas orgánicas se utiliza estiércol de oveja (E) y en la segunda un producto sólido mezcla de estiércol de oveja y turba en una relación 1:3 (EM). Para la fertilización inorgánica se emplean abonos de síntesis, ya sea en abonado de fondo o mediante fertirrigación a lo largo del cultivo (B). Estos tres tratamientos fertilizantes se combinan con acolchado de cultivo de polietileno negro con un espesor de 80 micras y 1.10 m de ancho (+P) o sin él. Por tanto tendremos 6 tratamientos fertilizantes (E+P, E, EM+P, EM, B+P y B) (Fig. 3.6.).



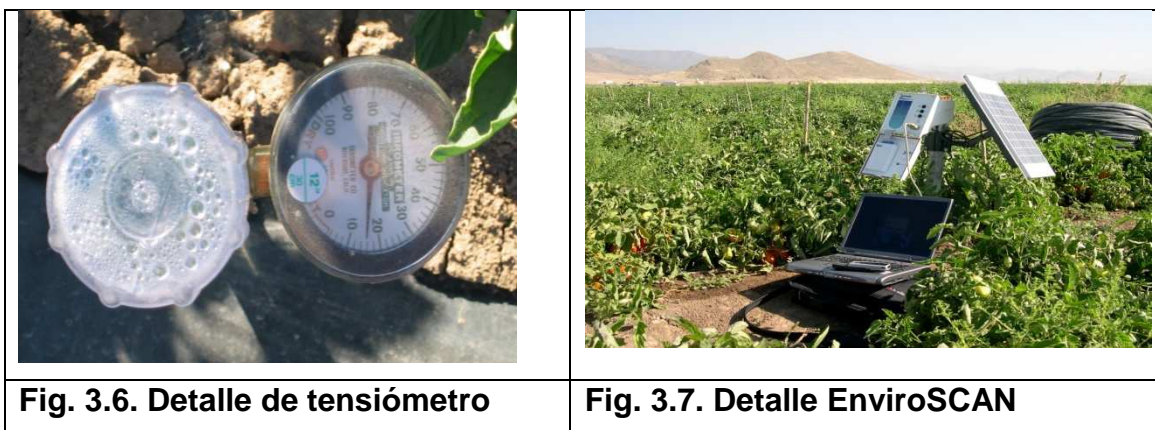
Fig. 3.5. Panorámica del campo de ensayo de tomate.

En cuanto al riego, se han utilizado tres dosis, la óptima (5.00 mm h^{-1}), calculada a partir de las necesidades del cultivo, una deficitaria (3.30 mm h^{-1}), y otra excedentaria (6.70 mm h^{-1}).

Por tanto, tenemos un total de 18 tratamientos con tres repeticiones cada uno, esto es, 54 bloques de muestreo (figura 3.6.).

3.2.3.2. Programación del riego.

Las dosis de riego empleadas fueron 3.30 , 5.00 y 6.70 mm h^{-1} . Se estudió la respuesta de cada ensayo de fertilización en tres situaciones de irrigación diferentes, déficit de un 25 % y exceso del 25 %, considerando la dosis de 5.00 mm h^{-1} como la estándar de la zona. A lo largo del ciclo se fueron variando los tiempos de riego según las necesidades del cultivo, siguiendo las directrices dadas por Doorembos y Pruit (1979) y Allen et al. (1998). Para llevar a cabo el control del riego se instalaron tres baterías de dos tensiómetros (figura 3.6.), colocados entre dos plantas a unos 20 cm del gotero (Rincón et al., 2001), cuyos datos se fueron contrastando con los obtenidos en una estación dotada de sensores de humedad instalados a diferentes profundidades (EnviroSCAN) (figura 3.7.).



3.2.3.3. Determinación de la producción.

Se determinó la producción total para cada tratamiento fertilizante y nivel de riego ensayado. El resultado se dividió entre la superficie de la parcela de cultivo, expresando la producción en $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

3.2.4. Método estadístico.

Los datos fueron analizados usando el Modelo Linear General del programa estadístico SPSS (versión 15.0). Los datos experimentales fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el test de rango múltiple de Tukey, estimando diferencias estadísticas entre niveles de riego y tipos de fertilización. Las diferencias se consideran significativas a partir del 5 % ($P = 0.05$).

A modo de resumen, se adjunta en la figura 3.8 el diseño de la parcela de ensayo y en la figura 3.9 un esquema del proyecto completo.

MANGUERAS DE POLIETILENO Y CONEXIONES DE MANGUERAS DE RIEGO																																																						
mm h ⁻¹	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3	6.7	5.0	3.3																		
NAUTILUS																																																						
	B									B+P									EM									EM+P									E									E+P								
ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN Y ACOLCHADO DE PLÁSTICO NEGRO																																																						

Fig. 3.8. Diseño de la parcela de ensayo.

Acolchado de polietileno negro

- **B.** Fertilización convencional (Blanco)
- **B+P.** Fertilización convencional (Blanco) + acolchado de polietileno negro
- **EM.** Enmienda orgánica comercial
- **EM+P.** Enmienda orgánica comercial + acolchado de polietileno negro
- **E.** Estiércol de oveja
- **E+P.** Estiércol de oveja + acolchado de polietileno negro

Dosis de riego

- **Deficitaria.** 3.3 mm h⁻¹
- **Óptima.** 5.0 mm h⁻¹
- **Excedentaria.** 6.7 mm h⁻¹

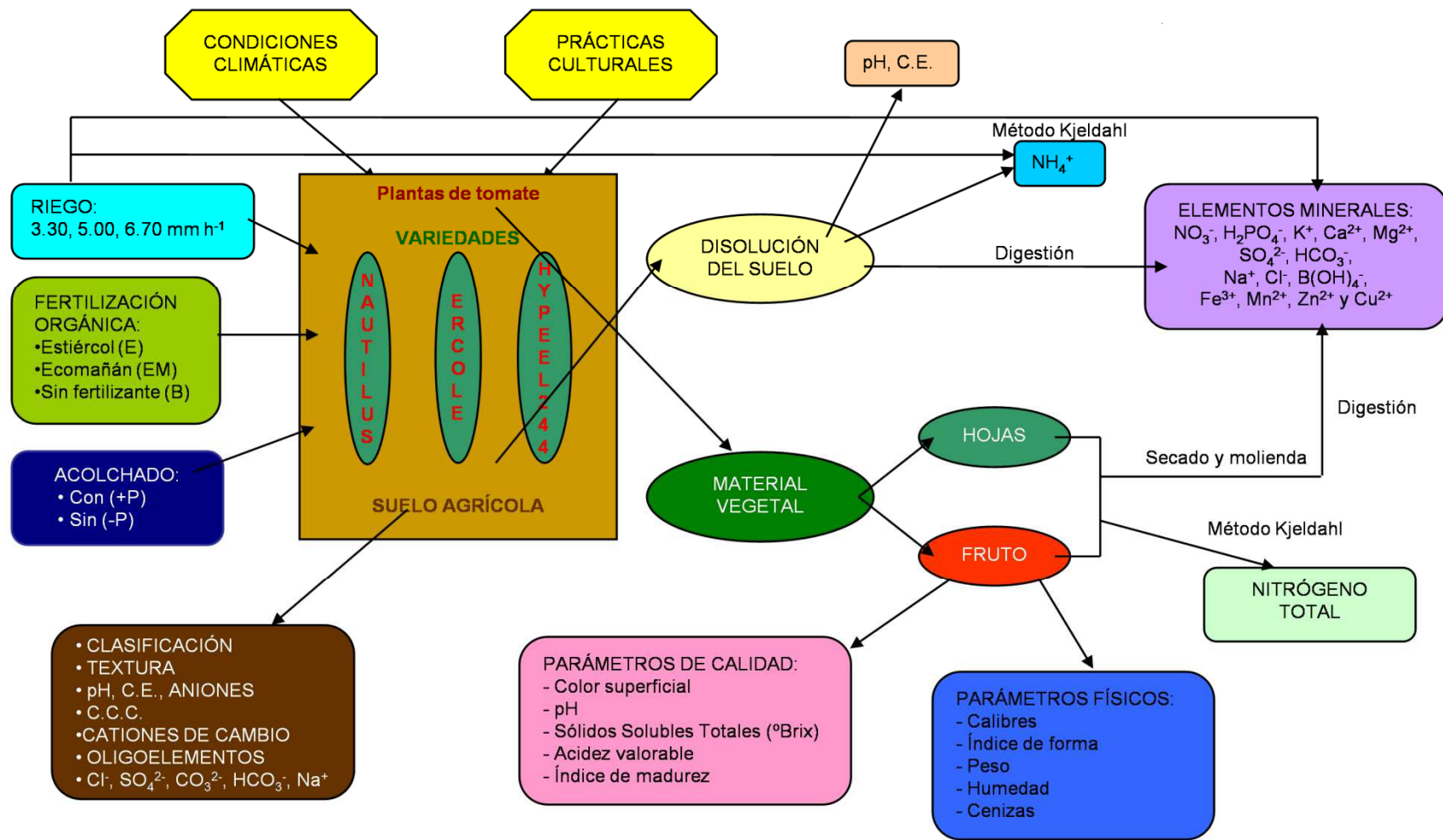


Fig. 3.9. Esquema global del ensayo de la plantación de tomate para industria

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. SUELO.

El suelo es el resultado de la acción combinada de un conjunto de factores formadores (clima, material original, tiempo, topografía y seres vivos), sobre los que actúan una serie de procesos (humificación, meteorización, carbonatación, movilización de constituyentes, etc.), que de forma conjunta originan la diferenciación del perfil en horizontes. En ocasiones, la actuación de los seres vivos, y muy especialmente el hombre, puede originar cambios muy rápidos en las propiedades de los suelos, no sólo a nivel de la superficie de éstos sino también en los horizontes de profundidad.

Es por ello que se ha considerado muy importante poner de manifiesto el grado de incidencia que ha tenido el cambio de cultivo en las propiedades del suelo, debido a lo cual se han muestreado dos perfiles (figura 4.1) que vienen a representar, por un lado, el estado originario del suelo antes de dedicarlo a hortalizas y por otro, su situación después de los tres primeros años de cambio de uso.

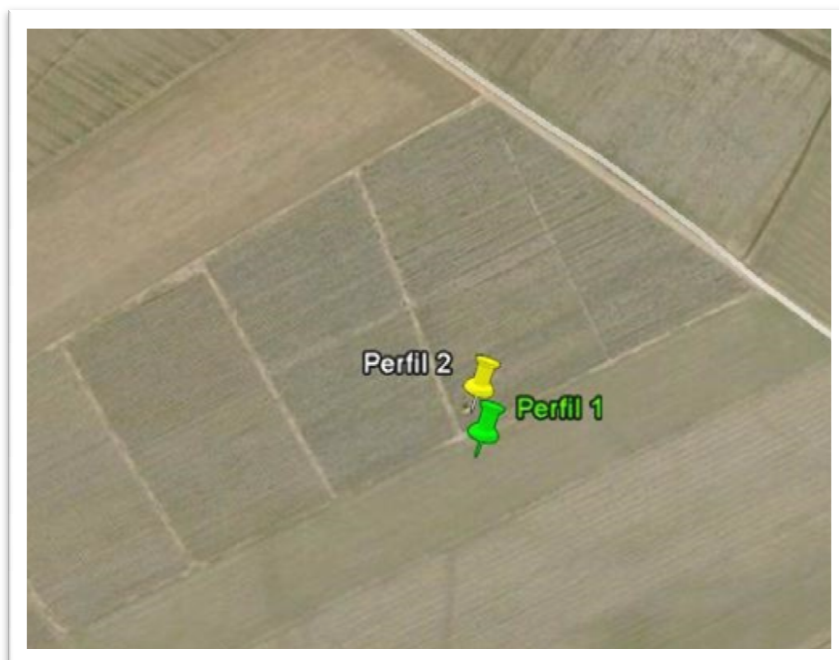


Fig. 4.1. Localización geográfica de los perfiles estudiados.

En efecto, el perfil 1 se corresponde con un suelo dedicado al cultivo de cereales de secano desde tiempos inmemoriales, mientras que el perfil 2, situado a menos de 20 m del anterior, ha tenido un uso idéntico al primero hasta diciembre de 2002, habiéndose dedicado a partir de esta fecha y hasta el muestreo del mismo, en septiembre de 2005, al cultivo de tomate para industria. Por tanto, puede decirse que el estudio realizado permitirá evaluar la incidencia que ha tenido sobre las propiedades del suelo el cultivo de tomate en régimen de regadío durante tres campañas consecutivas.

Para ello se ha realizado la caracterización macromorfológica del perfil edáfico, se han determinado sus propiedades más importantes y se ha efectuado un estudio comparativo de las mismas para evidenciar las consecuencias del cambio de uso.

A continuación se destacan los resultados obtenidos en cuanto a macromorfología, constituyentes del suelo, composición granulométrica y contenido en macro y micronutrientes.

4.1.1. Macromorfología.

De acuerdo con la tabla 4.1, así como con las figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 de los dos perfiles estudiados, puede decirse que los dos perfiles son casi idénticos en su macromorfología y sólo se observan cambios leves en el espesor de sus horizontes, sobre todo en el horizonte Ap y para el perfil 2, que alcanza una mayor profundidad, como consecuencia del subsolado y la nivelación al que fue sometido coincidiendo con el cambio de uso de cereales de secano a hortalizas en régimen de regadío. Tienen un perfil relativamente evolucionado, de tipo **Ap-Bw-C**, en el que el horizonte superficial es ócrico por no cumplir los requisitos de color para ser móllico, su textura es franco arcillo-limosa y la estructura poliédrica subangular gruesa moderada a fuerte. En profundidad presentan un horizonte Bw con la misma textura y estructura que el superficial y algunos signos de alteración que se manifiestan en colores más rojos y un contenido menor de carbonatos que los horizontes subyacentes; todo ello hace que cumpla con las propiedades para ser considerado horizonte

cámbico. Los horizontes C subyacentes son macromorfológicamente muy semejantes en los dos perfiles.

En cuanto a su posición fisiográfica, se encuentran situados en una llanura aluvial cerrada, de carácter endorreico, con una ligera inclinación (pendiente menor del 2 %) y se han formado a partir de sedimentos cuaternarios finos, depositados sobre un sustrato margoso, de ahí su carácter fluvéntico.

La ficha de los perfiles así como su descripción macromofológica se adjunta a continuación.

Localidad: Puebla de Don Fadrique. Granada.

Situación: a 12 Km al sur de Puebla D. Fadrique, paraje del Llano de las Casas.

Coordenadas U.TM.: 30SWG498890.

Altitud: 980 m.

Pendiente: menor del 2%.

Posición fisiográfica: lateral de llanura aluvial endorreica.

Vegetación, cultivos o uso del suelo: rastrojo de cebada en perfil 1 y barbecho de tomate en perfil 2.

Material original: sedimentos cuaternarios finos sobre material margoso.

Condiciones de drenaje: bien drenado.

Pedregosidad: ninguna.

Afloramientos rocosos: ninguno.

Salinidad: ligera.

Erosión: Depositiones hídricas.

Influencia humana: labores de cultivo clásicas para cereales en el caso del perfil 1 y subsolado, fertirrigación y enmienda orgánica en P2.

Tabla 4.1. Descripción macromorfológica.

Hor.	Prof. (cm)	Macromorfología perfil 1
Ap	0-32	Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo. Textura franco arcillo limosa. Estructura poliédrica subangular gruesa y muy gruesa, moderada a fuerte. Muy adherente; muy plástico; muy firme; muy duro. Muchos poros muy finos, pocos finos y medianos. Pocas raíces, muy finas. Fuertemente calcáreo. Límite neto, ondulado
Bw	32-51	Pardo amarillento (10YR 5/4) en estado seco y pardo amarillento oscuro (10 YR 3.5/4) en húmedo. Textura franco arcillo limosa. Estructura poliédrica subangular fina y media fuerte. Adherente; plástico; firme y duro. Se observan superficies brillantes de presión o deslizamiento en las caras de los agregados. Muchos poros muy finos y pocos finos. Muy pocas raíces muy finas. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
C1	51-70	Pardo muy pálido (10 YR 7/4) en seco y pardo ligeramente amarillento (10YR 6/4) en húmedo. Textura franco arcillosa. Estructura poliédrica angular mediana, moderada. Adherente; ligeramente plástico; friable y ligeramente duro. Se observan superficies brillantes de presión o deslizamiento en las caras de los agregados. Muchos poros muy finos, pocos finos y medianos. Fuertemente calcáreo. Abundantes gravas. Límite neto, plano.
C2	70-92	Naranja amarillento débil (10 YR 8/4) en seco y pardo amarillento (10 YR 7/4) en húmedo. Textura franco arcillosa a franca. Estructura prismática mediana y gruesa moderada. Muy adherente; muy plástico; muy firme y muy duro. Frecuentes poros medianos. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
Macromorfología perfil 2		
Ap	0-53	Pardo pálido (10YR 6/3) en estado seco y pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo. Se aprecian frecuentes manchas blancas, puntiformes y filiformes de sales solubles y yeso. Textura franco arcillo-limoso. Estructura poliédrica subangular media y gruesa débil a moderada. Muy adherente; muy plástico; muy firme y muy duro. Muchos poros muy finos y pocos finos. Fuertemente calcáreo. Acumulaciones de estiércol, poco descompuesto. Pocas raíces, muy finas. Límite neto, plano.
Bw	53-72	Pardo a pardo grisáceo (2.5 Y 5/1) en estado seco y pardo (7.5 YR 4/4) en húmedo. Textura franco arcillo-limoso. Estructura poliédrica subangular fina y media moderada. Adherente; plástico; firme y duro. Se observan superficies brillantes de presión o deslizamiento en las caras de los agregados. Muchos poros muy finos. Muy pocos fragmentos rocosos, calizos, redondeados y pequeños. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
C1	72-100	Pardo muy pálido (10YR 7/4) en estado seco y pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo. Se aprecian frecuentes manchas blancas puntiformes. Textura franco arcillosa. Masivo. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; friable y ligeramente duro. Se observan superficies brillantes de presión o deslizamiento en las caras de los agregados. Muchos poros muy finos y pocos finos. Pocas piedras, calizas, pequeñas y de forma redondeada. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
C2	100-110	Naranja amarillento débil (10YR 8/4) en estado seco y pardo amarillento (10YR 6/8) en húmedo. Textura franca. Estructura masiva. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; friable y ligeramente duro. Frecuentes poros muy finos. Aparecen muy pocas piedras, calizas, pequeñas de forma redondeada. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.

Como se desprende de los datos obtenidos, las prácticas culturales a las que ha sido sometido el perfil 2, consecuencia del cambio de uso, han ocasionado una serie de cambios más o menos importantes en algunas de sus propiedades mientras que otras han permanecido prácticamente inalteradas. Así, desde un punto de vista macromorfológico, puede afirmarse que las diferencias más importantes entre ambos perfiles son consecuencia de las labores de cultivo llevadas a cabo para la instalación de riego y su posterior dedicación a cultivos hortícolas y que pueden resumirse en un subsolado hasta una profundidad entre 50 y 60 cm y una posterior nivelación. Dichas prácticas justifican que el perfil 2 tenga un horizonte Ap con más de 50 cm de profundidad mientras que el 1 sólo llegue hasta algo más de los 30 cm. En este sentido, dado el gran espesor del horizonte Ap del perfil 2, es de suponer que dicho subsolado ha alcanzado la parte superior del horizonte Bw y, por tanto, en la actualidad parte de éste esté incorporado al horizonte Ap. Este aspecto no puede confirmarse a tenor de los resultados analíticos obtenidos. Las enmiendas orgánicas junto a los aportes de fertilizantes y agua de riego son los responsables de otras características macromorfológicas diferenciales, entre las que destacan la presencia de manchas puntiformes en los horizontes Ap y C1 del perfil 2 así como la presencia de estiércol aún sin descomponer en el Ap del mismo perfil.



Fig. 4.2. Panorámica perfil 1.



Fig. 4.3. Perfil 1.



Fig. 4.4. Panorámica perfil 2.



Fig. 4.5. Perfil 2.

4.1.2. Datos analíticos generales.

En la tabla 4.2 se muestran los valores de algunos constituyentes y propiedades del suelo que previsiblemente han podido verse afectados por el cambio de cultivo. En términos generales, los dos suelos tienen contenidos bajos o moderados de materia orgánica (M.O.) que disminuyen regularmente al descender en el perfil, de tal manera que en los horizontes C sólo aparece en pequeños cantidades.

En lo que respecta al N, se observa un comportamiento paralelo al carbono orgánico (C.O.) aunque los contenidos son algo superiores a los que cabría esperar si este constituyente sólo procediese de la mineralización de la materia orgánica, algo por otra parte lógico teniendo en cuenta los aportes de este elemento en forma de abonos nitrogenados. Cabe resaltar asimismo, el alto nivel encontrado en el horizonte C2 del perfil 2, próximo al existente en la superficie del suelo.

Tabla 4.2. Determinaciones analíticas generales.

Perfil	Hor.	Prof. (cm)	M.O. (g.Kg ⁻¹)	C.O. (g.Kg ⁻¹)	N (g.Kg ⁻¹)	C/N	Yeso (%)	CaCO ₃ (g.Kg ⁻¹)
1	Ap	0-32	13,5	7,8	1,10	7,1	0,16	346
	Bw	32-51	11,5	6,7	0,81	8,2	0,15	418
	C1	51-70	5,0	2,9	0,52	5,6	0,15	478
	C2	70-92	5,0	2,8	0,43	6,6	0,15	341
2	Ap	0-53	17,9	10,4	1,30	8,0	0,30	358
	Bw	53-72	13,8	8,0	0,82	9,7	0,20	421
	C1	72-100	8,1	4,7	0,55	8,5	0,25	487
	C2	100-110	1,7	1,0	0,92	1,1	0,27	431

La relación C/N alcanza valores medios entre 7 y 9 en los horizontes Ap y Bw, mientras que en los C son más bajos, sobre todo en el C2 del perfil 2. Esta relación informa sobre el estado de la M.O. en el suelo y sobre la capacidad de éste para almacenar y reciclar energía y nutrientes (Goyal et al., 1999). Asimismo y como ha sido puesto de manifiesto por numerosos autores (Duchaufour y Souchier, 1984), en estas condiciones climáticas debe formarse un humus mull calizo, por lo que la relación C/N debería ser próxima a 10, por

tanto, los valores más bajos obtenidos hay que atribuirlos a la actuación antrópica, ya sea debida a la mineralización acelerada de la materia orgánica como consecuencia de las labores de cultivo, o a los aportes nitrogenados adicionales.

Por último, los sulfatos (expresados como yeso) y el carbonato cálcico total o equivalente se comportan de manera distinta, ya que mientras el primero alcanza valores más altos en el perfil 2 que en 1, el contenido de carbonato cálcico es muy semejante en los dos perfiles. Hay que pensar, por tanto, que mientras el contenido en CaCO_3 se ha visto escasamente afectado por el cambio de modelo de cultivo, los sulfatos tienden a incrementarse en todos los horizontes del suelo como consecuencia del cambio de uso del mismo.

En la figura 4.6 se muestra de forma comparativa los niveles de alguno de los constituyentes que experimentan variaciones estadísticamente significativas a consecuencia del cambio de cultivo. Así, el contenido en C.O. es significativamente más alto en el perfil 2 que en el 1, sobre todo en los horizontes superficiales. Este resultado es el previsible debido al aporte de estiércol, en cantidades próximas a 20 t Ha^{-1} , que suelen utilizarse de media cada año o en años alternos como enmienda orgánica en este tipo de cultivos intensivos. Resultados semejantes fueron obtenidos por Parton et al. (1996), quienes determinaron que la M.O. aportada al suelo en forma de estiércol, restos de cosechas y abonos verdes contribuye a aumentar linealmente la concentración de C.O. en el suelo, aunque dicho aumento depende del clima, del tipo de suelo y del manejo que se hace del mismo. Herencia et al. (2008), en un ensayo en hortalizas al aire libre realizado en el valle del Guadalquivir durante tres años, comprobaron que a partir del segundo año del experimento se obtenían diferencias significativas entre los tratamientos donde se utilizaba estiércol de vaca y caballo frente a los que se aplicaron abonos minerales. Resultados semejantes han sido obtenidos por otros autores (Albiach et al., 1998; Hati et al., 2006; Sánchez et al., 2013).

De acuerdo con estos resultados, puede decirse que la adición de materia orgánica contribuye a mantener o aumentar los niveles de C.O. del

suelo, favoreciendo al mantenimiento de las funciones ecológicas de éste en lo que afecta al papel que desempeña en la nutrición, dinámica del agua, movilización de constituyentes, etc. Por otro lado, y no menos importante, el suelo puede actuar como sumidero de carbono, de forma que el uso de enmiendas orgánicas podría ser recomendada para compensar las emisiones de carbono, sobre todo en tierras de cultivo, de acuerdo con el artículo 3.3 y 3.4 del protocolo de Kyoto (Smith y Powlson, 2000; Ogle et al., 2003).

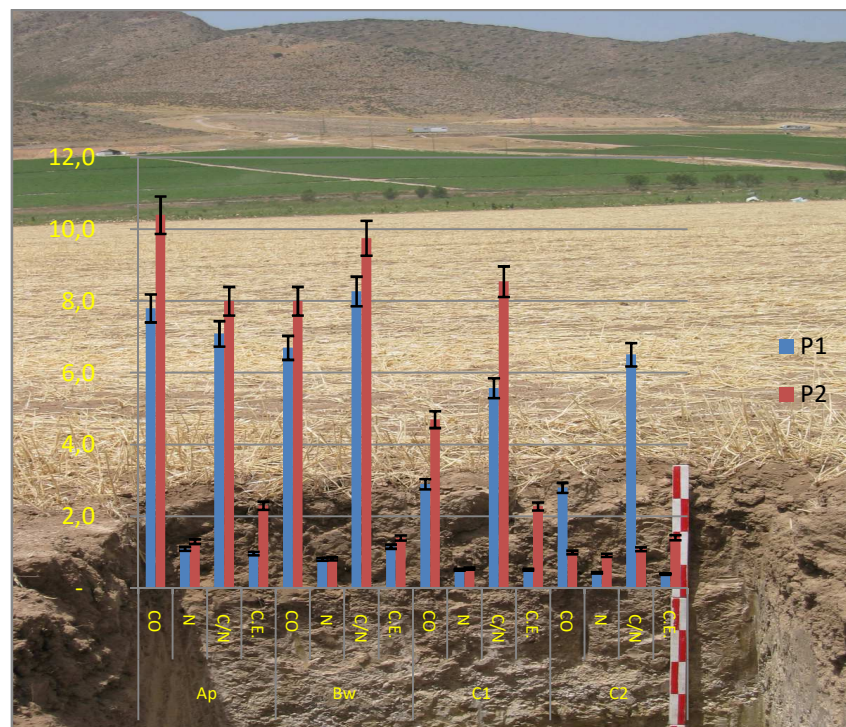


Fig. 4.6. Niveles de C.O., N, C/N y C.E en los perfiles P1 y P2.

En lo que respecta al N, se observa un comportamiento semejante al C.O. en los horizontes Ap, es decir, hay un contenido mayor en el perfil 2, como consecuencia igualmente de las adiciones de este constituyente como fertilizante orgánico. Resultados semejantes fueron obtenidos por Scheller y Raupp (2005), Warman (2005) y Knudsen et al. (2006), que observaron que los suelos donde se aportaban enmiendas orgánicas incrementaban su contenido en N total, aunque inicialmente parte del mismo esté en forma no asimilable. Sin embargo, en los horizontes Bw y C1 no se aprecian diferencias significativas, mientras que en el C2 del segundo perfil se incrementa notablemente, a consecuencia muy posiblemente de la lixiviación que sufre

dicho elemento por los excesos de riego, aspecto este que ha sido puesto de manifiesto por muy diversos autores en situaciones semejantes, entre otros Amendola et al. (2010) y Lorensini et al. (2012) en cultivos de maíz y viña, respectivamente.

En sintonía con los contenidos de carbono orgánico y de nitrógeno, la relación C/N se ha visto incrementada en un 10 % aproximadamente en P2 con respecto a P1. Dicho incremento, como ya se ha comentado, debe estar relacionado igualmente con el aporte extra de materia orgánica en forma de estiércol junto con la mayor incorporación de restos vegetales procedentes de la biomasa de estos cultivos. En este sentido, Nardi et al. (1996) comprobaron que los estiércoles dirigen el reciclaje de la materia orgánica del suelo hacia procesos de humificación con una producción de humus de alta calidad, de ahí que el P2 tenga una relación C/N más alta después de tres años de adición de estiércol.

En cuanto al contenido en yeso, cabe reseñar el incremento de este constituyente en P2 con respecto al P1 (tabla 4.2), de manera que, como puede comprobarse en la figura 4.7, el porcentaje de yeso se ha duplicado en el horizonte Ap, mientras que en el resto también ha aumentado pero en menor cuantía. A tenor de los resultados y en vista a las prácticas culturales efectuadas, el origen de este incremento puede deberse sobre todo a los aportes de sulfatos ya sea como integrantes naturales del agua de riego (30 mg l^{-1}) o bien como aportes de abonos solubles (K_2SO_4 , MgSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, etc.) utilizados para la fertilización de estos cultivos hortícolas. Este enriquecimiento del suelo en dicho constituyente puede representar una incipiente gypsificación antrópica semejante a la descrita por diversos autores en suelos de los Monegros después de su puesta en riego y la dedicación a cultivos de hortícolas o forrajes.

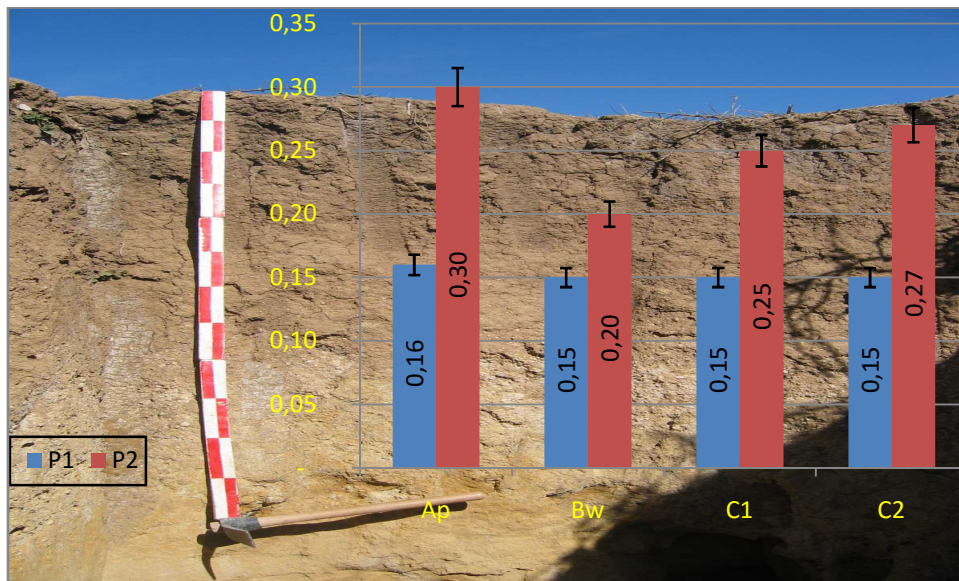


Fig. 4.7. Niveles de yeso (SO_4^{2-}) en los perfiles P1 y P2.

El contenido en CaCO_3 no se ha visto afectado significativamente por el cambio de cultivo, oscilando entre el 31 y el 48 %, con una ligera tendencia a aumentar en profundidad, pero sin verse modificado por las prácticas culturales de los últimos años. En este sentido, a pesar de las adiciones de ácido fosfórico (fuente de fósforo para los cultivos), así como de ácido nítrico (aporte de nitrógeno y limpieza de los goteros) y de otras sustancias acidificantes que tienden a neutralizar una parte del carbonato cálcico del suelo, el contenido de este componente no ha descendido. Estos ácidos adicionados reaccionan con el carbonato cálcico del suelo para dar lugar a sales más solubles, que pueden ser absorbidas por las plantas, permanecer en la solución del suelo o lixiviarse a horizontes o capas más profundas. Independientemente del destino de estas sales, lo que sí es seguro, es que por cada equivalente de ácido adicionado, se neutraliza otro equivalente de carbonato, por tanto, sería lógico pensar en un descenso de la concentración de este constituyente, aspecto este que no sólo no se observa en los resultados obtenidos sino que aparentemente tiende a aumentar. Si esto último se confirmase, hay que pensar que las pérdidas de carbonatos, debido a los procesos comentados, son más bajas que los aportes, cuyo origen puede estar en los bicarbonatos disueltos en el agua de riego ($260,1 \text{ mg l}^{-1}$) o el CO_2 procedente de la respiración radicular que como

consecuencia del carácter básico del medio edáfico, se transformaría a carbonatos que precipitarían en el suelo.

En la tabla 4.3, se recoge el valor de algunas propiedades físico-químicas en los dos perfiles estudiados. Con respecto a la capacidad de cambio catiónico (CCC), se observa que los dos suelos tienen valores moderadamente altos en sus horizontes Ap y Bw, siendo en P2 significativamente superior a P1. Dicha CCC es atribuible sobre todo a la fracción arcilla, habida cuenta de la presencia de minerales de naturaleza esmectítica en dicha fracción, y en menor cuantía a la materia orgánica, que justificaría el que la CCC fuese mayor en los horizontes superficiales del perfil P2, debido a la adición de M.O. en forma de estiércol. Esto debe ser así ya que la mineralogía de la fracción arcilla, como veremos más adelante en los correspondientes diagramas de rayos-x realizados a esta fracción, no se ha visto alterada como consecuencia del cambio de cultivo y que el aumento en el contenido de materia orgánica observado en el perfil P2 se corresponde con restos de estiércol y materia orgánica fresca escasamente humificada y, por tanto, poco influyente en la capacidad de cambio del suelo. Bending et al. (2004), Liu et al. (2006), Bulluck et al. (2002), Martínez et al. (2003) y Morari et al. (2008) entre otros, describen una mejora en CCC debido a la adición de M.O. en comparación con los suelos tratados con fertilizantes convencionales. Sánchez Navarro et al. (2013) obtienen resultados semejantes en un ensayo de apio donde se compara un modelo de gestión basado en la agricultura ecológica con otro típico de las explotaciones convencionales de la zona.

Tabla 4.3. Propiedades físico-químicas.

Perfil	Hor.	CCC ($cmol(+)Kg^{-1}$)	C.E. (dsm^{-1})	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pF (33 KPa)	pF (1500 KPa)	Agua útil
1	Ap	20,7	0,97	8,3	7,4	31,6	16,7	14,9
	Bw	17,3	1,16	8,4	7,3	32,7	16,9	15,8
	C1	14,4	0,52	8,6	7,2	25,5	12,3	13,2
	C2	17,7	0,40	8,5	7,2	26,6	13,0	13,6
2	Ap	21,4	2,30	7,9	7,2	32,7	17,5	15,2
	Bw	19,6	1,24	7,9	7,2	32,3	16,9	15,4
	C1	13,3	2,31	7,8	7,1	26,6	12,3	14,3
	C2	10,9	2,24	7,8	7,2	27,9	10,3	17,6

La conductividad eléctrica del extracto de saturación (C.E.) tiene valores inferiores a 2 dSm^{-1} en todos los horizontes de P1, mientras que en P2, por el contrario, supera este valor en todos los horizontes salvo el Bw. Puede decirse, por tanto, que los cinco años de cultivo de hortalizas ha supuesto un incremento de más del doble en el caso de los horizontes superficiales y hasta de cuatro veces en profundidad. Dicho incremento debe tener su origen en la incorporación de sales solubles, bien sean procedentes de la mineralización de las enmiendas orgánicas y restos vegetales, así como en la propia agua de riego. Resultados semejantes han sido obtenidos por diferentes autores (Hao y Chang, 2003; Hirzel et al., 2004; Herencia et al., 2007), quienes concluyen que la aplicación continuada de enmiendas orgánicas puede incrementar la C.E. eléctrica del suelo.

En el caso del pH en agua, P1 tiene valores superiores a 8.3 en todos sus horizontes, mientras que el pH en KCl es aproximadamente una unidad de pH inferior, por tanto, puede decirse que el complejo de cambio está totalmente saturado en los dos perfiles. P2 tiene valores estadísticamente más bajos en agua, de manera que ningún horizonte alcanza el valor 8 y, sin embargo, en KCl son muy semejantes a los encontrados en P1, con niveles próximos a 7.2 (figura 4.8). Dicho comportamiento es semejante al encontrado por Herencia et al. (2007), en un estudio realizado durante 6 años en el Valle del Guadalquivir, donde compararon sistemas de producción ecológicos frente a convencionales. Dichos autores observaron una disminución del pH en agua en los suelos gestionados de acuerdo con las normas de la agricultura ecológica, después de aplicar diferentes dosis y tipos de estiércoles. Asimismo atribuyeron este descenso a la liberación de CO_2 por parte de los microorganismos del suelo, así como por la respiración radicular de los cultivos. Es obvio que también contribuirían en dicha acidificación los ácidos orgánicos procedentes del estiércol, liberados en los procesos de descomposición microbiológica y posteriormente incorporados a la solución del suelo. Por otro lado, es de prever que el poder tampón del suelo, debido sobre todo a la presencia de CaCO_3 en concentraciones moderadas, pueda neutralizar a medio y largo plazo estas variaciones de pH del suelo (Brucker y Rouiller, 1987).

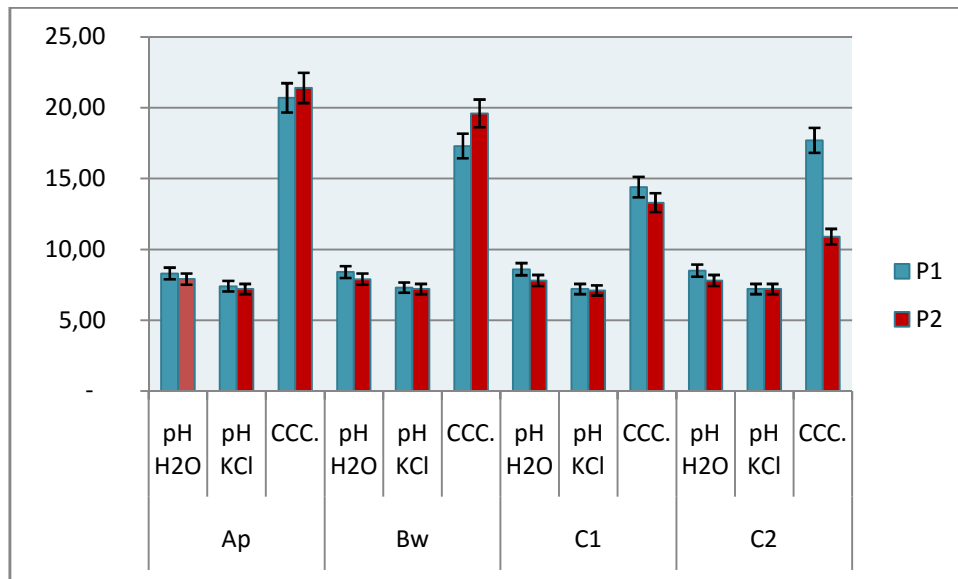


Fig. 4.8. Valores de algunas propiedades de los perfiles P1 y P2.

Como conclusión, puede afirmarse que bajo condiciones de cultivo en las que se induce la acidificación del suelo, mediante el aporte de fertilizantes orgánicos y por incorporación de CO₂ procedente de la respiración radicular de los cultivos y de la actividad biológica de los microorganismos, la acidez real del suelo (pH en H₂O) experimenta una ligera acidificación que se manifiesta en un pH más bajo, sin embargo, la acidez potencial no se ha visto afectada y, por tanto, es de esperar que el poder tampón del suelo neutralice este cambio cuando cese el aporte de estiércol.

En lo referente a la dinámica del agua en el suelo, puede observarse que los valores del pF son muy semejantes en los dos perfiles estudiados. El porcentaje de agua útil se sitúa en torno al 15 % en los horizontes Ap y Bw y desciende un poco en el C1. El agua útil en el horizonte C2 es mayor en P2 que en P1 y a tenor de otros resultados obtenidos y al origen fluvéntico del suelo, cabe esperar que las diferencias encontradas tengan su origen fundamentalmente en la distinta composición granulométrica de estos horizontes más que en la influencia del cultivo.

4.1.3. Composición granulométrica.

Se ha efectuado también un seguimiento de la composición cuantitativa y cualitativa de las fracciones granulométricas del suelo, ya que a priori se consideraba que las mismas no deberían verse afectadas por el cambio de modelo de cultivo. En efecto, como se desprende de la tabla 4.4, la clase textural de los horizontes no se ha visto modificada significativamente como consecuencia de los nuevos cultivos. Como puede comprobarse en la figura 4.9, los horizontes Ap y Bw de los suelos tienen una textura muy enriquecida en elementos finos (arcilla y limo), de manera que su clase textural es franco arcillo-limosa, donde el contenido de arcilla se aproxima al 40 %.

Tabla 4.4. Composición granulométrica.

Perfil	Hor.	<2 μm	2-20 μm	20-50 μm	50-100 μm	100-250 μm	250-500 μm	500-1000 μm	1000-2000 μm
1	Ap	37,0	35,0	14,3	4,6	4,3	2,4	1,5	1,0
	Bw	37,2	29,8	17,9	4,8	4,5	2,3	1,7	1,8
	C1	32,0	21,7	4,4	5,4	7,7	6,5	7,8	14,5
	C2	29,6	14,1	16,0	7,3	12,4	11,5	7,0	2,1
2	Ap	39,5	33,0	14,7	2,7	3,8	3,3	1,9	1,3
	Bw	38,9	25,8	21,5	8,1	1,3	1,3	1,1	1,9
	C1	35,4	24,9	3,0	4,7	9,2	7,8	6,1	8,7
	C2	25,0	15,5	4,0	4,1	19,7	20,9	7,1	3,6

El horizonte C1 de los dos perfiles es menos limoso y en contrapartida se incrementa el porcentaje de arena, sobre todo las fracciones más gruesas (>250 μm), de manera que la clase textural pasa a ser franco arcillosa. Finalmente, y al igual que pasaba con otros parámetros analíticos, la textura del horizonte C2 del perfil P2 es distinta a la del P1, aspecto que viene a corroborar el origen fluvéntico de estos suelos y, por tanto, las diferencias entre ambos horizontes C, que deben estar relacionadas con la génesis del mismo más que con el cambio de uso en los últimos años.

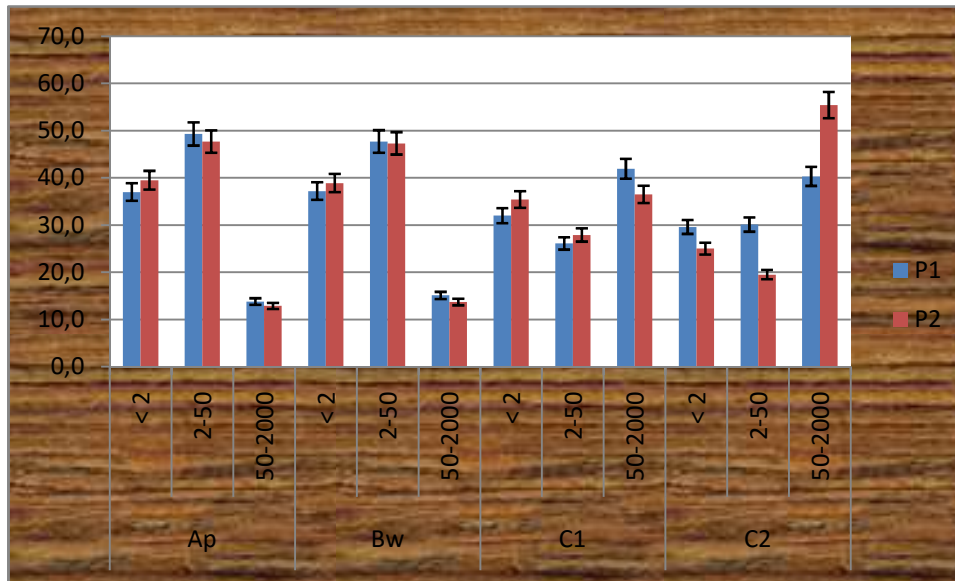


Fig. 4.9. Contenidos de arcilla, limo y arena en los perfiles P1 y P2.

Desde un punto de vista cualitativo, hay que resaltar que la naturaleza de los minerales tanto de la fracción arena como de la arcilla son idénticos entre los horizontes de los dos perfiles. En cuanto a los primeros, destacan minerales incoloros o poco coloreados (cuarzo, calcita, etc.) que forman parte de la fracción ligera de la arena obtenida tras la separación con bromoformo. La fracción pesada es inapreciable. Por otro lado, se ha efectuado una caracterización de la fracción arcilla de los dos perfiles a partir del estudio de los agregados orientados saturados en Mg. En la misma, y como puede apreciarse en las figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13, donde se representan los agregados orientados de los horizontes Ap, Bw y C1, no existen diferencias apreciables entre los mismos horizontes de los dos perfiles. Así el Ap (figura 4.10) muestra una reflexión a 1.0 nm que permanece en todos los tratamientos y que es atribuible a la illita; asimismo, tanto en el agregado orientado saturado en Mg como en etilenglicol, se observa otra reflexión a 0.7 nm, que desaparece en el tratamiento térmico y que es asignable a la caolinita. Junto a ellas, y a tenor de la banda de reflexión existente en espaciados próximos a 1.4 nm, deben existir trazas de otras especies mineralógicas tipo esmectitas, cloritas o vermiculitas o interestratificados entre ellas o con la illita. Son, por tanto, estas dos especies minerales las que caracterizan la arcilla del horizonte Ap tanto del perfil P1 como del P2.

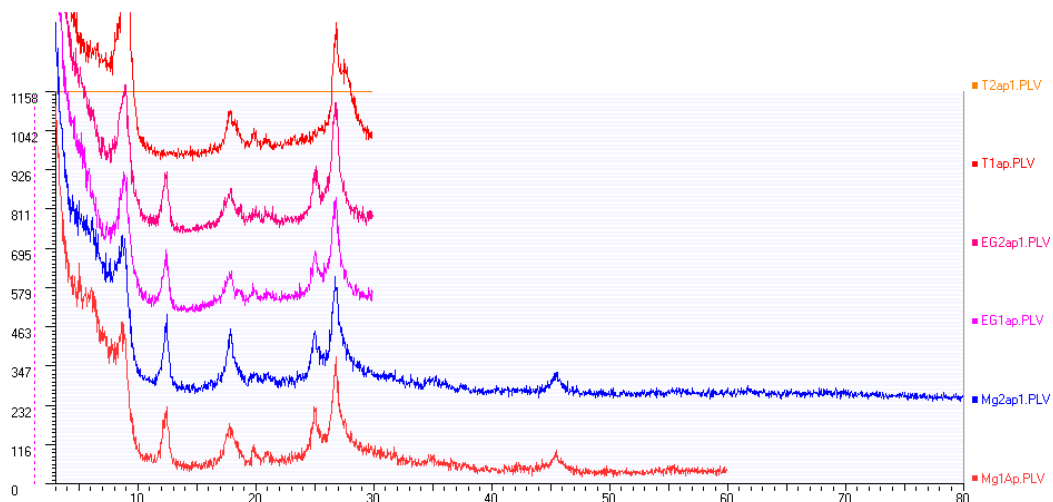


Fig. 4.10. Difractograma de A.O. horizontes Ap.

En este mismo sentido, en la figura 4.11, se recogen los correspondiente difractogramas de los horizontes Bw en los que junto a la illita y caolinita presentes en los horizontes Ap, se observa una banda de reflexión en el difractograma de agregado orientado saturado en Mg a 1.4 nm, que se expande hacia 1.7 nm al solvatar en etilenglicol y que permanece aunque muy disminuida de intensidad en el tratamiento térmico. Dicho comportamiento puede deberse a la presencia de esmectitas y cloritas, minerales estos que pueden considerarse formados a partir de la illita. Al igual que en los horizontes Ap, tampoco se observan diferencias significativas entre los Bw del perfil P1 y P2.

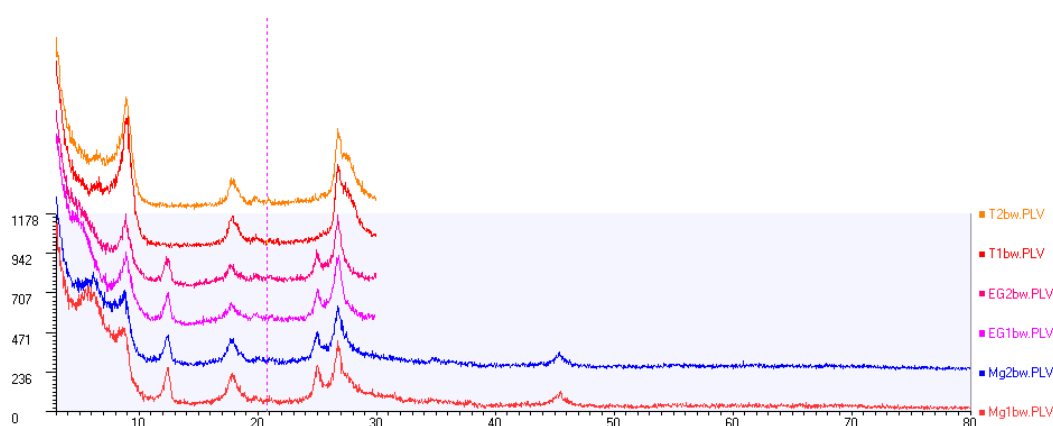


Fig. 4.11. Difractograma de A.O. horizontes Bw.

Por último, en la figura 4.12 se representan los difractogramas de A.O. del horizonte C1 saturados en Mg, mientras que en la figura 4.13 se representan los saturados en litio (Green Kelly). En la primera, se observan las mismas reflexiones y el mismo comportamiento ante los distintos tratamientos que el comentado para el horizonte Bw, y sólo es de destacar, la gran intensidad y definición de la reflexión existente en los difractogramas saturados en Mg a 1.4 nm, que se expande hasta 1.7 nm al solvatar en etilenglicol y que, por tanto, es atribuible a la presencia de esmectitas.

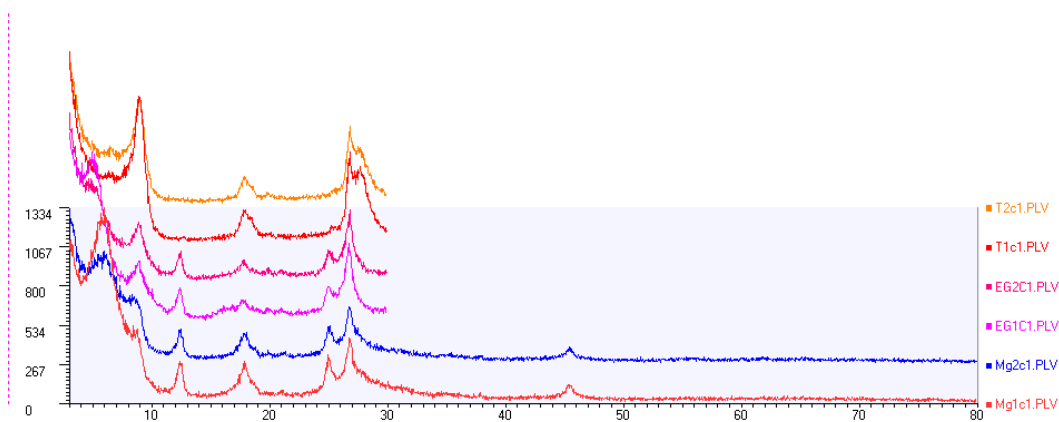


Fig. 4.12. Difractogramas de A.O. saturado en Mg horizontes C1.

La caracterización de dichas esmectitas a partir de las recomendaciones dadas por Green Kelly, y de acuerdo a los difractogramas de la figura 4.13, nos hace pensar que se trata de esmectitas trioctaédricas, ya que después de someter el A.O. a temperaturas de 350 °C durante 8 horas, la reflexión a 1,4 nm existente en el A.O. saturado en litio, desaparece y pasa a 1,0 nm, que después de la correspondiente solvatación en etilenglicol expande su espaciado interlamina hasta valores más altos (1,7 nm), al incorporar dicho disolvente orgánico en su estructura.

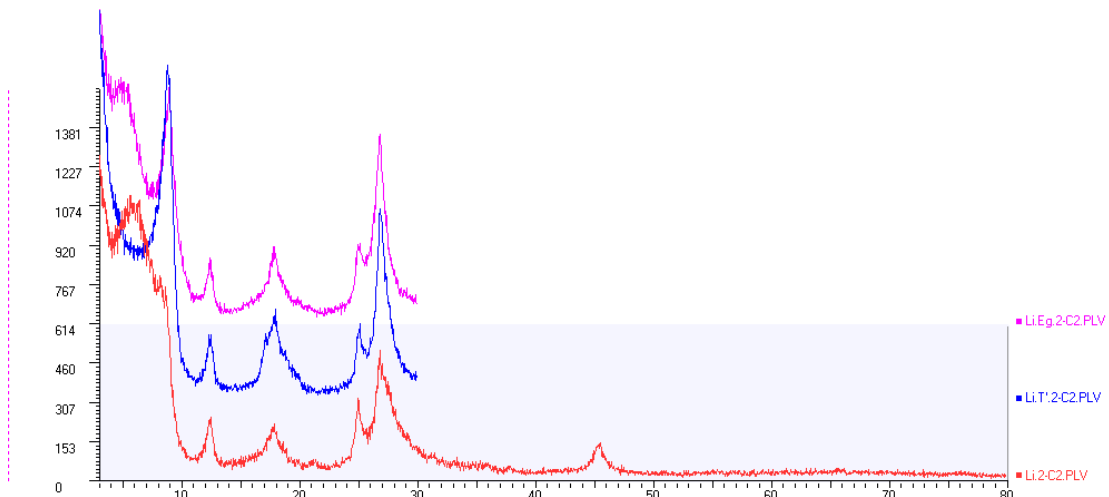


Fig. 4.13. Difractogramas de A.O. saturado en Li horizontes C1

A modo de resumen, podemos afirmar que la mineralogía de las fracciones arena y arcilla no se han visto afectadas por el cambio de modelo de cultivo, observándose una total coincidencia entre los mismos horizontes de los dos perfiles.

4.1.4. Macro y micronutrientes.

Finalmente, se ha considerado oportuno determinar la disponibilidad de nutrientes en el suelo para poner de manifiesto los posibles cambios que ha podido inducir el cambio de modelo de cultivo, todo ello teniendo en cuenta la fuerte incidencia que tiene el abonado y el riego como fuentes de aportes o adiciones de sales al suelo. En este sentido, en la tabla 4.5 se recogen los contenidos de algunos elementos asimilables en los dos perfiles. Como puede comprobarse, las bases de cambio (Na, K y Mg) aparentemente experimentan un incremento de concentración en el perfil P2 y sobre todo en sus horizontes más superficiales. K y Mg, como macronutrientes, están en niveles altos o muy altos, mientras que los niveles de Na, aún en el perfil P2 donde se duplican con respecto al P1, no representan por lo pronto problemas de toxicidad para el desarrollo de este tipo de cultivos, aunque su fuerte incremento en un periodo de tiempo tan corto obliga a plantearse las estrategias de cultivo para el futuro.

Tabla 4.5. Elementos asimilables.

Perfi l	Hor.	Na (g.Kg ⁻¹)	K (g.Kg ⁻¹)	Mg (g.Kg ⁻¹)	Fe (mg.Kg ⁻¹)	Mn (mg.Kg ⁻¹)	Cu (mg.Kg ⁻¹)	Zn (mg.Kg ⁻¹)	P (mg.Kg ⁻¹)
1	Ap	0,22	0,41	0,36	2,4	4,8	1,4	0,5	4,8
	Bw	0,20	0,21	0,42	2,7	5,3	1,2	0,4	1,1
	C1	0,21	0,12	0,53	2,4	1,2	0,5	0,8	1,1
	C2	0,21	0,14	0,70	2,0	0,3	0,5	0,3	1,1
2	Ap	0,50	0,48	0,53	2,1	8,1	1,2	0,6	13,5
	Bw	0,40	0,32	0,45	7,2	29,1	1,0	0,3	3,1
	C1	0,42	0,21	0,37	2,0	24,0	0,7	0,5	3,6
	C2	0,21	0,09	0,30	2,1	6,5	0,6	0,5	6,4

Como era de esperar, las propiedades que más han cambiado al pasar de un cultivo extensivo a base de cereales y leguminosas a uno intensivo de hortalizas al aire libre son aquellas relacionadas con el contenido cuantitativo y cualitativo de las sales presentes en el suelo, de forma que como puede observarse en la figura 4.15 sodio, potasio y magnesio tienen valores mayores en los horizontes Ap, Bw y C1 del perfil P2, mientras que en el horizonte C2 de este perfil o son iguales, caso del Na, o notablemente más bajos (K y Mg).



Fig. 4.15. Bases de cambio en perfiles P1 y P2.

Dicho comportamiento, al igual que ocurre con las sales, sólo puede explicarse a partir de la actuación antrópica a la que está sometido el suelo dedicado a hortalizas. En efecto, tanto los aportes de cationes o aniones, bien

como constituyentes naturales del agua de riego o adicionados en las enmiendas orgánicas, originan cambios sustanciales en el suelo, de manera que en la situación que nos ocupa, puede afirmarse que el contenido de Na se ha incrementado como consecuencia del cambio de cultivo, ya que los niveles de este elemento son mayores en el perfil P2 que en el P1, sobre todo en el horizonte Ap, donde, como es obvio, queda más patente el efecto de la enmienda orgánica y del riego. De igual forma se comporta el K, aunque la concentración es ligeramente inferior a la de Na en todos los horizontes del perfil P2, aspecto que puede relacionarse con menores aportes de este elemento unido a las mayores extracciones por parte de los cultivos hortícolas. Dicha hipótesis puede admitirse si tenemos en cuenta que la concentración de este elemento en el horizonte Ap del perfil P1 es casi el doble que la de Na y después de cuatro años de cultivo dicha relación Na/K se invierte y pasa a ser ligeramente superior a 1. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Bulluck et al. (2002), Martínez et al. (2003), Larchevêque et al. (2006) y Morari et al. (2008), que describen mejoras en los niveles de nutrientes ligados a la adición de materia orgánica.

Por último, cabe asimismo resaltar las diferencia existentes entre los dos perfiles en cuanto a otros elementos asimilables como es el caso del Mn y P (figura 4.16), que, como puede comprobarse, también han evolucionado de la misma forma, es decir, se presentan en niveles más altos en el perfil P2. En este sentido, Mandal y Mitra (1982), así como Laboski y Lamb (2003), entre otros, resaltan el papel de la M.O. en la quelación del Mn y del P, ya que este componente afecta al estado redox de los suelos favoreciendo la solubilización de dichos nutrientes. La actividad microbiana del suelo es la responsable de la oxidación y reducción de los compuestos de Mn y P y, por tanto, del incremento de la concentración en los suelos donde se adiciona M.O. (Bromfield, 1978; Ruiz, 2002).

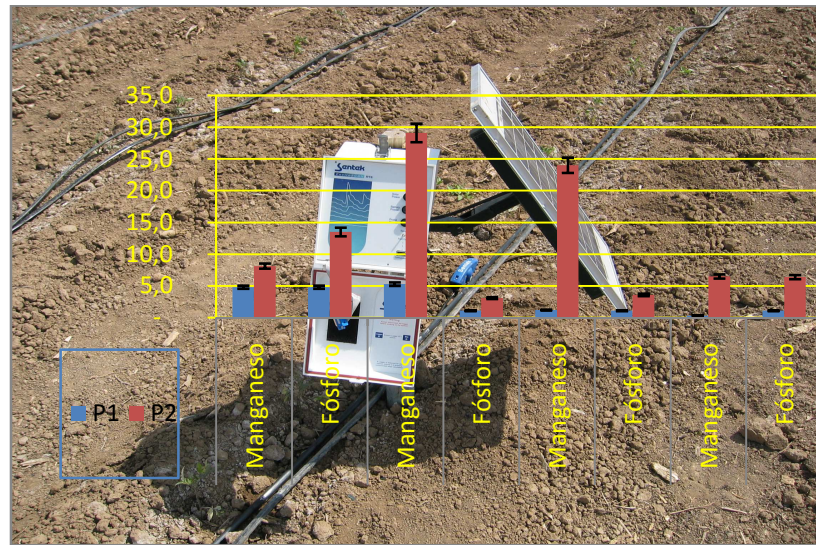


Fig. 4.16. Concentración (mg kg⁻¹) de Mn y P en los perfiles P1 y P2.

Por último, en la figura 4.17 se recogen los valores de los micronutrientes que muestran comportamientos aleatorios en los distintos horizontes de los dos perfiles. Como puede comprobarse en dicha gráfica Cu y Zn experimentan cambios poco concluyentes como consecuencia de las modificaciones antrópicas inducidas por el cultivo de hortalizas y por la gestión o manejo que se hace del suelo dedicado a las mismas. Apparently el Cu experimenta un descenso no significativo en los horizontes superiores, que podría atribuirse a la mayor tasa de absorción por parte de los hortícolas, mientras que en los de profundidad tiende a aumentar, aspecto que difícilmente puede deberse a un lavado de dicho elemento dado el pH y la concentración de carbonatos existente en todo el perfil. El Zn permanece sin diferencias significativas en el horizonte Ap, desciende en los horizontes Bw y C1 y vuelve a aumentar en C2, comportamiento que parece muy aleatorio y que probablemente sea debido al error analítico, dada su baja concentración en el suelo.

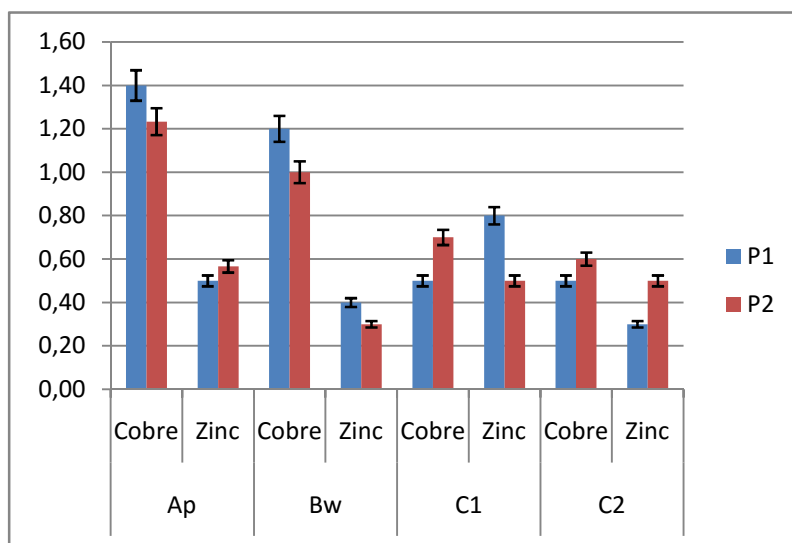
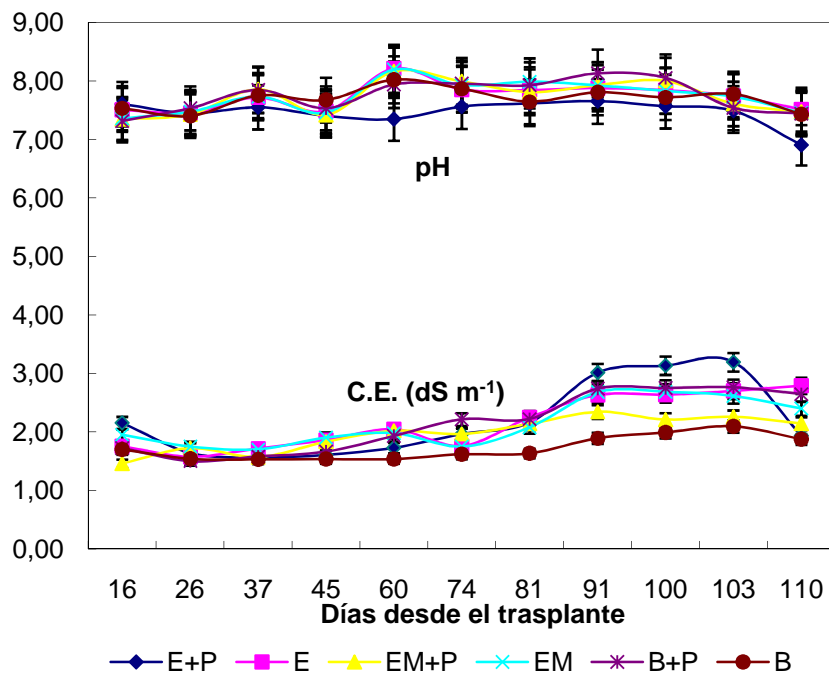


Fig. 4.17. Concentración (mg kg⁻¹) de algunos micronutrientes en los perfiles P1 y P2.

4.2. DISOLUCIÓN DEL SUELO.

Los principales parámetros nutricionales determinados en la disolución del suelo durante el desarrollo del cultivo fueron pH, conductividad eléctrica (C.E.), nitratos (NO_3^-), fosfatos (H_2PO_4^-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), amonio (NH_4^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), así como otros iones que podían originar problemas de toxicidad (Na^+ y Cl^-) y junto a los micronutrientes Fe, Mn, Cu, Zn y B. Todos se determinaron a lo largo de las dos campañas en las que se realizó el ensayo. En esta memoria sólo se adjuntan los datos de la primera campaña, ya que la segunda tiene un comportamiento muy semejante. Se realizaron 11 tomas de muestras de la disolución del suelo a lo largo de todo el ciclo de cultivo del tomate para el nivel de riego de 5 mm h^{-1} .



Análisis de varianza (P=0.05)	<i>F crítica</i>	<i>F</i>	<i>Diferencias</i>
<i>Tratamientos</i>	2.37	2.11	NS

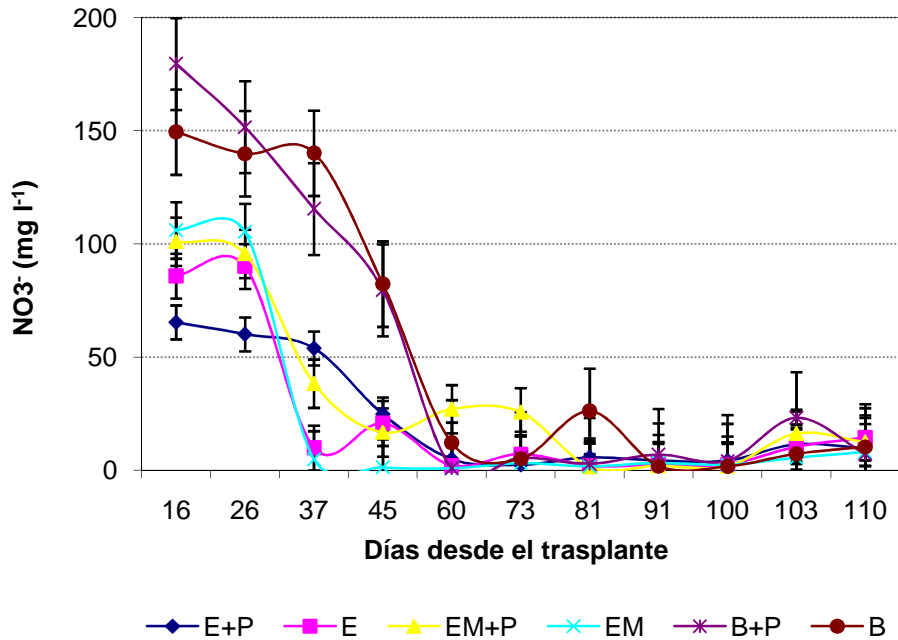
Fig. 4.2.1. Evolución del pH y la conductividad eléctrica (C.E.) de la disolución del suelo a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

Los valores de pH de la solución del suelo (figura 4.2.1) se mantienen durante todo el ciclo de cultivo, en torno a un valor medio de 7.5, con valores en general ligeramente más bajos para el tratamiento E+P. Aunque la disolución nutritiva empleada varíe a lo largo del ciclo de cultivo no existen diferencias significativas entre los distintos periodos de producción (vegetativo, plena producción y final del ciclo) ni entre los distintos tratamientos, hecho que es debido al efecto tampón que ejerce el suelo (Lao *et al.*, 2004).

En las primeras etapas del cultivo los valores de la C.E. varían entre 1.5 y 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, experimentando un aumento a partir de los 81 días desde el trasplante, con valores comprendidos entre 1.75 y 3.19 ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), siendo el tratamiento con estiércol y cubierta de plástico (E+P) el que presenta los valores más elevados, mientras que el tratamiento testigo (B) es el que muestra los valores más bajos. El aumento que se produce a lo largo del cultivo es consecuencia del aumento de iones Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} y Na^+ , ya que en la medida de la C.E. los iones Cl^- son los que más aumentarán la conductividad a igualdad de concentración, tienen un aporte intermedio los SO_4^{2-} y de los que menos aumenta la C.E. será NaHCO_3 (Casas y Casas, 1999). Por tanto, dicho incremento debe tener su origen en la incorporación de sales solubles, bien sean procedentes de la mineralización de las enmiendas orgánicas y restos vegetales, así como en la propia agua de riego, al igual que ocurría en el suelo. Todo ello junto al incremento de temperaturas propias de la época estival, produciendo aumento en la evapotranspiración con la consiguiente pérdida de agua y aumento de la concentración de sales se traduce en el incremento de la C.E. Puesto que es conocido por todos que la C.E. depende de la temperatura, concentración de sales y la interacción catión-anión (Peiming, Anderko y Young, 2004).

A continuación se describe el comportamiento de los principales nutrientes determinados en la disolución del suelo (macro y micronutrientes), así como otros elementos que pudieran representar algún riesgo de toxicidad (Cl^- y Na^+).

La concentración de nitratos (NO_3^-) en la disolución del suelo varía en un amplio rango, entre 179.50 y 0.78 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, inicio y final, respectivamente (figura 4.2.2.).



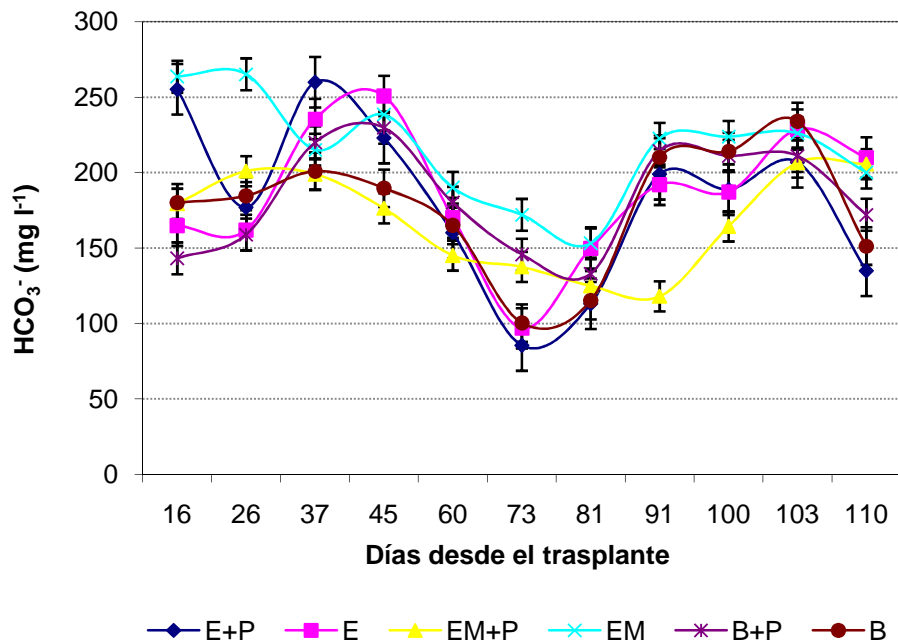
		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
Días desde el trasplante	16	65,36	85,80	101,00	106,00	179,50	149,39
	26	60,05	90,00	95,60	105,30	151,59	139,88
	37	53,81	9,86	38,26	4,77	115,43	140,08
	45	24,66	20,67	16,68	1,19	79,53	82,25
	60	4,83	2,13	26,98	0,78	0,78	12,12
	73	2,34	7,09	25,60	3,05	5,40	5,08
	81	5,62	1,87	1,39	1,62	2,84	26,06
	91	4,21	2,43	1,90	3,13	6,83	1,83
	100	4,24	2,50	1,69	2,40	4,09	1,63
	103	11,39	10,32	16,17	5,53	23,09	7,13
110	9,52	14,31	12,45	8,00	7,13	10,32	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>		<i>Diferencias</i>	
<i>Tratamientos</i>		2.37		0.37		NS	

Fig. 4.2.2. Evolución de la concentración de nitratos (NO_3^-) en la disolución del suelo, expresada en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

La acumulación inicial de NO_3^- en la disolución del suelo (16 días desde el trasplante) puede ser atribuido a la mineralización de la materia orgánica tanto del suelo como de los abono orgánicos incorporados (E y EM) que se produce gracias al incremento de temperatura y humedad en esta primera etapa del cultivo, hecho que como indica Granados *et al.* (2007) contribuye a la lixiviación de nitratos. Jiménez y Lao (2004) también consideran que el uso de enmiendas orgánicas provoca que el contenido de NO_3^- en la solución del suelo sea superior, aspecto que no se manifiesta en este ensayo, debido a la importante adición de NO_3^- en forma de abono soluble en los tratamientos sin enmiendas orgánicas (B y B+P) para garantizar las necesidades del cultivo en esta primera etapa. Con el desarrollo del cultivo el contenido de NO_3^- comienza a disminuir, a pesar de los aportes de N mediante fertirrigación, hasta los 45-60 días desde el trasplante. Este comportamiento se puede atribuir a que este anión se considera muy móvil y una vez en el suelo no entra en las reacciones de intercambio que se producen con el complejo adsorbente del suelo, por lo que inmediatamente después de su aplicación está disponible para las plantas. De ahí que en esta fase de mayor crecimiento vegetativo se produce una mayor absorción de NO_3^- por las plantas (Hernández *et al.*, 2014). Por otro lado, Guzmán (2006) indica que uno de los problemas en el control y seguimiento de los nutrientes en la disolución del suelo o del sustrato es la rápida movilidad de algunos iones. Este autor considera que los NO_3^- , conjuntamente con el K^+ , el NH_4^+ y el H_2PO_4^- , son elementos de absorción rápida que pueden ser absorbidos de la disolución en pocas horas. Asimismo, Casas (1999) y Lao *et al.* (2004) establecen, tanto para el cultivo de tomate en suelo como en sustrato, que los valores de NO_3^- en la disolución del suelo y su comportamiento depende de la alta demanda que de este nutriente ejercen los cultivos de alto rendimiento, de su rápida absorción, del balance que existe entre los procesos vegetativos y generativos y de las propiedades físico-químicas del suelo.

Con el inicio de la floración, cuajado de los primeros frutos y disminución del aporte de N en el programa de fertirrigación (60-65 días desde el trasplante) se produce una estabilización de los niveles de NO_3^- , con una concentración final próxima a los $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, sin mostrar diferencias entre los distintos tratamientos ensayados.

En la evolución de la concentración de bicarbonatos en la disolución del suelo (figura 4.2.3) todos los tratamientos presentan un perfil similar.

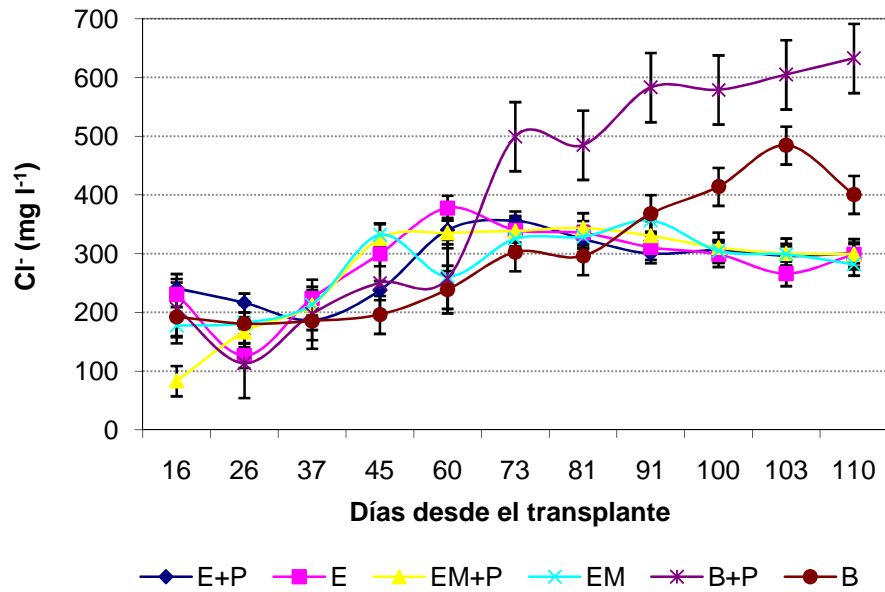


		Tratamientos fertilizantes					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
Días desde el trasplante	16	255,22	164,70	179,34	263,52	143,15	180,00
	26	176,90	161,77	200,89	265,15	158,91	184,42
	37	259,86	235,46	198,86	215,13	220,01	200,89
	45	222,85	250,71	176,29	238,31	229,77	189,51
	60	160,00	170,00	145,00	190,00	180,00	165,00
	73	85,40	96,81	137,45	172,02	145,59	100,27
	81	113,05	149,65	124,85	153,11	132,98	115,09
	91	198,86	191,87	117,93	222,45	214,11	210,25
	100	188,69	187,07	164,29	223,67	211,06	213,91
	103	206,79	228,55	206,59	226,11	211,06	233,83
110	134,92	210,00	205,57	200,00	172,02	151,28	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>		<i>Diferencias</i>	
Tratamientos		2.37		1.62		NS	

Fig. 4.2.3. Evolución de la concentración de bicarbonatos (HCO₃⁻) en la disolución del suelo, expresada en mg l⁻¹, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

Se observa una disminución en la concentración del ion bicarbonato con el aumento del riego a partir de los 44 días desde el trasplante alcanzando el nivel mínimo a los 73 días, lo que podría suponer un efecto de dilución. Sin embargo a partir de esta fecha, este efecto se contrarresta con el aumento de las temperatura y por tanto de la evapotranspiración del cultivo, lo que provoca el efecto contrario aumentando la concentración en el suelo. Entre tratamientos no se obtuvieron diferencias significativas.

Los niveles de cloruros (Cl^-) ($83.31 - 632.84 \text{ mg l}^{-1}$) aumentan a lo largo del ciclo de cultivo para todos los tratamientos fertilizantes empleados, presentando en general valores superiores en los tratamientos control (B+P y B) respecto al resto, especialmente a partir de los 73 días desde el cuajado y para el tratamiento testigo con acolchado de plástico (B+P) (figura 4.2.4). La concentración inicial es similar a la obtenida por Lao *et al.* (2004) mientras que la obtenida al final del ciclo es mucho más elevada, lo que indica una acumulación severa de cloruros en la disolución del suelo con la evolución del cultivo. Los valores encontrados son elevados posiblemente relacionados con la elevada movilidad de este anión en el suelo que propicia su fácil absorción por las sondas de succión. Su tendencia a la acumulación a lo largo de la experiencia es debida, por un lado a los aportes en el agua de riego y en el programa de fertirrigación, en el caso de B y B+P, ya que dicho anión forma parte de algunas sales que se utilizan como nutrientes en grandes cantidades en la última etapa del ciclo (KCl), mientras que en los tratamientos a base de enmiendas orgánicas, este aumento debe proceder del Cl^- existente tanto en el agua de riego como en el suelo, así como del liberado en la mineralización de la materia orgánica. Este perfil de evolución está en concordancia con el perfil encontrado para la C.E. en la disolución del suelo durante el ciclo de cultivo y el que haya un aumento en el valor de la C.E. en cada uno de los horizontes del perfil 2 donde se ha realizado el cultivo de tomate durante varios años consecutivos.

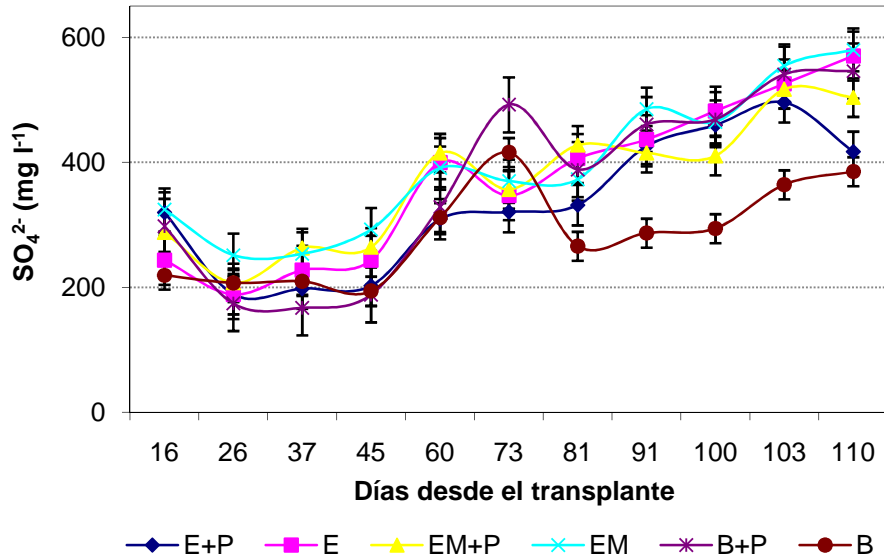


		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
<i>Días desde el trasplante</i>	16	241,08	230,44	83,31	177,27	206,81	192,63
	26	216,26	126,45	166,63	181,99	113,45	180,81
	37	186,72	223,35	212,72	213,90	197,36	185,54
	45	237,54	300,17	326,17	332,08	250,53	196,17
	60	340,35	378,17	335,62	261,17	257,63	238,72
	73	356,00	340,45	338,70	325,30	499,68	302,65
	81	325,00	335,30	343,60	329,10	485,05	296,13
	91	300,20	310,60	330,60	356,50	583,25	367,89
	100	305,90	298,60	310,50	304,80	579,30	414,32
	103	296,60	265,90	300,50	298,60	605,06	484,52
110	300,60	298,80	299,40	281,80	632,84	400,62	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>		<i>Diferencias</i>	
<i>Tratamientos</i>		2.37		2.26		NS	

Fig. 4.2.4. Evolución de la concentración de cloruros (Cl^-) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

La concentración de sulfatos (SO_4^{2-}) en la disolución del suelo, varía en el rango de 166.97 – 580.11 mg l^{-1} , manteniendos en la etapa inicial hasta los 37 - 44 días desde el trasplante momento a partir del cual presenta un ligero y constante aumento durante todo el ciclo de cultivo, mostrando en general valores máximos para el tratamiento a base de enmienda orgánica comercial

(EM) y mínimos para el tratamiento sin fertilizante orgánico ni cubierta de plástico (B) (figura 4.2.5).

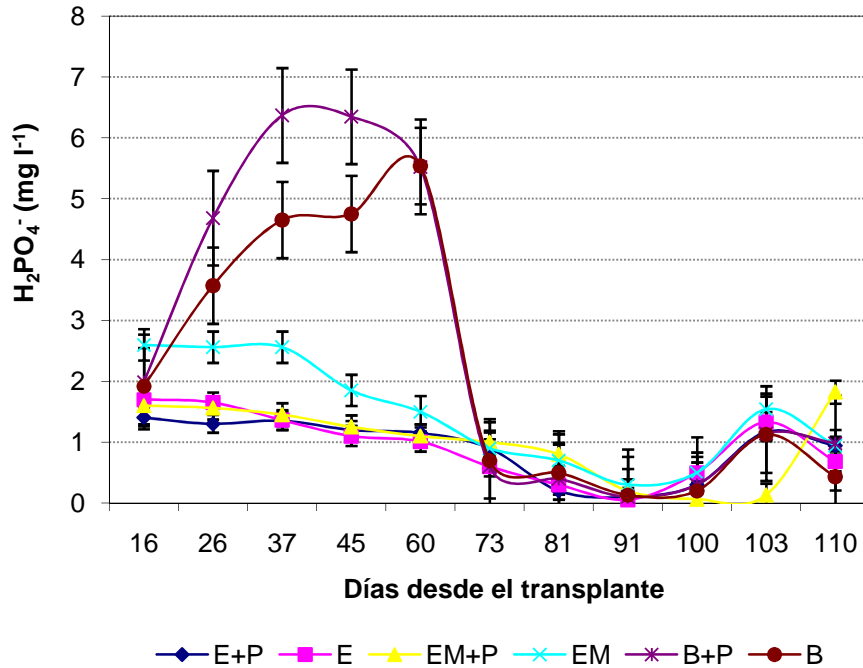


		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
<i>Días desde el trasplante</i>	16	319,63	243,22	287,70	323,95	297,50	219,28
	26	188,90	188,33	207,03	251,60	174,03	206,77
	37	197,77	227,25	262,73	253,63	166,97	209,23
	45	202,03	243,37	263,83	292,40	187,77	193,90
	60	309,05	399,53	414,60	390,75	329,00	311,30
	73	320,35	346,51	356,45	369,79	491,95	415,68
	81	331,36	405,91	427,26	372,80	388,37	265,62
	91	425,81	436,35	414,60	485,12	460,48	286,65
	100	459,64	481,99	410,06	464,70	468,49	293,81
	103	495,93	525,37	516,77	554,17	540,97	363,90
110	416,70	570,01	503,57	580,11	546,10	385,02	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>	<i>Diferencias</i>		
<i>Tratamientos</i>		2.37		1.22	NS		

Fig. 4.2.5. Evolución de la concentración de sulfatos (SO_4^{2-}) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

Este aumento a partir de los 44 días desde el trasplante coincide con el aumento del aporte de SO_4^{2-} en el programa de fertirrigación. Por tanto, el origen de este incremento puede deberse sobre todo a los aportes de sulfatos ya sea como integrantes naturales del agua de riego (30 mg l^{-1}) o bien como

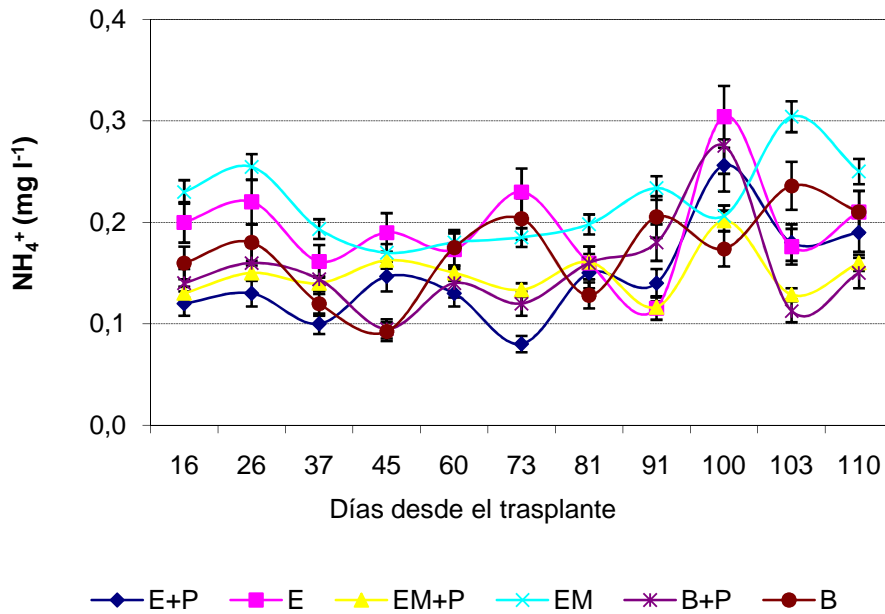
aportes de abonos solubles (K_2SO_4 , $MgSO_4$, $(NH_4)_2SO_4$, etc.) utilizados para la fertilización de estos cultivos hortícolas junto a los aportes procedentes de los fertilizantes orgánicos, de ahí que en el tratamiento EM se alcance el mayor contenido en sulfatos.



		Tratamientos fertilizantes					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
Días desde el trasplante	16	1,41	1,70	1,60	2,60	1,99	1,92
	26	1,30	1,65	1,56	2,56	4,68	3,57
	37	1,35	1,36	1,45	2,56	6,37	4,65
	45	1,20	1,10	1,25	1,85	6,35	4,75
	60	1,15	1,01	1,10	1,50	5,53	5,54
	73	0,90	0,60	1,00	0,90	0,60	0,70
	81	0,20	0,30	0,80	0,70	0,40	0,50
	91	0,10	0,05	0,20	0,30	0,10	0,13
	100	0,30	0,50	0,06	0,50	0,30	0,20
	103	1,16	1,33	0,13	1,54	1,14	1,12
110	0,94	0,68	1,82	0,94	0,98	0,43	
Análisis de varianza (P=0.05)		F crítica		F		Diferencias	
Tratamientos		2.37		2.61		*	

Fig. 4.2.6. Evolución de la concentración de fosfatos ($H_2PO_4^-$) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

En la figura 4.2.6, la concentración de fosfatos (H_2PO_4^-) en la disolución del suelo se encuentran en un rango de concentraciones entre 6.37 y 0.05 mg l^{-1} , mostrando inicialmente un aumento importante para los tratamientos sin fertilización orgánica (B y B+P), con un acentuado descenso a partir de los 60 días tras el trasplante y ligero aumento al final del ciclo de cultivo para todos los tratamientos. Este comportamiento coincide con el aumento y la disminución del aporte de H_2PO_4^- en el programa de fertirrigación.



		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
<i>Días desde el trasplante</i>	16	0,12	0,20	0,13	0,23	0,14	0,16
	26	0,13	0,22	0,15	0,25	0,16	0,18
	37	0,10	0,16	0,14	0,19	0,14	0,12
	45	0,15	0,19	0,16	0,17	0,10	0,09
	60	0,13	0,17	0,15	0,18	0,14	0,18
	73	0,08	0,23	0,13	0,19	0,12	0,20
	81	0,15	0,16	0,16	0,20	0,16	0,13
	91	0,14	0,12	0,12	0,23	0,18	0,21
	100	0,26	0,30	0,20	0,21	0,28	0,17
	103	0,18	0,18	0,13	0,30	0,11	0,24
110	0,19	0,21	0,16	0,25	0,15	0,21	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>		<i>Diferencias</i>	
<i>Tratamientos</i>		2.37		5.11		*	

Fig. 4.2.7. Evolución de la concentración de amonio (NH_4^+) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

Los tratamientos con fertilización orgánica presentan niveles estadísticamente superiores frente al testigo (B y B+P), salvo en los 60 días iniciales del ciclo, donde en éstos se adiciona la mayor parte de las necesidades de P en forma de H_3PO_4 y, por tanto, su concentración en la disolución del suelo se ve incrementada notablemente. Comportamiento similar han encontrado Lao *et al.* (2004) en cultivo de pimiento var. Daniela.

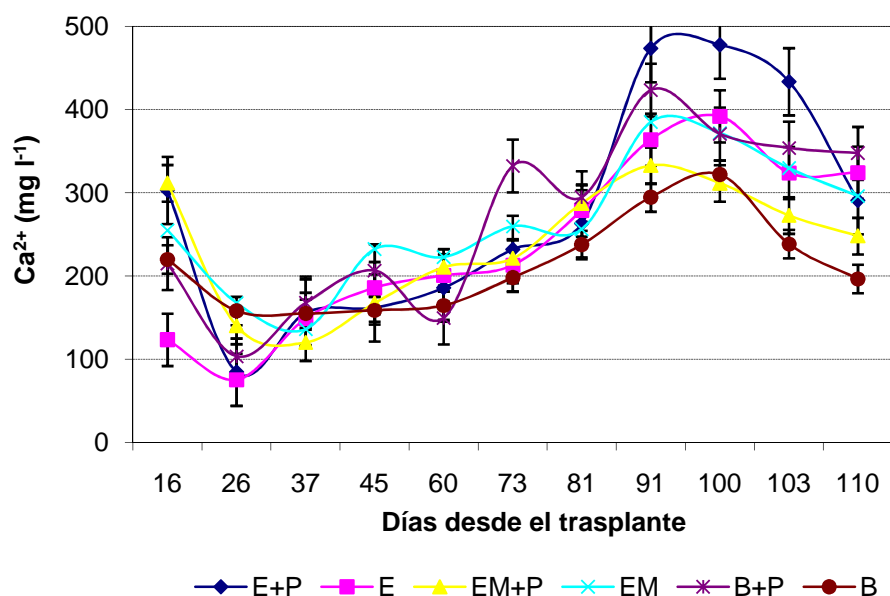
En la figura 4.2.7. se muestra la evolución de la concentración de amonio (NH_4^+) en la disolución del suelo. Presenta ligeras fluctuaciones a lo largo de todo el periodo del cultivo, con un rango de valores comprendidos entre 0.08 y 0.30 $mg \cdot l^{-1}$. Se observan diferencias significativas entre tratamientos, de manera que los tratamientos sin acolchado de plástico (E, EM y B), muestran un contenido superior a los acolchados, aspecto que puede deberse a la mayor temperatura del suelo en estos últimos y, por tanto, a una mayor volatilidad de este componente. En términos generales, los niveles obtenidos para NH_4^+ son muy inferiores a los obtenidos por Lao *et al.* (2004).

La evolución de los niveles de calcio (Ca^{2+}) con el desarrollo del cultivo en la disolución del suelo, es de aumento paulatino hasta los 100 días desde el trasplante, momento a partir del cual descienden, con concentraciones al final del ciclo similares a las iniciales (figura 4.2.8.).

La acumulación de Ca^{2+} en la disolución del suelo con el desarrollo del cultivo pudo estar condicionado con variables climáticas que caracterizaron cada etapa del ciclo y que condicionan la solubilidad de algunas sales portadoras de este nutriente, como es el caso de carbonatos y bicarbonatos.

En las fases de floración y cuajado de los frutos comienzan a ser superiores las temperaturas, sobre este aspecto Lazcano (2004) plantea que en condiciones de alta temperatura y evapotranspiración el crecimiento del fruto es muy intenso, por tanto la absorción debe ser máxima, sin embargo la movilidad del Ca^{2+} en la planta es lenta, por lo que la cantidad de Ca^{2+} que llega al fruto no es suficiente para cubrir la demanda nutricional en cultivares de

alto rendimiento, pudiendo aparecer patologías en el desarrollo como es la podredumbre apical o "blossom end rot".

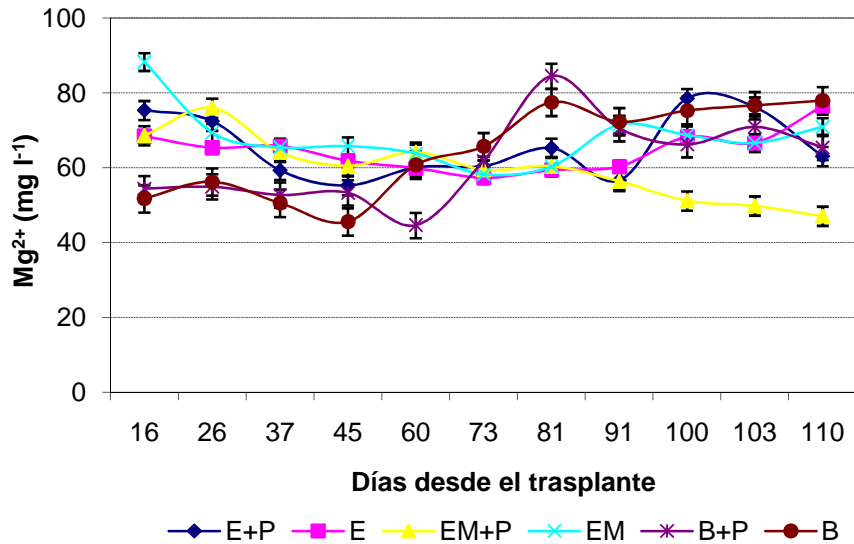


		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
<i>Días desde el trasplante</i>	16	303,07	123,51	311,65	255,10	215,17	220,10
	26	84,66	75,48	140,19	167,87	103,54	158,08
	37	155,82	148,70	120,15	136,25	167,73	154,95
	45	161,96	185,65	167,16	232,32	206,66	158,95
	60	185,93	200,84	210,55	222,67	149,75	164,69
	73	232,10	213,14	221,29	259,69	332,40	198,07
	81	263,09	278,79	287,27	256,16	294,47	237,51
	91	473,44	364,03	332,82	384,99	423,57	294,52
	100	477,79	392,09	311,55	372,03	370,85	321,87
	103	433,62	323,92	272,88	329,67	353,97	238,60
110	290,67	324,32	248,17	296,28	347,64	196,73	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>		<i>Diferencias</i>	
<i>Tratamientos</i>		2.37		0.73		NS	

Fig. 4.2.8. Evolución de la concentración de calcio (Ca^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

Aunque la demanda de Ca en la segunda mitad del ciclo de desarrollo sea máxima, sobre todo para satisfacer el crecimiento de los frutos, la disponibilidad en la solución del suelo se incrementa, aspecto que sólo puede explicarse gracias al incremento de solubilidad de carbonatos y bicarbonatos

de Ca al aumentar la temperatura (Hernández *et al.*, 2014). Por tanto, la evolución del contenido de calcio en la disolución del suelo está afectada por la demanda de dicho nutriente por parte de la planta pero, sobre todo, por la solubilidad de éste en las distintas condiciones de temperatura y humedad del suelo, habida cuenta que la concentración de sales portadoras del mismo, CaCO_3 y $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, en el suelo es alta.



		Tratamientos fertilizantes					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
Días desde el trasplante	16	75,32	68,41	68,55	88,28	54,43	51,70
	26	72,44	65,35	75,96	69,37	54,91	56,21
	37	59,27	65,80	64,15	65,44	52,72	50,51
	45	55,20	61,82	60,46	65,78	53,30	45,55
	60	60,08	59,86	64,15	63,83	44,60	60,73
	73	60,42	57,30	59,42	58,21	61,87	65,65
	81	65,23	59,35	60,35	60,30	84,47	77,51
	91	56,65	60,32	56,36	71,50	70,47	72,30
	100	78,54	68,24	51,14	68,72	66,18	75,30
	103	76,24	66,65	49,79	66,59	70,90	76,60
110	63,01	76,49	47,06	70,92	65,44	77,90	
Análisis de varianza (P=0.05)		F crítica		F	Diferencias		
Tratamientos		2.37		1.11	NS		

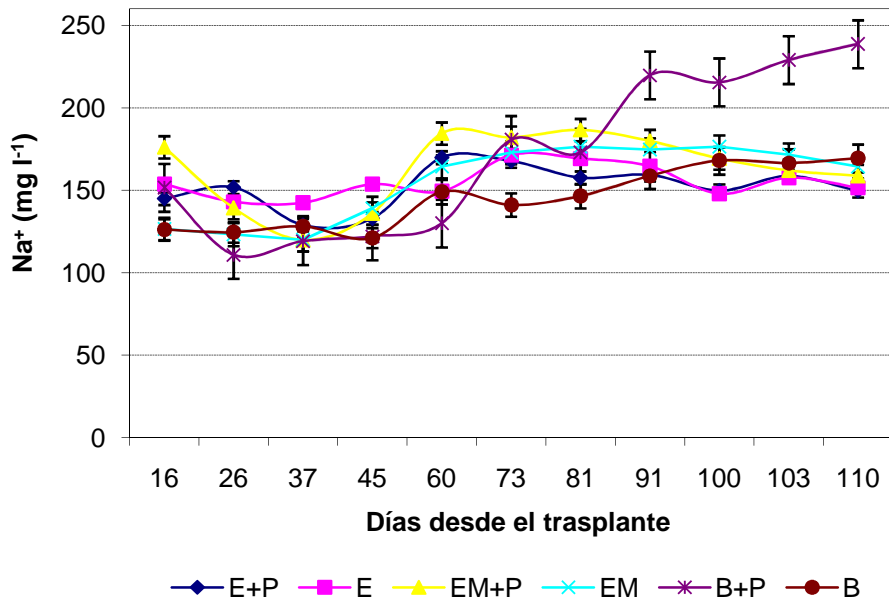
Fig. 4.2.9. Evolución de la concentración de magnesio (Mg^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

Los niveles de magnesio (Mg^{2+}) permanecen en un rango de valores comprendido entre 44.60 y 84.47 $mg\ l^{-1}$ no apareciendo diferencias significativas entre tratamientos. A los 81 días se presenta un ascenso de los valores en los ensayos control (B y B+P), como consecuencia del aporte de Mg mediante fertirrigación. La evolución global de este elemento es de ligera acumulación a lo largo del ciclo de cultivo, comportamiento análogo al encontrado para el Ca^{2+} aunque menos acusado. Como ocurre con Ca^{2+} , el Mg^{2+} , es absorbido por la planta a una velocidad menor que la del transporte por el flujo de agua, por lo que tienden a acumularse en la superficie de la raíz. Esta particularidad, unida a que la planta realiza una escasa absorción del elemento y que la solubilidad aumenta con la temperatura, pudo incidir en que la concentración de Mg^{2+} aumentase ligeramente a lo largo del ciclo y, por tanto, se acumulara en la disolución del suelo, resultados que coinciden con los obtenidos por Triana (2001) y Lao *et al.* (2004), quienes calcularon un incremento del Mg^{2+} en torno a la raíz de hasta 210 %.

Por otro lado, se mantiene una buena relación entre Ca/Mg que evita posibles antagonismos nutricionales entre ellos y, por tanto, posibles patologías como la podredumbre apical (Hernández *et al.*, 2014). La concentración de Mg^{2+} en la disolución del suelo fue en todos los casos superior a la obtenida por Hernández *et al.* (2014), cuyos valores oscilaron entre 1,04 - 2,31 meq l^{-1} (12,64 – 28,07 $mg\cdot l^{-1}$) para un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). La naturaleza caliza y/o dolomítica de la roca madre hace que los niveles de magnesio sean elevados.

La concentración de sodio (Na^+) en la disolución del suelo aumenta ligeramente a lo largo del ciclo de cultivo con valores comprendidos entre 110.88 y 238.66 $mg\ l^{-1}$, correspondiendo a los tratamientos control con acolchado (B+P) y a la enmienda orgánica fertilizante sin protección (E), respectivamente (figura 4.2.10.). Este aumento se encuentra en concordancia con el aumento obtenido en el caso de los Cl^- y los valores de C.E., por lo que las causas deben coincidir con las señaladas en éstos. De forma muy particular, en el ensayo B+P se observa un incremento de la concentración de este elemento en la última etapa del desarrollo vegetativo, coincidiendo con los

aportes más altos de KCl y K₂SO₄ en el programa de fertirrigación, pero no se aprecia en el tratamiento B, aunque recibe la misma dosis y tipo de abonado. Aparentemente el acolchado de plástico negro origina una mayor acumulación de Na en la solución del suelo, aspecto que puede resultar a medio y largo plazo nocivo por la salinización que puede originar.

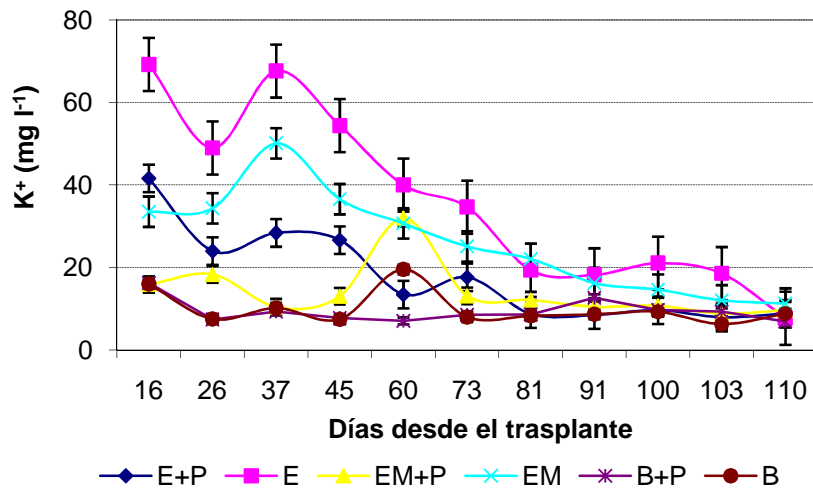


		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
<i>Días desde el trasplante</i>	16	145,00	153,64	176,10	126,54	151,58	126,14
	26	151,75	143,12	139,27	123,22	110,88	124,57
	37	128,94	142,41	119,89	119,86	119,22	128,08
	45	133,02	153,64	135,96	139,23	122,14	121,11
	60	169,87	149,37	184,46	164,30	129,94	148,96
	73	167,62	171,44	181,98	172,83	180,59	141,12
	81	157,65	169,32	186,57	176,36	172,93	146,43
	91	159,32	164,58	179,98	174,57	219,74	158,80
	100	149,78	147,89	169,32	176,35	215,51	167,98
	103	158,63	157,54	161,98	171,52	229,01	166,60
110	149,63	151,65	158,75	164,32	238,66	169,36	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>	<i>Diferencias</i>		
<i>Tratamientos</i>		2.37		1.42	NS		

Fig. 4.2.10. Evolución de la concentración de sodio (Na⁺) en la disolución del suelo, expresada en mg l⁻¹, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

En general, presentan valores superiores (aunque no significativamente) los tratamientos control. Los niveles obtenidos son similares a los encontrados por Lao *et al.* (2004) en cultivo de tomate var. Daniela en la provincia de Almería.

Los niveles de potasio (K^+), oscilaron entre 6.33 y 69.21 $mg \cdot l^{-1}$ (Fig. (4.2.11)).



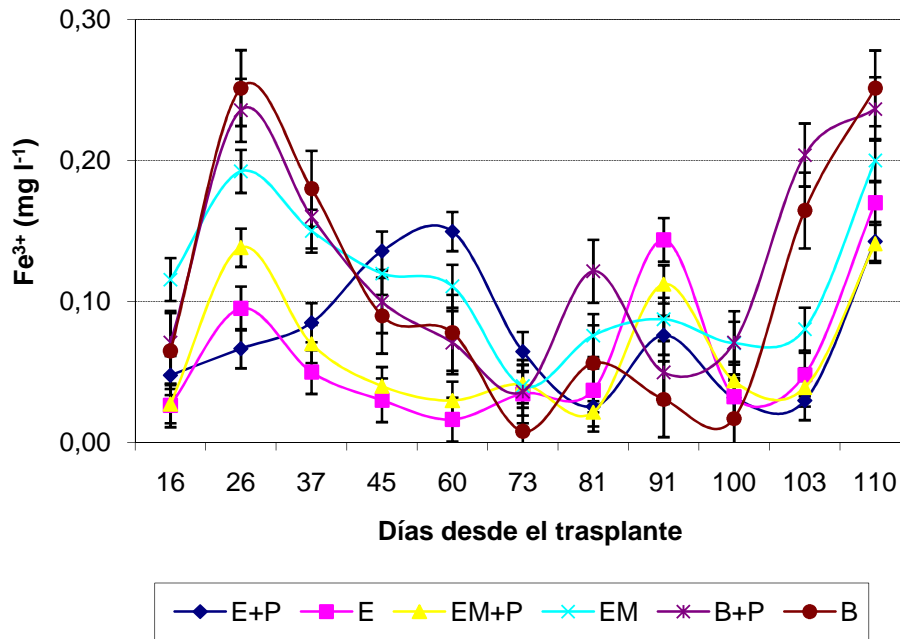
		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
<i>Días desde el trasplante</i>	16	41,61	69,21	15,89	33,55	16,23	15,96
	26	24,02	49,00	18,36	34,36	7,44	7,57
	37	28,40	67,63	10,43	50,11	9,35	10,19
	45	26,66	54,40	13,09	36,58	7,82	7,51
	60	13,48	40,00	32,00	30,69	7,09	19,56
	73	17,67	34,66	13,17	25,14	8,58	8,04
	81	8,75	19,34	12,13	22,10	8,68	8,34
	91	8,49	18,24	10,48	16,25	12,69	8,70
	100	9,65	21,08	10,72	14,67	9,73	9,31
	103	7,93	18,56	8,79	12,06	9,33	6,33
110	8,83	7,73	9,68	11,29	6,95	8,84	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>		<i>Diferencias</i>	
<i>Tratamientos</i>		2.37		9.12		*	

Fig. 4.2.11. Evolución de la concentración de potasio (K^+) en la disolución del suelo, expresada en $mg \cdot l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

La evolución es negativa a lo largo de todo el proceso de crecimiento y maduración del fruto, más acusadamente en el tratamiento con estiércol de oveja (E) (tratamiento que presenta valores máximos) y el tratamiento con enmienda orgánica comercial (EM) (figura 4.2.11). Los valores mínimos corresponden en todos los casos a los tratamientos control, tratamientos sin fertilización orgánica (B+P y B). Este comportamiento es debido a que el tomate requiere grandes cantidades de K^+ en los periodos de cuajado del fruto y de cosecha, que en nuestro caso como se observa en la figura 4.2.11, ocurre a partir de los 60 días desde el trasplante (cuajado, crecimiento y maduración de los frutos). Esta alta demanda del cultivo pudo traer como consecuencia que el potasio aplicado en la disolución nutritiva fuera rápidamente absorbido por la planta y provocara su disminución en la disolución del suelo, lo que se encuentra en correspondencia con lo planteado por Guzmán (2006), quien establece como uno de los problemas en el control y seguimiento de los nutrientes en la disolución del suelo o del sustrato, la rápida movilidad de algunos iones. Este autor clasifica al K^+ como un elemento de absorción rápida, conjuntamente con el NO_3^- , el NH_4^+ y el $H_2PO_4^-$, los cuales pueden ser absorbidos de la disolución en pocas horas. Casas (1999) y Lao *et al.* (2004) establecen, tanto para el cultivo de tomate en suelo como en sustrato, que los valores de K^+ en la disolución del suelo y su comportamiento depende de la alta demanda que de este nutriente ejercen los cultivos de alto rendimiento, de su rápida absorción, del balance que existe entre los procesos vegetativos y generativos y de las propiedades físico-químicas del suelo.

En la determinación de la concentración de **micronutrientes** en la disolución del suelo se encontraron niveles durante todo el periodo de cultivo para hierro, manganeso, cobre, cinc y boro que no superaron los $0,3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, debido a su escasa solubilidad, al elevado pH de la disolución del suelo y a la baja aportación con el agua de riego. Este comportamiento está en concordancia por lo obtenido por Wang y Staunton (2006), quienes siguieron la composición de la disolución del suelo después de la adicción de enmienda orgánica compostada y concluyeron que la movilidad de ciertos micronutrientes en la disolución del suelo (Cu^{2+}) no puede ser estimada con una única enmienda orgánica al suelo.

En las figuras 4.2.12, 4.2.13, 4.2.14, 4.2.15 y 4.2.16 se muestra y se describe la evolución del contenido de hierro, manganeso, cobre, cinc y boro en la disolución del suelo durante el ciclo de cultivo, no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos fertilizantes para ninguno de ellos.

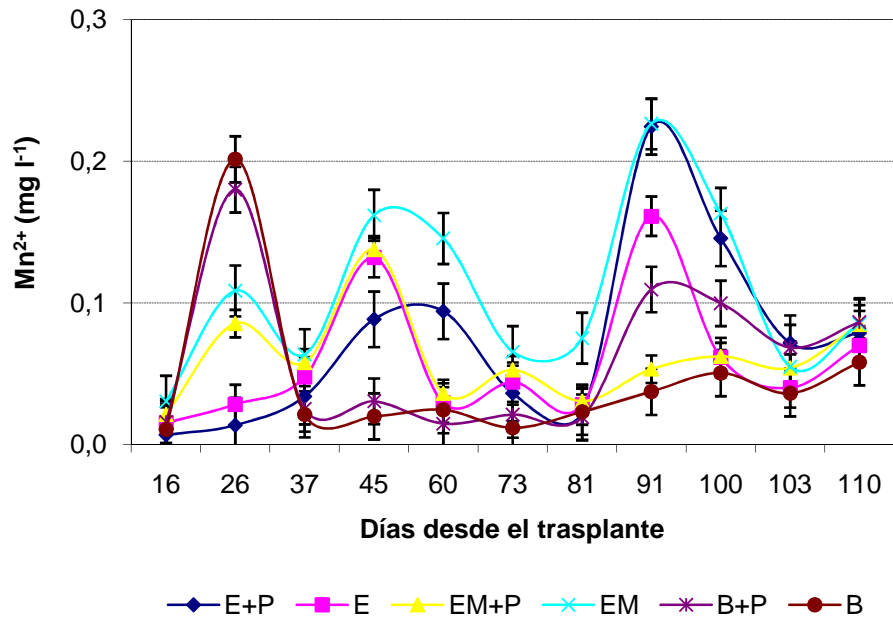


		Tratamientos fertilizantes					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
Días desde el trasplante	16	0,05	0,03	0,03	0,12	0,07	0,06
	26	0,07	0,10	0,14	0,19	0,24	0,25
	37	0,09	0,05	0,07	0,15	0,16	0,18
	45	0,14	0,03	0,04	0,12	0,10	0,09
	60	0,15	0,02	0,03	0,11	0,07	0,08
	73	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04	0,01
	81	0,03	0,04	0,02	0,08	0,12	0,06
	91	0,08	0,14	0,11	0,09	0,05	0,03
	100	0,03	0,03	0,04	0,07	0,07	0,02
	110	0,14	0,17	0,14	0,20	0,24	0,25
Análisis de varianza (P=0.05)		F crítica		F	Diferencias		
Tratamientos		2.37		2.06	NS		

Fig. 4.2.12. Evolución de la concentración de hierro (Fe^{3+}) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

El contenido de hierro (Fe^{3+}) se mantiene en un rango de concentraciones entre 0.01 y 0.35 mg l^{-1} (figura 4.2.12), presentando dos máximos en todos los tratamientos al principio y final del ciclo, donde los tratamientos testigo B y B+P tienen las concentraciones más altas. La evolución, por tanto, parece estar condicionada por un lado por la escasa solubilidad de las sales portadoras de este micronutriente y por otro, por la absorción del mismo por parte de la planta, sobre todo en los momentos de máximo desarrollo vegetativo, responsable del descenso de concentración generalizado en la parte central del ciclo de cultivo, donde las necesidades nutricionales son máximas, especialmente las relacionadas con la función clorofílica, donde el Fe es un componente esencial.

Los niveles de manganeso (Mn^{2+}) en la disolución del suelo se encuentran entre 0.01 y 0.23 mg l^{-1} (figura 4.2.13), mostrando también máximos alternados, aunque menos acentuados que en el caso del hierro, siendo en este caso el tratamiento mezcla orgánica fertilizante (EM) el que alcanza valores superiores en todas las fechas excepto en la segunda fecha de muestreo (26 días desde el trasplante), donde los tratamientos sin fertilizante orgánico son los que alcanzan el máximo valor.

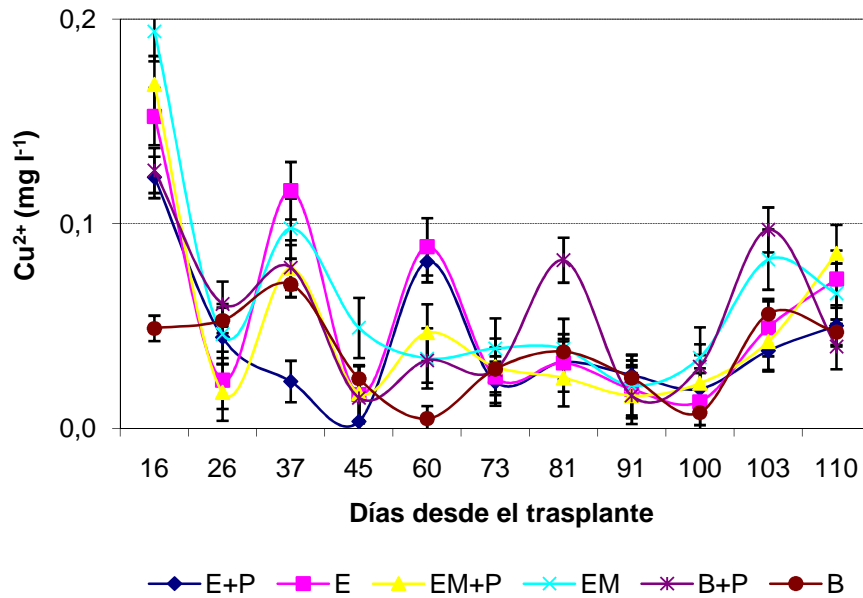


		Tratamientos fertilizantes					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
Días desde el trasplante	16	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01
	26	0,01	0,03	0,09	0,11	0,18	0,20
	37	0,03	0,05	0,06	0,06	0,03	0,02
	45	0,09	0,13	0,14	0,16	0,03	0,02
	60	0,09	0,03	0,04	0,15	0,01	0,02
	73	0,04	0,04	0,05	0,07	0,02	0,01
	81	0,02	0,03	0,03	0,08	0,02	0,02
	91	0,22	0,16	0,05	0,23	0,11	0,04
	100	0,15	0,06	0,06	0,16	0,10	0,05
	103	0,07	0,04	0,05	0,05	0,07	0,04
110	0,08	0,07	0,08	0,09	0,09	0,06	
Análisis de varianza (P=0.05)		F crítica		F	Diferencias		
Tratamientos		2.37		1.80	NS		

Fig. 4.2.13. Evolución de la concentración de manganeso (Mn^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

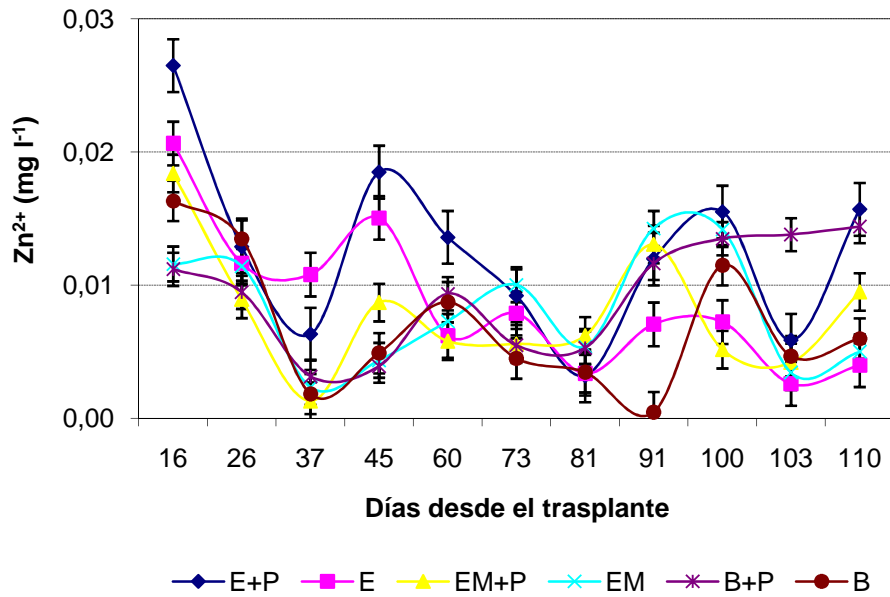
La concentración de cobre (Cu^{2+}) alcanza su máximo al comienzo del ciclo de cultivo, aunque su concentración se encuentra por debajo de $0.19\ mg\ l^{-1}$ (figura 4.2.14), cantidad que puede considerarse suficiente para las necesidades del cultivo. La evolución a lo largo del ciclo es de tipo sinusoidal,

alternándose máximos y mínimos más o menos pronunciados dependiendo del tratamiento, donde destaca el tratamiento control con acolchado de plástico (B+P), que parece separarse del resto sobre todo en la segunda mitad del ciclo, aunque las diferencias con el resto no son significativas.



		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
<i>Días desde el trasplante</i>	16	0,12	0,15	0,17	0,19	0,13	0,05
	26	0,04	0,02	0,02	0,05	0,06	0,05
	37	0,02	0,12	0,08	0,10	0,08	0,07
	45	0,00	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02
	60	0,08	0,09	0,05	0,03	0,03	0,00
	73	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
	81	0,03	0,03	0,02	0,04	0,08	0,04
	91	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	100	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01
	103	0,04	0,05	0,04	0,08	0,10	0,06
	110	0,05	0,07	0,09	0,07	0,04	0,05
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>		<i>Diferencias</i>	
<i>Tratamientos</i>		2.37		0.68		NS	

Fig. 4.2.14. Evolución de la concentración de cobre (Cu^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

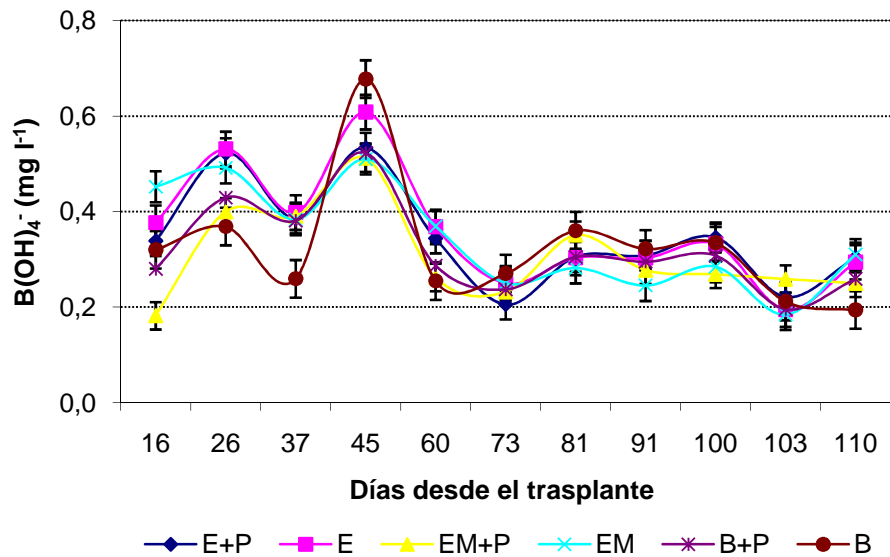


		<i>Tratamientos fertilizantes</i>					
		<i>E+P</i>	<i>E</i>	<i>EM+P</i>	<i>EM</i>	<i>B+P</i>	<i>B</i>
<i>Días desde el trasplante</i>	16	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
	26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	37	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	45	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
	60	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	73	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
	81	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
	91	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
	100	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	103	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
110	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	
Análisis de varianza (P=0.05)		<i>F crítica</i>		<i>F</i>		<i>Diferencias</i>	
<i>Tratamientos</i>		2.37		1.68		NS	

Fig. 4.2.15. Evolución de la concentración de cinc (Zn^{2+}) en la disolución del suelo, expresada en $mg\ l^{-1}$, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

El contenido de cinc (Zn^{2+}) en la disolución del suelo (figura 4.2.15) se encuentra en concentraciones muy bajas, inferiores a $0.03\ mg\ l^{-1}$, sin grandes modificaciones a lo largo del ciclo de cultivo, presentando al final del ciclo de cultivo concentraciones próximas a las iniciales, que es donde se alcanza el máximo, por tanto, la evolución es semejante a la comentada para otros

micronutrientes y los factores que la controlan deben ser la escasa solubilidad de los portadores, que justificarían la escasa concentración en la solución del suelo y la absorción de dicho micronutriente por parte del cultivo, que justificaría el descenso aparente de la concentración durante la etapa de máximo crecimiento vegetativo y desarrollo de la cosecha.



		Tratamientos fertilizantes					
		E+P	E	EM+P	EM	B+P	B
Días desde el trasplante	16	0,34	0,38	0,18	0,45	0,28	0,32
	26	0,52	0,53	0,40	0,49	0,43	0,37
	37	0,39	0,40	0,39	0,38	0,38	0,26
	45	0,53	0,61	0,51	0,51	0,52	0,68
	60	0,34	0,37	0,26	0,37	0,29	0,25
	73	0,21	0,25	0,23	0,25	0,24	0,27
	81	0,31	0,30	0,35	0,28	0,31	0,36
	91	0,31	0,30	0,28	0,25	0,30	0,32
	100	0,35	0,33	0,27	0,28	0,31	0,33
	103	0,22	0,19	0,26	0,18	0,20	0,21
110	0,30	0,29	0,25	0,31	0,26	0,19	
Análisis de varianza (P=0.05)		F crítica		F		Diferencias	
Tratamientos		2.37		0.36		NS	

Fig. 4.2.16. Evolución de la concentración de boro $(\text{B}(\text{OH})_4^-)$ en la disolución del suelo, expresada en mg l^{-1} , a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado en la primera campaña.

Los niveles de boro (B(OH)_4^-) se mantienen en un rango de valores entre 0.18 y 0.98 mg l^{-1} (figura 4.2.16), presentando un máximo acentuado a los 45 días desde el trasplante para todos los tratamientos ensayados, siendo este máximo superior en el tratamiento control sin enmienda ni cubierta de polietileno (B), en el resto de fechas los valores están próximos entre sí, mostrando al final valores similares a los iniciales o ligeramente inferiores, evolución que viene a confirmar un comportamiento análogo al resto de micronutrientes.

4.3. HOJAS.

El uso del análisis foliar como método de diagnóstico del estado nutricional de las plantas es una técnica que se remonta a principios del siglo XX cuando el químico alemán Liebig lo utilizó para evaluar la fertilidad del suelo. Posteriormente, ha sido utilizado por numerosos autores (Guzmán, 1987; Valenzuela, 1990; López-Cantero, 1992; Rincón 2001; Guillén, 2002; Sánchez Romero, 2010, etc.), para poner de manifiesto carencias minerales en los vegetales. En nuestro caso, los niveles de nutrientes en las hojas (macro y micro) se determinan mediante seguimiento programado a lo largo del ciclo de cultivo, habiéndose seleccionado cuatro fechas en ambas campañas. Ello permite conocer la evolución del estado nutricional en los diferentes tratamientos.

Existe la creencia de que los fertilizantes inorgánicos, con formulaciones N-P-K mucho más elevadas que los de origen orgánico, son más eficaces a la hora de conseguir una mejor nutrición de los cultivos, proporcionando niveles foliares más elevados. Por todos estos motivos, en el presente trabajo se pretende relacionar el tipo de fertilización empleada (inorgánica y orgánica) y las condiciones de cultivo (acolchado y no acolchado) con los niveles foliares de los macronutrientes y micronutrientes más significativos. Para ello comparamos a lo largo de dos campañas los niveles medios de macro y micronutrientes obtenidos durante el periodo vegetativo, puesto que la concentración de estos varía a lo largo de dicho periodo (Ruiz-Sánchez, 1987; Sánchez, 1997; Valverde, 2000). El estudio se realiza con la variedad Nautilus y para el nivel de riego de 5 mm h^{-1} .

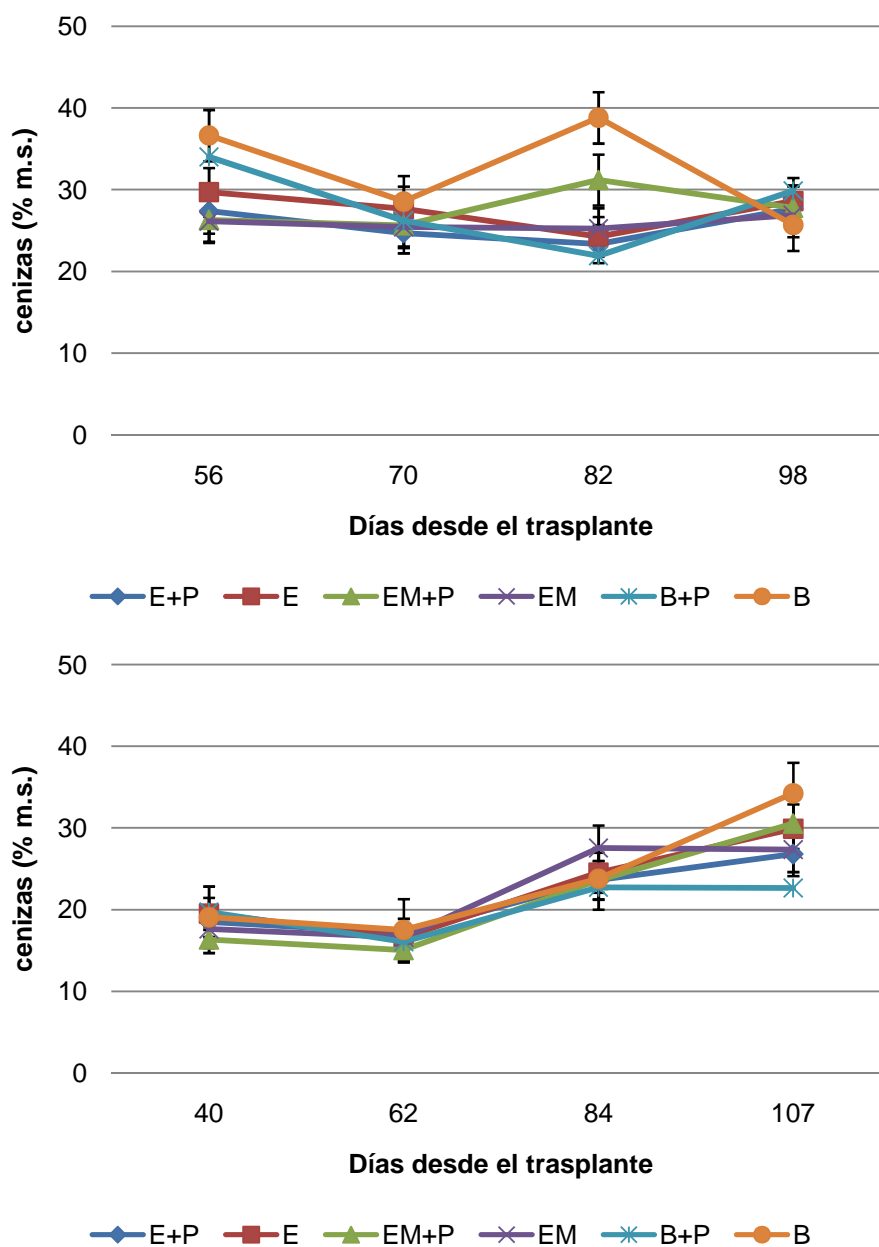
En la primera campaña, las muestras de hojas se tomaron los días 56, 70, 82 y 98 desde el trasplante inicial, mientras que en la segunda se tomaron los días 40, 62, 84 y 107, en ambas se muestrearon hojas maduras y el estado de desarrollo del cultivo en dichas fechas era semejante.

4.3.1. Cenizas.

Expresamos el crecimiento de una planta o cultivo como acumulación de materia seca. El tomate no detiene el desarrollo y crecimiento de nuevas hojas una vez iniciada la floración o etapa reproductiva, mantienen de forma simultánea el crecimiento del follaje y de los frutos a lo largo de todo el ciclo del cultivo. En el período entre la emergencia y el cuajado de los primeros frutos el crecimiento se concentra en el área foliar, los tallos y las raíces. A medida que va aumentando el número de frutos en crecimiento (por la aparición escalonada de nuevos racimos), la proporción del crecimiento total de la planta que corresponde a los frutos va aumentando (Dogliotti, 2001).

A continuación se muestra la evolución del porcentaje en materia seca de las hojas de la planta de tomate (var. Nautilus) para las dos campañas estudiadas (figura 4.3.1).

Como podemos observar, mientras que en la primera campaña los valores se mantienen más o menos estables, en la segunda se observa un leve aumento conforme avanza el ciclo de cultivo en todos los tratamientos. En la primera campaña el rango de valores está comprendido entre 21.92 y 38.81 % en m.s., mientras que los valores se encuentran entre 15.04 y 34.23 % en m.s. en la segunda campaña, sin diferencias significativas entre tratamientos en ningún caso. El tratamiento testigo (B), presenta valores máximos en ambas campañas. Estos valores son muy superiores a los obtenidos por Al-Mohammadi y Al-Zu'bi (2011) en un cultivo de tomate variedad Galia, bajo condiciones de invernadero y con una dosis de riego de 5 mm/día (12.80 % en m.s).



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
<i>Tratamientos (primera campaña)</i>	F = 1.68	NS
<i>Tratamientos (segunda campaña)</i>	F = 0.16	NS

Fig.4.3.1. Evolución del contenido de cenizas en hojas, expresada en % de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado. La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

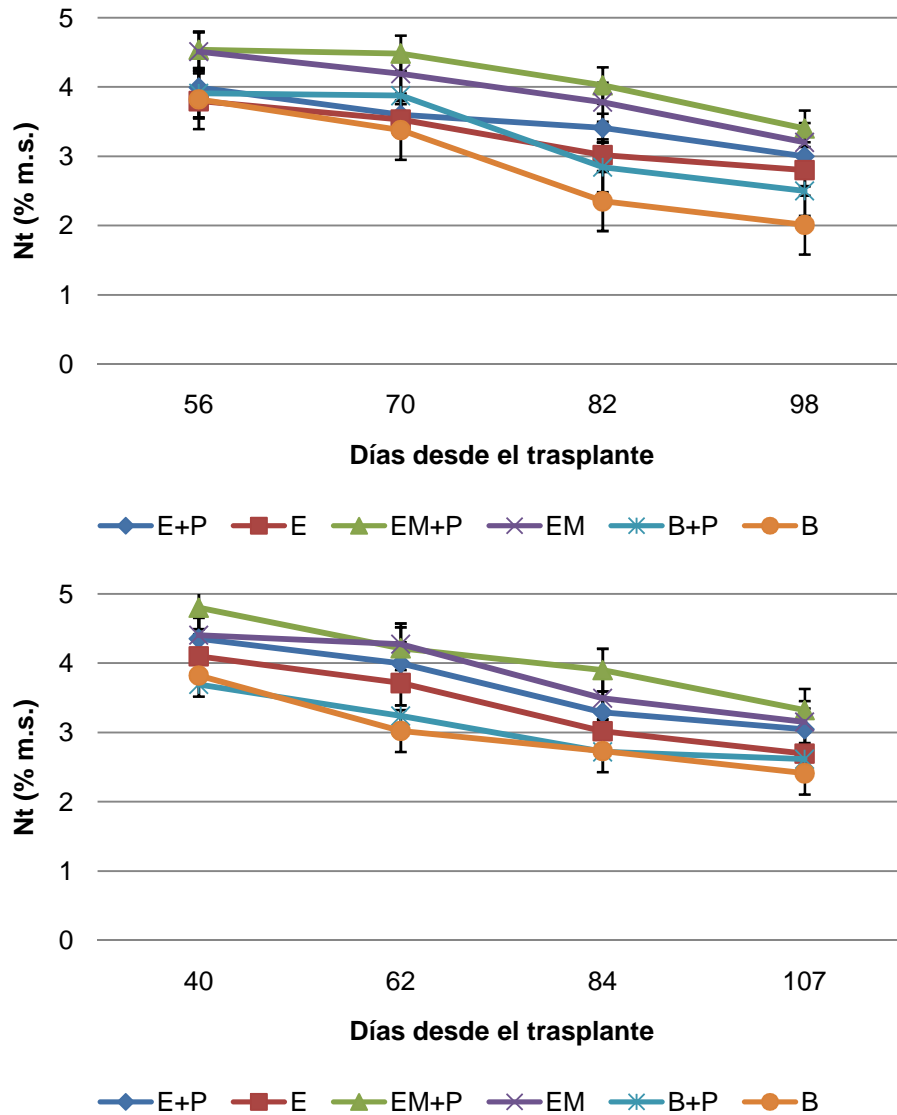
4.3.2. Nitrógeno.

Es un elemento muy importante para el crecimiento de las plantas y se encuentra en muchos de sus compuestos, como la clorofila, los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleídos y ácidos orgánicos.

Los valores de nitrógeno total en el material foliar (figura 4.3.2) se encuentran en un rango entre 2.01 y 4.54 % en materia seca, disminuyendo a lo largo del ciclo de cultivo para todos los tratamientos empleados. Valores considerados óptimos y similares a los encontrados por Hernández et al (2009) y dentro de los niveles aconsejados por Muñoz (1995) como apropiados en un análisis foliar para cultivo de tomate, ya que niveles en el análisis foliar de la planta de tomate por debajo del 2 % m.s. se consideran bajos y podrían detectarse síntomas de deficiencia tales como: las hojas viejas son las primeras en amarillear, de forma uniforme, incluidos los nervios, las nuevas palidecen y son más pequeñas; la planta manifiesta falta de vigor, aumenta la abscisión de flores, da frutos de menor calibre, y hay fallos en el cuajado.

Los valores mínimos corresponden en todos los casos al cultivo utilizado como control, sin fertilizante (B). Los máximos corresponde en todas las fechas al tratamiento mezcla de turba y estiércol (EM+P).

El que la concentración de N disminuya de forma regular durante el ciclo vegetativo puede ser consecuencia de que la acumulación de dicho nutriente disminuye de forma acentuada cuando se completa la expansión foliar (Tei et al., 2002) y este nutriente, con acentuada movilidad, emigra a zonas y órganos en crecimiento, sumideros muy potentes. La reducción en el contenido de nutrientes en la hoja indica desequilibrio entre la absorción de nutrientes por la planta y su traslocación a la hoja y el consumo por otros órganos de la planta que se beneficiaran más tarde en el desarrollo y maduración del fruto. El descenso más intenso de N se produce aproximadamente entre los días 60 y 80, coincidiendo con el periodo de crecimiento del fruto.



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
<i>Tratamientos (primera campaña)</i>	F = 2.20	NS
<i>Tratamientos (segunda campaña)</i>	F = 0.16	NS

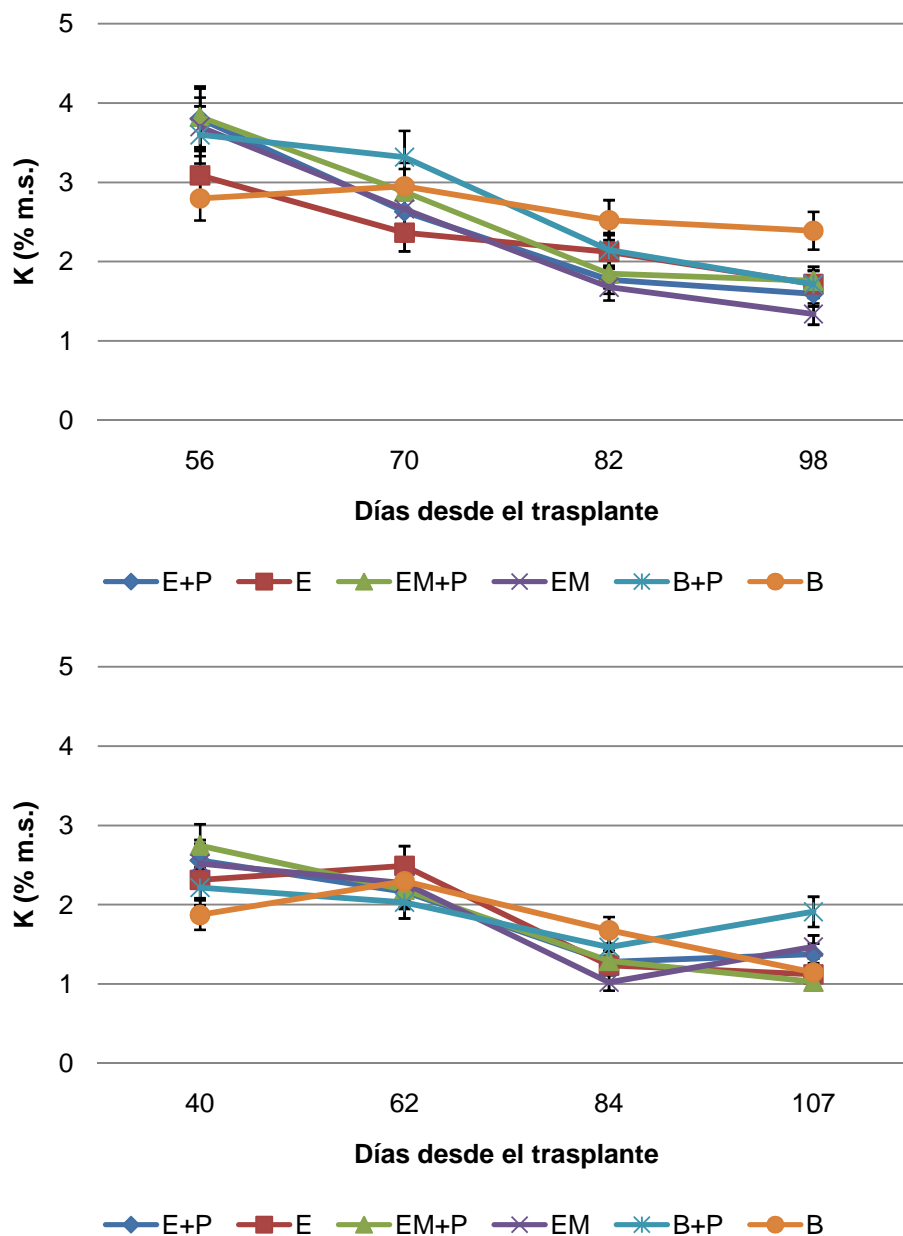
Fig.4.3.2. Evolución de la concentración de nitrógeno total (Nt) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado. La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.3.3. Potasio.

El potasio es un nutriente esencial para las plantas y es requerido en grandes cantidades para el crecimiento y la reproducción de éstas. Las principales funciones del potasio en las plantas son: regular la apertura y cierre de las estomas y, por lo tanto, regula la absorción de CO₂, desencadena la activación de enzimas y es esencial para la producción de adenosín trifosfato (ATP), dirige la síntesis de proteínas y la activación de enzimas, sobre todo las relacionadas con el crecimiento de las plantas. Por otro lado, influye de manera determinante en la calidad de las cosechas, ya que afecta en mayor o menor medida a la forma, tamaño, color y sabor de los frutos y a otros parámetros relacionados con la calidad.

En cuanto a su evolución en el ciclo de cultivo, se comporta de forma semejante al N, de tal manera que la concentración foliar de N y K desciende con la edad del cultivo, independientemente de los tratamientos y las épocas estudiadas.

Se puede observar para el contenido foliar de potasio, que se produce un descenso generalizado a lo largo de todo el ciclo de cultivo, para los seis tratamientos empleados (figura 4.3.3), en un rango comprendido en todos los casos entre 1.02 y 3.83 % en materia seca (% m.s.). Para la variedad Nautilus, el máximo valor de concentración corresponde al tratamiento EM+P en el primer día de muestreo en ambas campañas, produciéndose el mínimo de concentración para la variedad sin acolchado (EM). Se observan valores ligeramente inferiores en la segunda campaña, aunque con el mismo comportamiento. Investigaciones referentes al tema, muestran resultados similares y se establece que la concentración de estos dos elementos en base a la materia seca disminuye con la edad de la planta y sus órganos, debido a un aumento del porcentaje de peso seco estructural y un efecto de dilución o distribución del elemento en una mayor biomasa vegetal (Hernández, M.; Chailloux, M.; Arozarena, N. J., 2009).



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
<i>Tratamientos (primera campaña)</i>	F = 0.14	NS
<i>Tratamientos (segunda campaña)</i>	F = 0.03	NS

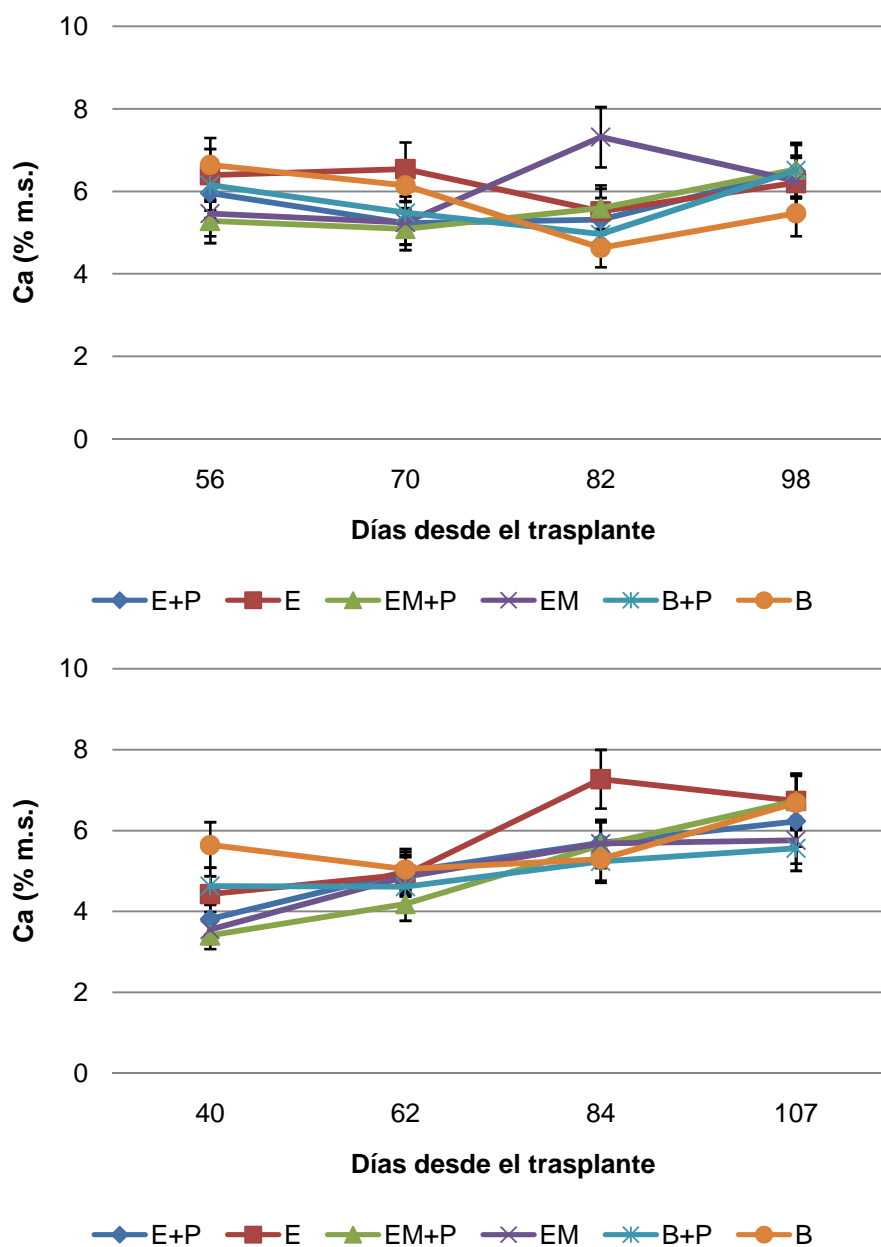
Fig.4.3.3. Evolución de la concentración de potasio (K^+) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.3.4. Calcio.

Este elemento es constituyente de las sales en la disolución del suelo. El calcio es absorbido por las plantas en forma catiónica (Ca^{2+}) y presenta poca movilidad dentro de la planta. Constituye un componente importante de la laminilla media de las células, así mismo, regula la presión osmótica de las células. Es elemento clave en el crecimiento de los meristemas y en la absorción de nitratos, y está asociado con los procesos de maduración de frutos además de ser esencial en preservar la vida de los frutos.

La deficiencia de calcio es difícil de manejar y es frecuentemente un problema en la producción de tomate y pimiento (Guerrero, 2012). La carencia de calcio es bastante común y las plantas afectadas reducen su vigor, los bordes de hojas jóvenes se necrosan y se curvan en forma de cuchara. No obstante, el síntoma más característico es la pudrición apical de frutos ("*blossom end rot*"). Condiciones de elevada salinidad agravan el problema al quedar bloqueada la asimilación de calcio y otros elementos. Niveles en hojas inferiores al 2 % m.s. se consideran bajos, en una interpretación del análisis foliar óptima (Giardina et al., 2007).

Respecto a la concentración de calcio en hojas en nuestro ensayo (figura 4.3.4), podemos observar cómo los valores iniciales y finales permanecen próximos en la primera campaña (entorno al 6 % en m.s.), excepto en el caso del tratamiento sin fertilizante orgánico ni acolchado (B) donde los valores en la primera fecha son levemente superiores. Sin embargo, en la segunda campaña se observa un aumento de la concentración con el desarrollo del cultivo, aunque no es significativo, con un rango de valores ligeramente inferior en las primeras fechas de esta campaña respecto a la anterior, aunque con concentraciones muy similares en las últimas fechas para ambas campañas. En este caso, los tratamientos sin fertilizante también muestran valores superiores en la primera fecha. El rango de concentración permanece entre 3.41 y 8.63 % m.s, óptimos para el cultivo de tomata y superiores al 2 % m.s., donde podrían comenzar a evidenciarse síntomas de deficiencia.



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
<i>Tratamientos (primera campaña)</i>	F = 0.36	NS
<i>Tratamientos (segunda campaña)</i>	F = 0.58	NS

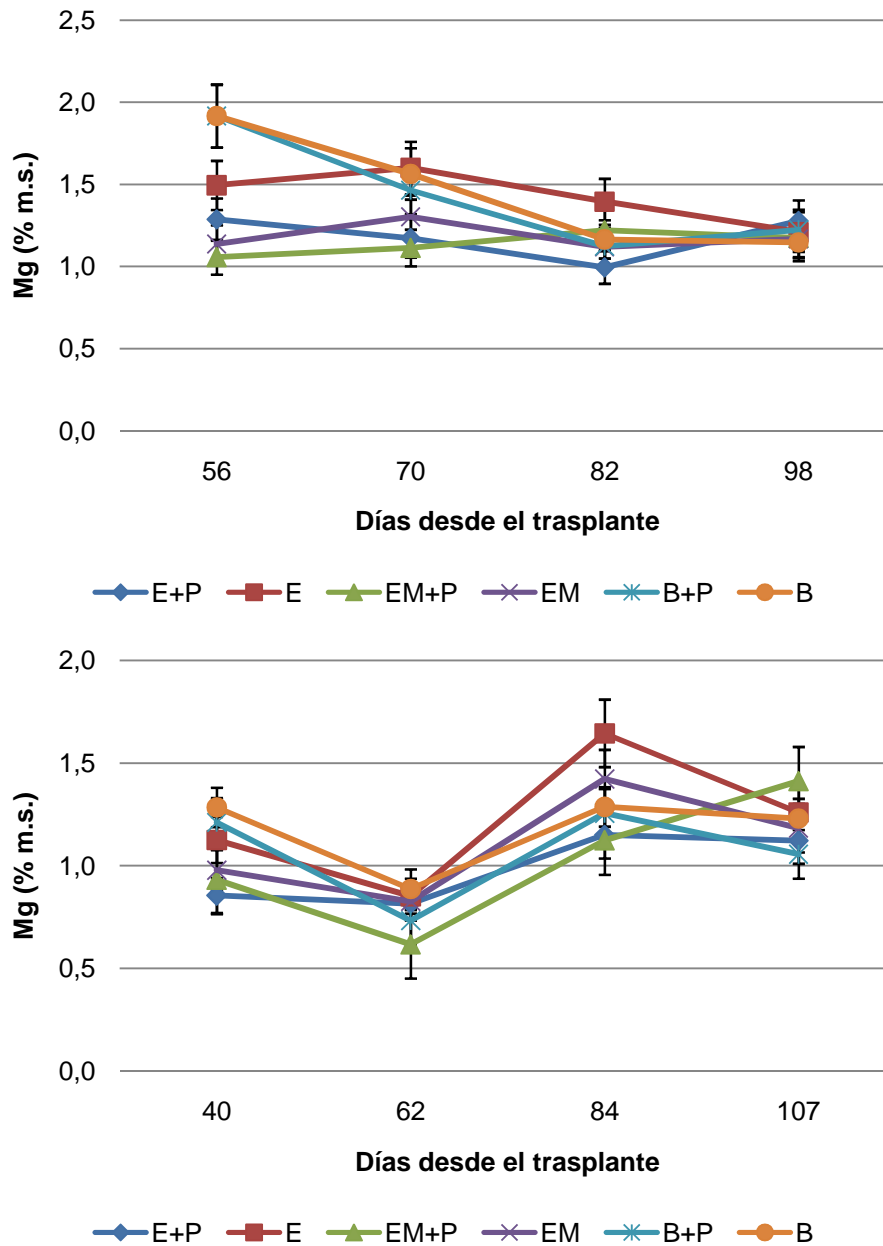
Fig.4.3.4. Evolución de la concentración de calcio (Ca^{2+}) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.3.5. Magnesio.

El magnesio (Mg), átomo central de la molécula de clorofila, le da a la planta su típico color verde. En la planta de tomate es un nutriente móvil, es decir, que va a desplazarse a la zona de crecimiento, por tanto, los síntomas de deficiencia o exceso se apreciarían inicialmente en las hojas viejas de la planta, aunque pueda llegar a alterar también las hojas jóvenes si la deficiencia se vuelve grave. La concentración promedio de magnesio en plantas deficientes es de 0.063 % m.s. (Feican et al., 1999).

Un nivel elevado de potasio y/o calcio en el suelo puede causar la deficiencia de magnesio, ya que éstos son elementos antagonistas. Es decir, si hay mucho potasio en el suelo, la cantidad de magnesio que la planta puede absorber es limitada, aún si hay cantidades suficientes de magnesio en el suelo.

En la evolución del contenido foliar de magnesio (figura 4.3.5), se observa que los valores permanecen entre 0.62 y 2.64 % m.s., presentando en ambas campañas, en la primera fecha, valores mínimos para los tratamientos con fertilizante orgánico y acolchado (EM+P y E+P) y máximos en el control (B). Al final del ciclo de cultivo presentan todos los tratamientos valores muy similares en ambas campañas y próximos a los iniciales, excepto en el caso de los tratamientos sin fertilización orgánica (B y B+P) en la primera campaña, aunque no de manera significativa. El magnesio tiene un comportamiento similar al calcio, permaneciendo los valores iniciales próximos a los finales en todos los tratamientos, presentando además en la primera campaña, en los tratamientos testigo (B y B+P) valores superiores al resto. De nuevo evidenciamos en todos los tratamientos, unos valores por encima del límite de deficiencia, y por tanto, óptimos para el adecuado desarrollo de la planta de tomate.



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
Tratamientos (primera campaña)	F = 1.64	NS
Tratamientos (segunda campaña)	F = 0.03	NS

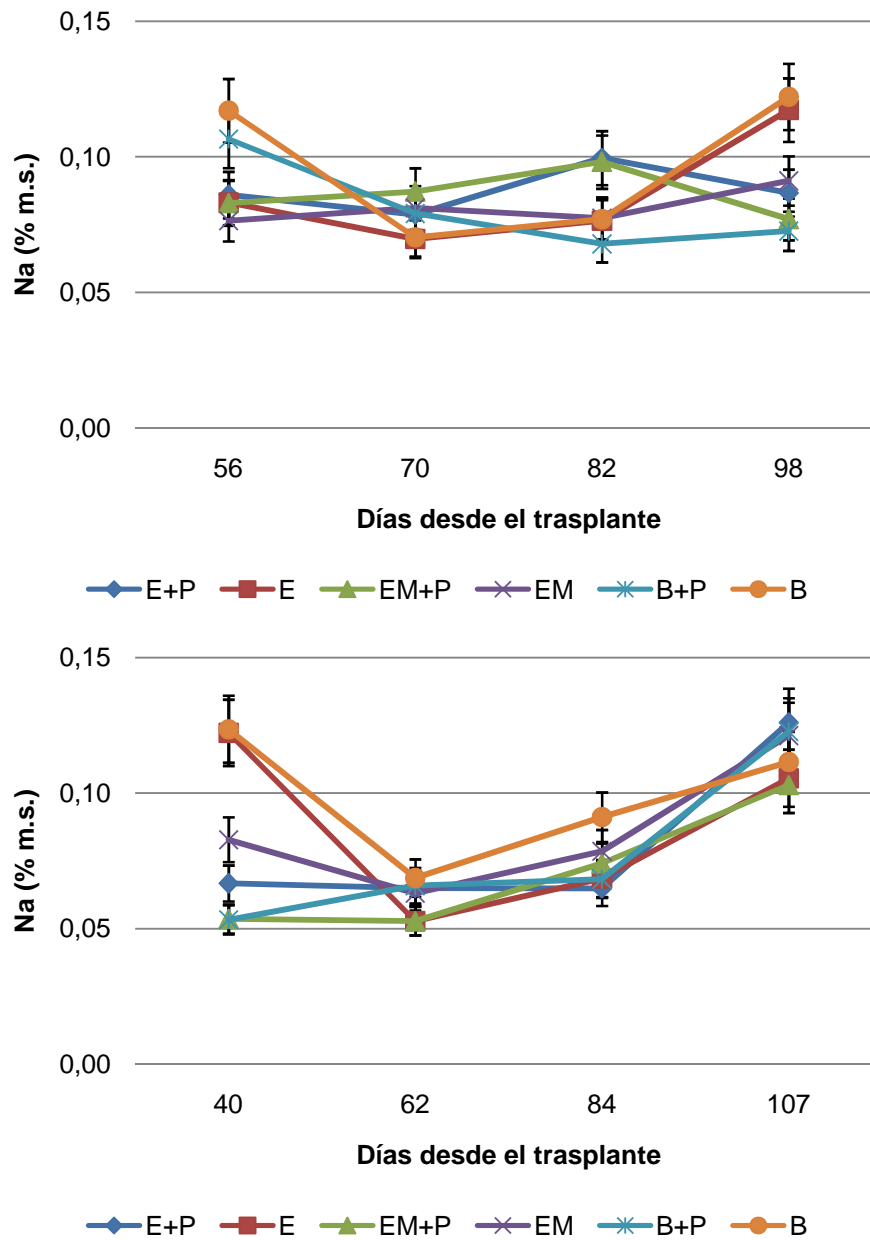
Fig.4.3.5. Evolución de la concentración de magnesio (Mg^{2+}) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.3.6. Sodio.

La concentración en sodio (Na^+) en la planta, está asociada a la salinidad, es decir, al contenido en NaCl . La salinidad produce efectos positivos y negativos en las plantas de tomates, sean estas cultivadas o silvestres. La mayoría de los efectos son negativos, y se hacen sentir desde los primeros estados fenológicos de la planta. La germinación se reduce y se prolonga el tiempo de este evento. El crecimiento de las raíces disminuye y por tanto cae la capacidad de absorción de agua y nutrimentos. En la parte aérea el número de frutos y su peso también son alterados adversamente.

El grado de impacto de las sales en el cultivo depende del estado de desarrollo en que se encuentre el cultivo, siendo las etapas juveniles más sensibles que las etapas adultas (Goykovic y Saavedra, 2007). Bajo condiciones salinas, el catión sodio compite con el catión potasio en los sitios de absorción de las raíces, y el cloruro a su vez compite contra el anión nitrato el cual puede e impide el desarrollo de la planta y reduce los rendimientos. La salinidad trae como resultado una deficiencia de potasio en la planta, y un menor número de frutos o con menor peso.

Los valores iniciales de la concentración de sodio foliar son próximos a los valores finales en todos los tratamientos (figura 4.3.6). En este caso, los niveles de sodio en hojas se encuentran en un rango entre 0.05 y 0.12 % m.s., claramente por debajo de los niveles de fitotoxicidad y adecuados para el correcto desarrollo del cultivo, ya que, según Ramos (1993), contenidos foliares de sodio superiores a 0.3-0.5 % en materia seca suelen indicar problemas de toxicidad en la mayoría de frutales. El sodio tiene un comportamiento similar para el tratamiento testigo (B) en ambas campañas, con valores superiores al inicio y al final del muestreo.



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
Tratamientos (primera campaña)	F = 0.44	NS
Tratamientos (segunda campaña)	F = 0.58	NS

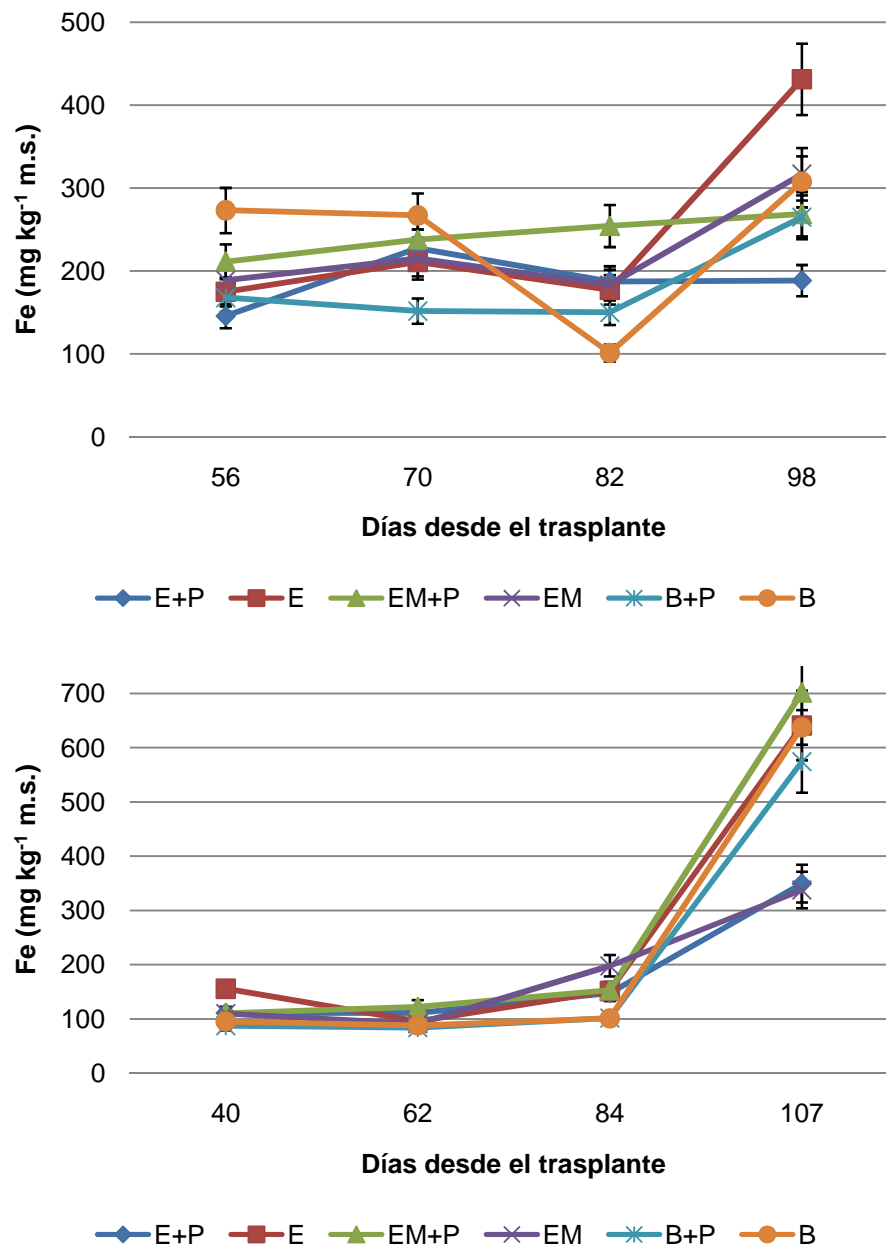
Fig.4.3.6. Evolución de la concentración de sodio (Na^+) en hojas, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.3.7. Hierro.

El hierro, uno de los elementos más abundantes del planeta, es necesario para todo ser vivo, pero en cantidades pequeñas. En cantidades elevadas, el hierro es tóxico. La deficiencia de hierro en las plantas usualmente se puede detectar por la clorosis que presentan las hojas. Las hojas con deficiencia severa se tornan amarillentas o completamente blancas a medida que se expanden. La clorosis férrica se manifiesta primero en las hojas jóvenes, menos en los nervios, que permanecen verdes. Las hojas viejas también pueden tener síntomas de amarillamiento. Más tarde, las hojas se arrugan y caen. La clorosis no es uniforme, en la misma planta se pueden ver ramas con clorosis bastante fuerte y ramas sanas (Sotomayor-Ramírez, 2010). También se puede producir aborto de flores y un escaso desarrollo vegetal.

Normalmente las carencias resultan del bloqueo del hierro en el suelo debido al pH. En los suelos calizos, que tienen pH alto, el hierro está bastante insoluble y por tanto, las raíces no pueden absorberlo. El riego con aguas duras (calcáreas) alcaliniza el substrato y bloquea el hierro y otros micronutrientes.

Los niveles de hierro (Fe) en las hojas se encuentran comprendidos entre 101.07 y 431.18 mg kg⁻¹ de materia seca en la primera campaña, y entre 88.02 y 701.70 mg kg⁻¹ de materia seca en la segunda (figura 4.3.7). Valores siempre superiores a los que se consideran deficientes, por debajo de 80 mg kg⁻¹ (Ehret y Ho, 1986), demostrando una ausencia de clorosis y un adecuado desarrollo del cultivo. En ambos casos, el Fe muestra mayores niveles de concentración en las hojas al final del ciclo de cultivo, de manera más acentuada en la segunda campaña, donde presenta valores superiores respecto a la primera en todos los tratamientos, posiblemente debido a que la fecha de muestreo se produce más tarde que en la primera campaña.



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
Tratamientos (primera campaña)	F = 0.61	NS
Tratamientos (segunda campaña)	F = 0.12	NS

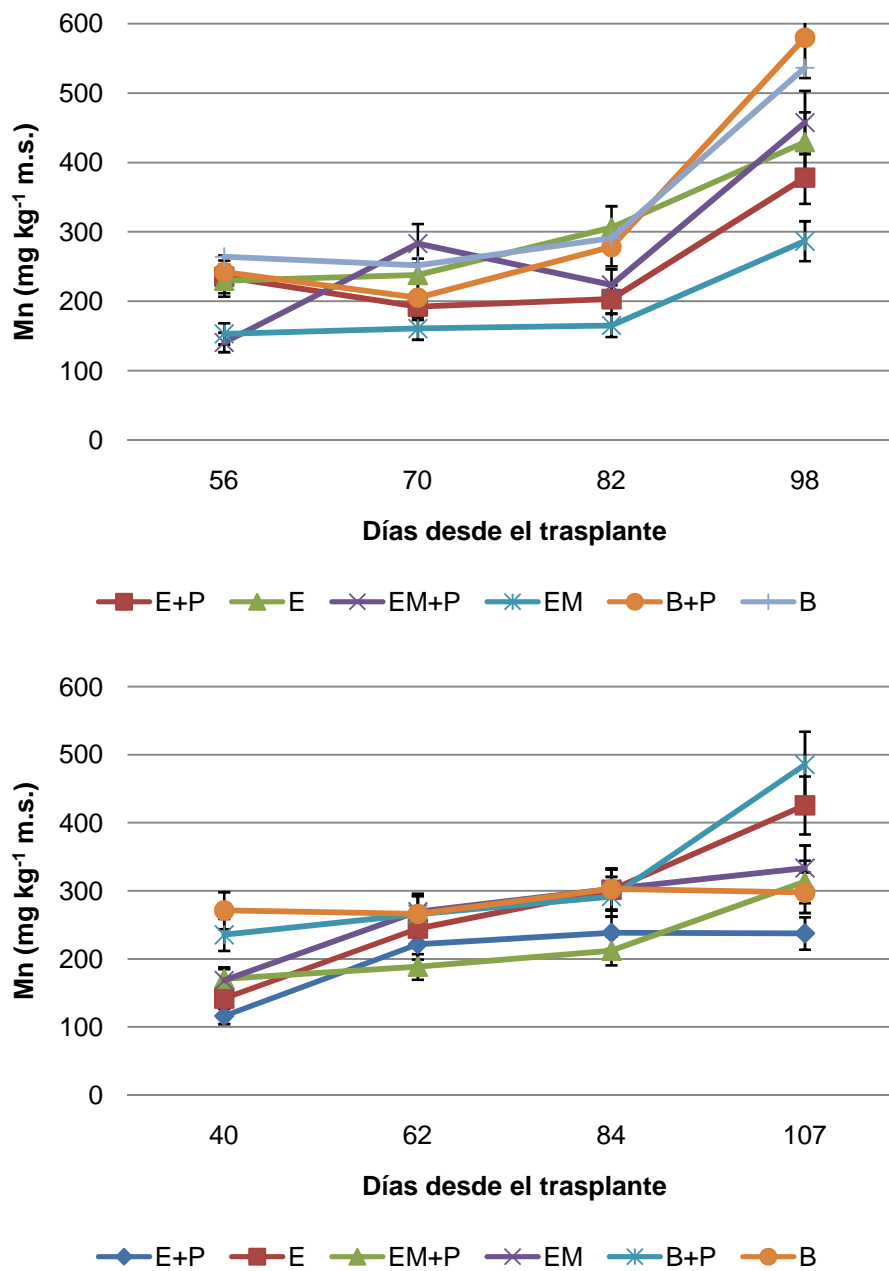
Fig.4.3.7. Evolución de la concentración de hierro (Fe^{3+}) en hojas, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.3.8. Manganeso.

Además de fomentar la resistencia contra plagas y enfermedades, el manganeso actúa como catalizador en las acciones enzimáticas y fisiológicas; además se relaciona con la respiración y la síntesis de clorofila. La deficiencia se observa como una decoloración verde pálido y manchas cloróticas de tejido muerto entre las nervaduras de la hojas jóvenes. En las hojas viejas, aparecen manchas intervenales bastante difusas, no se observa una separación entre el tejido sano y el clorótico. También se observa una reducción de la floración. La deficiencia ocurre en suelos sumamente limosos, las hojas más jóvenes se observan similares a las que tienen deficiencia de hierro, con la excepción que las venas se conservan verdes (Pérez et al. 2002).

El exceso es poco común, a veces observable en un manejo inadecuado de la fertirrigación al aplicar aguas demasiado ácidas o en suelos con un pH inferior a 5.5. Respecto a la interpretación del análisis foliar, se consideran niveles bajos de manganeso en hojas, concentraciones por debajo de 30 mg kg⁻¹ (Roorda van Eysinga y Smilde, 1981).

La figura 4.3.8, muestra la evolución del contenido foliar de manganeso. Se observa que su comportamiento es similar al hierro, mostrando un aumento de la concentración a lo largo del ciclo de cultivo para todos los tratamientos empleados, con máximos de concentración en la última fecha de muestreo, en ambas campañas. Este aumento puede deberse a que el manganeso, al igual que el hierro es un elemento poco móvil, que no se desplaza a las hojas en crecimiento, produciendo un aumento de la concentración en la planta a lo largo de su desarrollo vegetativo, al aumentar el contenido en hojas viejas. El rango de concentración permanece entre 116.23 y 579.56 mg kg⁻¹ de materia seca, muy por encima del mínimo que indica deficiencia e inferiores a los obtenidos por Rodríguez y Pérez (1974), referidos a la intoxicación por Mn en plantas de tomate. Son, por tanto, valores adecuados para el desarrollo óptimo de la planta.



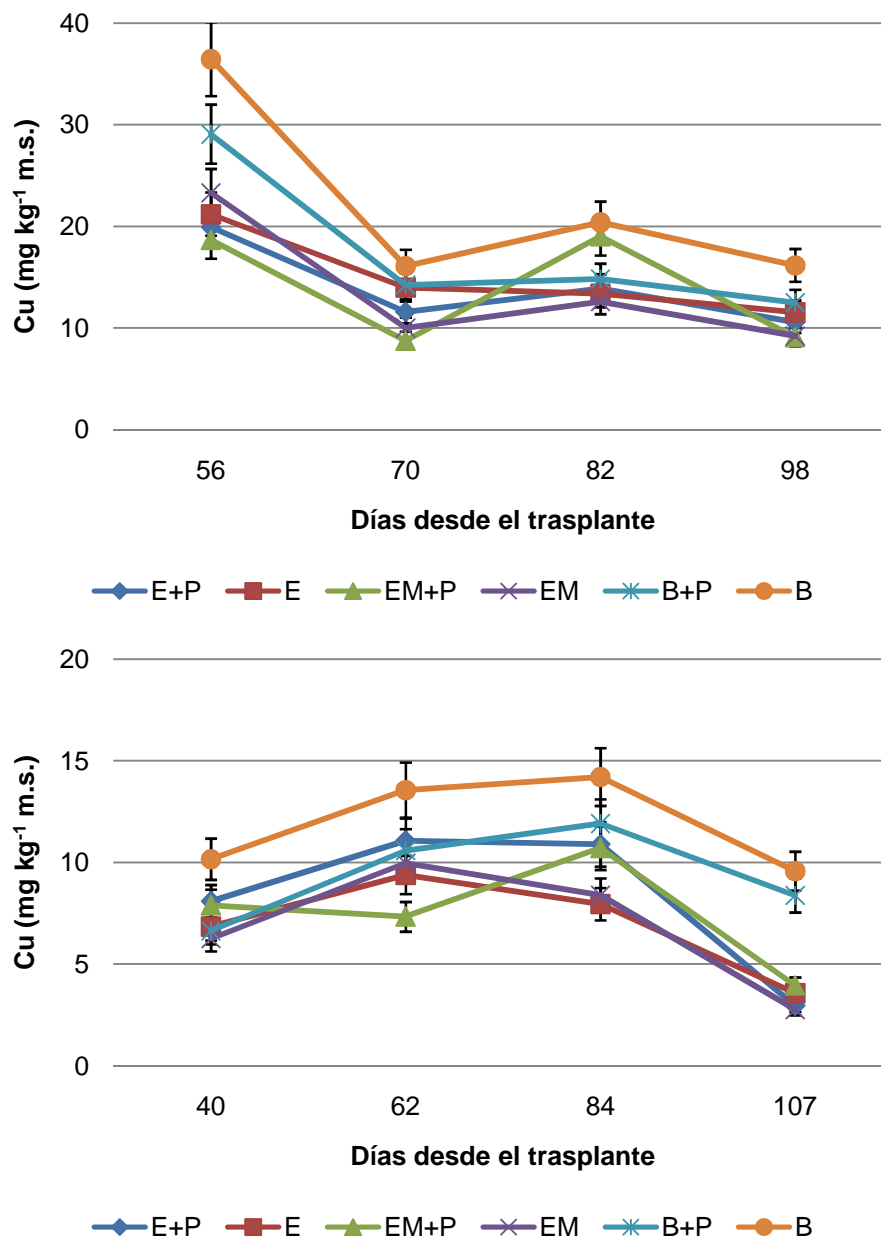
Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
Tratamientos (primera campaña)	F = 0.80	NS
Tratamientos (segunda campaña)	F = 1.11	NS

Fig.4.3.8. Evolución de la concentración de manganeso (Mn²⁺) en hojas, expresada en mg kg⁻¹ de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.3.9. Cobre.

De forma natural el cobre aparece asociado a compuestos minerales del suelo. Estos minerales liberan el ión Cu^{2+} que pasa a las zonas de intercambio del suelo con la planta. La planta absorbe el ión Cu^{2+} por las raíces y entra a formar parte de diversos procesos, entre otras funciones, interviene en la biosíntesis de clorofila. La carencia en cobre se manifiesta con los siguientes síntomas: hojas jóvenes de color verde oscuro, malformadas y enroscadas a lo largo, los pecíolos se doblan hacia abajo, pocas flores. Una concentración adecuada de cobre en planta se encuentra entre 5 y 30 mg kg^{-1} en materia seca (Junta de Extremadura, 1992).

En el ensayo el contenido foliar de cobre, muestra valores anómalamente superiores en la primera fecha de la primera campaña (figura 4.3.9), aunque en general, presenta valores en un rango de concentración comprendido entre 2.76 y 36.45 mg kg^{-1} m.s., con valores inferiores en la segunda campaña. Se obtienen valores máximos respecto al resto, en ambas campañas en el tratamiento ensayado como testigo, sin fertilización ni acolchado de plástico (B).



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
Tratamientos (primera campaña)	F = 1.03	NS
Tratamientos (segunda campaña)	F = 1.82	NS

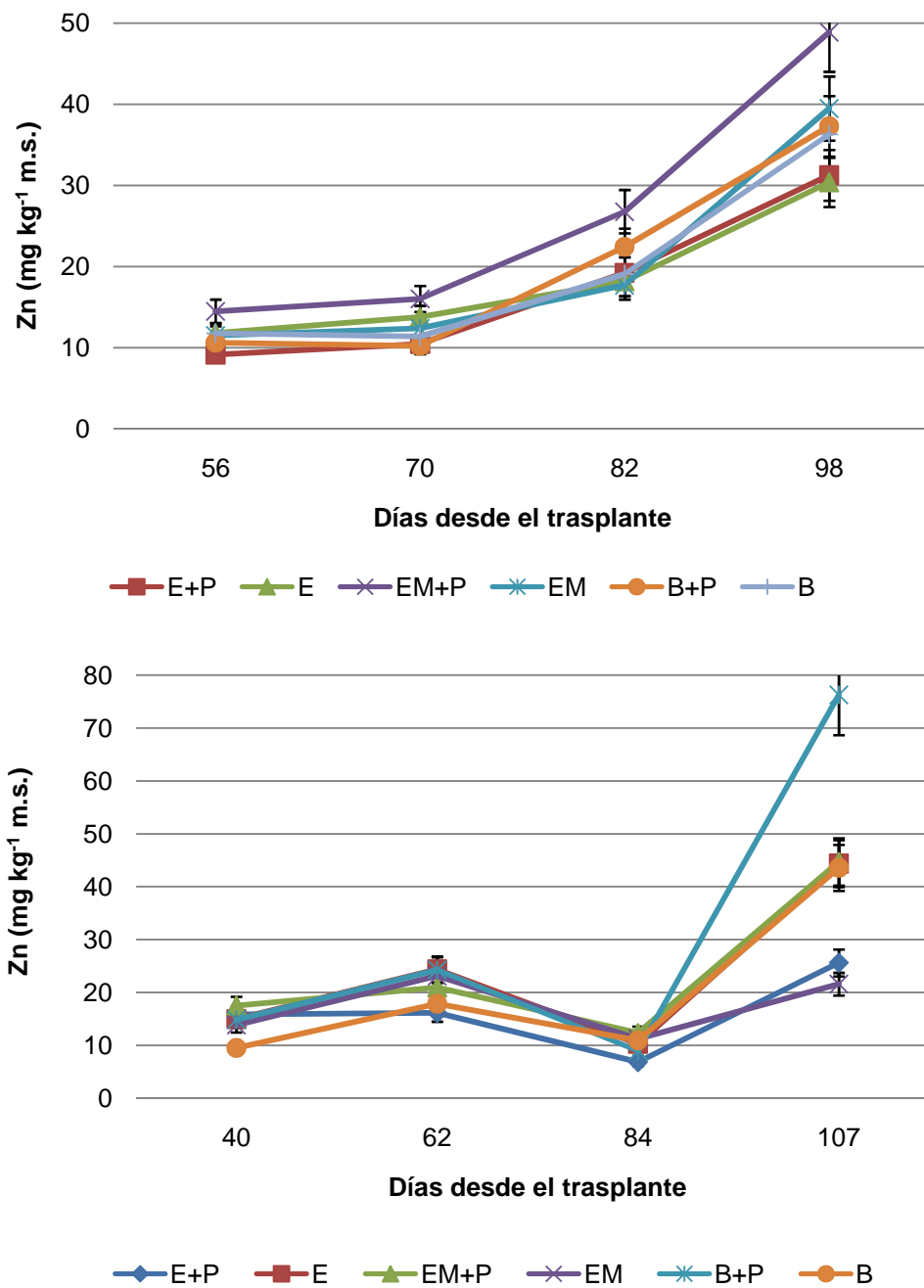
Fig.4.3.9. Evolución de la concentración de cobre (Cu^{2+}) en hojas, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.3.10. Cinc.

Es un elemento de gran importancia en el crecimiento y producción; puede llegar a actuar como limitante en la realización de estas funciones si la disponibilidad es escasa. La deficiencia se observa con mayor frecuencia en suelos arenosos y con alto contenido de fósforo. Actúa como elemento regulador de crecimiento, su deficiencia puede llegar a causar reducción en la longitud de los entrenudos y alteraciones en el tamaño y forma de las hojas, causa total deformación en las hojas nuevas. Los entrenudos se reducen considerablemente de tamaño, lo que hace aparecer hojas de crecimiento terminal agrupadas en forma de roseta (Pérez et al. 2002). El exceso de cinc es bastante anómalo. Niveles de cinc por debajo de 15 mg kg^{-1} en hojas, se consideran deficientes (Agrológica, 2002) y el rango óptimo entre $20\text{-}40 \text{ mg kg}^{-1}$ (Muñoz, 1995).

El cinc (Zn) es un elemento de escasa movilidad en la planta, por lo que se acumula en las hojas viejas, a lo largo del desarrollo y crecimiento de la planta. Prueba de ello, es el aumento de la concentración a lo largo del ciclo de cultivo, con valores inicialmente deficientes según los indicados por Roorda y Smilde (1981). El rango de concentraciones se encuentra entre 6.84 y 76.30 mg kg^{-1} en materia seca (figura 4.3.10), correspondiendo el mínimo al tratamiento E+P en la tercera fecha y el máximo, al tratamiento EM+P en la última de muestreo, ambos en la segunda campaña. En la primera campaña, los valores son muy similares entre tratamientos, obteniéndose para el tratamiento EM+P máximos en todas las fechas.

Lo deseable en la concentración de micronutrientes es una trayectoria prácticamente lineal con pequeñas oscilaciones dentro de los valores de normalidad, para que se considere una nutrición correcta y deseable (estable), ajustando las disoluciones nutritivas. Pero se deben tener en cuenta los posibles tratamientos fitosanitarios que, como es sabido, alguno de ellos contienen en su composición oligoelementos tales como Mn, Cu o Zn, presentes sobre todo en los fungicidas (Alburquerque, 2000).



Análisis de varianza (P=0.05)	F crítica = 2.77	Diferencias
Tratamientos (primera campaña)	F = 0.27	NS
Tratamientos (segunda campaña)	F = 0.41	NS

Fig.4.3.10. Evolución de la concentración de cinc (Zn²⁺) en hojas, expresada en mg kg⁻¹ de materia seca, a lo largo del ciclo de cultivo del tomate (var. Nautilus). La gráfica superior se corresponde con la primera campaña y la inferior con la segunda.

4.4 FRUTO.

4.4.1. Nutrientes.

La maduración del tomate involucra una serie de cambios cualitativos y cuantitativos de la composición química del fruto en el que participan ácidos orgánicos, azúcares solubles, aminoácidos, pigmentos y alrededor de 400 compuestos volátiles que determinan el sabor y el aroma del fruto (Petro-Turza, 1987). Estas variaciones en el contenido y composición química del tomate están relacionados con la variedad, grado de madurez, prácticas de cultivo, condiciones de temperatura y luminosidad, existentes durante la producción y comercialización del fruto (Binoy et al., 2004; Abushita et al., 2000). También es importante mencionar que estos compuestos pueden sufrir alteraciones de tipo químico, durante las operaciones unitarias correspondientes al procesamiento y diferentes etapas de almacenamiento del fruto. De ahí que en la industria alimentaria existe un amplio interés por el contenido en elementos minerales en el fruto y su composición química, pues el tomate es ampliamente utilizado como materia prima en la producción de jugos, purés y salsas, entre otros productos (Hernández et al., 2007).

Se determinó la concentración de nitrógeno total (Nt), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), hierro (Fe^{3+}), manganeso (Mn^{2+}), cobre (Cu^{2+}) y cinc (Zn^{2+}) en el fruto del tomate para industria (var. Nautilus) en el momento del corte del fruto, para los seis tratamientos empleados (E+P, E, EM+P, EM, B+P y B) así como los tres niveles de riego (3.30, 5.00 y 6.70 mm h^{-1}) para las dos campañas estudiadas.

4.4.1.1. Nitrógeno.

El nitrógeno es el mayor componente de las proteínas (incluidas las enzimas), aminoácidos, ácidos nucleídos y clorofila. El nitrógeno es aportado continuamente desde el suelo y transformado de su forma mineral a forma orgánica. Las principales fuentes inorgánicas que participan en esta conversión

son NO_3^- , NH_2^- y NH_4^+ . Los contenidos típicos de nitrógeno en las plantas son 3-5 % en su materia seca (SQM, 2006).

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno en las plantas se expresan como:

- Disminución del desarrollo.
- Reducción del tamaño de plantas, flores y frutos.
- Clorosis (amarillamiento general de la planta, comenzando en partes viejas).

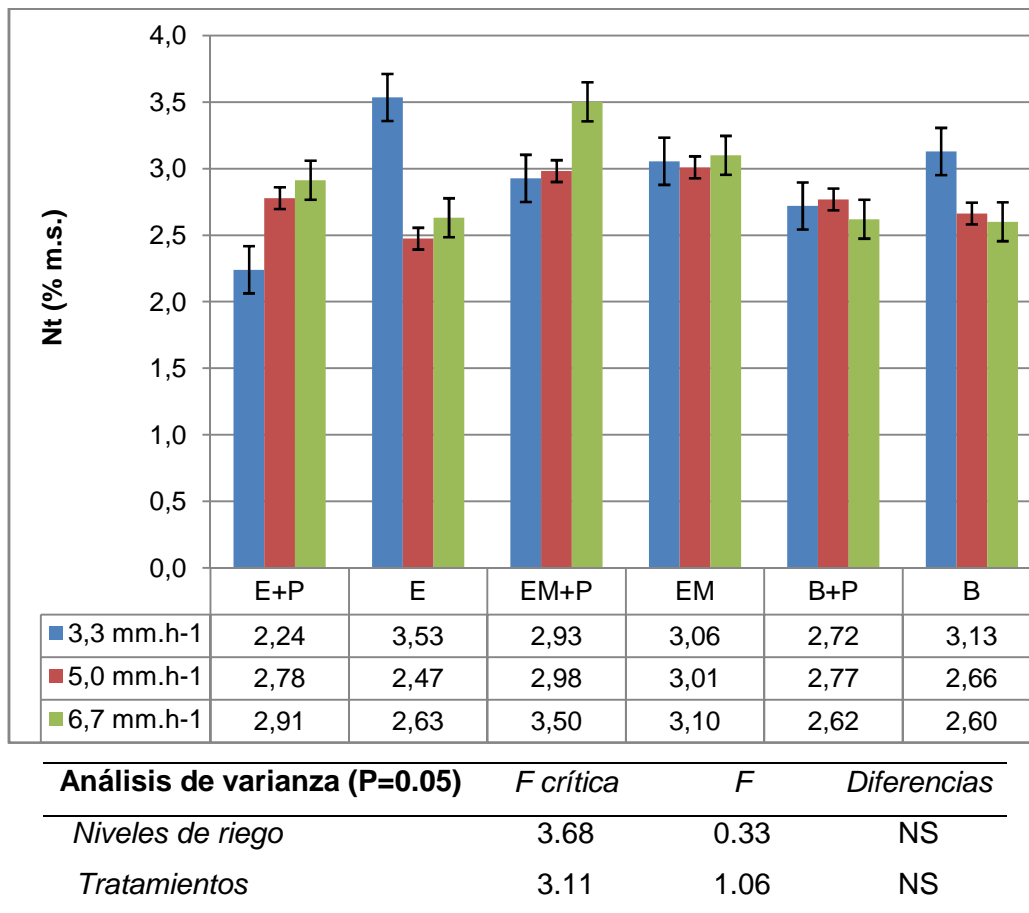


Fig.4.4.1.1a. Concentración de nitrógeno total (Nt) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

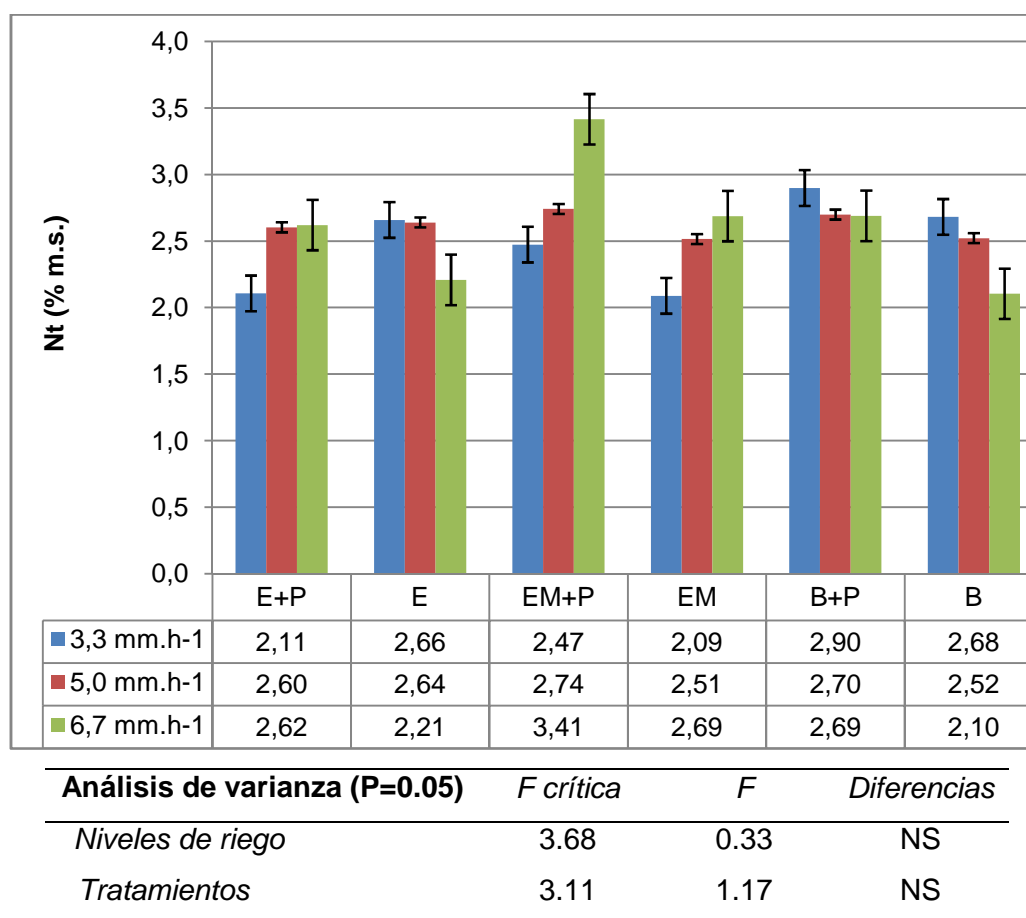


Fig.4.4.1.1b. Concentración de nitrógeno total (N_t) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

Como se puede observar (figuras 4.4.1.1a. y 4.4.1.1b.), el contenido en nitrógeno total en el fruto de tomate, no muestra una tendencia clara según tratamientos o niveles de riego, con valores muy similares en todos los casos, en un rango entre 2.09-3.53 % m.s., no presentando diferencias significativas en ningún caso. Los valores medios de concentración de N_t son superiores a los obtenidos por Al-Mohammadi (2011) para fruto de tomate sometido a diferentes niveles de riego y fertilización N-P-K.

En general se observa que los frutos cultivados bajo enmienda mezcla (EM) acumulan mayor contenido de N_t , igual que ocurría en la hoja. Esta acumulación en el fruto se ve favorecida por el aumento de la dosis de riego de

forma que el contenido más elevado se obtiene para el nivel de riego considerado excedentario ($6.70 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) para el cultivo de tomate. Aunque estadísticamente las diferencias no son significativas, el aporte de la enmienda orgánica y el aumento del riego favorecen la movilidad del nitrógeno dentro de la planta.

4.4.1.2. Potasio.

El catión potasio no posee funciones estructurales, sin embargo, es el catión más común en los procesos metabólicos de las plantas. Roles esenciales del potasio han sido encontrados en la síntesis de proteínas, en el proceso fotosintético y en el transporte de azúcares desde las hojas a los frutos y en la producción y acumulación de aceites. Un adecuado suministro de potasio permitirá mantener la función de las hojas a lo largo del desarrollo de los frutos y contribuirá al aumento del rendimiento y acumulación de sólidos solubles en frutos (principalmente azúcares) en el período de cosecha. En tomates, aproximadamente el 60-66 % del potasio absorbido por las plantas, se localiza en los frutos (Winsor et al., 1958). La acción del potasio en la síntesis de proteínas aumenta la conversión del nitrato absorbido en proteínas, lo que contribuye a mejorar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados aplicados (Ruíz-Sánchez, 2006). Valores típicos de potasio en las plantas son 3-4% de materia seca.

El catión potasio participa en la mantención del potencial osmótica de la planta (turgencia celular), una implicancia de este hecho es la apertura y cierre estomático, lo que permite a la planta realizar el intercambio de agua y gas con la atmósfera. Esto permite a la planta mantener un adecuado estado hídrico bajo condiciones de estrés como salinidad, o disminución en la disponibilidad de agua (Bugarín, 2002). De hecho cultivos con un alto contenido de potasio muestran generalmente una mejor eficiencia de uso del agua, es decir, consumen relativamente menos agua que cultivos con menores contenidos de potasio para producir la misma biomasa. Adicionalmente el potasio está involucrado en el proceso de maduración de frutos, así como en la síntesis de pigmentos como el licopeno, el que es el responsable del color rojo en los

frutos de tomate. El potasio además promueve altos contenidos de ácidos, lo que es esencial para el buen sabor de los frutos (SQM, 2006).

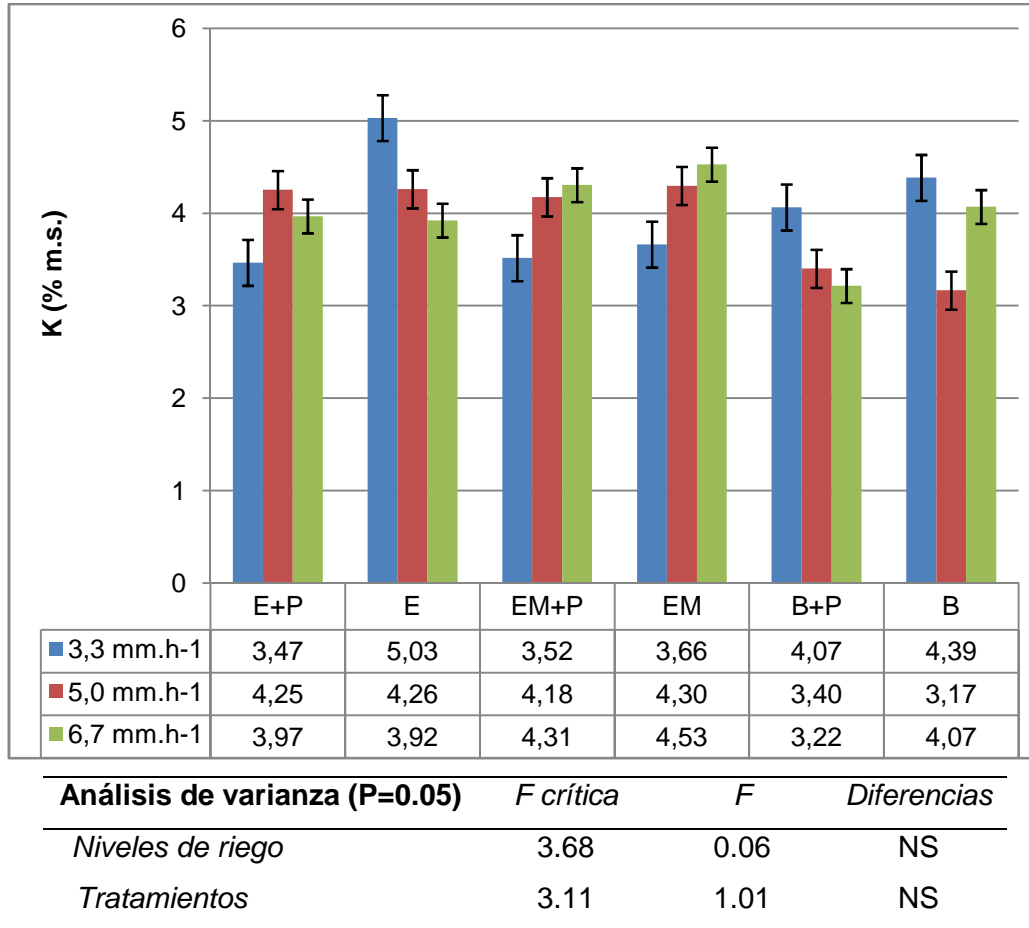


Fig.4.4.1.2a. Concentración de potasio (K^+) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

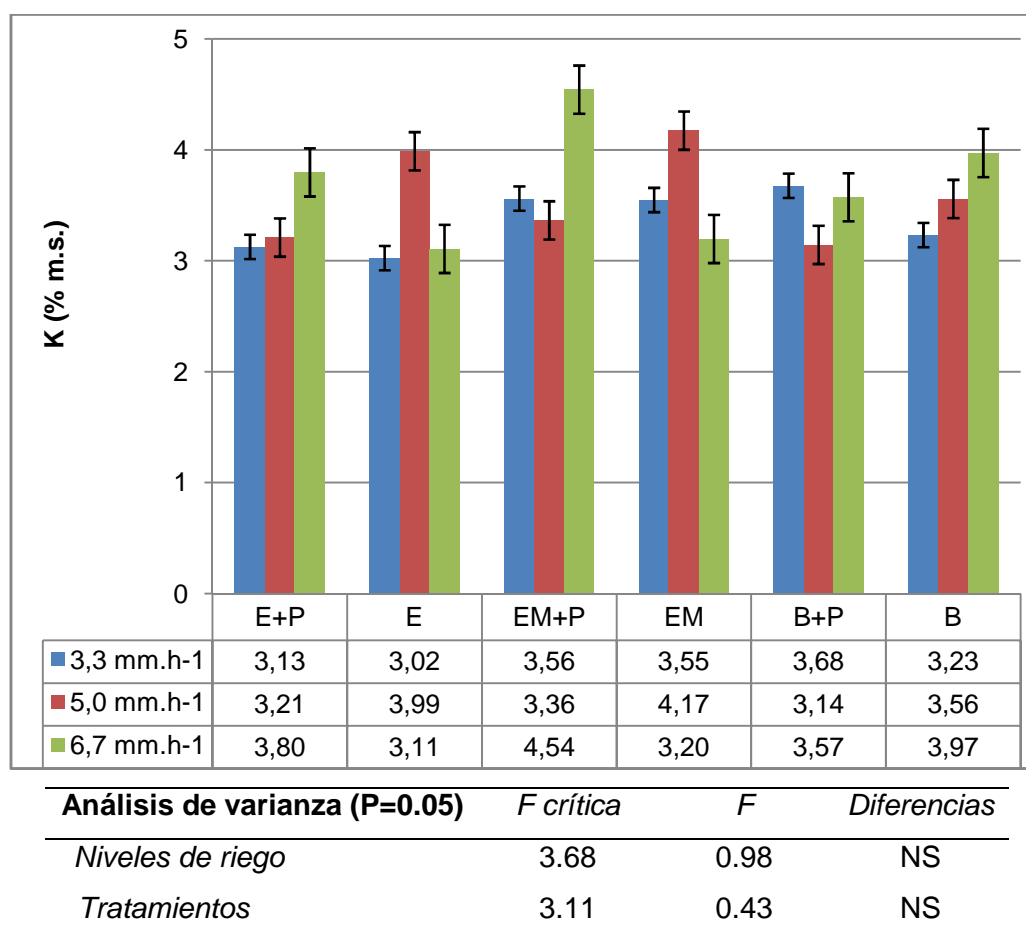


Fig.4.4.1.2b. Concentración de potasio (K^+) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

El contenido medio de K, en el fruto de tomate se encuentra entre 3,02 – 5,03 % en materia seca (figuras 4.4.1.2a. y 4.4.1.2b.), Las concentraciones de potasio obtenidas son similares a las obtenidas por Guil y Reboloso (2009) y ligeramente superiores a las obtenidas por Hernández et al. (2007). El potasio es el componente mayoritario en el fruto de tomate. Las concentraciones de potasio fueron similares en todos los tratamientos de fertilización y niveles de riego, sin diferencias significativas entre valores medios. Este comportamiento de no influencia del método de cultivo (enmienda orgánica o inorgánica) también fue obtenido por Hernández et al. (2007), al ensayar 5 variedades de tomate bajo tres métodos de cultivo (intensivo, orgánico e hidropónico).

4.4.1.3. Calcio.

Uno de los nutrientes esenciales en aumentar la calidad y rendimiento es el calcio, y su utilización ayuda a este objetivo del productor, y finalmente al consumidor. En el fruto del tomate, la firmeza se reduce durante la maduración y el uso de calcio ayuda a minimizar la descomposición de pectinas, ayudando a conservar la fortaleza de la pared celular. Los tomates firmes son más resistentes y cuentan con mayor vida, mejorando así su aptitud para el transporte y almacenamiento.

Uno de los principales problemas en la producción de tomate, en campo abierto o en invernadero, es la pudrición apical de la fruta asociada con la deficiencia de calcio (Ca), denominada "*blossom end rot*", también conocida vulgarmente como "la peseta" (figura 4.4.1.3).



Fig. 4.4.1.3. Frutos de tomate afectados de la pudrición apical de la fruta (*blossom end rot*) asociada con la deficiencia de calcio (Ca).

Esta condición se presenta cuando existe baja humedad relativa, en combinación con alta temperatura del aire y del suelo, incrementando la evapotranspiración y promoviendo un vigoroso crecimiento de la planta y el fruto y una mayor demanda de nutrientes. Lo anterior provoca la acumulación de Ca en las hojas, pero puede al mismo tiempo ocasionar deficiencia de este nutriente en los frutos, debido a que la movilidad del Ca dentro de la planta es

baja y el crecimiento del fruto es muy intenso. De esta forma, la cantidad de Ca que llega al fruto no es suficiente para cubrir la demanda nutricional de las actuales variedades de alto rendimiento (Negrete, 2001). Si además se considera que durante épocas de alta temperatura el funcionamiento de la raíz es afectado por la tensión osmótica ocasionada por la mayor concentración de sales en el suelo, se puede esperar una menor cantidad de Ca en el sistema en general. Condiciones de salinidad del agua o del suelo agravan la situación ya que las sales dificultan la absorción de agua y Ca incrementando la pudrición apical del fruto. Existe evidencia científica que demuestra que la salinidad afecta los vasos conductores de agua y nutrientes en el fruto, bloqueando la asimilación de Ca y otros nutrientes (Bennet, 1994; Nuez, 1995).

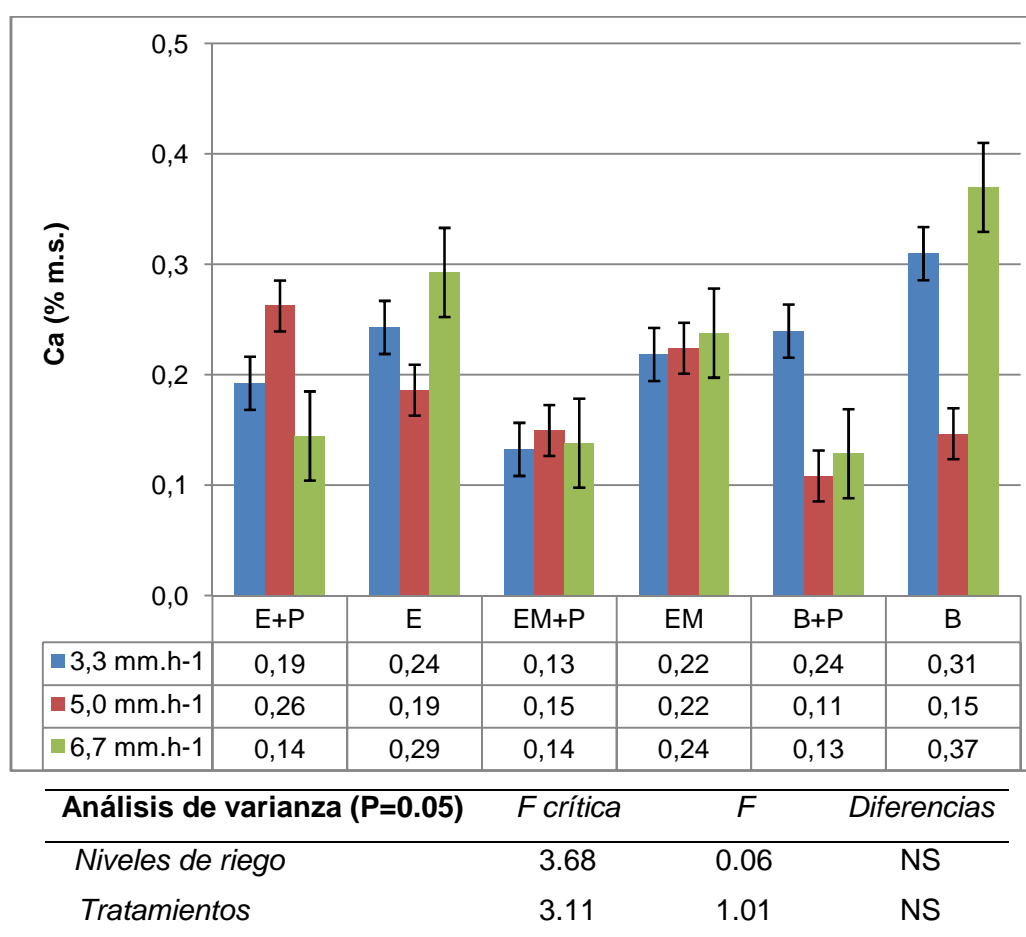


Fig.4.4.1.3a. Concentración de calcio (Ca^{2+}) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

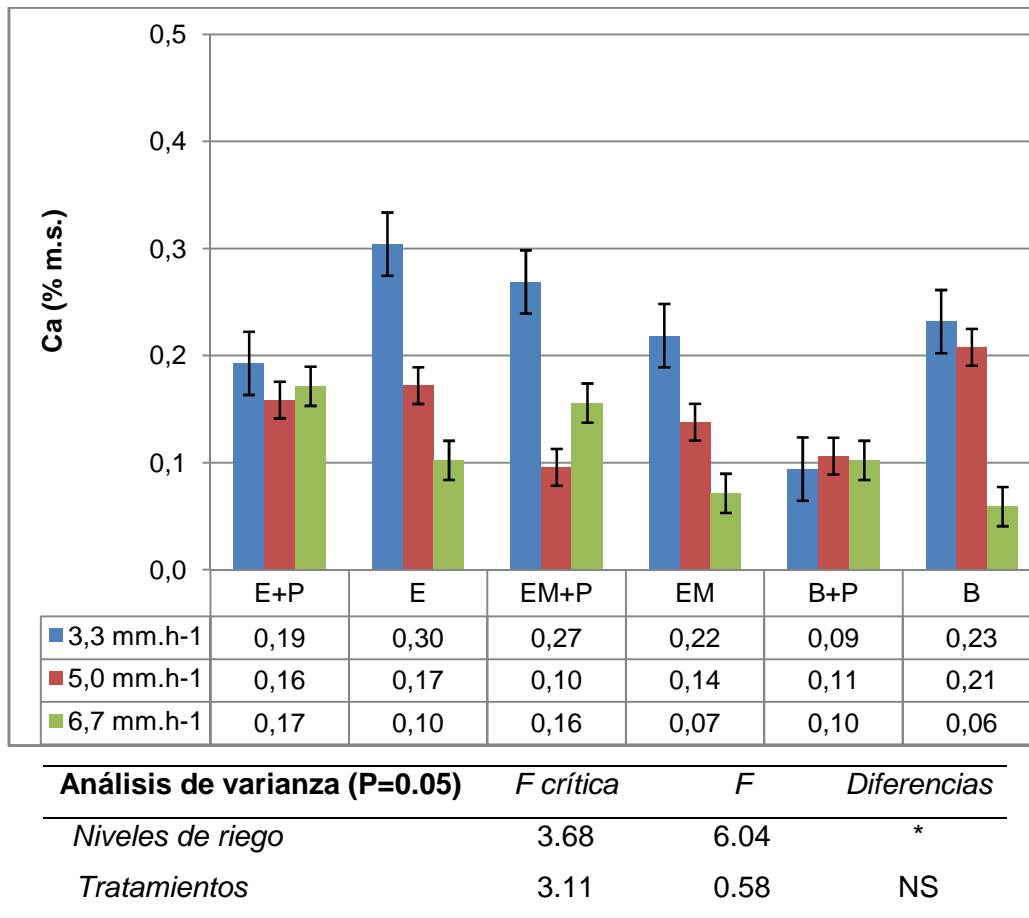


Fig.4.4.1.3b. Concentración de calcio (Ca^{2+}) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

El calcio (figuras 4.4.1.3a y 4.4.1.3b) muestra valores comprendidos entre 0.06 y 0.37 % en materia seca. Niveles similares a los obtenidos por Guil y Reboloso (2009) y superiores a los obtenidos por Hernández et al. (2007) y Al-Mohammadi and Al-Zub'i (2011). Mientras que en la primera campaña no aparecen diferencias significativas ni entre niveles de riego ni entre tipo de fertilización, en la segunda campaña, este nutriente muestra valores significativamente superiores en el nivel de riego más deficitario (3.30 mm h^{-1}) para todos los tratamientos fertilizantes empleados.

4.4.1.4. Magnesio.

La concentración de magnesio (Mg) en la planta y el fruto de tomate, está íntimamente relacionada con la concentración en calcio (Ca) y potasio (K), ya que éstos son elementos antagonistas. En fruto, los desequilibrios entre Ca y Mg provocan una fisiopatía denominada "*tip bund*" o necrosis marginal, y el "*blossom end rot*" o necrosis apical, presentando los mismos síntomas (figura 4.4.1.3).

La concentración de magnesio en el fruto de tomate se encuentra en un porcentaje ligeramente inferior al calcio, y son similares a las obtenidas por Marschner (1995) y la extracción total de Mg es igual a la referenciada por Castilla (1999). De nuevo en el magnesio (figuras 4.4.1.4a y 4.4.1.4b), vuelven a no encontrarse diferencias significativas entre tratamientos o niveles de riego en las dos campañas, con valores de concentración en un rango entre 0.03 y 0.21 % en materia seca.

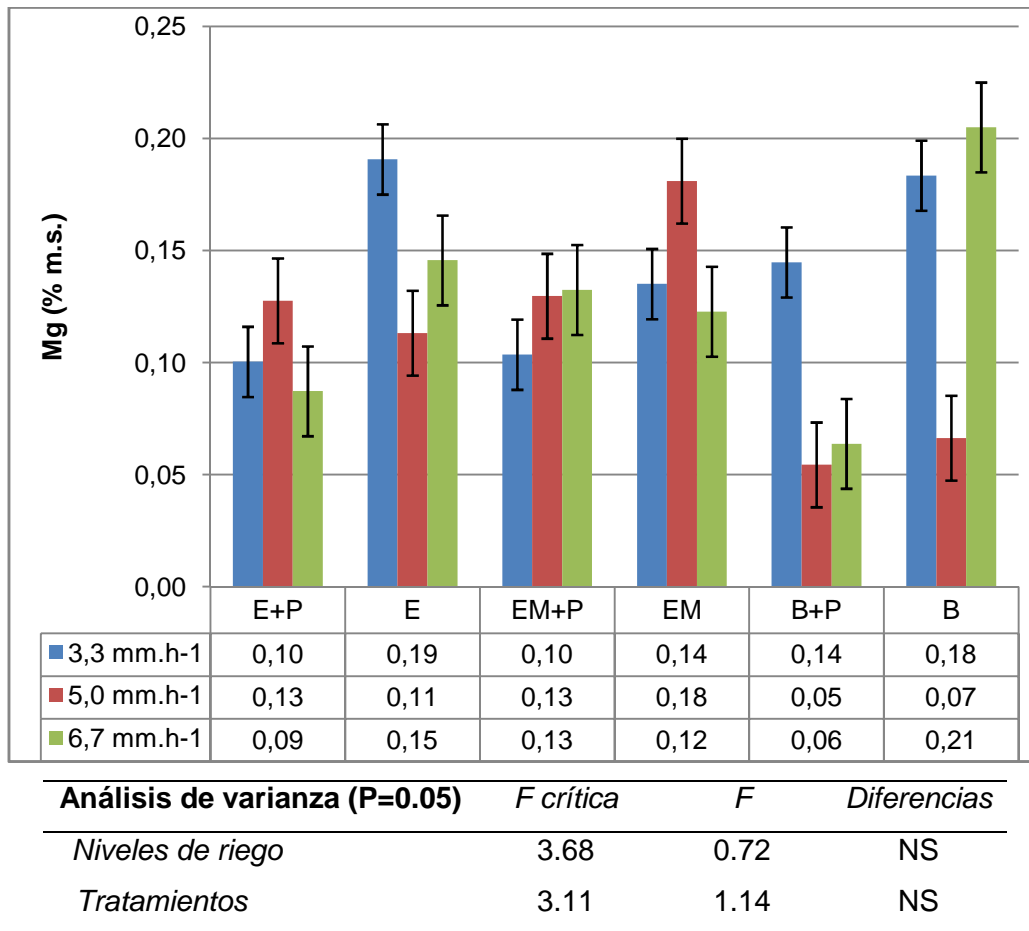


Fig.4.4.1.4a. Concentración de magnesio (Mg^{2+}) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

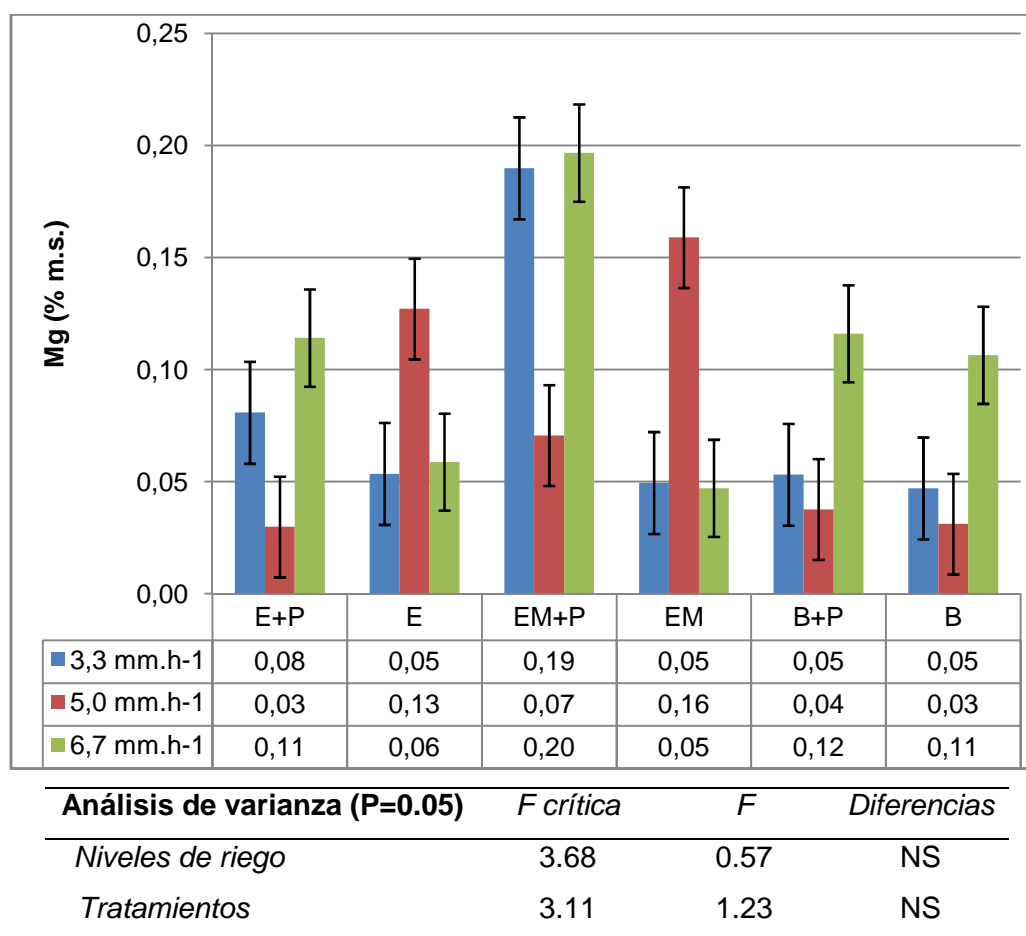


Fig.4.4.1.4b. Concentración de magnesio (Mg^{2+}) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

4.4.1.5. Sodio.

Los efectos negativos del sodio (Na) en el desarrollo de las plantas son atribuidos a una relación antagónica con Ca, K y Zn en las plantas, así como los peligrosos incrementos en la salinidad y alcalinidad de los suelos (Shukla and Mukhi, 1979). Bajo condiciones salinas, la incidencia de la pudrición apical (*blossom end root*) se incrementa. La salinidad disminuye tanto la absorción de calcio, como el contenido de este en los frutos de tomate (Adams y Ho, 1993). La disminución en la absorción de calcio, ocurre principalmente bajo condiciones de restricción hídrica.

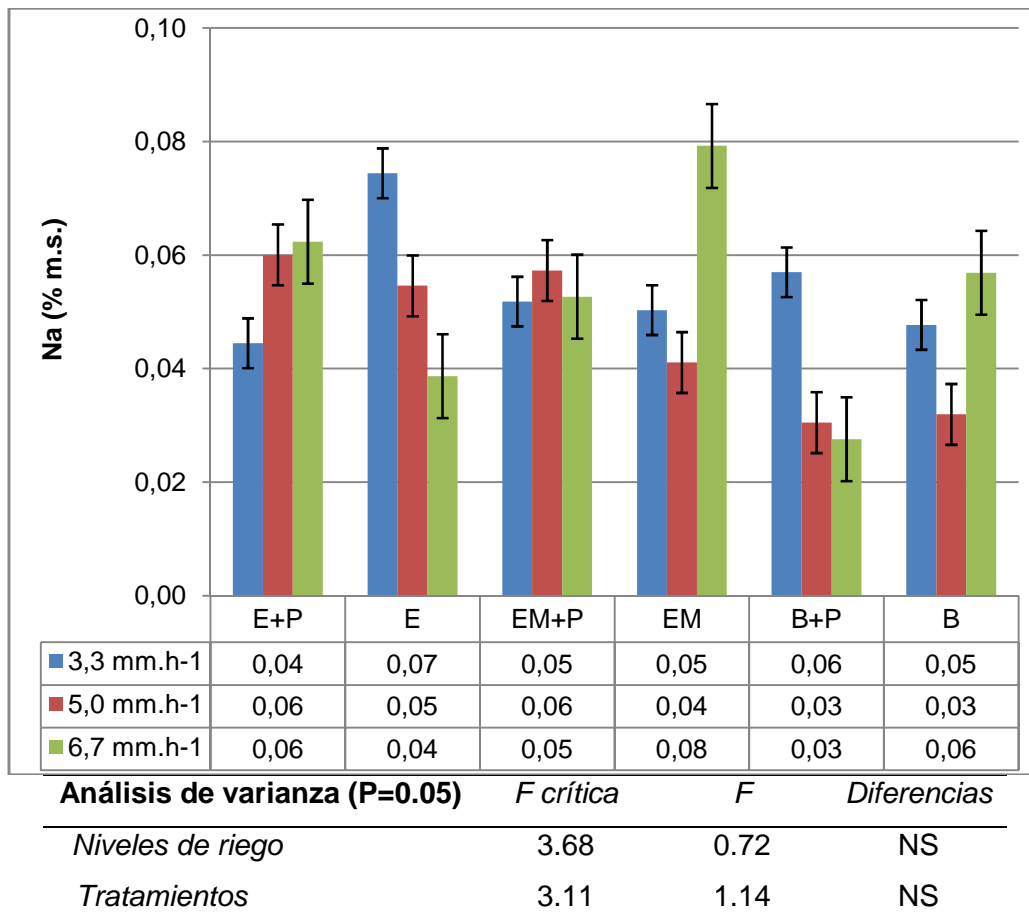


Fig.4.4.1.5a. Concentración de sodio (Na⁺) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

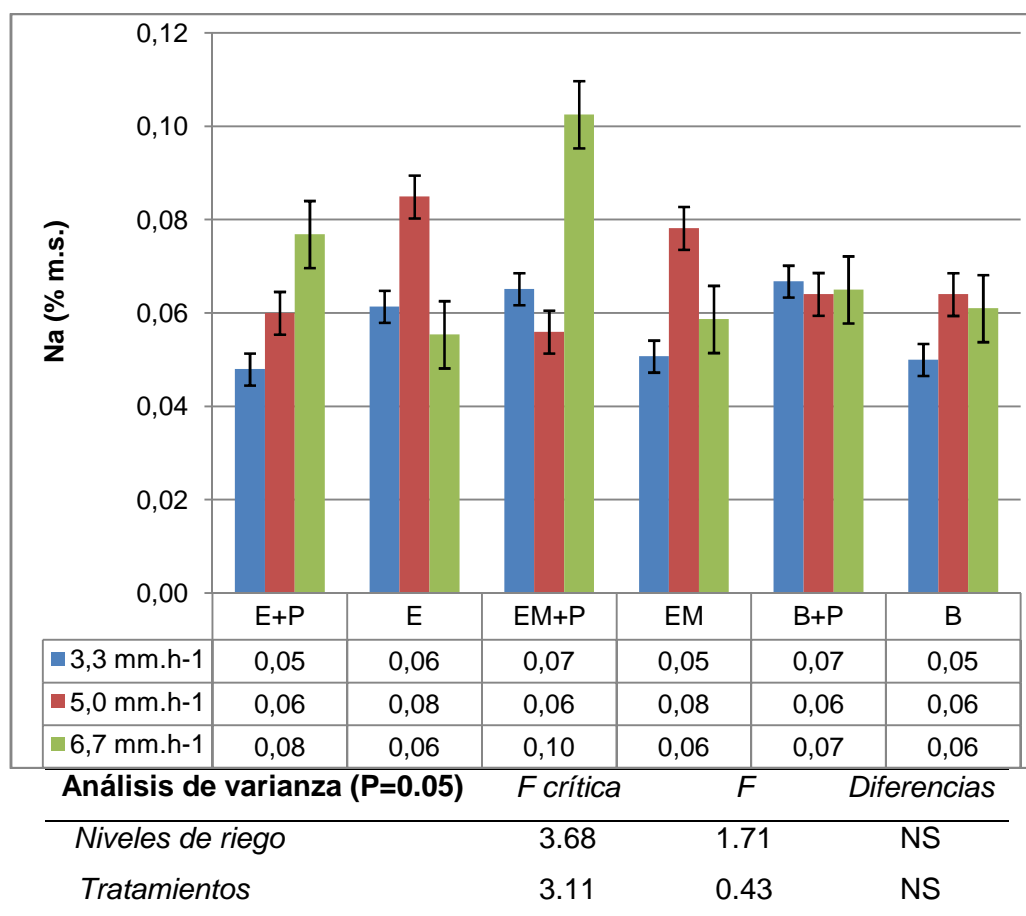


Fig.4.4.1.5b. Concentración de sodio (Na^+) en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

Los niveles de sodio figuras (4.4.1.5a y 4.4.1.5b) se encuentran en un estrecho rango entre 0.04 y 0.10 % en materia seca, concentraciones que se encuentran en consonancia con las obtenidas por Guil y Reboloso (2009) y ligeramente inferiores a las obtenidas por Hernández et al. (2007) para fruto de tomate cultivado bajo tres métodos, intensivo, orgánico e hidropónico. Los valores medios de concentración de sodio en fruto no mostraron influencia ni del tipo de fertilización ni del nivel de riego empleado.

4.4.1.6. Hierro.

Una de las funciones principales del hierro en la planta es su participación como catalizador en el proceso de síntesis de clorofila. De allí que la deficiencia de hierro se manifieste con el síntoma conocido como clorosis férrica, donde la planta presenta una amarillez, que comienza en las hojas nuevas afectando a la lámina sin incluir a las venas, que se mantienen como un reticulado verde. Las hojas basales se mantienen de color verde, pero si la deficiencia se agrava, también terminan por tornarse amarillas (Razeto, 1993). Las plantas afectadas disminuyen su producción, la calidad y tamaño de la fruta (Sanz et al., 1997). Entre los factores causantes de la deficiencia de hierro se encuentran, la alcalinidad del suelo, el alto nivel de carbonato de calcio en el suelo, el alto nivel de bicarbonatos en el agua de riego y el exceso de humedad en el suelo; esta última, por provocar un aumento en la concentración de bicarbonatos o de manganeso en el suelo, iones antagónicos con el hierro (Loeppert; 1986).

Por otra parte, es importante detectar precozmente la deficiencia de hierro, pues cuando ya está declarada en la planta, éste disminuye su producción y, además la corrección del problema es más difícil y onerosa. Si bien los síntomas de esta deficiencia son bastante característicos, son confundibles con aquellos causados por una deficiencia de manganeso, por determinadas enfermedades virosas o por el daño de ciertos herbicidas. Cuando la deficiencia de hierro se presenta asociada a la deficiencia o exceso de otros elementos minerales, los síntomas varían totalmente, resultando prácticamente imposible el diagnóstico mediante observación visual (Razeto, 1993).

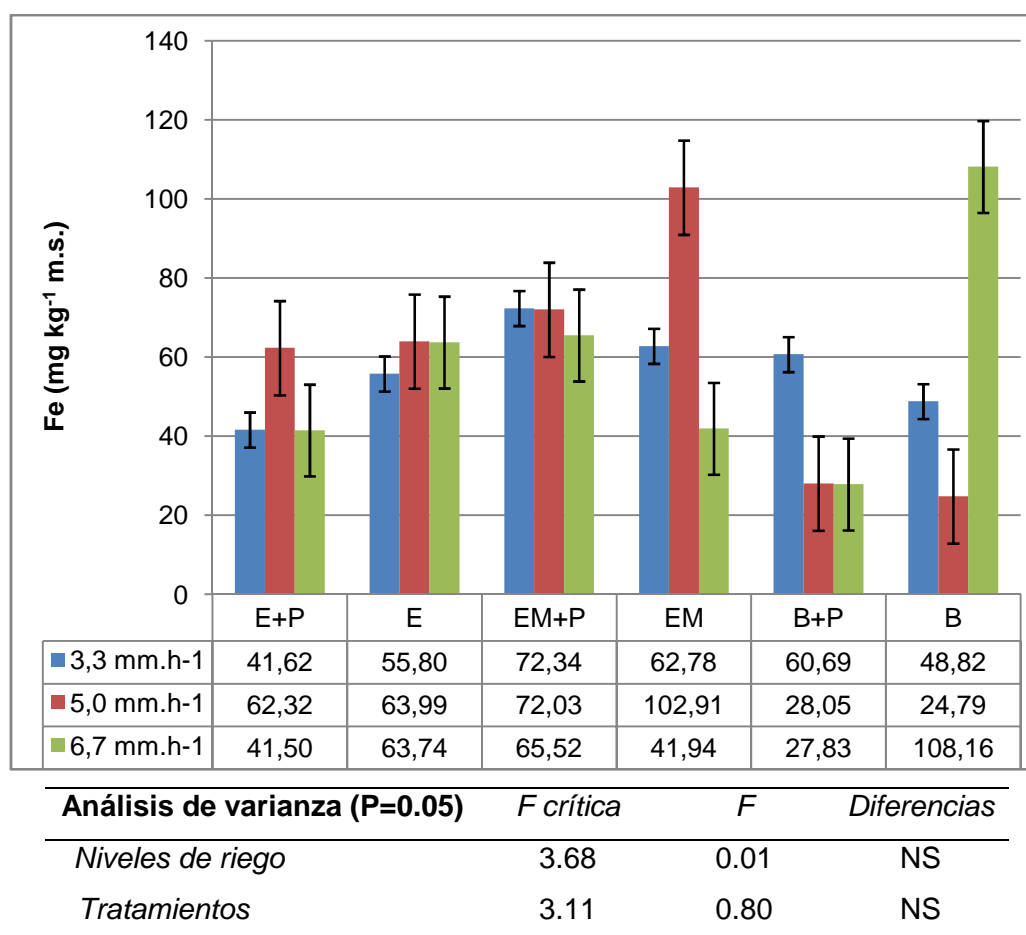


Fig.4.4.1.6a. Concentración de hierro (Fe^{3+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

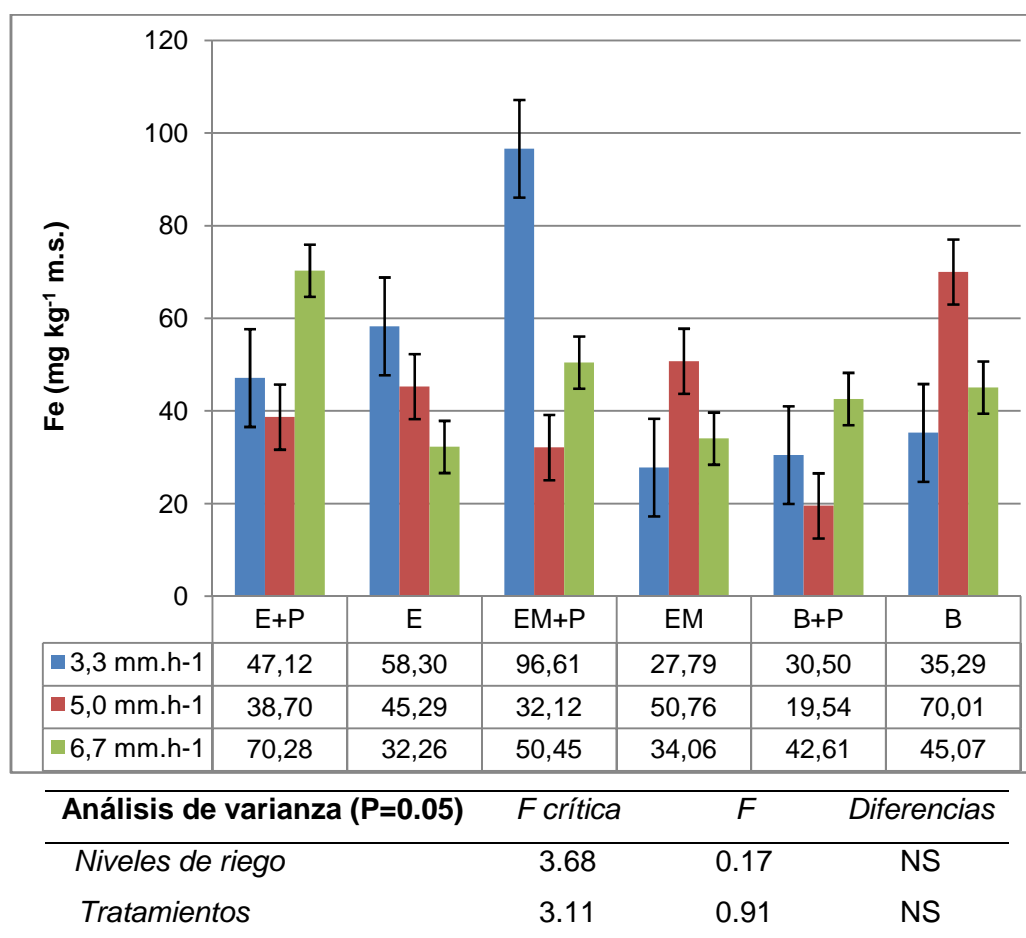


Fig.4.4.1.6b. Concentración de hierro (Fe^{3+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

La concentración de hierro (figuras 4.4.1.6a y 4.4.1.6b) en esta variedad de tomate (Nautilus) se encuentra entre 19.54 y 108.16 mg kg^{-1} de materia seca, valores dentro del promedio encontrado por (Calderón, 2005) y superiores a los obtenidos por Hernández et al. (2007). En la primera campaña, el máximo de concentración corresponde al tratamiento control (B) para el riego más excedentario (6.70 mm h^{-1}), mientras que en la segunda campaña, es el tratamiento EM+P con menor dosis de riego (3.30 mm h^{-1}) el que presenta el máximo de concentración. Los resultados obtenidos no muestran que el contenido de hierro en el fruto se vea influenciado ni por el tipo de fertilización ni por el nivel de riego empleado, puesto que no existen diferencias significativas en ningún caso.

4.4.1.7. Manganeso.

Las plantas de tomate cultivadas en tierras que contienen grandes concentraciones de metales, no tienen necesariamente grandes contenidos de contaminantes en sus frutos; es decir, la presencia de tales elementos en la tierra de cultivo no implica su acumulación en la parte comestible de la planta. Hay una única excepción: el manganeso. Los tomates procedentes de tierras de cultivo ricas en manganeso contienen una gran cantidad de manganeso, lo cual pone de manifiesto que tanto la absorción de este metal en las raíces como el mecanismo de transporte desde las raíces hasta los propios frutos son eficientes en las plantas de tomate (Rodríguez et al, 2015). Excesos de manganeso inducen la deficiencia de hierro (Epstein y Bloom, 2004).

El manganeso interviene en la fotosíntesis. No se han observado síntomas en los frutos cuando existe deficiencia de manganeso, aunque sí la escasez de este elemento es muy acusada, puede ocasionar una reducción de la cuantía de la cosecha (Legaz et al. 2007).

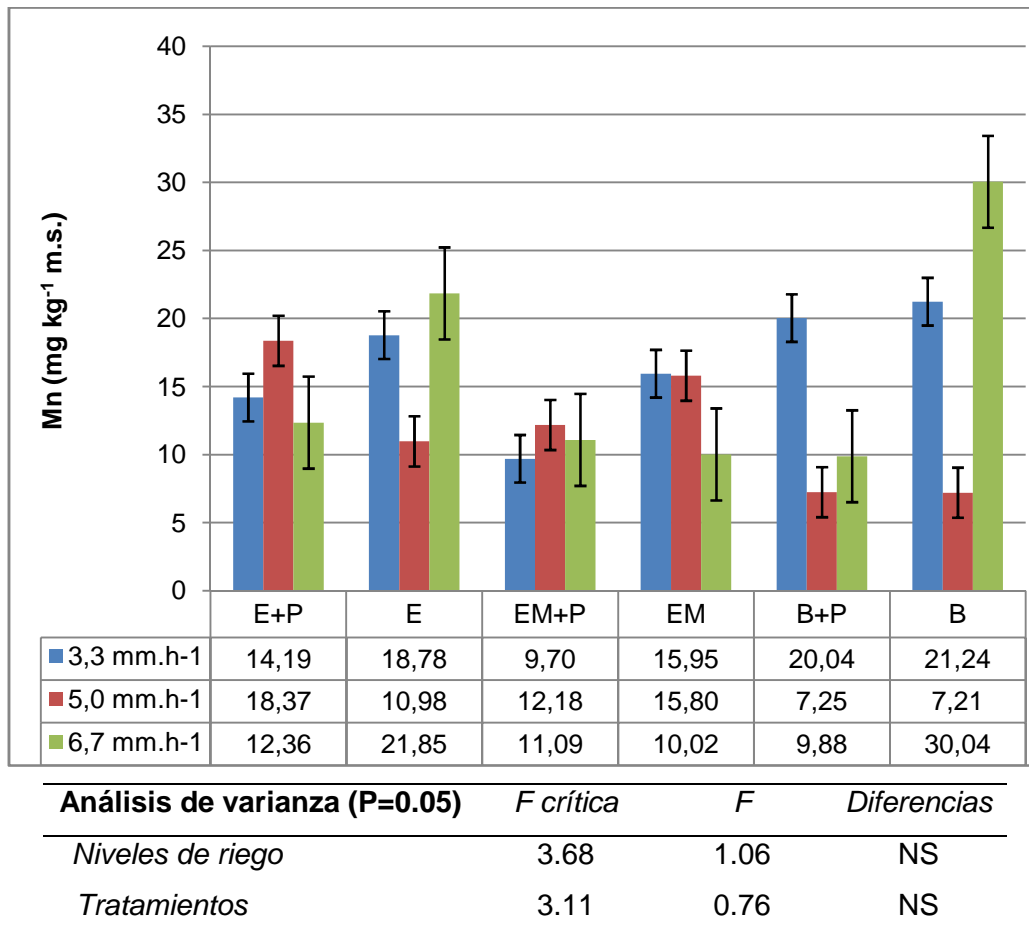


Fig.4.4.1.7a. Concentración de manganeso (Mn^{2+}) en fruto, expresada en $mg\ kg^{-1}$ de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

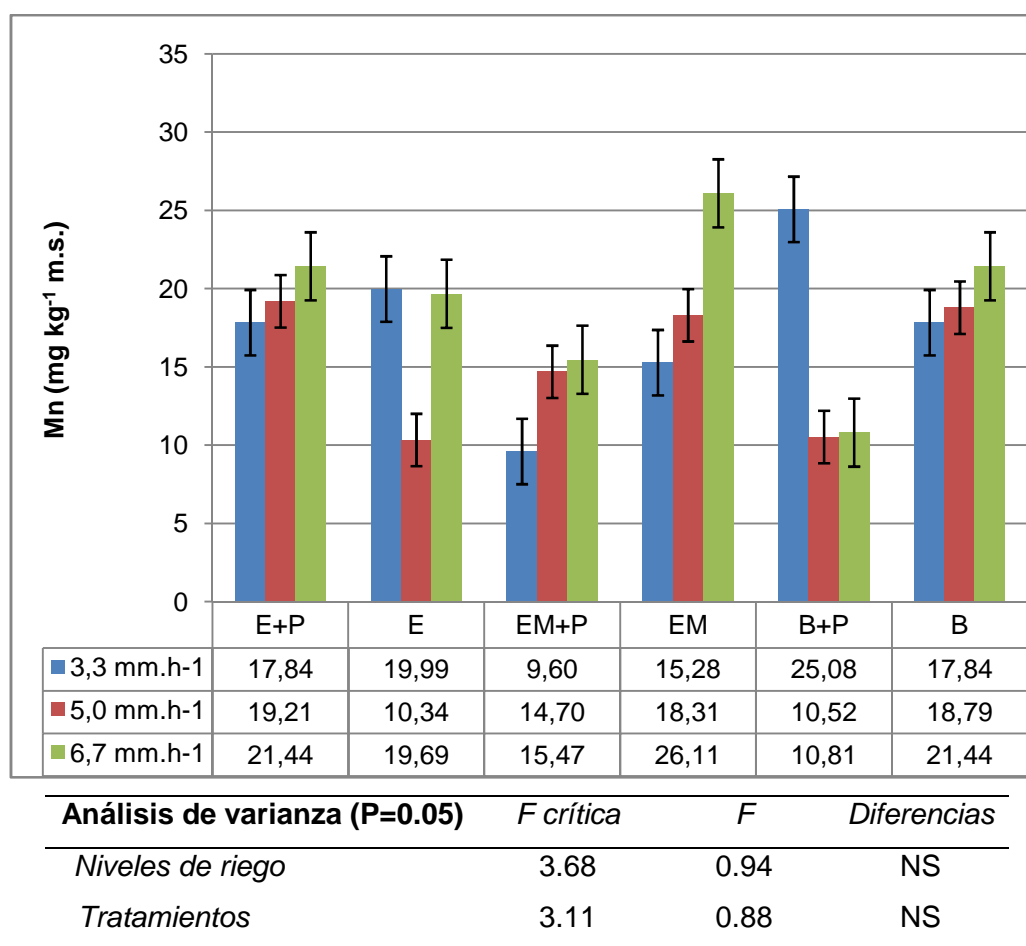


Fig.4.4.1.7b. Concentración de manganeso (Mn^{2+}) en fruto, expresada en $mg\ kg^{-1}$ de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

Los resultados obtenidos para este micronutriente, indican un rango de concentración que se encuentra entre 7.21 y 30.04 $mg\ kg^{-1}$ de materia seca (figura 4.4.1.7a y 4.4.1.7b), valores que se manifiestan muy superiores a los encontrados por Hernández et al. (2007). Esta mayor concentración de manganeso en el fruto respecto a valores encontrados en la bibliografía se ve correlacionado con el aumento de la concentración de manganeso en el suelo y la disolución del suelo consecuencia de las prácticas de cultivo realizadas, fundamentalmente la incorporación de enmiendas orgánicas, favoreciendo su solubilización, absorción de este nutriente por las raíces y su transporte hasta los frutos (Bromfield, 1978; Ruiz, 2002).

4.4.1.8. Cobre.

La función de este micronutriente (cobre) en la planta se considera esencial en el desarrollo del cultivo, pues participa en el metabolismo de nitrógeno y carbohidratos. La deficiencia del cobre es muy difícil que se presente, en el caso de que la hubiera, provocaría una rajadura de los frutos de tomate (Epstein and Bloom, 2004).

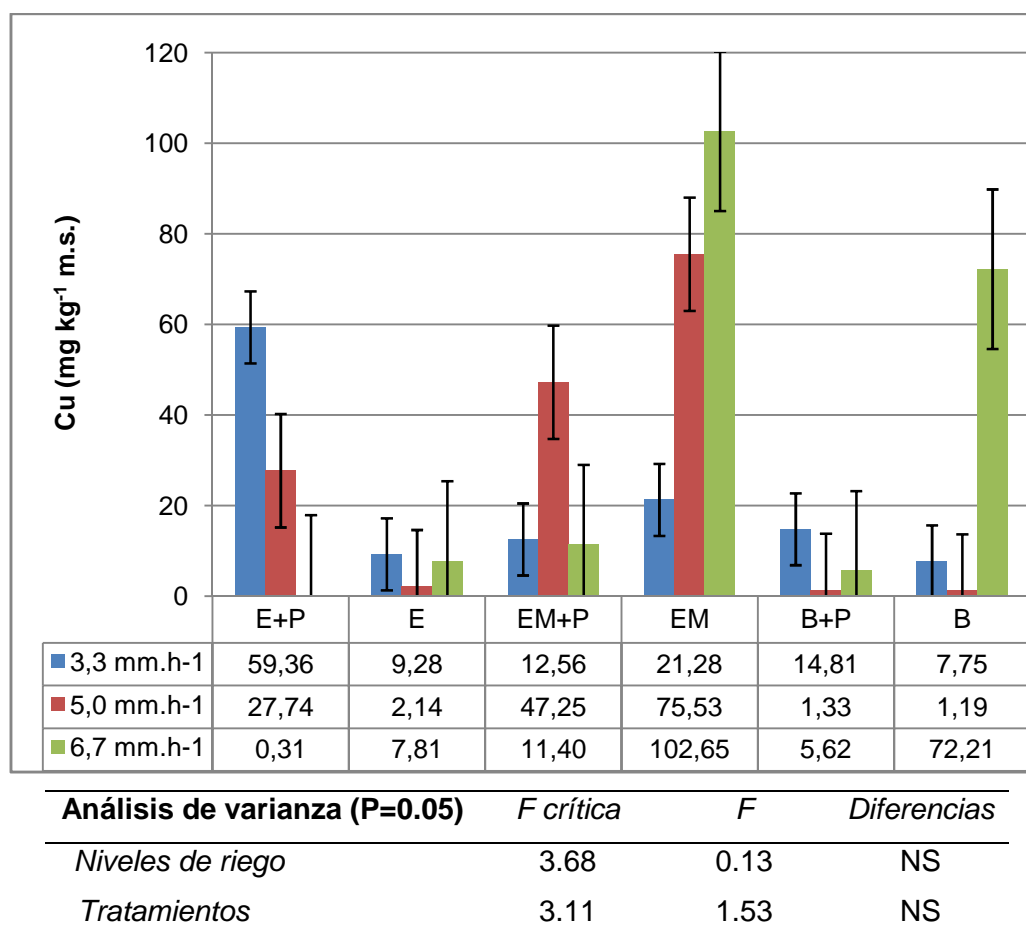


Fig.4.4.1.8a. Concentración de cobre (Cu^{2+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

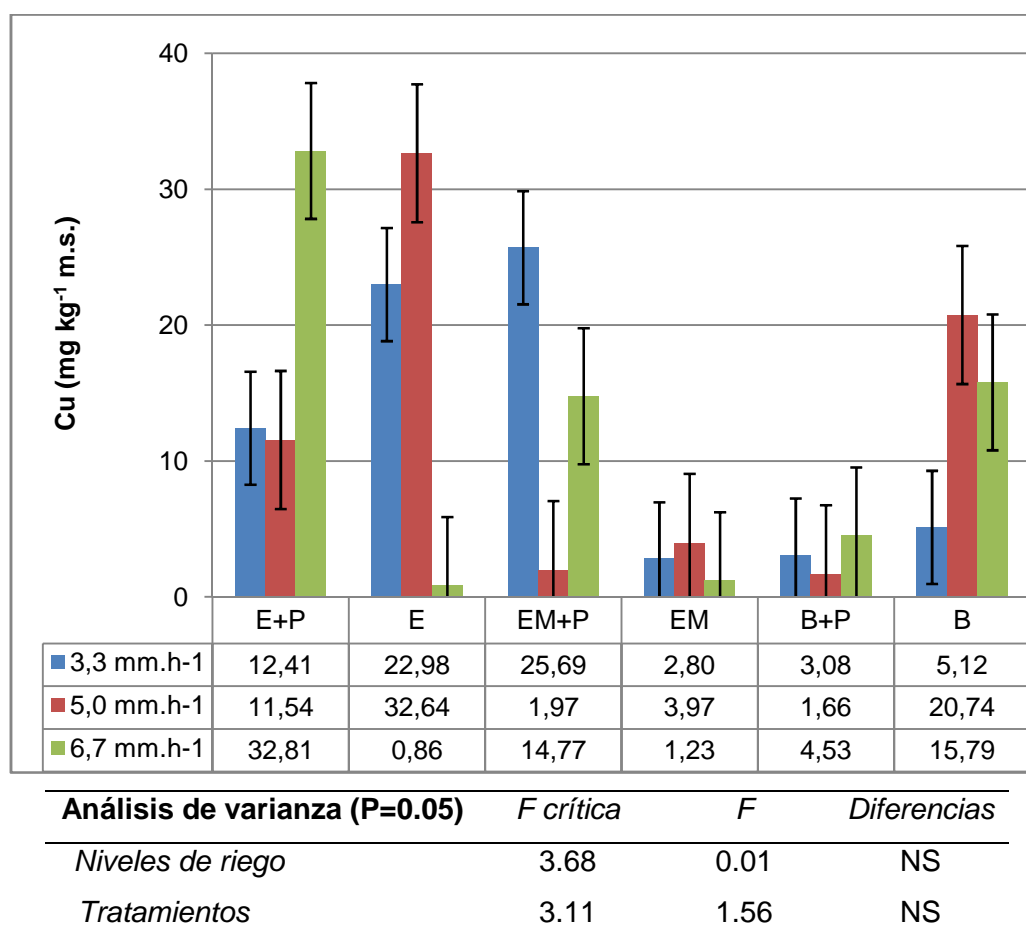


Fig.4.4.1.8b. Concentración de cobre (Cu^{2+}) en fruto, expresada en mg kg^{-1} de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

El cobre (figura 4.4.1.8a y 4.4.1.8b) presenta valores dispares según tratamientos, aunque sin ninguna tendencia significativa entre tratamientos o niveles de riego. Muestra un amplio rango de concentración entre 1.19 y 102.65 mg kg^{-1} de materia seca. El máximo en la primera campaña corresponde el nivel de riego más abundante y al tratamiento mezcla sin acolchado (EM), siendo en la segunda campaña también para el riego excedentario (6.70 mm h^{-1}) pero para el tratamiento con estiércol y acolchado (E+P).

4.4.1.9. Cinc.

La nutrición con cinc (Zn) en plantas parece jugar un rol relacionado a la resistencia a sales en plantas de tomate y otras especies. Un suministro adecuado de cinc mejora la tolerancia a estrés salino, posiblemente, afectando la integridad estructural y controlando la permeabilidad hacia la membrana celular de las raíces. Una nutrición adecuada de Zn reduce significativamente la absorción de sodio (Na) por las raíces en condiciones salinas (Haifa, 2014).

La deficiencia en cinc (Zn) en la planta de tomate, se presenta en los ápices, y puede provocar una reducción en la formación de brotes de frutos. Puede ser causada por excesos de fósforo (Epstein and Bloom, 2004).

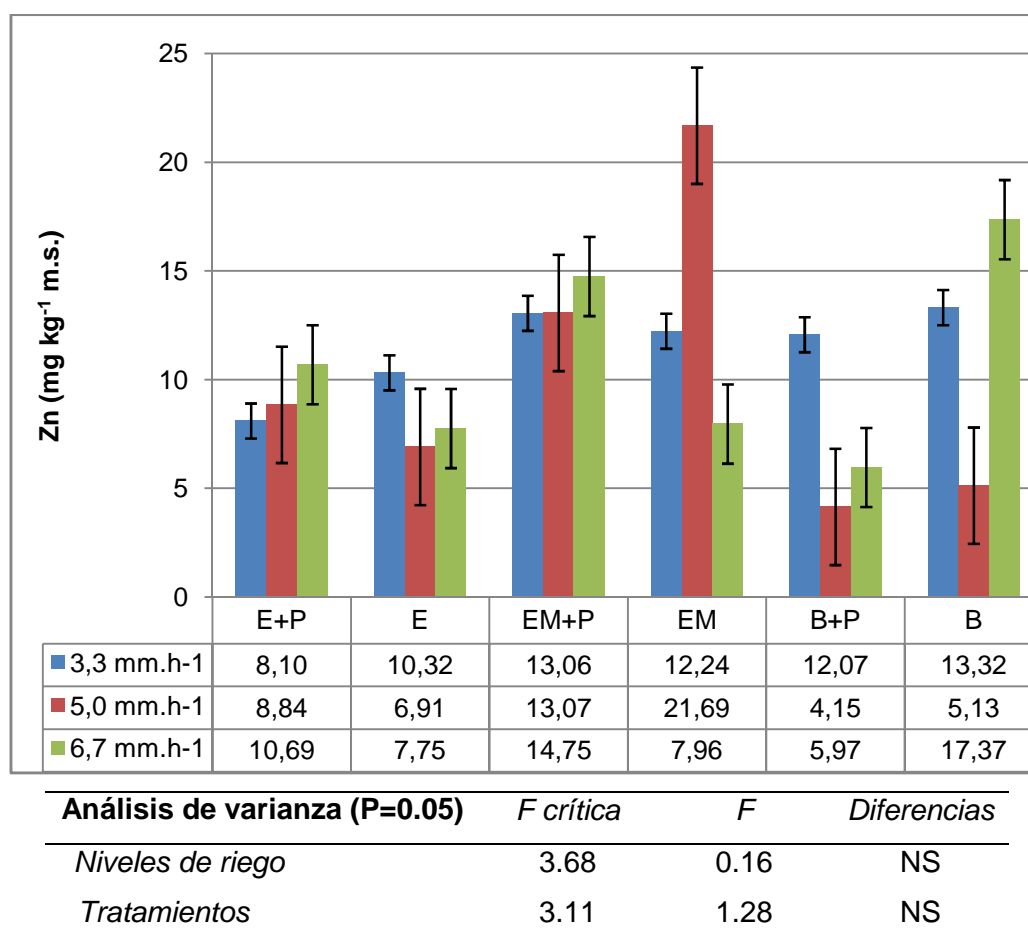


Fig.4.4.1.9a. Concentración de cinc (Zn^{2+}) en fruto, expresada en $mg\ kg^{-1}$ de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

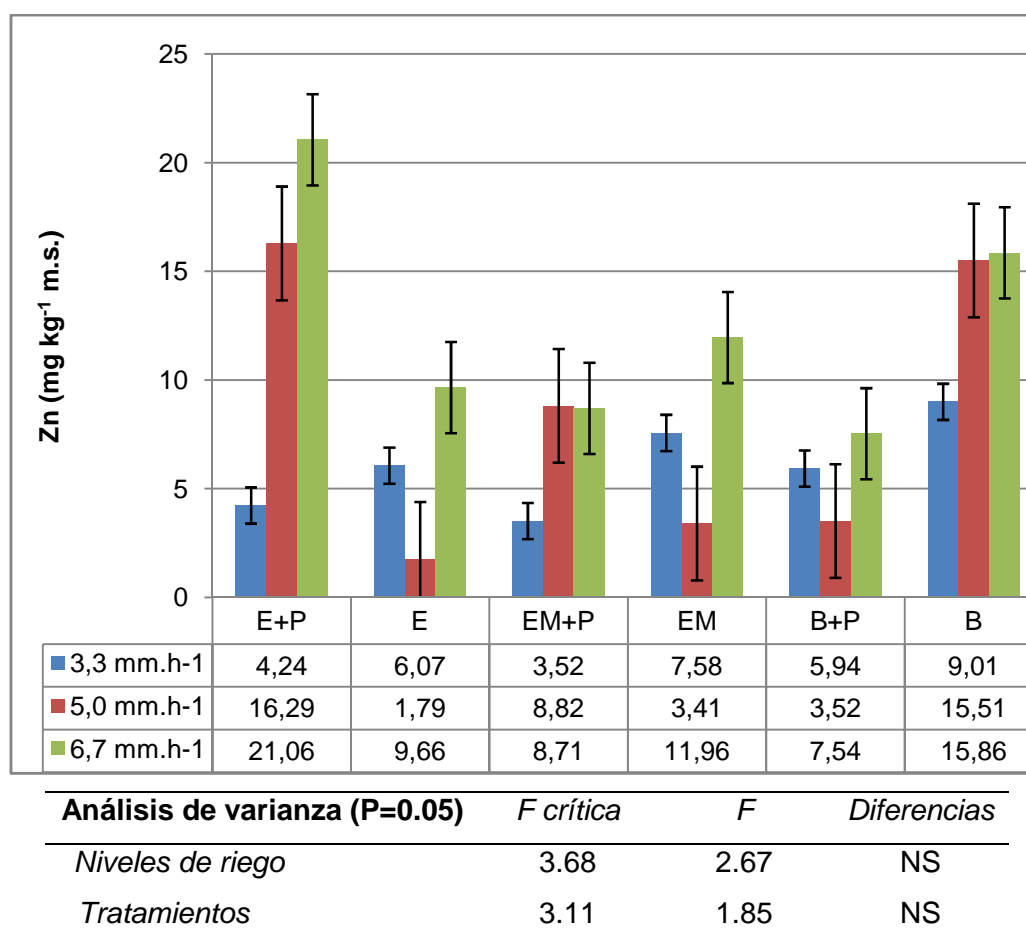


Fig.4.4.1.9b. Concentración de cinc (Zn^{2+}) en fruto, expresada en $mg\ kg^{-1}$ de materia seca, en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

El cinc (figura 4.4.1.9a y 4.4.1.9b) presenta un rango de valores más homogéneo ($1.79-21.69\ mg\ kg^{-1}$ de materia seca) y superiores a los obtenidos por otros autores (Hernández et al., 2007), al igual que el resto de micronutrientes estudiados. Muestra máximos de concentración, en la primera campaña, para el tratamiento mezcla sin acolchado (EM) y el nivel de riego de $5.00\ mm\ h^{-1}$, y en la segunda, para el tratamiento con estiércol de oveja y acolchado (E+P) y el mayor nivel de riego. De nuevo, no aparecen diferencias significativas entre tratamientos o niveles de riego.

4.4.2. Parámetros químicos.

Se determinaron los parámetros químicos pH, sólidos solubles totales (TSS), acidez total (TA) y el índice de madurez (MI) del fruto de tomate (var. Nautilus) para los tres tratamientos (E+P, EM+P y B+P) y los tres niveles de riego empleados (3.30, 5.00 y 6.70 mm h⁻¹) (tabla 4.4.2) en el momento óptimo del corte (a los 42 días desde el cuajado para los tratamientos con fertilizante orgánico y a los 35 días para el tratamiento control).

Los valores de pH se encuentran dentro de un estrecho rango (4.323 a 4.563), propio en el fruto de tomate (Balibrea et al., 1997), lo que demuestra su carácter ligeramente ácido. Este valor de pH hace que el tomate sea un producto relativamente fácil de manejar a nivel industrial, haciéndolo poco atractivo a la contaminación. El tratamiento fertilizado con el producto mezcla orgánica (EM+P) presenta valores superiores en los tres niveles de riego, siendo esta diferencia significativa frente al tratamiento control (B+P) y para las dosis de riego de 5.00 y 6.70 mm h⁻¹.

El contenido en sólidos solubles totales (TSS) permanece dentro de un estrecho rango entre 3.1 y 4.1 °Brix, disminuyendo en general, al aumentar el riego para un mismo tratamiento, excepto en el tratamiento fertilizante E+P, donde los niveles de riego extremos alcanzan valores próximos, mientras que el mínimo pertenece al nivel de riego de 5.00 mm h⁻¹. En todos los tratamientos el contenido en sólidos solubles totales (TSS) es significativamente superior en el nivel de riego más deficitario 3.30 mm h⁻¹. Los valores de TSS son inferiores a los encontrados por Mahajan y Singh (2006) y por Hanson y May (2006) para tomates de invernadero con fertirrigación, y también a los obtenidos por Malash et al. (2005), que emplearon fertirrigación con agua de alto contenido salino.

En condiciones normales, el ácido predominante en los tomates maduros es el ácido cítrico, siendo el ácido málico el siguiente más abundante (Polenta et al., 2005). La acidez permanece entre 0.15 y 0.24 (% ácido cítrico monohidrato), sólo existen diferencias significativas en el nivel de riego de 3.30 mm h⁻¹ para los tres tratamientos de fertilización, presentando el valor máximo

el tratamiento con estiércol de oveja (E+P) y el mínimo el de fertilizante mezcla (EM+P). En general se observan valores superiores para los niveles de riego menos abundantes dentro de un mismo tratamiento, siendo más elevados en el tratamiento con estiércol de oveja (E+P).

La cantidad en sólidos solubles totales y la acidez valorable tienen implicaciones directas sobre la calidad del tomate para industria. Para esta variedad (Nautilus), los valores de TSS y TA son ligeramente inferiores a los obtenidos por Gil et al. (2002), Hong et al., (2000), Richardson y Hobson (2006) y Wang et al. (2008). La mayor parte de las variedades contienen niveles de TSS superiores a los obtenidos aquí para la variedad Nautilus, oscilando entre 4.5 – 5.5 TSS, esto junto a que el contenido en sólidos solubles totales es el índice que más influye sobre el rendimiento de la fabricación cuando ésta se dirige a la obtención de concentrado de tomate, nos permite asegurar que la dosis de riego excedentaria produce frutos con una calidad industrial menos adecuada, mientras que el tipo de fertilización no influye de manera significativa en la calidad del fruto en cuanto a contenido en TSS.

El índice de madurez (TSS/TA) dentro de un mismo tratamiento aumenta en general conforme disminuye el nivel de riego. Es superior para el tratamiento mezcla (EM+P) en todos los niveles de riego excepto en el de 6.70 mm h⁻¹, siendo este máximo significativamente superior frente al tratamiento fertilizante E+P en el nivel de riego de 3.30 mm h⁻¹. En el resto de casos no aparecen diferencias significativas. El rango de valores obtenido se encuentra entre 17.16 y 26.88, no es tan estrecho como el ratio físico (\emptyset), esto indica que hay diferentes estados de maduración en la fecha de recolección, según el tratamiento fertilizante y el nivel de riego. Los valores del índice de madurez (TSS/TA) son superiores en todos los casos a 17.16, por encima incluso de los encontrados por Gil et al. (2002), superiores a 14.50; pero con un nivel de sólidos solubles totales (TSS) inferior; estos valores corresponden a frutos con alta calidad y buenas propiedades organolépticas.

Tabla 4.4.2. Parámetros químicos en el momento del corte del fruto de tomate para industria (var. Nautilus), según nivel de riego (I) y tratamiento fertilizante empleado.

Tratamiento	I (mm.h ⁻¹)	pH	TSS (° Brix)	TA (%)	TSS/TA
E+P	3.30	4.400 ± 0.060a	4.1 ± 0.3b	0.23 ± 0.01a	17.77 ± 2.39a
	5.00	4.480 ± 0.062a	3.7 ± 0.3a	0.24 ± 0.08a	17.98 ± 8.69a
	6.70	4.473 ± 0.015a	4.0 ± 0.3ab	0.21 ± 0.06a	17.16 ± 1.29a
<i>Análisis de varianza</i>		NS	*	NS	NS
EM+P	3.30	4.483 ± 0.063a	3.8 ± 0.3b	0.15 ± 0.02a	26.88 ± 3.34a
	5.00	4.551 ± 0.086a	3.6 ± 0.3ab	0.15 ± 0.02a	24.83 ± 4.53a
	6.70	4.563 ± 0.066a	3.1 ± 0.8a	0.16 ± 0.03a	18.49 ± 1.97a
<i>Análisis de varianza</i>		NS	**	NS	NS
B+P	3.30	4.392 ± 0.043a	3.8 ± 0.3b	0.19 ± 0.00a	22.04 ± 0.91a
	5.00	4.333 ± 0.040a	3.6 ± 0.3b	0.17 ± 0.01a	19.99 ± 1.30a
	6.70	4.323 ± 0.053a	3.3 ± 0.3a	0.17 ± 0.06a	21.12 ± 5.52a
<i>Análisis de varianza</i>		NS	***	NS	NS

I (mm.h ⁻¹)	Tratamiento	pH	TSS (° Brix)	TA (%)	TSS/TA
3.30	E+P	4.400 ± 0.060a	4.1 ± 0.3a	0.23 ± 0.01c	17.77 ± 2.39a
	EM+P	4.483 ± 0.063a	3.8 ± 0.3a	0.15 ± 0.02a	26.88 ± 3.34b
	B+P	4.392 ± 0.043a	3.8 ± 0.3a	0.19 ± 0.00b	22.04 ± 0.91ab
<i>Análisis de varianza</i>		NS	NS	***	**
5.00	E+P	4.480 ± 0.062ab	3.7 ± 0.3a	0.24 ± 0.08a	17.98 ± 8.69a
	EM+P	4.551 ± 0.086b	3.6 ± 0.3a	0.15 ± 0.02a	24.83 ± 4.53a
	B+P	4.333 ± 0.040a	3.6 ± 0.3a	0.17 ± 0.01a	19.99 ± 1.30a
<i>Análisis de varianza</i>		*	NS	NS	NS
6.70	E+P	4.473 ± 0.015ab	4.0 ± 0.3b	0.21 ± 0.06a	17.16 ± 1.29a
	EM+P	4.563 ± 0.066b	3.1 ± 0.8a	0.16 ± 0.03a	18.49 ± 1.97a
	B+P	4.323 ± 0.053a	3.3 ± 0.3a	0.17 ± 0.06a	21.12 ± 5.52a
<i>Análisis de varianza</i>		*	***	NS	NS

Diferentes letras en cada columna indican diferencias significativas ($P > 0.05$) según el test de Tukey. NS indica no significancia al 5%. *, **, *** indican significancia a $P > 0.05$, 0.01 o 0.001, respectivamente.

4.4.3. Parámetros físicos.

Se determinaron las propiedades físicas (masa (M), humedad (Mo), diámetro ecuatorial (D) y longitudinal (L), índice geométrico de forma (FI), diámetro geométrico principal (D_g) y esfericidad (\emptyset)) del fruto de tomate (var. Nautilus) para los tres tratamientos fertilizantes (E+P, EM+P y B+P) y los tres niveles de riego empleados (3.30, 5.00 y 6.70 mm h⁻¹) en el momento óptimo del corte, a los 42 días desde el cuajado de los frutos para los tratamientos con fertilizantes orgánicos (E+P y EM+P) y a los 35 días desde el cuajado para el tratamiento control (B+P), (tabla 4.4.3).

La masa media del fruto (M) es superior para todos los tratamientos fertilizantes en el nivel de riego de 5.00 mm h⁻¹, presentando máximos en todos los niveles de riego para el tratamiento fertilizado con la mezcla orgánica (EM+P). Aparecen diferencias significativas entre niveles de riego en el tratamiento con estiércol de oveja (E+P). No existen diferencias significativas en los restantes casos.

La humedad del fruto (Mo) presenta valores elevados y permanece dentro de un rango estrecho para todos los niveles de riego y tratamientos (94.69 – 95.40 %), con valores superiores en general para los mayores niveles de riego (6.70 mm h⁻¹), significativamente superior el máximo en el tratamiento orgánico mezcla (EM+P) para este nivel de riego. No se presentan diferencias significativas según tratamientos para un mismo nivel de riego. El contenido de humedad para esta variedad de tomate (Nautilus) es similar a a los obtenidos por otros autores en distintas variedades los cuales obtuvieron valores entre el 94.00 y 95.05 (Gowda et al., 1994; Loiudice et al., 1995; Thakur y Kaushal, 1995).

En cuanto al tamaño del fruto - diámetro ecuatorial (D) y longitudinal (L) - en el tratamiento con estiércol de oveja (E+P) se alcanzan los calibres mayores para el mayor nivel de riego (6.70 mm h⁻¹), sin embargo, en el tratamiento con fertilizante mezcla de estiércol y turba (EM+P) se manifiesta como óptimo el riego de 5.00 mm h⁻¹, siendo este máximo significativo para el diámetro ecuatorial en ambos casos. En el tratamiento sin fertilizante orgánico control (B+P) no se observan diferencias significativas entre niveles de riego. En el nivel de riego de 5.00 mm h⁻¹ tanto D como L son significativamente superiores

en el tratamiento mezcla orgánica (EM+P) frente al control (B+P). En el nivel de riego de 6.70 mm h^{-1} , el diámetro ecuatorial (D) en el tratamiento con estiércol de oveja (E+P) es significativamente superior al resto de tratamientos.

El índice de forma (FI) aumenta con el nivel de riego para un mismo tratamiento orgánico, siendo los valores más homogéneos en el caso del tratamiento mezcla (EM+P); en el tratamiento control (B+P) el valor más elevado corresponde al nivel de riego de 5.00 mm h^{-1} , aunque no es significativo. Para el nivel de riego superior (6.70 mm h^{-1}) el máximo corresponde al tratamiento orgánico (E+P), que es significativamente superior al tratamiento control (B+P). Para el resto de niveles de riego no existen diferencias significativas según tratamientos.

El diámetro geométrico principal (D_g) en el tratamiento con estiércol de oveja (E+P) aumenta con el nivel de riego, presentando diferencias significativas entre los niveles de riego extremos (3.30 y 6.70 mm h^{-1}); mientras que en el tratamiento orgánico mezcla (EM+P) el máximo valor corresponde al nivel de riego de 5.00 mm h^{-1} , siendo significativamente superior al resto de niveles de riego. El tratamiento control (B+P) presenta valores muy próximos entre sí, sin diferencias significativas. Según niveles de riego, en el de 5.00 mm h^{-1} el tratamiento fertilizante con la mezcla estiércol-turba (EM+P) es significativamente superior al control (B+P), mientras que con el riego excedentario (6.70 mm h^{-1}) el máximo se presenta con el tratamiento fertilizado con estiércol de oveja (E+P), diferenciándose significativamente del resto de tratamientos fertilizantes.

La esfericidad (\emptyset) para un mismo tratamiento fertilizante aumenta en general con el nivel de riego, siendo significativo en el tratamiento orgánico E+P el nivel de riego de 6.70 mm h^{-1} frente al nivel de riego inferior. Sin embargo, el tratamiento control (B+P) alcanza el máximo en el nivel de riego óptimo (5.00 mm h^{-1}) aunque no es significativo. Para el nivel de riego de 6.70 mm h^{-1} , el valor de la esfericidad es significativamente superior en el tratamiento fertilizado con estiércol de oveja (E+P) frente al control (B+P). En el resto de casos no existen diferencias significativas.

Tabla 4.4.3. Parámetros físicos en el momento del corte del fruto de tomate para industria (var. Nautilus), según nivel de riego (I) y tratamiento fertilizante empleado (T).

T	I (mm.h ⁻¹)	M (g)	Mo (%)	D (mm)	L (mm)	D _g
	3.30	72.53 ± 28.34a	94.88 ± 0.41a	45.00 ± 3.31a	82.40 ± 5.36a	55.00 ± 3.10a
E+P	5.00	91.67 ± 18.09b	95.06 ± 0.55a	47.15 ± 4.54ab	81.90 ± 9.67a	56.64 ± 5.51ab
	6.70	75.33 ± 14.70ab	95.03 ± 0.43a	50.05 ± 5.19b	84.55 ± 5.44a	59.55 ± 4.85b
<i>Análisis de varianza</i>		*	NS	**	NS	**
	3.30	87.00 ± 16.56a	94.69 ± 0.34a	46.15 ± 4.22a	81.80 ± 8.41a	55.77 ± 4.45a
EM+P	5.00	96.00 ± 28.42a	95.17 ± 0.22ab	49.05 ± 3.35b	85.50 ± 4.93a	58.98 ± 2.88b
	6.70	89.00 ± 21.56a	95.40 ± 0.16b	46.70 ± 3.26ab	81.75 ± 4.36a	56.25 ± 3.03a
<i>Análisis de varianza</i>		NS	*	*	NS	*
	3.30	88.33 ± 21.10a	95.01 ± 0.26a	44.90 ± 3.88a	82.50 ± 8.44a	54.96 ± 4.61a
B+P	5.00	88.33 ± 22.57a	94.92 ± 0.25a	45.10 ± 4.34a	77.85 ± 6.79a	54.03 ± 4.22a
	6.70	80.00 ± 16.47a	94.86 ± 0.13a	44.45 ± 3.15a	81.20 ± 6.67a	54.31 ± 3.60a
<i>Análisis de varianza</i>		NS	NS	NS	NS	NS
I (mm.h ⁻¹)	T					
	E+P	72.53 ± 28.34a	94.88 ± 0.41a	45.00 ± 3.31a	82.40 ± 5.36a	55.00 ± 3.10a
3.30	EM+P	87.00 ± 16.56a	94.69 ± 0.34a	46.15 ± 4.22a	81.80 ± 8.41a	55.77 ± 4.45a
	B+P	88.33 ± 21.10a	95.01 ± 0.26a	44.90 ± 3.88a	82.50 ± 8.44a	54.96 ± 4.61a
<i>Análisis de varianza</i>		NS	NS	NS	NS	NS
	E+P	91.67 ± 18.09a	95.06 ± 0.55a	47.15 ± 4.54ab	81.90 ± 9.67ab	56.64 ± 5.51ab
5.00	EM+P	96.00 ± 28.42a	95.17 ± 0.22a	49.05 ± 3.35b	85.50 ± 4.93b	58.98 ± 2.88b
	B+P	88.33 ± 22.57a	94.92 ± 0.25a	45.10 ± 4.34a	77.85 ± 6.79a	54.03 ± 4.22a
<i>Análisis de varianza</i>		NS	NS	*	**	**
	E+P	75.33 ± 14.70a	95.03 ± 0.43a	50.05 ± 5.19b	84.55 ± 5.44a	59.55 ± 4.85b
6.70	EM+P	89.00 ± 21.56a	95.40 ± 0.16a	46.70 ± 3.26a	81.75 ± 4.36a	56.25 ± 3.03a
	B+P	80.00 ± 16.47a	94.86 ± 0.13a	44.45 ± 3.15a	81.20 ± 6.67a	54.31 ± 3.60a
<i>Análisis de varianza</i>		NS	NS	***	NS	***

Diferentes letras en cada columna indican diferencias significativas ($P > 0.05$) según el test de Tukey. NS indica no significancia al 5%. *, **, *** indican significancia a $P > 0.05$, 0.01 o 0.001, respectivamente.

4.4.4. Cenizas.

La cantidad de cenizas representa el contenido total de minerales en los alimentos. La determinación del contenido de cenizas puede ser importante por varias razones: es una parte del análisis próximo a la evaluación nutricional, es el primer paso en la preparación de una muestra de alimentos para análisis elemental específico y el contenido de cenizas así como el de materia seca se usa como índice de calidad en algunos alimentos. Un alto contenido en se utiliza como índice de calidad en el fruto de tomate, lo que se traduce como un menor contenido en agua. Bajo condiciones normales de cultivo, los frutos de tomate contienen en promedio 94 % de agua (Herrmann, 2001), sin embargo, estos contenidos se modifican si las plantas se ven expuestas a condiciones de estrés osmótico (Adams, 1991).

Se determinó la cantidad de cenizas total en el fruto del tomate para industria (var. Nautilus) en el momento del corte del fruto, para los seis tratamientos empleados (E+P, E, EM+P, EM, B+P y B) así como los tres niveles de riego (3.30, 5.00 y 6.70 mm h⁻¹) para las dos campañas estudiadas (figura 4.4.4a y 4.4.4b).

El porcentaje de cenizas en el fruto de tomate para la variedad Nautilus, se encuentra en un rango entre 23.13 y 38.01 %, sin diferencias significativas entre tratamientos ni niveles de riego, en las dos campañas. El máximo contenido de cenizas en fruto, corresponde al mayor nivel de riego (6.70 mm h⁻¹) y al tratamiento con estiércol y acolchado (E+P) para la primera campaña. En la segunda, el máximo, sin embargo, es para el riego deficitario (3.30 mm h⁻¹) y tratamiento con estiércol, pero sin acolchado (E).

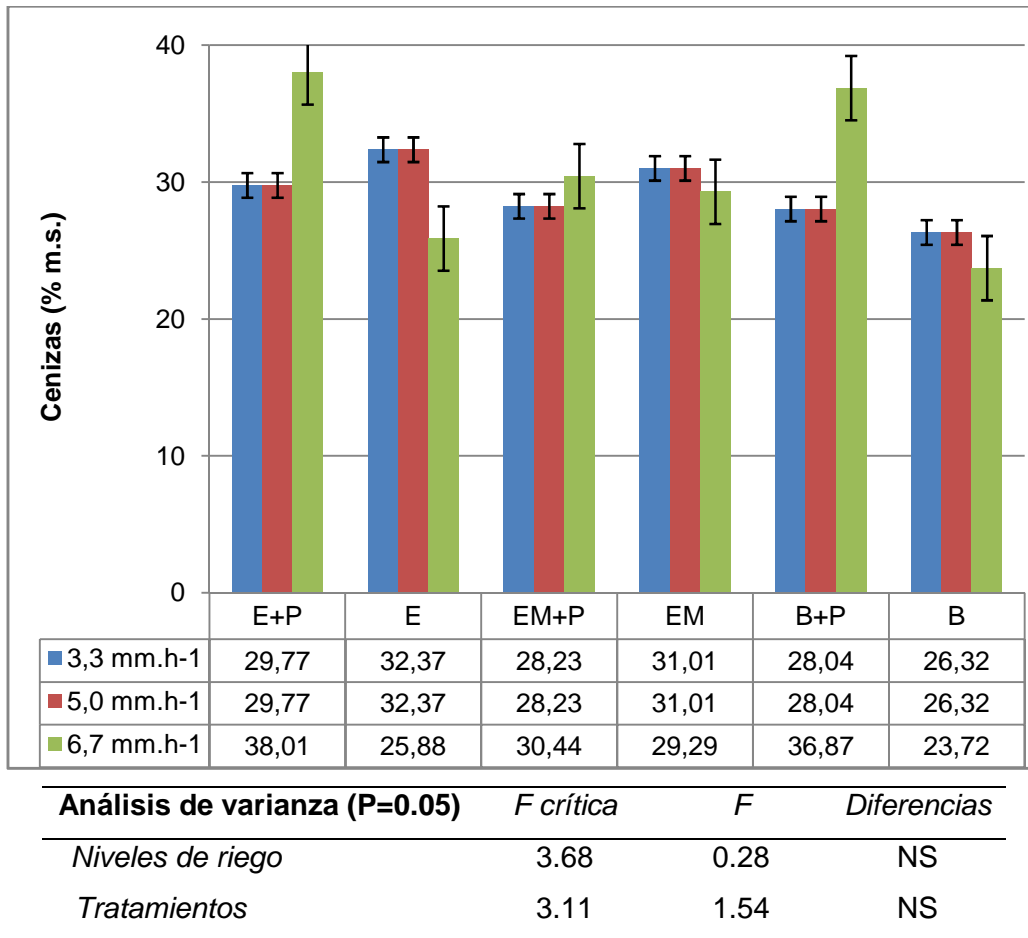


Fig.4.4.4a. Cantidad de cenizas en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la primera campaña.

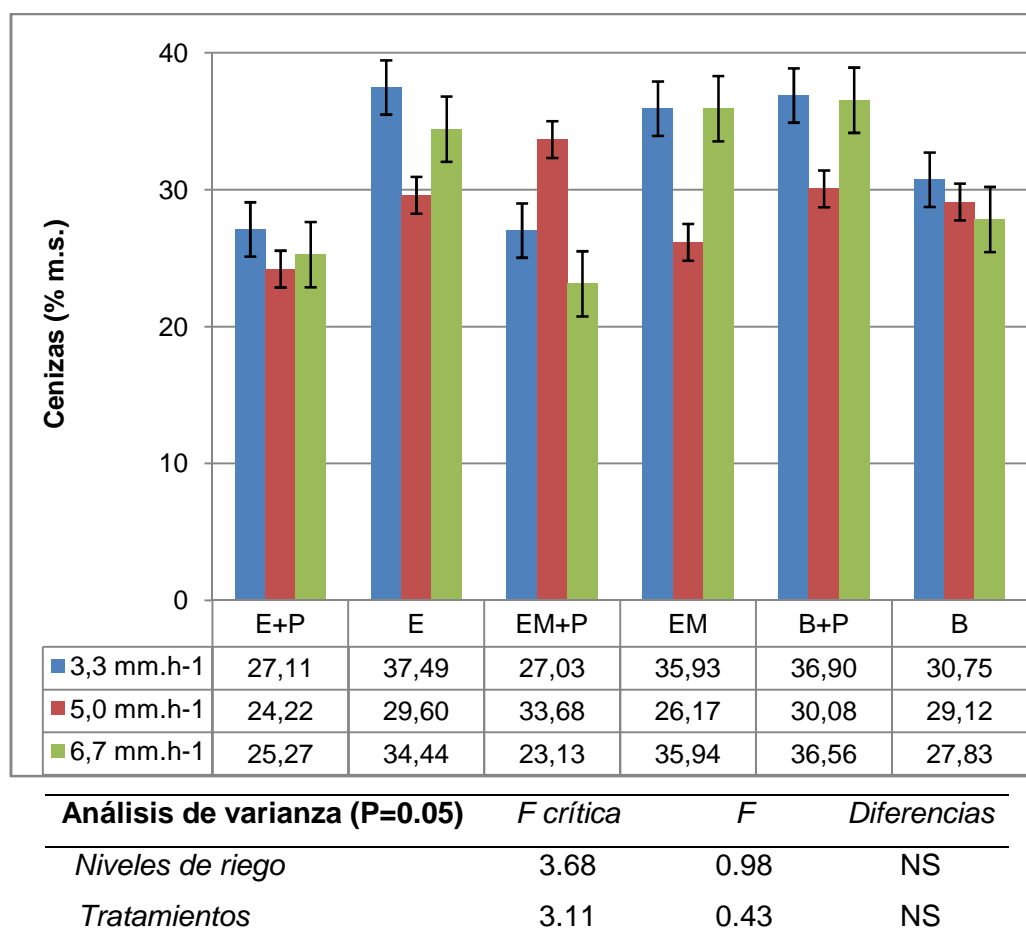


Fig.4.4.4b. Cantidad de cenizas en fruto, expresada en % en masa de materia seca (% m.s.), en el momento del corte del fruto de tomate (var. Nautilus), según tipo de tratamiento aplicado, para tres niveles de riego en la segunda campaña.

4.4.5. Color superficial.

Se midieron los valores medios de las coordenadas colorimétricas CIELAB L^* , a^* and b^* en la superficie de los frutos en 5 fechas a lo largo del desarrollo y maduración del fruto de tomate (var. Nautilus), para cada uno de los tratamientos fertilizantes empleados con las plantas bajo acolchado (E+P, EM+P y B+P) y los tres niveles de riego aplicados (3.30, 5.00, 6.70 mm h⁻¹) (figura 4.4.5.1). En los tratamientos con fertilizantes orgánicos (E+P y EM+P) el cuaje del fruto se produjo una semana antes que en el tratamiento control (B+P).

Los valores de luminosidad (L^*) disminuyen paulatinamente para los tres tratamientos fertilizantes y niveles de riego, presentando valores superiores los dos tratamientos con aplicación de fertilizante orgánico bajo la cubierta de plástico (E+P y EM+P) para los tres niveles de riego, y los más bajos para el tratamiento control sin fertilización (B+P), no encontrándose diferencias significativas en ningún caso según nivel de riego. Los valores de L^* obtenidos en el momento del corte del fruto oscilan en torno a 40.00, siendo los valores medios 40.34, 40.61 y 42.44, según aumenta el nivel de riego. Son similares a los obtenidos por Caglar et al. (2010) para dos variedades de tomate Alida F1 y H2274 y son superiores a los obtenidos por Kabelka et al. (2004).

La coordenada a^* (tonalidad verde-roja) que representa el grado de maduración del tomate, aumenta a lo largo del período de maduración del fruto hasta los 35 días desde el cuaje del fruto para el tratamiento control (B+P) y los 42 días desde el cuaje, para los tratamientos con fertilizante orgánico, fecha estimada como óptima para el comienzo de la recolección, a partir de la cual los valores se estabilizan, excepto en el tratamiento con estiércol de oveja (E+P) para el nivel de riego máximo (6.70 mm h⁻¹) donde los niveles siguen aumentando hasta el final del ciclo de cultivo, este tratamiento presenta niveles inferiores al resto, especialmente en la cuarta fecha, donde las diferencias son significativas, mientras que en la última, presenta valores próximos al tratamiento mezcla (EM+P). Generalmente, el incremento de la coordenada a^* es consecuencia de la degradación de la clorofila y la síntesis de licopeno. La

coordinada a^* se incrementa durante la maduración del fruto var. Nautilus desde valores entorno a -10.0 a valores entorno a 30.0.

Los valores medios obtenidos para esta coordinada en el momento de la recolección de los frutos oscila entre 32.23, 35.38 y 34.38 para los niveles de riego 3.30, 5.00 y 6.70 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente, lo cual indica mayor coloración roja para los frutos sometidos a riego escedentario y fertilizados con enmiendas orgánicas (E+P y EM+P). Estos valores son superiores a los encontrados por Caglar et al. (2010) and Arazuri et al. 2007, que obtiene valores medios para la coordinada a^* entre 24.63 - 29.03 y entorno a 27.42 respectivamente.

La coordinada b^* (tonalidad azul-amarillo) que representa en este caso la decoloración amarilla del fruto (Artés et al., 1999) aumenta con fluctuaciones hasta la mitad del ciclo, donde comienza la maduración del fruto, momento en el que disminuye hasta alcanzar en la última fecha valores próximos a los iniciales; para los niveles de riego de 3.30 y 5.00 mm h^{-1} , los valores más elevados corresponden a los tratamientos con fertilizante orgánico y acolchado plástico (EM+P y E+P) y los más bajos al tratamiento control (B+P), siendo significativo en el caso del nivel de riego deficiente (3.30 mm h^{-1}), mientras que el nivel de riego superior (6.70 mm h^{-1}) no presenta diferencias significativas entre tratamientos. Los valores medios de b^* en el momento del corte, 26.06, 29.15 y 28.88, en orden de riego ascendente, al igual que ocurría con la coordinada a^* , son similares a los obtenidos por Arazuri et al. (2007) y Caglar et al. (2010) con valores medios para la coordinada b^* de 25,73 y 29.57 respectivamente.

Se calcularon los atributos cromáticos H^* (ángulo métrico de tonalidad), C^* (chroma) y S^* (saturación métrica) a lo largo del crecimiento y maduración del fruto para cada uno de los tratamientos orgánicos y niveles de riego aplicados (figure 4.4.5.2).

El ángulo métrico de tonalidad (H^*) es un indicador del cambio de color desde verde a amarillo y rojo. El valor es paralelo al cambio de color asociado

con la degradación enzimática de la clorofila (Brady, 1987). Valores para H^* en tomate de 90.0 significaría que el tomate está amarillo y valores de 0 que se encuentra el fruto completamente rojo. Los valores medios de H^* en el momento del corte del fruto (0.68, 0.69 y 0.70, para los niveles de riego 3.30, 5.00 y 6.70 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente) son similares para los tres tratamientos y niveles de riego, alcanzando el valor máximo a los 32 días del desarrollo y maduración del fruto (respecto a los tratamientos fertilizantes E+P y EM+P), una semana antes en el caso del tratamiento control (B+P), con un posterior descenso y estabilización de los valores a partir de los 42 días del cuaje. Este máximo representa la fecha en la que la maduración del fruto comienza. La mayor intensidad de color (mínimo valor de H^*) indica el momento máximo de maduración y comienzo de la senescencia.

Chroma (C^*) es una expresión de la pureza o saturación de un color. Los valores máximos del chroma (C^*) se presentan a mitad del ciclo de cultivo, excepto para el nivel de riego excedentario (6.70 mm h^{-1}) donde el máximo se retrasa 10 días. En los tres niveles de riego los tratamientos con fertilizantes orgánicos (E+P y EM+P) presentan valores superiores al control sin fertilizante orgánico (B+P), el tratamiento mezcla (E) con valores más elevados en el nivel de riego de 6.70 mm h^{-1} . La intensidad de color (chroma) aumenta hasta la maduración del fruto, a partir de ese momento, decrece gradualmente y permanece constante hasta el final del proceso de maduración. La evolución de C^* se corresponde con la típica para este tipo de frutos (Viskelis et al. 2008). Los valores medios obtenidos en el momento del corte del fruto (41.48, 46.64 y 44.95, en sentido ascendente respecto al nivel de riego) son similares a los obtenidos por Kabelka (2004).

La saturación métrica (S^*) en el nivel de riego de 3.30 mm h^{-1} aumenta para los dos tratamientos con fertilizantes hasta los 42 días del cuajado y hasta los 35 días para el tratamiento control, donde los valores se estabilizan; mientras que en los otros dos niveles de riego superiores, aumenta hasta el final del cultivo para los tres tratamientos, presentando valores máximos el tratamiento mezcla (EM+P) en el nivel de riego de 6.70 mm h^{-1} . Los valores medios de S^* en el momento del corte del fruto son 43.05, 51.15 y 48.41 para

los niveles de riego 3.30, 5.00 y 6.70 mm·h⁻¹, respectivamente.

Para una evaluación de la variación del color superficial del fruto de tomate se suele seguir la evolución del cociente a*/b* (Hobson et al., 1983) y el índice de color (CI) (figura 4.4.5.3).

La relación de las coordenadas de color a* y b*, la cual es indicadora de la evolución del color rojo en tomates, crece con la maduración de los frutos. La relación a*/b* se comporta de manera similar a la coordenada a* dada la elevada influencia de ésta frente a b*, aumentando desde el inicio del ciclo de cultivo hasta la penúltima fecha de recogida de muestras (cuando los frutos se encuentran completamente rojos), presentando a continuación un ligero descenso o estabilización. Los valores de este cociente están comprendidos entre -0.75 y 1.43, similares a los obtenidos por Batu (2004). Los más elevados en el momento óptimo del corte del fruto corresponden al tratamiento control (B+P), excepto en el nivel de riego de 6.70 mm h⁻¹, donde el máximo corresponde al tratamiento con estiércol de oveja (E+P).

El comportamiento de la relación a*/b* en tomate es debido a la fuerte correlación positiva con el contenido de licopeno en el fruto, puesto que la mayor cantidad de licopeno se acumula en los frutos en el estado de coloración rojo. La correlación positiva entre las coordenadas colorimétricas y el contenido de licopeno en tomates ha sido obtenido por varios autores (Arias et al., 2000; Brandt, 2006).

La evolución del índice de color (CI) es similar a la de la relación a*/b*, con un máximo en el comienzo de la recolección del fruto y una posterior estabilización o descenso, al final de la maduración del fruto. El tratamiento control (B+P) presenta valores máximos para CI en todos los niveles de riego, siendo significativo en el caso del riego ligeramente deficitario (3.30 mm h⁻¹).

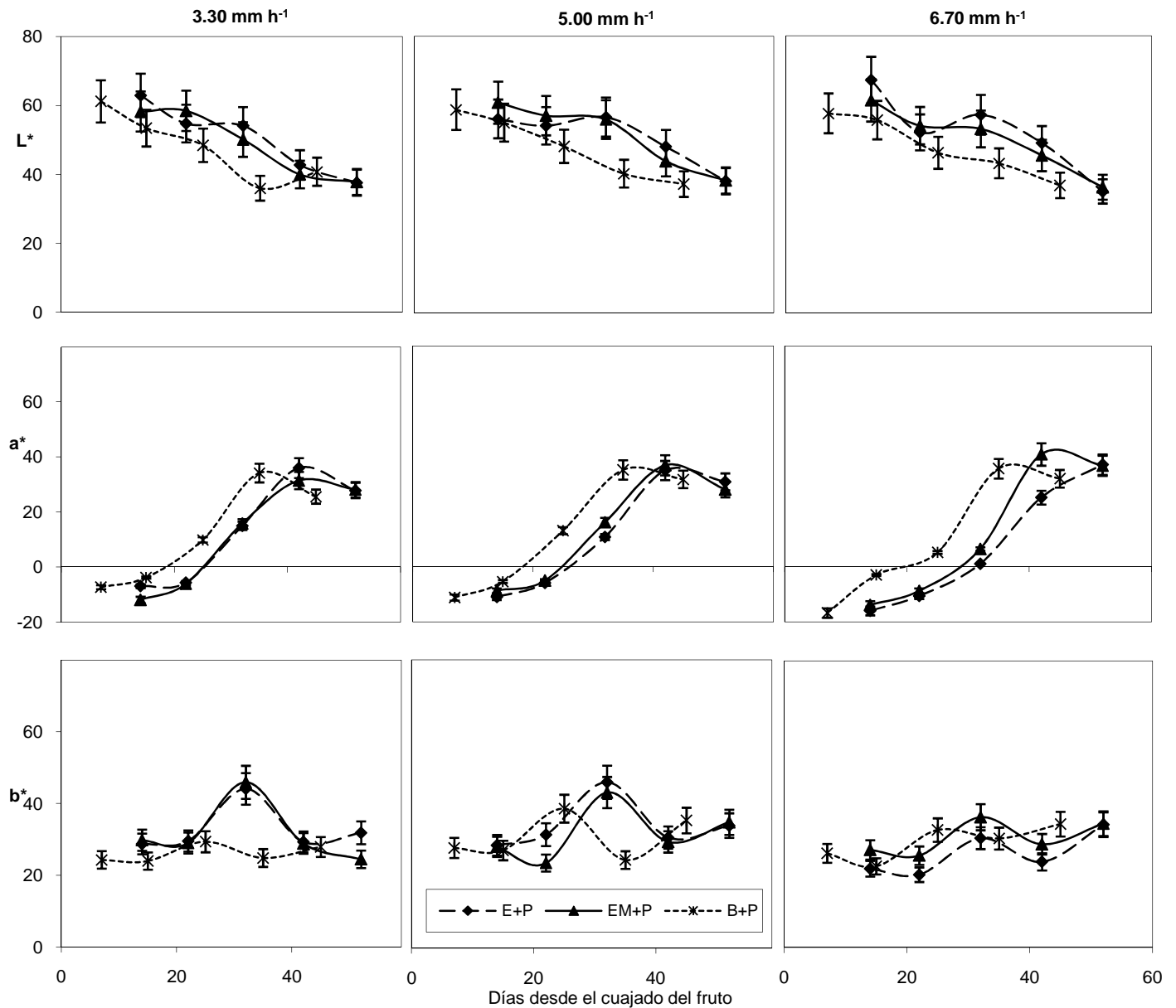


Fig. 4.4.5.1. Evolución de las coordenadas colorimétricas CIELAB L*, a* y b* del color superficial de tomate (var. Nautilus) según tratamientos fertilizantes y niveles de riego empleados. Las barras de error indican la desviación estándar correspondiente a cuatro repeticiones para cada tratamiento y fecha de muestreo.

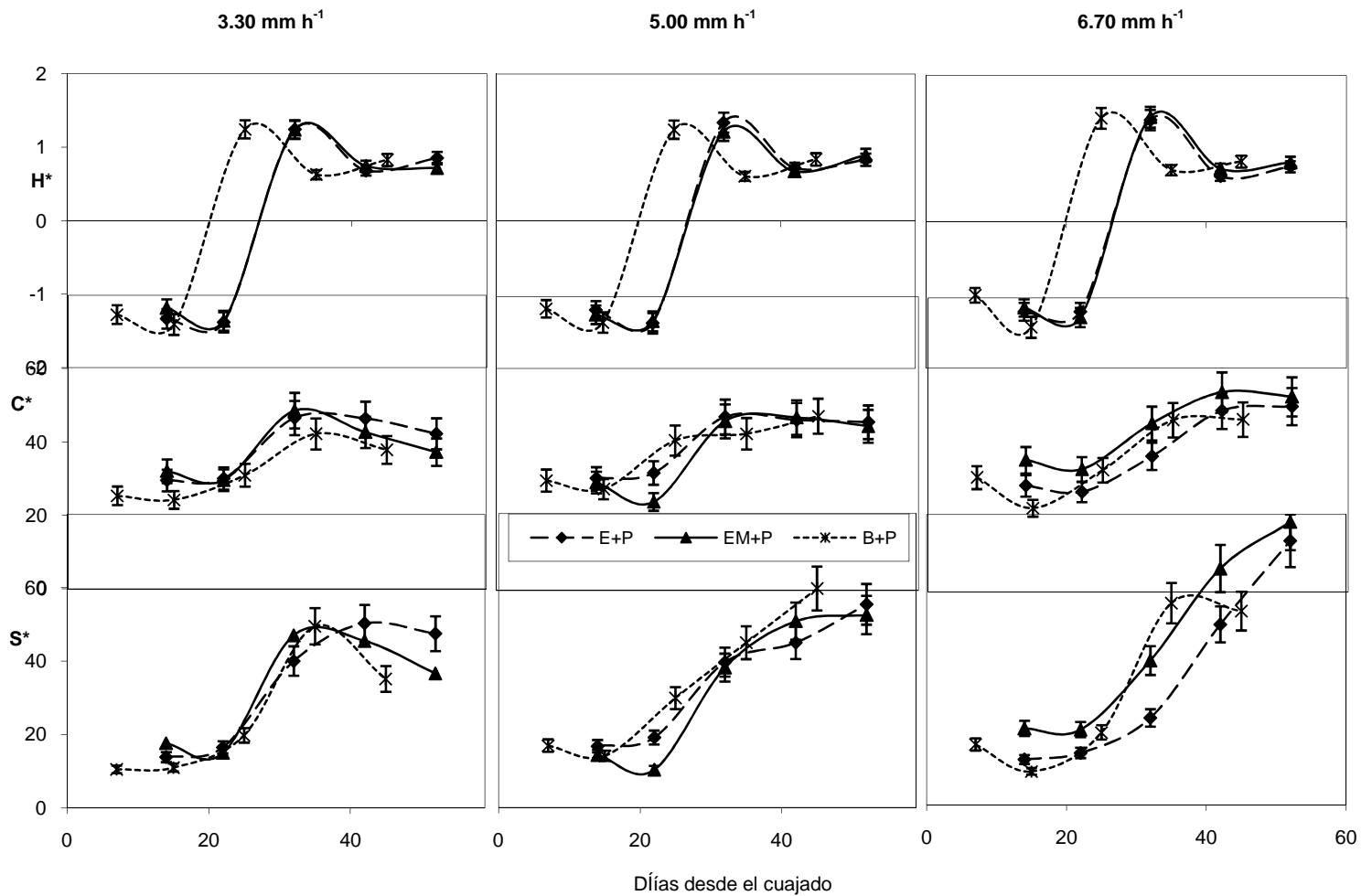


Fig. 4.4.5.2. Evolución de los atributos cromáticos H^* , C^* y S del color superficial de tomate (var. Nautilus) según tratamientos y niveles de riego empleados. Las barras de error indican la desviación estándar correspondiente a cuatro repeticiones para cada tratamiento y fecha de muestreo.

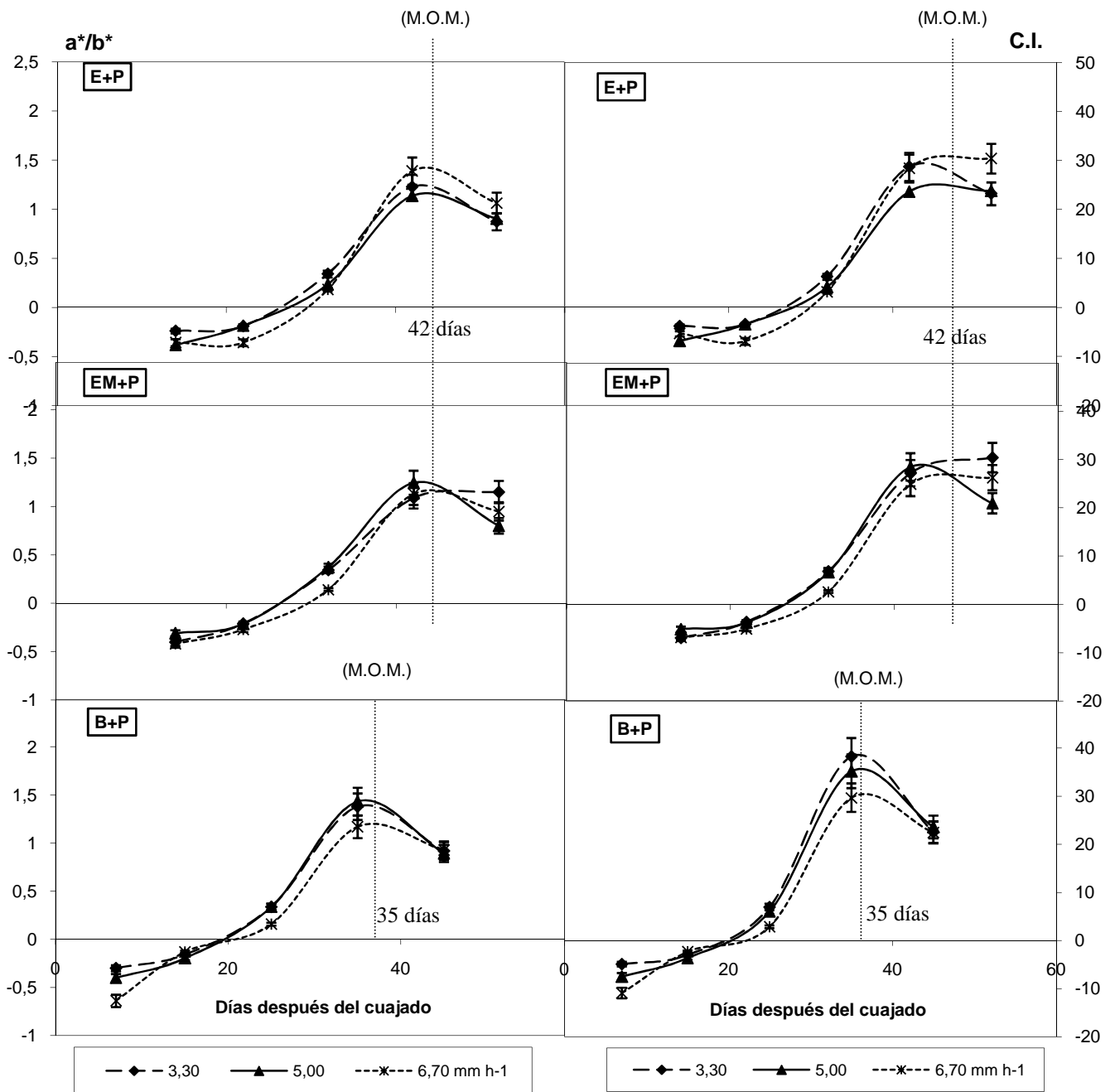


Fig. 4.4.5.3. Evolución del cociente a^*/b^* y del índice de color (IC) del sistema CIELAB del color superficial de tomate (var. Nautilus) según tratamientos y niveles de riego empleados. Las barras de error indican la desviación estándar correspondiente a cuatro repeticiones para cada tratamiento y fecha de muestreo. La línea vertical discontinua corresponde al momento óptimo de maduración estimado (M.O.M.) según los resultados obtenidos.

4.5. PRODUCCIÓN.

Uno de los objetivos de este ensayo es determinar la situación agronómica más rentable para el cultivo de tomate de industria en los nuevos regadíos de Puebla de Don Fadrique. Para ello, se analiza la cosecha de tres variedades de tomate, expresada kg m^{-2} , para los seis tratamientos (E+P, E, EM+P, EM, B+P y B) y los tres niveles de riego empleados (3.30, 5.00 y 6.70 mm h^{-1}) en el momento del corte del fruto, para las dos campañas estudiadas.

Como ya se ha expuesto en el capítulo de *Material y Métodos*, desde el punto de vista agronómico, se han tenido en cuenta factores relacionados con la adaptación de las variedades a las condiciones edafoclimáticas de la zona, su rendimiento, la calidad de los frutos y la susceptibilidad para la recolección mecanizada. La variedad Nautilus, es la más apreciada si el destino de la producción es para concentrado a base de tomate, ya que tiene un alto contenido en sólidos solubles totales (TSS), mientras que si la finalidad de la producción es para tomate pelado entero, se buscan variedades alargadas (tomate de pera), resistentes al pelado mecánico, como son H-244 y Ercole, variedades que tienen un mejor comportamiento salvo en lo relativo a la recolección mecanizada que es Nautilus.

La recolección se realizó de forma manual en dos fases separadas unos 15 días, ya que la maduración no fue lo suficientemente homogénea. Los datos expresados corresponden a la producción total recogida en ambas cosechas. En la figura 4.5.1. puede observarse la recolección de estas variedades de tomate en campo.



Figura 4.5.1. Recolección de la producción de tomate.

4.5.1. Análisis de la producción en cada variedad.

Variedad H-244

La producción de tomate H-244 en las distintas situaciones ensayadas está afectada notablemente por cada una de ellas, destacando la escasa cosecha obtenida en el tratamiento control B, donde no se ha utilizado ningún tipo de enmienda orgánica ni acolchado de plástico, obteniéndose valores mínimos de producción en ambas campañas y observándose una disminución de de dicha producción conforme aumenta la dosis de riego (figura 4.5.2.).

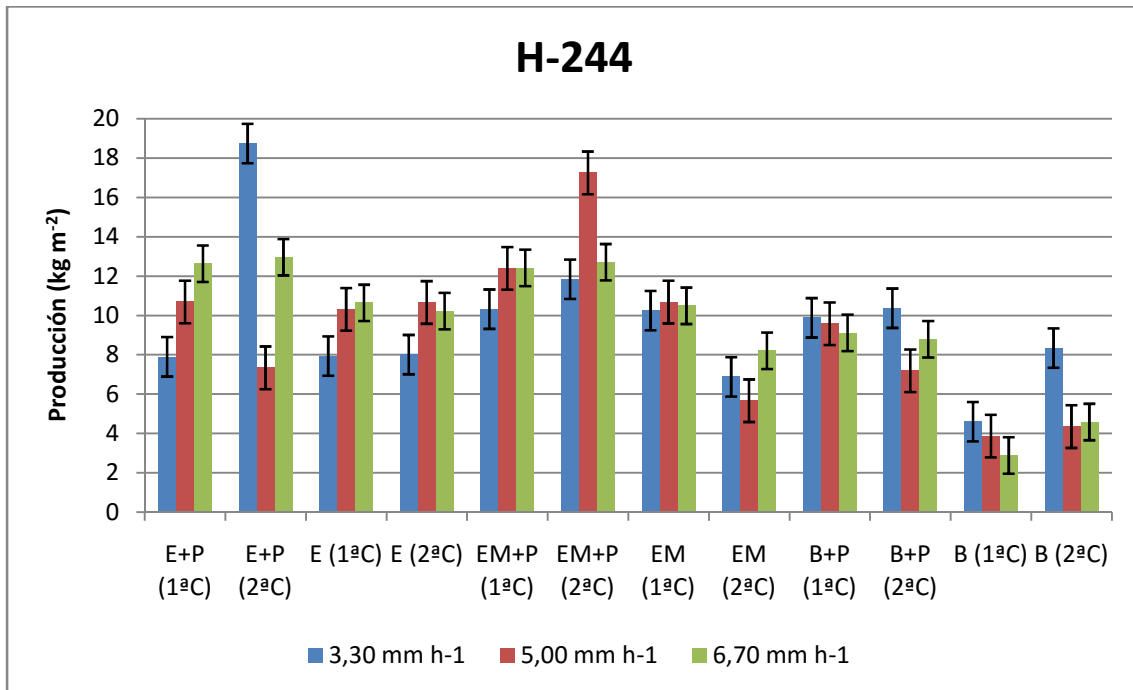


Fig. 4.5.2. Comparativa de la producción del cultivo de tomate (var. H-244) expresada en kg m⁻², en el momento del corte del fruto, según niveles de riego y tratamientos fertilizantes empleados, para la primera (1ªC) y la segunda campaña (2ªC).

Los tratamientos más productivos corresponden a los dos ensayos con fertilizante orgánico y acolchado, E+P y EM+P, con producciones superiores a 12 kg m⁻². Dentro de estos dos tratamientos los máximos corresponden a la segunda campaña, en el caso del tratamiento con estiércol, para el nivel de

riego más deficitario (3.30 mm h^{-1}) y en el tratamiento con mezcla de turba y estiércol, para el nivel de riego óptimo (5.00 mm h^{-1}). Estas variaciones entre campañas pueden atribuirse a las diferencias climáticas correspondiente a cada una, en cuanto a temperatura, humedad, evapotranspiración, etc.

Aparentemente, el acolchado de plástico es un factor de cultivo muy importante, esencial podríamos decir, cuando no se utiliza ningún tipo de enmienda orgánica y junto a él también influye la dosis de riego, de manera que cuando ésta es alta se produce un lavado de nutrientes y consiguientemente un descenso de la producción. No se han encontrado referencias que justifiquen la notable influencia del acolchado de plástico en la producción, aunque lo que sí se ha observado en el campo es que los ensayos realizados sin plástico y sin enmienda orgánica sufren un gran retraso de desarrollo en las etapas iniciales del ciclo (figura 4.5.3) y que dicho retraso se mantiene a lo largo de éste. Cuando se utiliza enmienda orgánica dichas diferencias se ven atenuadas (figura 4.5.4).



Fig. 4.5.3. Detalle de la diferencia de desarrollo 30 días después del trasplante.

Izquierda ensayo B+P, derecha B, en segunda campaña.



Fig. 4.5.4. Detalle de la diferencia de desarrollo 30 días después del trasplante. Izquierda ensayo E+P, derecha E, en la primera campaña.

Estos efectos sobre el desarrollo y consiguientemente sobre la producción pueden estar relacionados con la influencia que el acolchado tiene sobre la temperatura del suelo, minimizando el enfriamiento de éste durante la noche y, por tanto, favoreciendo una mayor actividad biológica de la planta, sobre todo en el mes de mayo, cuando las temperaturas nocturnas en la zona son todavía relativamente frías.

En cuanto a los niveles de riego, mientras que en los tratamientos control existe una tendencia a disminuir la producción conforme aumenta la dosis de riego, en los tratamientos fertilizantes, podría, en general, existir una tendencia inversa, es decir, un aumento de la producción con la dosis de riego, con la clara excepción de los dos máximos encontrados en los tratamientos

antes citados, E+P con 3.30 mm h^{-1} y EM+P con 5.00 mm h^{-1} , ambos para la segunda campaña.

Variedad Ercole

Como puede observarse en la figura 4.5.5, es precisamente en esta variedad en la que se han obtenido un mayor número de ensayos, con valores de producción en superiores a 14 kg m^{-2} , todos ellos correspondientes a la fertilización con mezcla de estiércol y turba, tratamientos EM+P en la primera campaña y EM+P y EM en la segunda campaña, para el nivel de riego óptimo de 5.00 mm h^{-1} en todos los casos, además del correspondiente al nivel de riego excedentario de 6.70 mm h^{-1} y tratamiento EM en la segunda campaña. Lo que pone de manifiesto la rentabilidad de un consumo adecuado y controlado del agua en el riego de este cultivo.

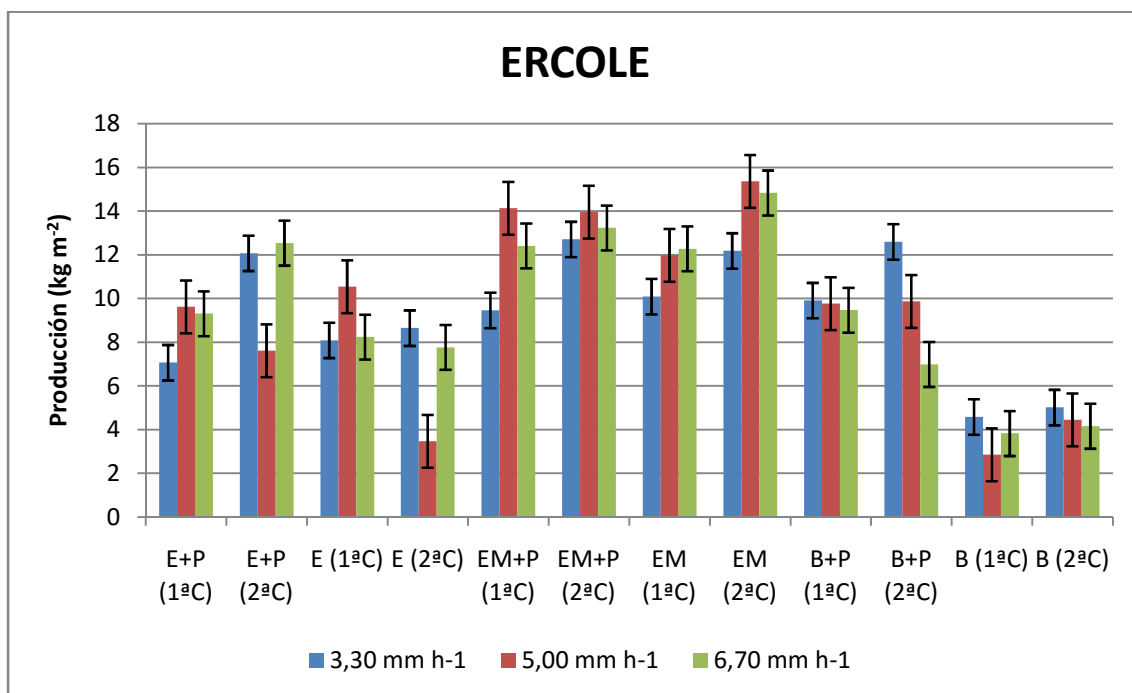


Fig. 4.5.5. Comparativa de la producción del cultivo de tomate (var. Ercole) expresada en kg m^{-2} , en el momento del corte del fruto, según niveles de riego y tratamientos fertilizantes empleados, para la primera y la segunda campaña.

Es en Ercole donde se alcanzan, en un total de 13 tratamientos frente a 7 en H-244 y a 3 tratamientos en Nautilus, producciones similares o superiores a 12 kg m^{-2} , lo que la convierte en la variedad con mejor rendimiento del cultivo. De estos 13 tratamientos, 12 corresponden a tratamientos con fertilización orgánica, y sólo uno al tratamiento control con acolchado (B+P) para el riego más deficitario de 3.30 mm h^{-1} . Lo que pone de nuevo en evidencia la importancia del aporte orgánico para un mejor rendimiento. Además, 8 de estos tratamientos con producciones por encima de los 12 kg m^{-2} , corresponden a tratamientos donde se ha utilizado acolchado de plástico. De nuevo queda patente la importancia del acolchado de plástico para este cultivo.

La peor respuesta de esta variedad (Ercole) a los distintos manejos, enmienda y fertirrigación se encontró en los ensayos sin enmienda orgánica y sin acolchado (B), en ambas campañas, al igual que ocurría en la anterior variedad (H-244). Cabe destacar además de estos, un valor anómalamente inferior correspondiente al tratamiento E con el nivel de riego de 5.00 mm h^{-1} para la segunda campaña.

Variedad Nautilus

A la vista de la gráfica 4.5.6, la cosecha obtenida en la variedad Nautilus en los distintos ensayos es la que presenta mayores oscilaciones de producción en función de la situación ensayada. Podría decirse, por tanto, que es la más sensible a los tratamientos y la que puede ser más difícil de cultivar en situaciones extremas. Dicho aspecto viene refrendado si analizamos la escasa producción obtenida en las situaciones más desfavorables, es decir sin enmienda ni plástico (tratamiento B).

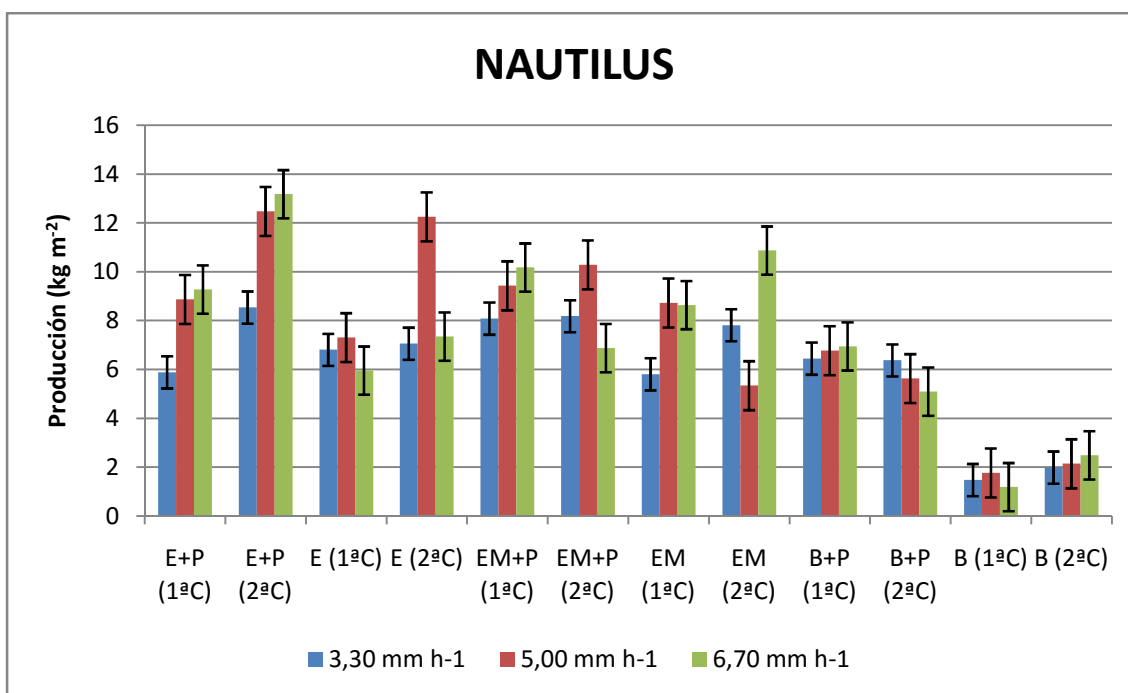


Fig. 4.5.6. Comparativa de la producción del cultivo de tomate (var. Nautilus) expresada en kg m^{-2} , en el momento del corte del fruto, según niveles de riego y tratamientos fertilizantes empleados, para la primera y la segunda campaña.

En esta variedad sólo tres tratamientos superan los 12 kg m^{-2} , correspondiendo en todos los casos a la segunda campaña y al tratamiento con enmienda a base de estiércol de oveja (E), dos de ellos con acolchado de plástico, (E+P) con riego de 5.00 y 6.70 mm h^{-1} , y para el tratamiento E con riego de 5.00 mm h^{-1} . Estos resultados vuelven a poner de manifiesto la importancia del plástico de cultivo, así como de un riego optimizado a las demandas del cultivo.

En general, en las tres variedades ensayadas (H-244, Ercole y Nautilus) y para las dos campañas estudiadas, la producción aumenta conforme lo hace el nivel de riego, con valores superiores para los riegos de 5.00 y 6.70 mm h^{-1} , respecto al más deficitario. Para los tres niveles de riego, la mayor producción corresponde a los tratamientos con enmienda orgánica y con acolchado de cultivo. Por el contrario, las producciones más bajas se presentan para el tratamiento control sin fertilización orgánica y sin acolchado de cultivo (B) en

todos los niveles de riego aplicados, presentando valores inferiores conforme aumenta la dosis de riego. Al igual que en el estudio realizado por Ramalan y Nwokeocha (2000) el uso eficiente del agua y la utilización de acolchado de plástico incrementan significativamente el rendimiento del cultivo.

4.5.2. Efecto en la producción de las distintas enmiendas orgánicas con y sin acolchado de plástico.

Intentamos conocer el efecto que tiene la aplicación en las distintas enmiendas orgánicas ensayadas sobre las tres variedades de tomate, los tres niveles de riego y la presencia o no de acolchado de plástico, es decir, la ENMIENDA ORGÁNICA es la variable constante y comparamos la producción obtenida tomando como referencia el resto de las variables.

Estiércol de oveja (E)

Como puede observarse en la tabla 4.5.1, la variedad H-244 es la que aparentemente tiene un mejor comportamiento general cuando se utiliza el estiércol de oveja como enmienda orgánica, mientras que Nautilus parece ser más deficiente, excepto para el riego óptimo de 5.00 mm h⁻¹.

En la tabla 4.5.1, puede observarse la influencia que tiene la presencia o no de acolchado de plástico y de la dosis de fertirrigación sobre las tres variedades de tomate ensayados. En efecto, en cuanto a la acción que ejerce el plástico, tratamiento E+P, podemos decir que es esencial para diferenciar las tres variedades de tomate atendiendo a la producción, de forma que la más productiva es la H-244, a continuación la Ercole y finalmente Nautilus y estas diferencias, en general, se acentúan más a medida que se incrementa la dosis de riego, excepto en la segunda campaña, donde la variedad H-244 presenta el máximo en el nivel de riego deficitario. En este sentido puede concluirse que la presencia de acolchado de plástico es determinante para poder diferenciar las tres variedades cuando se utiliza como enmienda orgánica estiércol de oveja. Asimismo, la intensificación en el aporte de agua y abono incrementan las

diferencias entre ellos, es decir, el acolchado de plástico permite una mejor utilización por parte de la planta de los nutrientes y del agua y, por tanto, existe una correlación entre el aumento de la producción y el incremento de la dosis de fertirrigación.

Tabla 4.5.1. Producción de los ensayos con enmienda orgánica de estiércol (tratamientos E+P y E) para las dos campañas ensayadas, según variedades y niveles de riego.

Producción (kg m ⁻²)	<i>Primera Campaña</i>			<i>Segunda Campaña</i>			
	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>	
E+P	3.30 mm h ⁻¹	7,60	7,07	5,89	18,74	12,07	8,54
	5.00 mm h ⁻¹	10,69	9,62	8,87	7,34	7,62	12,47
	6.70 mm h ⁻¹	12,63	9,31	9,28	12,96	12,54	13,18
E	3.30 mm h ⁻¹	7,94	8,09	6,81	8,01	8,65	7,06
	5.00 mm h ⁻¹	10,31	10,55	7,31	10,66	3,48	12,25
	6.70 mm h ⁻¹	10,64	8,24	5,96	10,22	7,77	7,35
Diferencias (E+P)-(E)		<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>
	3.30 mm h ⁻¹	-0,34	-1,02	-0,92	10,73	3,42	1,48
	5.00 mm h ⁻¹	0,38	-0,93	1,56	-3,32	4,14	0,22
	6.70 mm h ⁻¹	1,99	1,07	3,32	2,74	4,77	5,83

Precisión del aparato de medida: $\pm 0,01$ kg m⁻². Incertidumbre de las diferencias: $\pm 0,02$ kg m⁻².

Por otro lado, cuando la experiencia se desarrolla sin acolchado, tratamiento E, se aprecia un descenso de producción generalizado con los ensayos equivalentes realizados en presencia de éste. Asimismo, tampoco es posible diferenciar de forma absoluta cual es la variedad que mejor se comporta, ya que en las situaciones de riegos más deficitarios parece ser Ercole, mientras que para el nivel de riego más excedentario (6.70 mm h⁻¹) la variedad H-244 es la más productiva.

En cuanto a las diferencias, la tabla anterior nos muestra, que las mayores diferencias productivas se encuentran a favor de los ensayos acolchados y más cuando estos reciben la mayor dosis de riego, excepto como

hemos comentado antes, en la variedad H-244, en la segunda campaña, donde la máxima diferencia entre el tratamiento con y sin acolchado se registra en el nivel de riego deficitario (3.30 mm h^{-1}), con un valor muy superior al resto.

Ecomañan (EM)

En los ensayos en los que se ha utilizado el fertilizante mezcla Ecomañan (EM) (tabla 4.5.2.), se observa que la producción en los ensayos con Nautilus, en la mayoría de los casos fue inferior a las otras dos variedades, Ercole y H-244. Estas dos variedades fueron más productivas que Nautilus ya sea acolchado o no, e independientemente de la dosis de riego aplicada, a excepción de la segunda campaña, en el tratamiento sin acolchado EM, donde se obtienen valores superiores a la variedad H-244, especialmente en el riego de 5.00 mm h^{-1} .

Tabla 4.5.2. Producción de los ensayos con enmienda orgánica mezcla de estiércol y turba (tratamientos EM+P y EM) para las dos campañas ensayadas, según variedades y niveles de riego.

Producción (kg m⁻²)	<i>Primera Campaña</i>			<i>Segunda Campaña</i>		
	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>
<i>3.30 mm h⁻¹</i>	10,32	9,46	8,09	11,85	12,71	8,18
EM+P <i>5.00 mm h⁻¹</i>	12,39	14,13	9,43	17,25	13,96	10,29
<i>6.70 mm h⁻¹</i>	12,42	12,41	10,18	12,71	13,23	6,88
<i>3.30 mm h⁻¹</i>	10,25	10,09	5,81	6,88	12,18	7,82
EM <i>5.00 mm h⁻¹</i>	10,68	11,98	8,73	5,67	15,36	5,34
<i>6.70 mm h⁻¹</i>	10,49	12,28	8,64	8,20	14,83	10,87
Diferencias (EM+P)-(EM)						
<i>3.30 mm h⁻¹</i>	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>
<i>3.30 mm h⁻¹</i>	0,07	-0,63	2,28	4,96	0,53	0,37
<i>5.00 mm h⁻¹</i>	1,71	2,15	0,70	11,58	-1,40	4,95
<i>6.70 mm h⁻¹</i>	1,93	0,13	1,54	4,50	-1,60	-4,00

Precisión del aparato de medida: $\pm 0,01 \text{ kg m}^{-2}$. Incertidumbre de las diferencias: $\pm 0,02 \text{ kg m}^{-2}$.

Dentro de los seis tratamientos aplicados, no existe posibilidad de diferenciar las tres variedades atendiendo a la producción obtenida en cada ensayo. A pesar de todo, la variedad Nautilus es la menos productiva, mientras que Ercole y H-244 se reparten el máximo de producción en los seis ensayos comunes a las tres variedades.

Finalmente, y al igual que pasaba cuando la enmienda utilizada era a base de estiércol de oveja, el tratamiento EM con acolchado de plástico presenta un efecto positivo en la producción y directamente proporcional a la cantidad de agua y fertilizante utilizado, es decir, existe un incremento de producción entre situaciones equivalentes cuando se utiliza acolchado de plástico y este incremento se hace más evidente a medida que se aumenta la dosis de riego (tabla 4.5.2.).

Los ensayos acolchados fueron, en la mayoría de los casos los más productivos, tal que de las 18 comparaciones, en 14 de ellas la producción mayor se situó en las situaciones acolchada. Además, se denota de la tabla anterior que la variedad que mayores oscilaciones productivas presenta, es la variedad Nautilus. En la segunda campaña, en la variedad H-244, las diferencias entre la producción en los tratamientos con y sin acolchado son muy superiores al resto, encontrando una diferencia especialmente acuciada en el nivel de riego de 5.00 m h^{-1} , debida a la anormalmente baja producción obtenida en el tratamiento EM para esta variedad.

Sin enmienda orgánica (B)

En la tabla 4.5.3, puede apreciarse el efecto positivo que ejerce el acolchado de plástico en la producción del tomate. Es obvio que en la circunstancia más desfavorable para el cultivo, es decir, sin ningún tipo de enmienda orgánica ni abonado de fondo, es donde se ve con más claridad la repercusión que tiene el empleo o no de acolchado de plástico en la producción final de tomate. En las tres variedades ensayadas, puede observarse la gran diferencia existente entre la producción obtenida en situaciones equivalentes en cuanto a la fertilización empleada y que solo se diferencia por la utilización o

no de acolchado de plástico. Este hecho puede ser debido a la menor lixiviación de los nutrientes cuando se emplea la técnica del acolchado.

Tabla 4.5.3. Producción de los ensayos sin enmienda orgánica (tratamientos B+P y B) para las dos campañas ensayadas, según variedades y niveles de riego.

Producción (kg m⁻²)	<i>Primera Campaña</i>			<i>Segunda Campaña</i>		
	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>
<i>3.30 mm h⁻¹</i>	9,88	9,91	6,45	10,37	12,59	6,38
B+P <i>5.00 mm h⁻¹</i>	9,58	9,77	6,78	7,19	9,88	5,63
<i>6.70 mm h⁻¹</i>	9,12	9,47	6,95	8,79	6,99	5,10
<i>3.30 mm h⁻¹</i>	4,60	4,59	1,48	8,34	5,02	1,99
B <i>5.00 mm h⁻¹</i>	3,87	2,89	1,77	4,35	4,45	2,14
<i>6.70 mm h⁻¹</i>	2,89	3,83	1,19	4,59	4,17	2,49
Diferencias (B+P)-(B)						
<i>3.30 mm h⁻¹</i>	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>	<i>H-244</i>	<i>Ercole</i>	<i>Nautilus</i>
<i>3.30 mm h⁻¹</i>	5,28	5,32	4,97	2,03	7,57	4,39
<i>5.00 mm h⁻¹</i>	5,71	6,88	5,01	2,83	5,42	3,49
<i>6.70 mm h⁻¹</i>	6,23	5,64	5,76	4,21	2,83	2,61

Precisión del aparato de medida: $\pm 0,01 \text{ kg m}^{-2}$. Incertidumbre de las diferencias: $\pm 0,02 \text{ kg m}^{-2}$.

Todos los ensayos acolchados fueron más productivos que los que carecían de plástico, justificándose de este modo esta técnica agrícola de colocación de plástico en el suelo como adecuada y que produce un aumento en el rendimiento del cultivo de tomate. Este hecho puede observarse en la tabla 4.5.3, donde se muestra que el incremento de producción, como consecuencia de la utilización de plástico negro, puede llegar a duplicar o triplicar la producción total obtenida a cuando se cultiva sin acolchado. Las diferencias más importantes se obtienen en la variedad Ercole para el riego óptimo de 5.00 mm h^{-1} en la primera campaña, y para la dosis de riego de 3.30 mm h^{-1} en la segunda campaña.

En función de los resultados obtenidos para la variedad Ercole, puede afirmarse que la variedad menos productiva en estas condiciones de ausencia

de enmienda orgánica y de abonado de fondo es Nautilus, mientras que Ercole y H-244 se compiten por la primera posición en cuanto a producción, dependiendo de qué el cultivo se realice con o sin acolchado de plástico.

Como conclusión a todo lo expuesto, puede decirse que el acolchado de plástico determina un mayor o menor grado el rendimiento final del cultivo de tomate, y es un factor crítico de producción en las situaciones más desfavorables de cultivo, es decir, cuando éste se realiza sin una adecuada fertilización inicial.

5. CONCLUSIONES

El ensayo realizado sobre tres variedades de tomate para industria, estudiando la influencia de la aplicación de enmienda orgánica, el empleo de plástico de cultivo y el uso de distintas dosis de riego, conduce a las siguientes conclusiones:

1. Desde el punto de vista morfológico, el perfil del suelo se ha visto alterado por el cambio de uso, como consecuencia de las labores de cultivo llevadas a cabo para la instalación de riego y su posterior dedicación al cultivo intensivo de tomate para industria (enmiendas orgánicas, acolchado y dosis de riego). De forma que el horizonte Ap incrementa su espesor entorno a 20 cm (pasa de 30 a 50cm), aparecen manchas puntiformes en los horizontes Ap y C1, procedentes del lavado de sales y acumulaciones de estiércol aún sin descomponer en el horizonte Ap.
2. Por otro lado hay constituyentes y propiedades del suelo que se han visto afectados por el nuevo modelo de cultivo. Así, los contenidos de N y C.O. se han incrementado significativamente, la relación C/N ha aumentado en un 10 %, el contenido en sulfatos (% yeso) se ha incrementado en todos los horizontes del suelo, llegando a duplicarse en el horizonte Ap, proceso que puede representar una incipiente gypsificación antrópica. Los valores de CE se han duplicado en los horizontes superficiales y cuadruplicado en horizontes más profundos, aspecto muy a tener en cuenta si se quiere evitar la salinización acelerada del suelo. La mineralogía de las fracciones arena y arcilla no se han visto afectadas por el cambio de modelo de cultivo. Por último, la concentración de los nutrientes Na, P, K y Mn se ha incrementado en el horizonte Ap, por tanto, se ha mejorado la fertilidad.
3. La aplicación de los dos tipos de enmiendas orgánicas, respetuosas con el medio ambiente y próxima al cultivo sostenible, junto a la utilización o no, de acolchado de cultivo no muestran influencia sobre los valores de pH de la disolución del suelo, ni sobre la concentración de nitratos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio y micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, cinc y boro). Si que muestra influencia positiva y de forma significativa el empleo de enmiendas orgánicas sobre la concentración de sulfatos, fosfatos y

potasio en la disolución del suelo, siendo estas superiores a las de los tratamientos control. El contenido de cloruros fue significativamente superior en los tratamientos control. El acolchado de plástico presenta influencia significativa en el contenido de amonio en la disolución del suelo, de forma que se obtienen valores más altos para los tratamiento sin acolchado. En base a ello podemos afirmar que el uso de este tipo de enmiendas orgánicas no supone ningún déficit de nutrientes en la solución del suelo y, por tanto, en la capacidad de absorción de nutrientes por parte de las plantas, más bien todo lo contrario, ya que incrementa la concentración de algunos macronutrientes como es el caso del P, S y K.

4. La concentración foliar de nutrientes no se ve afectada de forma significativa por la aplicación de enmiendas orgánicas ni por el uso de acolchado de plástico de cultivo, lo que demuestra una correcta asimilación de los nutrientes por la planta, sin evidencias de déficit nutricional en ningún tratamiento.
5. El contenido de nutrientes en el fruto de tomate (var. Nautilus), presentan valores óptimos para su desarrollo en todos los tratamientos estudiados, no mostrando influencia significativa sobre ellos los tratamientos fertilizantes aplicados ni los distintos niveles de riego empleados, salvo en el contenido de calcio para el riego deficitario ($3.30 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) que presenta niveles significativamente superiores para todos los tratamientos fertilizantes empleados, lo que pone en evidencia la disponibilidad del calcio para la planta, a pesar de tener una escasa irrigación.
6. El aumento del nivel de riego produce un efecto dilución, disminuyendo la concentración de sólidos solubles totales (TSS) y la acidez en los frutos de tomate variedad Nautilus, mostrando esta misma tendencia el índice de madurez (MI). La utilización de estiércol de oveja (E+P) aumenta el contenido de sólidos solubles totales (TSS) y la acidez del fruto. El fertilizante mezcla orgánica (EM+P) produce frutos con valores superiores de pH e índice de madurez (superiores a 17.16 en todos los casos); se trata de frutos de alta calidad y con buenas características organolépticas.

7. Respecto a los parámetros físicos del fruto, los valores medios para la masa de los frutos se ven influenciados por la dosis de riego y tipo de enmienda orgánica de forma que los frutos con valores de masa más elevados son los sometidos al nivel de riego de 5.00 mm h⁻¹ y fertilizante orgánico comercial Ecomañán. Los niveles de humedad (Mo), diámetro ecuatorial (D) y longitudinal (L), índice de forma (FI), diámetro geométrico principal (Dg) y esfericidad (Ø)) aumentan con la dosis riego y con el uso de enmiendas orgánicas y sin acolchado (EM y E).
8. Los valores más elevados para las tres coordenadas CIELAB (L*, a* y b*) y los atributos cromáticos (H*, C* y S*), corresponde a los frutos que presentan un cuaje más temprano siendo estos los cultivados con enmienda orgánica mezcla de estiércol-turba (EM+P) seguido del tratamiento con estiércol de oveja (E+P), y los valores inferiores corresponden al tratamiento control (B+P) sin fertilización orgánica, con un cuajado del fruto más tardío. Las relaciones de interés entre coordenadas (a*/b*) y el índice de color (CI) presentan máximos para el tratamiento control y con acolchado de cultivo (B+P).
9. La variedad Ercole es la más productiva de las tres variedades ensayadas. La variedad Nautilus presenta mayores oscilaciones de producción sobre todo en las condiciones más extremas, por lo que podría decirse, que es la más sensible a los tratamientos de cultivo aplicados y la que puede ser más difícil de cultivar.
10. El nivel de riego afecta de forma positiva a la producción de tomate para industria, de tal manera que aumenta conforme lo hace el nivel de riego en ambas campañas de cultivo. Para los tres niveles de riego corresponde la mayor producción a los tratamientos con enmienda orgánica y con acolchado, mientras que las producciones más bajas se presentan para el tratamiento control sin acolchado (B), presentando valores inferiores conforme aumenta la dosis de riego.

11. Los ensayos con acolchados fueron los más productivos. Por tanto, el acolchado de plástico determina en mayor o menor grado la producción final de tomate y es un factor crítico de producción en las situaciones más desfavorables de cultivo, es decir, cuando éste se realiza sin una adecuada fertilización inicial y niveles de riego inadecuados.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abrisqueta, C., Artés, F., & Romero, M. 1962. "Estudio crítico del método de Bower y Huss para la determinación de yeso en suelos calizos de Murcia". *An. Edafol. Agrobiol.* 21, 531-538.
- Abushita, A. A.; Daood, H. G. y Biacs, P. A. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *J. Agric. Food Chem.* 48(6): 2075-2081.
- Adams P. and L.C. Ho. 1993. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and Soil.* 154: 127-132.
- Adams, P. 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrient or so-dium chloride on yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hortic. Sci.* 66: 210-217.
- Agrológica. 2012. Deficiencias y excesos nutricionales en tomate: síntomas y corrección. URL: <http://blog.agrologica.es/deficiencias-y-excesos-nutricionales-en-cultivo-tomate-sintomas-y-correccion-fertilizantes-nitrogeno-fosforo-potasio-magnesio-calcio-azufre-hierro-zinc-manganeso-boro-molibdeno-cloro/>.
- Albiach, R., Gómez, A., Pomares, F. y Canet, R. 1998. Efecto del tipo de fertilización sobre la actividad biológica del suelo en reconversión a la agricultura ecológica. Actas III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Valencia, 21-26 sep. 231-237.
- Alburquerque Méndez, J.A. 2000. Ajuste de la programación de la fertitigación en cultivo sin suelo para tomate (var. Durina). Recirculación de los drenajes. Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia.
- Allen, R.G., Pereira, R.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage 56. FAO, Roma.

- Amayreh J. and Al-Abed N., 2005. Developing crop coefficients for field-grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under drip irrigation with black plastic mulch. *Agric Water Managem* 73: 247-254.
- Améndola, R. D. Cach, I., Álvarez, M. E., Burgueño, J. A. and López, I. 2010. Nitrogen lixiviation and uptake by forage maize with different fertilization and previous soil use. *J. Anim. Sci. Vol. 88, E-Suppl. 2/J. Dairy Sci. Vol. 93, E-Suppl. 1/Poult. Sci. Vol. 89, E-Suppl. 1.*
- ANNE. 1945. *Ann. Agron.*, 2: 161-172.
- Arazuri, S., Jaren, C., Arana, J. I. and Perez de Ciriza, J. J. 2007. Influence of mechanical harvest on the physical properties of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Food Eng.*, 80: 190-198.
- Arazuri, S.; Jarén, C.; Juanena, A.B.; Martínez, F.; Pérez de Ciriza, J.J. 2001. Daños producidos por las cosechadoras de tomate. *Horticultura* 151, 28-35.
- Archer, D.W., Jaradat, A.A., Johnson, J.M., Weyers, S.L., Gesch, R.W., Forcella, F.Y Kludze, H.K. 2007. Crop productivity and economics during the transition to alternative cropping systems. *Agron. J.* 99: 1538–1547.
- Archer, D.W., Jaradat, A.A., Johnson, J.M., Weyers, S.L., Gesch, R.W., Forcella, F.Y Kludze, H.K. 2007. Crop productivity and economics during the transition to alternative cropping systems. *Agron. J.* 99: 1538–1547.
- Arias, R., Lee, T. C., Logendra, L., Janes H. 2000. Correlation of lycopene measurement by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48(5): 1697–1702.
- Arnaldos, R. 2001. Estudio de la salinidad de los suelos del sector centrorienta del Campo de Cartagena (Murcia). Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia. 270 pp.

- Artés, F., Conesa, M.A., Hernández, S., Gil, M.I. 1999. Keeping quality of fresh-cut tomato. *Postharvest Biology and technology*, 17, 153–162.
- Artés, F., Sánchez, E., & Tijskens, L.M.M. 1998. Quality and Shelf Life of Tomatoes Improved by Intermittent Warming. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology*, 31, 427–431.
- Ashby, 1969. Washing techniques for the removal of nutrient element deposits from the surface of apple, cherry and peach leaves. *S. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 94: 266-268.
- Balibrea, M.E., Cayuela, E., Artés, F., Alfocea, F.D. 1997. Salinity effects on some post harvest quality factors in commercial tomato hybrid. *Journal of Horticultural Science*, 72 (6), 885–892.
- Barba, E.M.; Ponce, P.; López, M.D.; Sánchez A.; Madrid R. 2004. Influencia del tipo de fertilizante orgánico, dosis de riego y acolchado sobre el desarrollo de variedades de tomate para industria. I. Suelo, materia orgánica y material vegetal. *Agrícola Vergel*, 272, 409-414.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 61, 471-475.
- Bending, G.D., Turner, M.K., Rayns, F., Marx, M.C. y Wood, M. 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biol. Biochem.*, 36: 1785-1792.
- Bernal, M.P., Sánchez-Monedero, M.A., Paredes, C., Roig, A. 1998. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 69: 175-189.
- Bhella, H.S. 1988. Tomato response to trickle irrigation and black polyethylene mulch. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 113, 543-546.

- Binoy, G. K.; Charanjit, D.; Khurdiya, S. y Kapoor, H. C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem.* 84(4):45-51.
- Bleda, F.J., Madrid, R., García-Torres, A.L., García-Lidón, A., Porras, I. 2011. Chlorophyll fluorescence and mineral nutrition in citrus leaves under salinity stress. *J. Plant Nutrition.* 34: 1579-1592.
- Bleda, F.J.; Madrid, R.; García, A.; Mateo, I.; Gómez, P.; Porras, I. 2001. Fluorescencia de clorofilas a *in vivo* en patrones de cítricos y sus combinaciones bajo condiciones de estrés salino. ITEA. 97V, 52-59.
- Bower, C.A. y Wilcox, L.V. 1965. Soluble salts. En "Methods of Soil Analysis". Parte. 2. C. A. Black (Ed.). *Amer. Soc. Agronomy, Inc.*, Madison, Wis. 993-940.
- Bradley, W.F. 1945. Molecular associations between montmorillonite and some polyfunctional organic liquids. *J. Am. Chem. Soc.* 67: 975-981.
- Brady C.J., 1987. Fruit ripening. *Annual Revision of Plant Physiology*, **38**, 155-172.
- Bragato, G., & Primavera, F. 1998. Manuring and soil type influence on spatial variation of soil organic matter properties. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1313-1319.
- Brandt, S., Pék, Z., Barna, É., Lugasi, A., Helyes, L. 2006. Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 86(4): 568–572.
- Brindley, G.W. 1966. Ethilenglicol and glicerol complexes of smectites and vermiculites. *Clay Min.* 6: 119 pp.
- Bromfield, S.M. 1978. The effect of manganese-oxidizing bacteria and pH on the availability of manganous ions and manganese oxides to oats in nutrient solutions. *Plant and Soil*, 49: 23–31.

- Brucker S., Rouiller J. 1987. Mecanismos de regulación del pH de los suelos. In: Bonneau N., Souchier, B. (eds), Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo. Barcelona: Maisson. 365-367.
- Bugarín Montoya, R. 2002. Simulación de la demanda y suministro edáfico en tomate. Tesis Doctoral. Tecomán, Colima, México.
- Bulluck, L.R., Brosius, M., Evanylo, G.K. y Ristaino, J.B. 2002. Organic and synthetic amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Appl. Soil Ecol.*, 19: 147-160.
- Caglar, H.; Ozturk, I.; Kalkan, F.; Kara, M.; Ercisli, S. 2010 Color and physical properties of two common tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. Vol. 8 (2) : 44 - 46.
- Cánovas, J. 1980. Calidad Agronómica de las Aguas de Riego. Publicaciones de Extensión Agraria. 59 pp.
- Cánovas, J., Molina, E. y Navarro, J. 2002. Contaminación por nitratos en un cultivo de pimiento grueso bajo invernadero. *Revista Horticultura* (8): 17-29.
- Casas, A. 1999. Solución nutritiva, principios básicos, comportamiento e interacción. En: Cultivos sin Suelos II. 2a Edición. Fernández, M.; Cuadrado I.M. FIAPA. Almería-España, pp. 229-247.
- Casas, A., Casas, E. 1999. El análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular. 2ª edición. Ed. Caja Rural de Almería. P. 249
- Castilla P., N. 1999. Manejo del cultivo intensivo con suelo pp. 189-225. In: Nuez F. (ed.). El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Chapagain, B.P., Wiesman, Z. 2004. Effect of Nutri-Vant-PeaK foliar spray on plant development, yield and fruit quality in greenhouse tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 102, 177–188.

- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. En "Methods of Soil Analysis". Parte 2. C.A. Black (Ed.). *Amer. Soc. Agronomy, Inc.*, Madison, Wis. 891-900.
- Chapman, H.D.; Pratt, P.F. 1979. "Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas". 26, Trillas. México, 231 pp.
- Ciampi, S.; Gentili, E.; Guidi, L.; Soldatini, G. F. 1996. *Plant Science*. 118: 177-184.
- Colla, G., Mitchell, J.P., Poudel, D.D. y Temple, S.R. 2002. Changes of tomato yield and fruit elemental composition in conventional, low input, and organic systems. *J. Sustain. Agric.* 20(2): 53-67.
- Consejería de Agricultura y Pesca. 2001. "Caracterización del territorio de la OCA "Altiplanicie Norte" (Sede Huéscar)". Junta de Andalucía.
- Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2004. URL: http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController?action=Static&url=coordenadas.jsp&c_provincia=18&c_estacion=2 [F. consulta 2004]. F. actualización 2014.
- Demir, F., Kalyoncu, I.H. 2003. Some nutritional, pomological and physical properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Engineering*. 60, 335-341.
- Demming-Adams, B.; Adams, W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Ann. Rev. Plant Phys. And Plant Mol. Biol.* 43: 599-626.
- Diaz-Mula HM, Zapata PJ, Guillén F, Castillo S, Martínez-Romero D, Valero D y Serrano M. 2009. Changes in physicochemical and nutritive parameters and bioactive compounds during development and on-tree ripening of eight plum cultivars: a comparative study. *Journal of Science of Food Agriculture*, 89, 177-194

- Dogliotti, S.; 2001. "Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)". Universidad de la República – Facultad de Agronomía. Ciclo de Formación Central Agronómica. Curso de Fisiología de los Cultivos.
- Donnini, S., Castagna, A., Guidi, L., Zocchi, G., Ranieri, A. 2003. Leaf response to reduced iron availability in two tomato genotypes : T3238 FER (iron efficient) and T 3238 (iron inefficient). *J. Plant nutrition*. 26, 2137-2148.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. 1979. Las necesidades de agua en los cultivos. Estudios FAO. Serie Riego y Drenaje. N° 24. FAO, Roma.
- Dorais, M., Papadoulos, A.P., & Gosselin, A. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Revision*. 26, 262–319.
- Douchafour, P. 1970. Précis de Pédologie. Masson & Cie. París. 481 pp.
- Douchafour, P. y Souchier, B. 1984. Edafología I. Edafogénesis y clasificación. Masson, París.
- Ehret, D.L. y Ho L.C. 1986. Effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture" *Journal of Horticulture Science*. 61: 361-367.
- Evers, A., Ketoja, E., Hägg, M., Plaami, S., Häkkinen, U. y Pessala, R. 1997. Decreased nitrogen rates and irrigation effect on celery and internal quality. *Plant Foods for Human Nutrition*. 51: 173-186.
- F. Al-Mohammadi, Y. Al-Zu'bi. 2011. Soil Chemical Properties and Yield of Tomato as Influenced by Different Levels of Irrigation Water and Fertilizer. *J. Agr. Sci. Tech*. Vol. 13: 289-299
- FAO. 1988. FAO-UNESCO Soil Map of the World. Revised Legend. World Soil Resources Report, 60, FAO. Roma.
- FAO. 2002. <http://www.fao.org>.

- FAO-ISRIC-IUSS, 2006. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resource Reports nº 103. FAO. Roma. 145 pp.
- FAOSTAT (2004). FAO Statistical Databases. <http://apps.fao.org>
- Feican, C., Encalada, C., Larriva, W. 1999. El Cultivo del Tomate de árbol. Estación Experimental Chuquipata, Granja Experimental Bullcay del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Gualaceo, Ecuador. Bennet, W. 1994. *Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants*, APS Press pp 139. 47 p.
- Felipe Calderón Sáenz, F. 2005. Requerimientos nutricionales de un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. Bogotá D.C., Colombia S.A.
- Ferrante A, Spinardi A, Maggiore T, Testoni A and Gallina PM. 2008. Effect of nitrogen fertilisation levels on melon fruit quality at the harvest time and during storage. *Journal of Science of Food Agriculture*, 88, 707-713.
- García-Orenes, F.; Cerdà, A.; Mataix-Solera, J.; Guerrero, C.; Bodí, M. B.; Arcenegui, V.; Zornoza, R., Sempere, J. G., 2009. Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain. *Soil & Tillage Research*, 106: 117–123.
- Getinet H, Seyoum T and Woldetsadik, 2008. The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 87, 467-478.
- Giardina, E.; Ciarlo, E.; Ciampitti, I.; Clozza, M. 2007. “Calcio como elemento esencial en la biología del suelo: análisis del rendimiento en tomate platense (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Platense)”. Actas del 30º Congreso Argentino de Horticultura y 1º Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

- Gil, M.I., Conesa, M.A., & Artés, F. 2002. Quality changes in fresh cut tomato as affected by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 25, 199–207.
- Govindjee. 1995. Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. *Aust. J. Plant Physiol.*, 22: 131-160.
- Gowda, IND; Raman Janeya, KH; Anand, N; Sadashiva, AT; Tikoo, SK. 1994. Studies on the physico-chemical characteristics and processing quality of two II HR tomato varieties in relation to commercial cultivars. *J. Food Sci. Technol.* 31 (2): 126-129.
- Goyal, S., Chander, K., Mundra, M.C. y Kapoor, K.K. 1999. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biol. Fertil. Soils.* 29: 196-200.
- Goykovic Cortés, V.; Saavedra del Real, G. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. Volumen 25, Nº 3, Páginas 47-5847 IDESIA (Chile).
- Granados, M.R., Thompson, R. B., Fernández, M.D., Gázquez, J.C., Gallardo, M.L., Martínez, C. 2007. Reducción de la lixiviación de nitratos y manejo mejorado de nitrógeno con sondas de succión en cultivos hortícolas. Ed. Fundación Cajamar. Pp. 28.
- Green Kelly, R. 1953. Identification of montmorillonoids. *J. Soil Sci.* 4, 233-237.
- Grier, J. D. 1966. Preparation of plant material for plant analysis. *S. Ass. Pffic. Anal. Chem.*, 49: 292-298.
- Guerrero Ruiz, J.C: 2012. Hortalizas. Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, México.
- Guil, J.L., Reboloso, M.M. 2009. Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *Journal of food composition and analysis.* 22: 123-129.

- Guillén, I. 2002. Respuesta del almendro a la fertilización orgánica en secano y regadío. Evolución del sistema suelo-planta. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 290 pp.
- Guzmán, J.M. 2006. Reutilización y recirculación: eficiencia y calidad de los sistemas cerrados. En: Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. 1a Edición. Florez V.J.; Fernandez, A.; Miranda, D.; Chaves, B.; Guzmán, J.M. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia. Pp. 479-499.
- Haciseferoğullari, H., Özcan, M., Sonmete, M.H., & Özbek, O. 2005. Some physical and chemical parameters of wild medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit grown in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 69, 1-7.
- Haifa. 2014. Recomendaciones nutricionales para tomate.
- Hanson BR y May DM. 2006. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management*, 81, 381-399.
- Hao X., Chang C. 2003. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta?. *Agric. Ecosyst. Environ.* 94, pp. 89–103
- Hargreaves, J.C., Adl, M.S. y Warman, P.R. 2008. The effects of organic and conventional nutrient amendments on strawberry cultivation: fruit yield and quality. *J. Sci. Food Agric.* 88: 2669-2675.
- Hati, K.M., Mandal, K.G., Misra, A.K., Ghosh, P.K. y Bandyopadhyay, K.K. 2006. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. *Bioresource Technology*, 97: 2182-2188.
- Herencia, J.F., Ruiz, J.C., Melero, S., Garcia-Galavis, P.A., Morillo, E. y Maqueda, C. 2007. Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agronomy Journal*, 99: 973–983.

- Herencia, J.F., Ruiz, J.C., Melero, S., Maqueda, C. y Garcia-Galavis, P.A. 2008. A short-term comparison of organic v. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments. *Journal of agricultural science*, 146: 1-11.
- Hernández, M. Rodríguez, E.M., Diaz, C. 2007. Mineral and trace element concentrations in cultivars of tomatoes. *Food Chemistry*, 104: 489-499.
- Hernández, M.; Chailloux, M.; Arozarena, N. J. 2009. "Rango crítico de nitrógeno y potasio en hojas indicadoras para dos épocas de plantación en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) HIBRIDOHA-3019". *Cultivos Tropicales* (versión ISSN 0258-5936), *Cultrop*. v.30 n.4 La Habana oct.-dic. 2009.
- Hernández, M.I., Chailloux, M., Moreno, V., Igarza, A., Ojeda, A. 2014. Niveles referenciales de nutrientes en la solución del suelo para el diagnóstico nutricional en el cultivo protegido del tomate. *IDESIA (Chile)* Vol. 32, N°2: 79-88.
- Hernández, S. M.; Rodríguez, R. E. y Díaz, R. C. 2007. Analysis of organic acid content in cultivars of tomato harvested in Tenerife. *Eur. Food Res. Technol.* 26(3):423-435.
- Herrmann, K. 2001. *Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse*. Eugen Ulmer Verlag. Stuttgart. 200 p.
- Hirzel, J., Rodriguez, N. y Zagal, E. 2004. Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. *Agricultura Técnica*, 64: 365-374.
- Hobson, G. E., Adams, P., & Dixon, T. J. 1983. Assessing the colour of tomato fruit during ripening. *Journal of the Science for Food Agriculture*, 34, 286–292.

- Hong JH, Mills DJ, Coffman CB, Anderson JD, Camp MJ and Gross KC. 2000. Tomato cultivation systems affect subsequent quality of fresh-cut fruit slices. *American Society of Horticultural Science*, 125 (6), 729-735.
- Huaming, G., Guanghe, L., Zhang, D., Zhang, X. y Chang, L. 2006. Effects of water table and fertilization management on nitrogen loading to groundwater. *Agricultural Water Management*. 82: 86-98.
- I.G.M.E. 1.978. Mapa geológico de España. E: 1:50.000. Puebla de Don Fadrique. Ministerio de Industria. Madrid.
- Instituto de estadística y cartografía de Andalucía. 2009. URL: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/iea/resultadosConsulta.jsp?CodOper=703&codConsulta=62960> [F. consulta 22/10/2014]. F. actualización: 2009.
- Instituto de estadística y cartografía de Andalucía. 2013. URL: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/html/sm18164.htm> [F. consulta 22/10/2014]. F. actualización: 29/07/2014.
- Instituto Tecnológico Geominero de España. 1990. Atlas hidrogeológico de la Provincia de Granada. Diputación Provincial de Granada.
- Jackson, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Advanced course. Depart. of soils. Univ. of Wisconsin. Madison.
- Jia, Y., Yang, X., Islam, E., Feng, Y. 2008. Effects of potassium deficiency on chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence in inefficient genotypes of rice. *J. Plant Nutrition*. 31, 2105-2118.
- Jiménez Díaz, R.M. 1998. Concepto de sostenibilidad en Agricultura. En: Agricultura sostenible. Eds: R.M. Jiménez Díaz y J. Lamo de Espinosa. Ediciones Mundi prensa. Pp: 3-13. Madrid.
- Jiménez, S., Lao, M.T. 2004. Use of dry olive-mill wastewater lide organic amendment in soil for horticultural greenhouse crop. *Food, Agriculture and Environment*. Vol. 2 (2): 348-352.

- Johnson, D.W.; Cole, D.W. 1980. Anion mobility in soils: relevance to nutrient transport from forest ecosystems. *Environ. Int.*, 3, 79-90.
- Juana Pérez, Guillermo Hurtado, Víctor Aparicio, Quirino Argueta, Marcos A. Larín. 2002. Guía Técnica: Cultivo de tomate. CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL (CENTA). El Salvador.
- Junta de Extremadura. 1992. "Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego".
- Kabelka E, Yang W y Francis DM. 2004. Improved tomato fruit color within an inbred backcross line derived from *Lycopersicon esculentum* and *L. hirsutum* involves the interaction of *Loci*. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 129 (2), 250-257.
- Kautshy, H.; Hirsch, A. 1931. Neue Versuche zur Koklensäureassimilation. *Natrwissenschaften*, 19: 964.
- Knudsen, M.T., Kristensen, I.S., Berntsen, J., Petersen, B.M. y Kristensen, E.S. 2006. Estimated N leaching losses for organic and conventional farming in Denmark. *Journal of Agricultural Science*, 144: 135–149.
- Kramer PJ, Transpiration and water economy of plants. 1959. Steward, F.C. (Ed.), *Plant Physiology*. vol. II. Academic Press, New York.
- Kunze, G.W. 1965. Pretreatment for mineralogical studies analysis. En "Methods of Soil Analysis". Parte. 1. C.A. Black (Ed.). *Amer. Soc. Agronomy*, Inc., Madison, Wis. 573-574.
- Laboski, C.A. y Lamb, J.A. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 544-554.
- Lao, M.T.; Jimenez, S.; Eymar, E.; Fernandez, E.J. 2004. Nutrient levels of the soil solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. *Revista Internacional de Botánica Experimental (Phyton)*, 73: 29-37.

- Larchevêque, M., Ballini, C., Korboulewsky, N., Montès, N. 2006. The use of compost in afforestation of Mediterranean areas: Effects on soil properties and young tree seedlings. *Sci. Total Environ.*, 369: 220-230.
- Lazcano, I. 2004. Las temperaturas altas y la deficiencia de calcio en tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). Instituto de la Potasa y el Fósforo para México y Norte de Centro América. México. pp. 1. [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/2488BB7F986E708806256AE8006123BD/\\$file/La+Temperatura.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/2488BB7F986E708806256AE8006123BD/$file/La+Temperatura.pdf). [Consulta: 21 de Abril del 2015].
- Legaz, F., Serna M.D., Primo, E. 2007. Sintomatologías de las deficiencias y excesos minerales en los cítricos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
- Liebig, M.A., Varvel, G.E., Doran, J.W. y Wienhold, B.J. 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the Western Corn Belt. *Soil Science of America Journal*. 66(2): 596-601.
- Lindsay, W.L. y Norvell, W.A. 1969. Development of a DTPA micronutrient soil test. *Agron. Abst.*, 84.
- Liu, B., Tu, C., Hu, S., Gumpertz, M. y Ristaino, J.B. 2006. Effect of organic, sustainable and conventional management strategies in grower fields on soil physical, chemical, and biological factors and the incidence of southern blight. *Applied Soil Ecology*, 37: 204-214.
- Loeppert, R. 1986. Reaction of iron and carbonates in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*. 9 (3-7): 195 - 214.
- Loiudice, R.; Impembo, M.; Laratta, B.; Villari, G.; Lovoi, A.; Siviero, P.; Castaldo, D. 1995. Composition of San Marzano Tomato Varieties. *Food Chem.*, 53: 81- 89.

- López, J.; Velázquez, R.; Gómez-Aguado, M.; Bartolomé, T. 2002. Dossier Agroexpo: Las tierras extremeñas producen el 80% del tomate de industria. *Vida rural*, FEB 1-14; Año IX (142), 42-44.
- Lorensini, F., Ceretta, C. A., Girotto, E., Cerini, J. B., Lourenzi, C. R., De Conti, L., Trindade, M., de Melo, G. W., Brunetto, G. 2012. Lixiviation and volatilization of nitrogen in Sandy Typic Hapludalf soil cultivated with grapevine submitted to the nitrogen fertilization. *Cienc. Rural*, vol.42 nº.7.
- M.A.P.A. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1986. "Métodos oficiales de análisis". III: 139-142. Servicio de publicaciones del M.A.P.A. Madrid, 89 pp.
- Macua, J.I.; San Martín, C.J.; San Agustín, J.L. 1993. Influencia de la dosis de riego y fertilizante nitrogenado sobre la producción y calidad del tomate de industria para concentrado. *Actas del II Congreso Ibérico, S.E.C.H.*, 1091-1097.
- Madrid, R. 1991. El agua y los fertilizantes. *Fertirrigación localizada*. Ed. Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. Región de Murcia.
- Madrid, R., Valverde, M., Gabarrón, M.J., Sánchez, A., Guillén, I. 2000. Estudio de la nutrición del almendro. *Agricultura ecológica. Agrícola Vergel XIX*, 228: 806-811.
- Madrid, R., Valverde, M., Guillén, I., Sánchez, A., Lax, A. 2004. Evolution of organic matter added to soils under cultivation conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 167, 39-44.
- MAGRAMA, 2013. Monográfico productos ecológicos, Observatorio del Consumo y la Distribución Alimentaria, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino e Instituto Cerdá, Madrid.
- Mahajan G and Singh KG, 2006. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management*. 84, 202-206
- Malash N, Flowers TJ and Ragab R. 2005. Effect of irrigation systems and

- water management practices using saline and non-saline water on tomato production. *Agricultural Water Management*, 78, 25-38.
- Mandal, L.N. y Mitra, R.R. 1982. Transformation of iron and manganese in rice soils under different moisture regimes and organic matter applications. *Plant and Soil*, 69: 45–56.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) 1986. “Métodos oficiales de análisis”. III: 139-142. Servicio de publicaciones del M.A.P.A. Madrid, 89 pp.
- María I. Hernández, N. J. Arozarena y Marisa Chailloux. 2009. Rango crítico de nitrógeno y potasio en hojas indicadoras para dos épocas de plantación en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido HA-3019. *Cultivos Tropicales*, vol. 30, no. 4, p. 79-86.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London, UK.
- Martín Pozas, J.M. 1968. Análisis cuantitativo de los filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X. Tesis doctoral. Univ. de Granada.
- Martín Pozas, J.M., Martín Vivaldi, J.L. y Rodríguez Gallego, M. 1969. Análisis cuantitativo de filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X. *An. Real Soc. Esp. Fís. y Quím.*, Serie B.L.V.: 109-112.
- Martín Vivaldi, J.L. y Rodríguez Gallego, M. 1961. Some problems in the identification of clay minerals in mixtures by X- ray diffraction. I. Chlorite-kaolinite mixtures. *Clay Min. Bull.*, nº 26: 288-292.
- Martínez F., Cuevas G., Calvo. R, Walter I. 2003. Biowaste Effects on Soil and Native Plants in a Semiarid Ecosystem. *J Environ Qual.*, 32: 472–479.
- Mehra, O.P. y Jackson, M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay Min. Bull.*, 7: 317-327.

- Mencarelli, F., & Saltveit, M.E. 1988. Ripening of mature-green tomato fruit slices. *Journal of American Society and Horticultural Science*, 113, 742–745.
- Mitchell, A.E., Hong, Y.J., Koh, E., Barrett, D.M., Bryant, D.E., Denison, R.F. y Kaffka, S. 2007. Ten-year comparison o the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. *J. Agric. Food. Chem.* 55: 6154-6159.
- Mohammed, G. H.; Binder, W. D.; Gillies, S. L. 1995. Chlorophyll fluorescence a review of its practical forestry applications and instrumentation. *Scand. J. For. Res.*, 10: 383-410.
- Morari F., Lugato E., Giardini L. 2008. Olsen phosphorous, exchangeable cations and salinity in two long-term experiments of north-eastern Italy and assessment of soil quality evolution. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 124: 85–96.
- Muñoz, A., R. 1995. Fertilización del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en Colombia. En: Memorias del Seminario sobre fertilización de cultivos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Antioquia. pp. 56-75.
- Murphy, J. y Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *An. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- Nardi, S., Concheri, G. y Dell'angola, G. 1996. Biological activity of humus. Substances in terrestrial ecosystems: 361-406.
- Negrete, S. 2001. Determinación de las deficiencias nutrimentales en el cultivo de tomate de árbol (*Solanum Betaceum Cav.*) mediante el método del elemento faltante. Tesis Ing. Agr. Quito: Universidad Central de Ecuador, Facultad de Ciancias Agrícolas. 259 p.
- Negro M.J.; Ciria P.; Carrasco J.; Solano M.L.; Roig A.; Bernal P.; Cegarra J. 1995. Sweet sorghum, a sustainable crop for energy production in

- Europe: agricultural, industrial, improvement, optimisation and implementation. Final Report. Ref. CIEMA/IER-B/CT92-0041/29/95.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. 793 p.
- Ogle S.M., Breidt F.J., Eve M.D., Paustian K. (2003). Uncertainty in estimating land use and management impacts on soil organic carbon storage for US agricultural lands between 1982 and 1997. *Glob Change Biol.*9: 1521–1542.
- Olsen, S.R. y Dean, L.A. 1965. Phosphorus. En "Methods of Soil Analysis". Parte 2. C.A. Black (Ed.). *Amer. Soc. Agronomy, Inc.*, Madison, Wis. 1044-1045.
- Omar, S.A., Madouth, T., El-Bagouri, I., El-Mussalem, Z. y Al-Telaihi, H. 1998. Land degradation factors in arid irrigated areas : The case of Wafra in Kuwait. *Land Degradation and Development.* 9: 283-294.
- Ostrom, M.E. 1961. The separation of clay minerals from carbonate rocks by using acids. *Jour. Sed. Petr.*, 31: 123-129.
- Parton, W.J., Xiao, X., Ojima, D.S y Chen, Z. 1996. Modeling of soil organic matter dynamics in the eastern inner Mongolia. Proceedings of the Fifth International Rangeland Congress Salt Lake City, Utah: 618-619.
- Peech. 1965. Hidrogen-ión activity. En "Methods of Soil Analysis". Parte 2. C. A. Black (Ed.). *Amer. Soc. Agronomy, Inc.*, Madison, Wis. 914-916.
- Peiming, W., A. Anderko, and R. Young. 2004. Modelling electrical conductivity in concentrates and mixed-solvent electrolyte solutions. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 43: 8083–8092.
- Pérez-López AJ, del Amor FM, Serrano A, Fortea MI and Núñez E. 2007. Influence of agricultural practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturity stage. *J Sci Food Agric*, 87, 2075-2080.

- Petro-Turza, M. 1987. Flavor of tomato and tomato products. *Food Rev. Int.* 2(3): 309-351.
- Pieper, JR, Barrett, DM. 2008. Effects of organic and conventional production systems on quality and nutritional parameters of processing tomatoes. *J Sci Food Agric.* 88: 2499-2507.
- Pimentel, D. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science.* 267: 117-1123.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D. y Seidel, R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience.* 55: 573–582.
- Polenta, G., Lucangeli, C., Budde, C., González, C.B., Murray, R. 2005. Heat and anaerobic treatments affected physiological and biochemical parameters in tomato fruits. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology.* Article in Press.
- Posner, J.L., Baldock, J.O. y Hedtcke, J. L. 2008. Organic and conventional production systems in the Wisconsin integrated cropping systems trials: I. Productivity 1990–2002. *Agronomy Journal.* 100: 253–260.
- Pratt, M. 1965. Potassium and sodium. En "Methods of Soil Analysis". Parte. 2. C.A. Black (Ed.). *Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison, Wis.* 1022-1030.
- Proietti, S, Roupheal, Y, Colla, G, Cardarelli, M, De Agazio, M, Zacchini, M. 2008. Fruit quality of mini-watermelon as affected by grafting and irrigation regimes. *J Sci Food Agric.* 88: 1107-1114.
- Ramalan, A.A., Nwokeocha, C.U. 2000. Effects of furrow irrigation methods, mulching and soil water suction on the growth, yield and water use efficiency of tomato in the Nigerian Savanna. *Agricultural Water Management,* 45, 317-330.
- Ramos C., Ocio J.A., 1993. La agricultura y la contaminación de las aguas por nitrato. M.A.P.A. Hoja divulgadora 7/92, 32 pp.

- Ranger, J.; Marques, R.; Jussy, J.H. 2001. Forest soil dynamics during stand development assessed by lysimeter and centrifuge solutions. *For. Ecol. Manage*, 144, 129-145.
- Razeto, B. 1993. La nutrición mineral de los frutales. Deficiencias y excesos. SOQUIMICH, Chile. 105p.
- Rembialkowska, E. y Średnicka, D. 2009. Organic food quality and impact on human health. *Agronomy research*, 7(II): 719-727.
- Reuss, J.O.; Johnson, D.W. 1986. Acid deposition and the acidification of soils and waters. *Ecological Studies*, vol. 59. Springer, New York, 120 pp.
- Richards, L.A. 1974. "Diagnostico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos". Ediciones Limusa. México.
- Richarson, C, Hobson, GE. 2006. Compositional changes in normal and mutant tomato fruit during ripening and storage. *J Sci Food Agric*, 40: 245-252.
- Rincón, L., Pérez, C., Sáez, J., Abadía, A. y Pellicer, C. 2001. Extracción de nutrientes del apio en riego por goteo. *Agrícola Vergel*, 233: 252-257.
- Rivas-Martínez, S. 1964. Esquema de la vegetación potencial y su correspondencia con los suelos de España peninsular. *Anal. Inst. Bot. Canaville*, 22: 341-405. Madrid.
- Rivas-Martínez, S.; Díaz, T.E.; Fernández-González, F.; Izco, J.; Loidi, J.; Lousa, M., Penas. A. 2002. Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the syntaxonomical checklist of 2001. *Itinera Geobotanica*, 15(1): 5-432.
- Robertson, JA, Meredith, FI, Senter, SD, Okie, WR, Norton, JD. 2006. Physical, chemical and sensory characteristics of Japanese-type plums grown in Georgia and Alabama. *J Sci Food Agric*. 60: 339-347.

- Rodríguez Iruretagoiena, A., Trebolazabala, J., Martínez Arkarazo, I., de Diego, A., Madariaga, J.M. 2015. Metals and metalloids in fruits of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) and their cultivation soils in the Basque Country: Concentrations and accumulation trends. *Food Chemistry*. Vol. 173, 1083-1089.
- Rodríguez, R. y Pérez, G. 1974. Intoxicación por manganeso en plantas de tomate. Servicio Agrícola. Centro Experimental Los Moriscos. Gran Canaria.
- Roorda van Eysinga, J.P.N.L. y Smilde, K.W. 1981. Nutritional disorders in glasshouse tomatoes, cucumbers and lettuce. Centre for Agricultural Publishing and Documentation Wageningen. Netherlands. 130 pp.
- Ruiz, J.C. 2002. Influencia del cambio de un sistema de nutrición mineral u orgánica en las propiedades de suelos hortícolas de regadío. Universidad de Córdoba.
- Ruiz-Sánchez, C.A. 2006. Efecto de la dosis y forma de colocación del potasio sobre la calidad física de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) almacenados a dos temperaturas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 23: 475-488.
- Sánchez Romero, J.A. 2010. Efecto de la fertilización orgánica en el rendimiento, calidad, desarrollo, concentración y extracción de nutrientes de un cultivo de apio ecológico en reconversión. Influencia en las propiedades del suelo. Universidad de Almería. Tesis Doctoral.
- Sánchez, A., Blanco, M.A., Salas, M.C., Sánchez, J.A. 2013. Evolution of soil chemical variables in an organic celery crop during the conversion period to organic farming. *Soil Forming Factors and Processes from the Temperate Zone*, 12 (1): 17 – 31.
- Sánchez-Bel, P., Madrid, R., Valverde, M., Gabarrón, M.J., Romojaro, F. 2001b. Calidad de la almendra española. III. Hidratos de carbono, fibra y composición mineral. *Cuadernos de Fitopatología XVIII*, 69: 110-116.

- Sánchez-Bel, P., Madrid, R., Sánchez, A., Valverde, M., Romojaro, F. 2001a. Calidad de la almendra española .I. Fracción proteica. Cuadernos de Fitopatología XVIII, 67: 15-21.
- Sanz, M.; Belkhodja, R.; Tosell, M.; Montañés, L.; Abadía, A.; Tagliavini, M.; Maragoni, B. And Abadía, J. 1997. Floral analysis as a possible tool for the prognosis of iron deficiency in peach. *Acta Horticulturae*, 448: 241 - 245.
- Scheller, E., and J. Raupp. 2005. Amino acid and soil organic matter content of topsoil in a long term trial with farmyard manure and mineral fertilizer. *Biol. Agric. Hortic.*, 22: 379 – 397.
- Serrano-Megías M, Núñez-Delicado E, Perez-López AJ and López-Nicolas JM. 2006. Study of the effect of ripening stages and climatic conditions on the physicochemical and sensorial parameters of two varieties of *Vitis vinifera* L. by principal component analysis: influence on enzymatic browning. *J Sci Food Agric*, 86: 592-599.
- Shukla, U.C. and A.K. Mukhi. 1979. Sodium, potassium and zinc relationship in corn. *Agron. J.* 71: 235-237.
- Silva R, Borges CMS and Becerra-Neto F. 2006. Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in Northeast Brazil. *Sci Horticulturae*, 110: 44-50.
- Singandhupe, R.B., Rao, G.G.S.N., Patil, N.G., Brahmanand, P.S. 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop. *European Journal of Agronomy*, 19: 327-340.
- Smith, P., Powlson, D.S. 2000. Considering manure and carbon sequestration. *Science*. 287: 428 – 429.
- Smith, J.L., Eliot, L.F. 1990. Tillage and residue management effects on soil organic matter dynamics in semiarid regions. *Advances in Soil Science*, 13, 69-88.

- Solano, M.L.; Iriarte, F.; Ciria, P.; Negro, M.J. 2001. Performance characteristics of three aeration systems in the composting of sheep manure and straw. *J. Agric. Eng. Res.* 79, 317-329.
- Song, J.; Deng, W.; Beaudry, B. M.; Armstrong, P. R. 1997. Changes in Chlorophyll Fluorescence of Apple Fruit Maturation, Ripening and Senescence. *HortScience*, 32(5): 891-896.
- Sotomayor-Ramírez, D. Síntomas Visuales de Deficiencias Nutricionales (Diagnóstico Visual). Universidad de Puerto Rico.
- Sotomayor-Ramírez, D., E. Román-Paoli, L.E. Rivera, Y. Li, and P.J. Stoffella. 2010. Tomato (*Lycopersicon esculentum*) response to fertilizer nitrogen and compost. *J. Agric.* Universidad de Puerto Rico.
- SQM, 2006. SQM Crop Kit Tomato.
- Stamatiadis, S., Werner, M. y Buchanan, M. 1999. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California). *Applied Soil Ecology*. 12: 217-225.
- Tei, F., Benincasa, P. and Guiducci, M. 2002. Effect of N Availability on Growth, N uptake, Light Interception and Photosynthetic Activity in Processing Tomato. *Acta Hort.* 571: 209-216.
- Thakur, NS.; Kaushal, BB. (1995). Study of quality characteristics of some commercial varieties and F, hybrids of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in Himachal Pradesh in relation to processing. *Indian Food Packer*, 49(3): 25-31.
- Tigchelaar, E.C.; Foley, V.L. 1991. Horticultural technology: a case study. *HortTechnology*, 1: 7-16.
- Tindall, A.J., Beverly, R.B., Radcliffs, D. 1991. Mulch effect on soil properties and tomato growth using microirrigation. *Agronomy Journal*, 83(6), 1028-1034.

- Topuz, A., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I., & Ozdemir, F. 2005. Physical and nutritional properties of four orange varieties. *Journal of Food Engineering*, 66, 519-523.
- Triana, M. P. 2001. La importancia de los elementos secundarios (Ca, Mg y S) en la nutrición de las plantas. En: Los elementos secundarios (Ca, Mg y S) en la agricultura. 1ra. Edición. Silva-Mojica, F. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogota-Colombia, p. 1-13.
- U.S.D.A. 2010. Keys to soil taxonomy, eleventh edition. United States Department of Agriculture Printing Office. Washington D.C. 339 pp.
- Uranga, J.; Erburu, J.A. 1999. El Compostaje. Navarra Agraria. 113, 5.
- Valle, F., Gómez Mercado, F., Mota, J.F. 1988. Datos sobre la vegetación orófila de Andalucía oriental (España). *Documents Phytosociologiques*, 11:459-464.
- Valle, F., Gómez Mercado, F., Mota, J.F. 1988. Los robledales de la Sierra de Segura y otras comunidades relacionadas con ellos. *Anal. Jard. Bot. Madrid*, 45(1): 247-257.
- Valverde, M., Gabarrón, M.J., Guillén, I., Sánchez, A., Madrid, R. 2000. Influencia de la fertilización orgánica en el cultivo ecológico del almendro, bajo condiciones de regadío y secano. Niveles de macronutrientes en hoja. IV Simposio Ibérico sobre Nutrición Mineral de las Plantas, 13: 19-25.
- Valverde, M., Gabarrón, M.J., Madrid, M., Lax, A., García-Torres, A.L., Sánchez, A., Guillén, I. 2002. Agricultural soil management by organic fertilization. *International Sustainable Use and management of soils in Arid and Semiarid Regions*, 2: 154-155.
- Valverde, M., Gabarrón, M.J., Madrid, R., Lax, A., Sánchez-Vizcaíno, J., Guillén, I. 2001. Evolución de N-P-K en suelos de cultivo del almendro

- con fertilización orgánica. IV congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas, 4: 2204-2210.
- Valverde, M., Madrid, R., García, A.L. 2006. Effect of the irrigation regime, type of fertilization, and culture year on the physical properties of almond (cv. Guara). *J Food Eng.* 76: 584-593.
- Vela de Oro, N. 2002. Estudio de los procesos de salinización en suelos del Valle del Guadalentín (Murcia). Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 431 pp.
- Vidal, J. 2002. Evaluación de los principales procesos de degradación en Fluvisoles calcáricos de la Huerta de Murcia. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.
- Viskelis, P.; Jankauskiene, J.; Bobinaite, R. 2008. Content of carotenoids and physical properties of tomatoes harvested at different ripening stages. *Foodbalt*, 166-170.
- Wang, G., Staunton, S. 2006. Evolution of water-extractable copper in soil with time as a function of organic matter amendments and aeration. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 372–80.
- Wang, Y., Wang, B., Li, L. 2008. Keeping quality of tomato fruit by high electrostatic field pre-treatment during storage. *J Sci Food Agric*, 88: 464-470.
- Warman, P.R. 2005. Soil fertility, yield and nutrient contents of vegetable crops after 12 years of compost or fertilizer amendments. *Biol. Agric. Hortic.*, 23: 85–96.
- Watanabe, F.S. y Olsen, S.R. 1965. Test of ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 677-678.
- Whitting, L.D. 1965. X-ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition. En "Methods of Soil Analysis". Parte 1. C.A.

Black (Ed.). *Amer. Soc. Agronomy, Inc.*, Madison, Wis. 671-698.

Wienhold, B. J., Andrews, S. S., Karlen, D. L., 2004. Soil quality: A review of the science and experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health*, 26: 89-95.

Wilcox, L.V.1984. The quality of water for irrigation uses. U.S. Department of Agricultural Technical Bulletin 1962, Washington.

Winsor, G.W., Davies, J.N., Messing, J.H.L. 1958. Studies of potash/nitrogen ratio in nutrient solutions, using trickle irrigation equipment. *Rep Glasshouse Crops Res Inst.* 1957, 91-98.

Zegbe-Domínguez, J.A., Behboudian, M.H., Lang, A., Clothier, BE. 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in Petopride processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Sci Hort*, 98: 505-510.